



DETERMINACIÓN DE COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN NATURAL

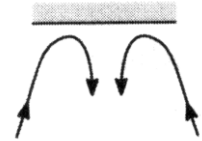
OBJETIVO

Medir experimentalmente el coeficiente de transferencia de calor por convección natural para el caso de una superficie plana horizontal (superficie fría orientada hacia abajo), y determinar una correlación para el número de Nusselt en función del número de Rayleigh.

ANTECEDENTES

La convección natural (o convección libre) 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.

En el caso particular de esta práctica, un líquido se encuentra por debajo de la superficie sólida, y la temperatura del sólido es menor que la del líquido. Como resultado de la transferencia de calor del líquido al sólido, el líquido se enfría y se vuelve más denso, por lo que fluye hacia abajo y es remplazado por más fluido caliente.



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.

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

Para el caso de una placa plana, la longitud característica L generalmente se toma como la relación entre el área de la placa dividida entre su perímetro:

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

Finalmente, en muchos casos simples es posible utilizar una ecuación del tipo $\overline{Nu}_L = c Ra_L^m$ donde c y m son parámetros que se ajustan (generalmente por regresión) para representar los datos experimentales. El número de Nusselt está relacionado con el coeficiente de transferencia de calor:

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

donde L es la misma longitud característica empleada en los números de Grashöff y Rayleigh.

En el caso particular de esta práctica, **la superficie sólida será un disco de hielo**, que se colocará cuidadosamente en un recipiente con agua. El calor que se transfiere del agua al hielo causa que éste 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, para poder encontrar la correlación buscada entre el número de Nusselt y el número de Rayleigh.



MATERIALES Y REACTIVOS

(lista no necesariamente exhaustiva)

- Un recipiente grande (cuba hidroneumática por ejemplo)
- Soporte universal con anillo y tela de asbesto
- Mechero Bunsen o Fischer
- Vaso de precipitado de 1000 mL para calentar agua
- Balanza de precisión
- Termómetro
- Cronómetro
- Discos de hielo
- Agua

RIESGOS ADICIONALES DE SEGURIDAD

Se manejará agua caliente.

MANEJO DE RESIDUOS

No se generan residuos peligrosos.

PROCEDIMIENTO

1. Poner a calentar agua en un vaso de precipitado. La cantidad de agua que se necesita depende del desarrollo del experimento, se recomienda poner a calentar alrededor de 600 mL.
2. Disponer de un recipiente grande (cuba hidroneumática por ejemplo) con agua a aproximadamente 60°C (usar el agua calentada en el paso anterior).
3. Dejar reposar el agua un minuto para que deje de moverse y medir cuidadosamente su temperatura evitando agitar el agua.
4. Tomar uno de los discos de hielo y pesarlo. 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, leer las recomendaciones en la siguiente sección.
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 agua 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.



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, 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 uno o dos minutos para 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 es fijo 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, el diámetro final no debería ser 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 una tabla como la 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						



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 similar, 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.

Si se asume que el número de Nusselt se relaciona con el número de Rayleigh mediante una ecuación del tipo $\overline{Nu}_L = cRa_L^m$, ésta 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 los valores de las constantes c y m que mejor ajusten los datos experimentales.

Finalmente, generar una gráfica de los datos experimentales de \overline{Nu}_L contra Ra_L (representados con símbolos) donde se incluya también la ecuación obtenida mediante regresión de los datos experimentales, así como la correlación recomendada en los apuntes proporcionados en clase para el caso de una placa plana horizontal con la superficie fría hacia abajo (las gráficas de las correlaciones con línea suave). En base a esta gráfica, comentar sobre la concordancia entre los datos experimentales y ambas correlaciones.

EVIDENCIAS ENTREGABLES

El reporte de la práctica puede ser elaborado en computadora, sí requiere portada y sólo se entrega un ejemplar por equipo. 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 un experimento como ejemplo, la tabla con los valores calculados de los demás experimentos, la gráfica de \overline{Nu}_L en función de Ra_L (datos experimentales y correlaciones), y una conclusión individual de la práctica por cada integrante del equipo. Una vez revisado, su reporte deberá ser fotocopiado para que cada integrante tenga un ejemplar para su portafolio de evidencias.

EL REPORTE DE ESTA PRÁCTICA ES EVIDENCIA PARA LA UNIDAD 2