

Experiencias para el aprendizaje de los fenómenos de transferencia de energía

E. Albizzati, A. Arese, D. Estenoz, G. Rossetti

4

Area Operaciones Unitarias - Depto de Ing. Qca.
Fac. de Ing. Qca. - U.N. del Litoral
Stgo. del Estero 2654 - 3000 - Sta Fe - Arg
Fax: 0342-4571162

ENRIQUE ALBIZZATI

Ing. Químico, Prof. Adjunto dedicación exclusiva, Fac. de Ing. Qca.-UNL., Stgo del Estero 2654, tel 0342-4571160-int 2705, Fax: 0342-4571162
albizzati@fiquis.unl.edu.ar

ALICIA ARESE

Ing. Química, Jefe de T. P., dedicación exclusiva, Fac. de Ing. Qca.-UNL., Stgo del Estero 2654, tel 0342-4571160-int 2705, Fax: 0342-4571162
aarese@fiquis.unl.edu.ar

DIANA ESTENOZ

Dra. en Ing. Química, Jefe de T. P., dedicación simple, Fac. de Ing. Qca.-UNL., Stgo del Estero 2654, tel 0342-4571160-int 2705, Fax: 0342-4571162.
destenoz@arcride.edu.ar

GERMÁN ROSSETTI

Ing. Químico, Jefe de T. P., dedicación simple, Fac. de Ing. Qca.-UNL., Stgo del Estero 2654, tel 0342-4571160-int 2705, Fax: 0342-4571162.
grosetti@fiquis.unl.edu.ar

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: «Diseño y Aplicación de Estrategias de Enseñanza de los Principios Básicos de la Ingeniería Química», aprobado y subsidiado por la UNL en el marco de las Programaciones CAI+D'93 - 94 y CAI+D'96.

Introducción

Las situaciones problemáticas y la interpretación y explicación de los fenómenos son los ejes vertebradores de la construcción científica como así también de la práctica profesional de los Ingenieros. En el abordaje de estas situaciones y en la resolución de los problemas se ponen en juego conocimientos y metodologías propias de las ciencias experimentales básicas y de la tecnología.

Debido a que no siempre se vislumbra la relación entre conocimiento (científico, tecnológico) y métodos de producción de los mismos, en la asignatura Fundamentos de la Ingeniería Química (Fac. de Ing. Qca., Dpto. de Ing. Qca., carrera de Ing. Qca. Plan 1991) se desarrollaron experiencias de enseñanza en torno a la realización de «trabajos prácticos especiales» (Albizzati y otros, 1998a; Albizzati y otros, 1998b). Estos trabajos prácticos permiten integrar teoría, método y experimentación, y reconocer que la teoría atraviesa todos los momentos de producción de un nuevo conocimiento científico y tecnológico: la formulación del problema, la modelización, la simulación, la selección de situaciones experimentales, el diseño y construcción del equipo, la determinación de datos experimentales, el análisis de los resultados, la confrontación de valores obtenidos, con el fin de mejorar la experiencia, reformular o desechar el modelo teórico.

Aquí se presentan los equipos desarrollados en el marco de los «trabajos prácticos especiales» para el estudio de los Fenómenos de Transferencia de Energía. Estos equipos están orientados al análisis fenomenológico y conceptual, y a la medición de coeficientes de transferencia de energía, involucrando los tres mecanismos básicos: conducción, convección y radiación.

Equipos desarrollados

En principio se han diseñado y construido equipos teniendo como base los esquemas y detalles de la bibliografía que incluyen experiencias clásicas para el estudio de estos temas, pero modificando varias de las propuestas en lo relativo a objetivos, modelos teóricos, elementos constructivos e instrumental de medición, alcanzando así una modalidad propia en la aplicación de cada uno de estos dispositivos. En otros casos el diseño y construcción requirió una elaboración más amplia, propia de los estudiantes, y a la vez una planificación acerca del modo de uso.

A continuación se hace referencia a los aspectos más significativos relacionados con el equipamiento desarrollado. Se muestran los esquemas correspondientes, los conceptos teóricos aplicados, y la metodología para su utilización en las experiencias propuestas.

Medición de Conductividad Térmica de Aislantes

El equipo utilizado para determinar la conductividad térmica de un aislante se construyó según la propuesta de Molyneaux (1969). Este dispositivo (Figura 1) consta de un tubo cilíndrico de vidrio en el interior del cual se encuentra una resistencia eléctrica arrollada sobre un tubo cerámico de 25 cm de largo. Recubriendo el tubo cilíndrico de vidrio se coloca el material aislante que tiene la forma de media caña.

La energía disipada desde la resistencia calienta el vidrio y se transfiere en el aislante por conducción, respondiendo el fenómeno a la ecuación de Fourier. La cantidad de calor transferida por unidad de tiempo (Q) puede regularse con un variador de voltaje. Asimismo, se miden la intensidad de corriente y el voltaje con instrumentos apropiados y se obtiene la potencia calórica cedida por la resistencia.

En el dispositivo descrito el flujo calórico en el estado estacionario es prácticamente radial, por lo que la ecuación de conducción aplicada al aislante da como resultado:

$$Q = \frac{k(T_1 - T_2)2\pi L}{\ln(R_2/R_1)} \quad (1)$$

donde

Q: potencia calórica (W)

k: conductividad térmica del aislante (W/m(C)

T1: temperatura exterior del aislante (°C)

T2: temperatura interior del aislante (°C)

L: longitud del calefactor (m)

R1: radio interior del aislante (m)

R2: radio exterior del aislante (m)

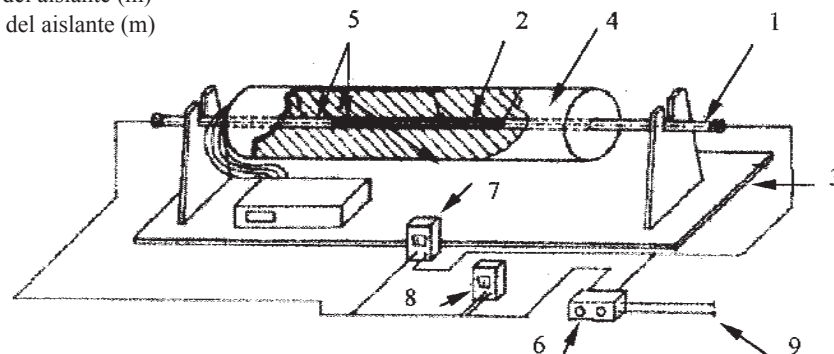


Figura 1: Medición de Conductividad Térmica de Aislantes (1- Tubo de vidrio, 2- Calefactor eléctrico, 3- Base del dispositivo, 4- Material aislante, 5- Termocuplas, 6-Regulador 7- Voltímetro, 8- Amperímetro, 9- Fuente de energía).

La conductividad térmica del aislante puede considerarse que varía en forma lineal con la temperatura en el rango de trabajo. Por ello, la propiedad k que aparece en la expresión 1 es igual a la conductividad térmica del material evaluada a la temperatura media aritmética entre T_1 y T_2 . Entonces k puede evaluarse a partir de la ecuación 1:

$$(2)$$

En las experiencias que se llevan a cabo deben medirse las temperaturas T_1 y T_2 alineadas radialmente en el punto medio de la longitud del elemento calefactor. También se toma la temperatura a 5 y 15 cm de los extremos con el fin de comprobar la hipótesis de flujo calórico radial, es decir que no hay transferencia de energía en forma axial. Las temperaturas se miden con termocuplas de hierro-constantan acopladas a un indicador digital.

Las dimensiones L , R_2 , y R_1 son constantes en las experiencias, y por el contrario son variables el voltaje y la intensidad de la corriente, por lo que deben cuantificarse en cada una de las determinaciones experimentales.

Se realizaron dos tipos de determinaciones: una usando poliuretano rígido y otra un aislante que contiene fibra de vidrio. Se obtuvieron valores de la conductividad térmica para temperaturas entre 50 y 200 °C, regulando la potencia calórica suministrada. Con estos valores fue posible verificar que la conductividad térmica varía linealmente con la temperatura, mediante el método de regresión de los cuadrados mínimos.

Perfiles de Temperatura en Barras Sólidas

Se analiza el fenómeno de transferencia de energía por conducción en el interior de una barra cilíndrica metálica, y el fenómeno de transferencia de energía desde la superficie de la barra hacia el ambiente (Figura 2). La barra es calentada desde un extremo introducido en una cámara por la que circula vapor de caldera a baja presión, y mantiene la temperatura de la fuente de calor prácticamente constante (Crosby, 1968).

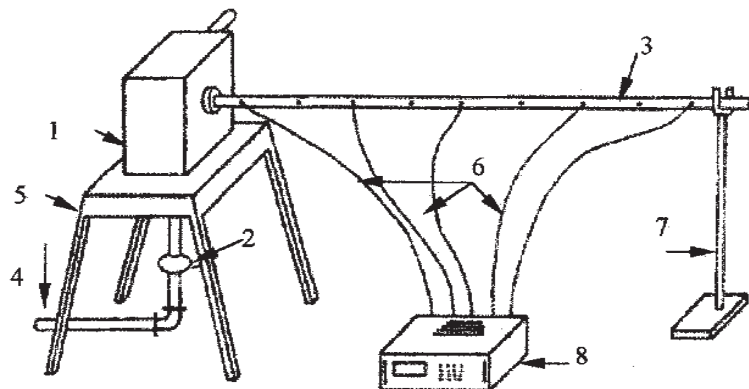


Figura 2: *Perfiles de Temperatura en Barras Sólidas* (1- Cámara de vapor, 2- Trampa de vapor, 3- Barra metálica, 4- Descarga de condensado, 5- Soporte de la cámara, 6- Termocuplas, 7- Soporte de la barra, 8- Indicador de temperaturas).

La barra tiene un diámetro (D) igual a 2 cm, 1 m de longitud, y cada 5 cm presenta orificios que llegan hasta el centro, donde se colocan las termocuplas para medir las temperaturas locales. Estas termocuplas se conectan a un lector digital múltiple de temperaturas.

Suponiendo que en el interior de la barra el flujo calórico es de tipo pistón y el estado es estacionario, con la cual la temperatura varía en la dirección axial únicamente, entonces se puede formular la siguiente ecuación diferencial:

$$h_0(T_a - T) 4/D + k \frac{d^2T}{dz^2} = 0 \quad (3)$$

siendo

h_0 : coeficiente de transferencia al ambiente (W/m²°C)

T_a : temperatura del ambiente (°C)

$4/D$: relación entre el perímetro y el área transversal (m⁻¹)

T : temperatura de la barra (°C)

k : conductividad térmica de la barra (W/m°C)

z : dirección axial (m)

Se observa que si se parte de una condición inicial -la temperatura de la barra es la del ambiente- el proceso de calentamiento se lleva a cabo en condiciones de estado no estacionario, variando la temperatura de la barra en función del tiempo y de la posición. En principio, se realizan determinaciones de la temperatura con el objeto de graficar la evolución en el tiempo de cada punto de la barra.

Dado que la temperatura del vapor es constante, al cabo de un cierto tiempo se alcanza un perfil estacionario de temperaturas. Ahora la temperatura en la barra depende sólo de la posición y no del tiempo. En esta situación el perfil de temperatura puede correlacionarse con la expresión:

$$T = T_a + b e^{cz} \quad (4)$$

Haciendo uso de un método de regresión lineal se encuentran los parámetros b y c . Las experiencias se han llevado a cabo con barras de acero común y de aluminio, pudiéndose comparar la variación temporal y axial de la temperatura para ambos metales.

Además, con los valores obtenidos para el estado estacionario, resulta posible investigar la variación del coeficiente de transferencia de energía desde la barra hacia el ambiente. A partir de las ecuaciones formuladas se halla que:

$$h_0 = \frac{-k D b c^2 e^{cz}}{4(T_a - T)} \quad (5)$$

Este coeficiente suma los efectos debidos a la transferencia de energía por convección (natural o forzada según el caso) y por radiación desde la superficie caliente hacia el ambiente.

Debe notarse que k depende del material, y su valor se encuentra en bibliografía, D y T_a son medibles; y las restantes variables $-b$, c y T son el producto de la experiencia llevada a cabo. Por lo tanto para cada posición se puede construir una tabla de h_0 vs. z , estudiándose la variación del coeficiente de transferencia a lo largo de la barra en el estado estacionario.

Transferencia de Energía desde Superficies Planas

Los coeficientes de transferencia de energía se pueden determinar en un dispositivo que básicamente es una placa circular horizontal cuya parte inferior es calentada mediante una resistencia eléctrica, según lo que propone Incropera y De Witt (1990). La superficie superior de la placa está en contacto con el ambiente, hacia el

cual transfiere energía por convección natural y por radiación (Figura 3).

Para construir el dispositivo se requiere de una caja de madera, la placa, la resistencia de mica de 16 cm de diámetro, y un aislante térmico (lana mineral). La resistencia está apoyada en un anillo cerámico. La placa a calentar puede reemplazarse por otra que presente diferentes características superficiales.

La potencia calórica transferida desde la superficie caliente se formula con:

$$Q = h_0(T_s - T_a) A \quad (6)$$

donde

Q : potencia calórica (W)

A : área de la placa (m²)

T_s : temperatura externa de la placa (°C)

T_a: temperatura ambiente (°C)

h₀: coeficiente de transferencia al ambiente(W/m² °C)

Como la potencia es función de la intensidad de corriente y del voltaje medidos en la experiencia, en condiciones de estado estacionario puede calcularse el coeficiente h₀ a partir de la ecuación anterior.

El equipo descrito se empleó realizando determinaciones con una placa de acero inoxidable pulida y otra placa de acero inoxidable cubierta con pintura negra. Para cada una de ellas se realizaron varias experiencias a distintas temperaturas superficiales, obteniéndose h₀ vs. T_s.

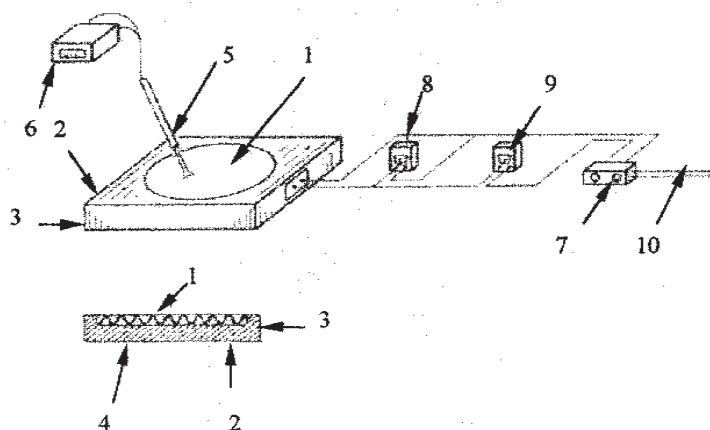


Figura 3: Transferencia de Energía desde Superficies Planas (1- Placa, 2- Aislación térmica, 3- Caja de madera, 4- Resistencia eléctrica, 5- Termocupla, 6- Indicador de temperatura, 7- Variador de voltaje, 8- Voltímetro, 9- Amperímetro, 10- Fuente de energía).

Se dispone de información para estimar h_c y h_r, por lo tanto h₀ se calcula como la suma de ambos. Para hallar h_c se emplean correlaciones (Incropera y De Witt, 1990) del tipo:

$$h_c = a (GrPr)^b k/L \quad (7)$$

El producto del número de Grashof por el número de Prandtl

$$\text{GrPr} = \rho^2 L^3 g \beta (T_s - T_a) C_p / (\mu k) \quad (8)$$

es función de las propiedades del aire a la temperatura $(T_s + T_a)/2$, L es la longitud del lado de la placa, g es la constante gravitatoria, k la conductividad térmica, ρ la densidad, μ la viscosidad, β el coeficiente de expansión térmica y C_p la conductividad térmica del aire; a y b son constantes.

Por otra parte, el coeficiente h_r se estima mediante la formulación siguiente:

$$h_r = \delta e \left[(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4 \right] / (T_s - T_a) \quad (9)$$

δ es la constante de Stefan-Boltzmann y e es la emisividad de la superficie calentada. Este último dato se obtiene de bibliografía, considerando el tipo y las características de las superficies utilizadas.

Intercambio de Calor en Tanque Agitado

La experiencia consiste en calentar un fluido en un tanque cilíndrico de unos 15 litros de capacidad, el que está aislado en los laterales, en el fondo y en la tapa con lana mineral (Figura 4). En el interior del recipiente se encuentra un serpentín de cobre por el que circula el vapor a baja presión que calefacciona el líquido (Molyneux, 1969).

Por medio de un agitador mecánico accionado por un motor eléctrico se logra uniformar la temperatura del fluido. El equipo se completa con una termocupla de hierro-constantan conectada al lector digital, cronómetro, y manómetro para medir la presión del vapor.

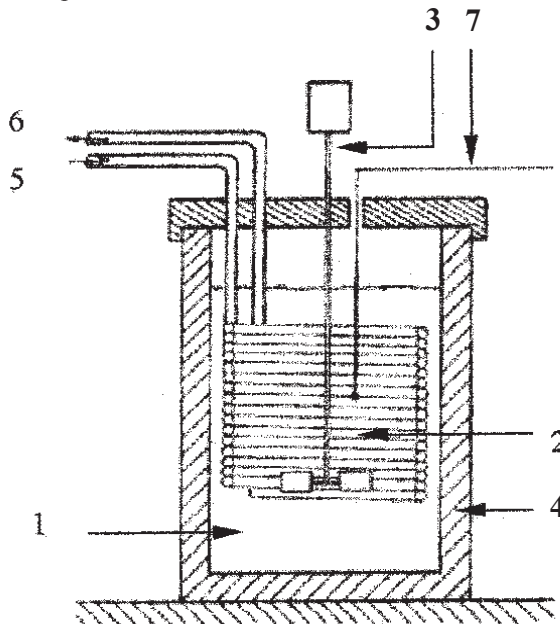


Figura 4: Intercambio de Calor en Tanque Agitado (1- Fluido calefaccionado, 2- Serpentín interno, 3- Agitador mecánico, 4- Aislación, 5- Entrada de vapor, 6- Salida de condensado, 7- Termocupla).

El calor transferido desde el vapor condensante hacia el líquido puede expresarse en todo instante por medio de :

$$Q = U(T_v - T)A_0 \quad (10)$$

donde

Q: energía intercambiada (W)

U: coeficiente total de transferencia (W / m² °C)

T_v: temperatura del vapor (°C)

T: temperatura del fluido (°C)

A₀: área externa del serpentín (m²)

Como la temperatura del fluido aumenta con el tiempo la potencia calórica se iguala a la variación de energía interna del fluido. Considerando que las propiedades del fluido son constantes en el rango de temperaturas de trabajo, la expresión resultante

$$\rho V C_p \frac{dT}{dt} = U(T_v - T)A_0 \quad (11)$$

puede ser integrada para encontrar la relación entre la temperatura (T) y el tiempo (t). ρ es la densidad, C_p el calor específico y V el volumen del líquido.

Partiendo de una dada condición inicial (t=0, T=T₀), si al integrar la ecuación diferencial se supone que el coeficiente U es constante, entonces resulta

$$T = T_v - (T_v - T_0)e^{-kt} \quad (12)$$

donde $k = UA_0 / \rho V C_p$

En el trabajo se realizaron experiencias de calentamiento de agua, midiéndose la temperatura cada cinco minutos. La información recogida se complementa con los datos de T_v, ρ , C_p , V y A₀, para hallar el coeficiente total de transferencia de energía (U), utilizando un método de regresión lineal. Con este fin se relacionan y t, y se halla el citado coeficiente luego de obtener k.

El coeficiente U está ligado a los coeficientes de transferencia de energía en el líquido (h_l) y en el vapor (h_v), despreciando la resistencia térmica del serpentín - que posee alta conductividad y poco espesor- según:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_l} + \frac{1}{h_v} \quad (13)$$

El coeficiente h_l puede estimarse con la correlación de Chilton, Drew y Jebens, ampliamente difundida en la bibliografía. Conocido el valor de U experimental y aplicando la expresión anterior, puede hallarse h_v, y comparar las resistencias a la transferencia de energía de ambas fases fluidas, y relacionarlas con la resistencia térmica total.

Calentamiento de Agua con Radiación Solar

El fenómeno en estudio es el calentamiento de líquidos empleando radiación solar. El objetivo del trabajo es comparar el comportamiento de dos equipos simples que colectan y acumulan energía solar (Garg y Rani, 1982). Están formados básicamente por una caja de chapa galvanizada que contiene unos 36 litros de agua (Figura 5). En su parte superior tienen una cubierta transparente a la radiación,

luego una cámara de aire y una placa metálica de chapa pintada de negro en contacto con el fluido, y se encuentran aislados en los laterales y en el fondo. Uno de los equipos posee la cubierta de vidrio común y el otro de policarbonato alveolar, ambas de igual espesor(4 mm.).

La energía absorbida, que es función del tiempo, se expresa como el producto entre la radiación solar incidente y el rendimiento óptico del colector. La energía perdida por unidad de área es el producto entre el coeficiente total de pérdidas de energía y la diferencia entre la temperatura del fluido y la ambiente. En cualquier instante la energía útil se expresa como la diferencia entre la energía absorbida y la energía perdida por el dispositivo, siendo:

$$MC_p \frac{dT}{dt} = \eta_0 I A_c - U_c A_c (T - T_a) \quad (14)$$

donde:

AC: área del colector

Ta: temperatura ambiente (°C)

Cp: calor específico del agua (kJ/kg °C)

T: temperatura media del agua (°C)

I: radiación solar incidente (W/m²)

UC: coeficiente total de pérdidas(W/m² °C)

M: masa de agua (kg)

(0: rendimiento óptico (-)

t: tiempo (s)

Si se define el rendimiento térmico del equipo solar como la relación entre la energía útil y la radiación incidente, resulta entonces:

$$\eta = MC_p \left(\frac{dT}{dt} \right) / (I A_c) \quad (15)$$

Para cada uno de los equipos, en las experiencias, se miden cada 15 minutos las temperaturas T y Ta, y la radiación solar, que es la suma de la radiación directa y difusa incidente sobre el colector. Para cuantificarla se utilizó un piranómetro Eppley que posee como detector térmico una termopila; las temperaturas se midieron con termocuplas y lector digital. Dado que el rendimiento térmico puede formularse como:

$$\eta = \eta_0 - U_c (T - T_a) / I \quad (16)$$

al representar η vs $(T-T_a)/I$ se puede verificar que los puntos representados están alineados y significa ello que η_0 y U_c son constantes. Aplicando el método de los cuadros mínimos se determinan η_0 (ordenada al origen) y U_c (pendiente de la recta). Luego se pueden comparar los valores obtenidos de ambos parámetros los que sirven para caracterizar los dos tipos de colectores acumuladores de la radiación solar.

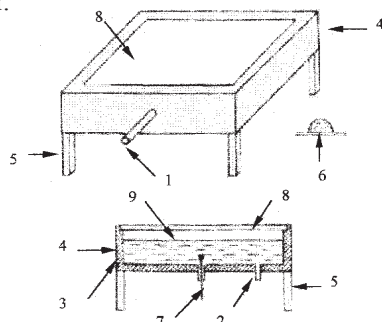


Figura 5: Calentamiento de Agua con Radiación Solar (1- Carga de agua, 2- Descarga de agua, 3- Aislación térmica, 4- Caja de chapa, 5- Soportes, 6- Piranómetro, 7- Termocupla, 8- Cubierta de vidrio, 9- Placa absorbente).

Intercambio de Calor en Tubos Concéntricos

En la bibliografía se esquematiza el dispositivo que se utiliza (Crosby, 1968). Se emplea un intercambiador de tubos concéntricos que consta de dos tubos de acero común por los que circulan los fluidos en cocorriente (Figura 6). El fluido calefactor es vapor de caldera con baja presión, que cede calor latente por condensación, y el fluido calefaccionado es agua que circula con flujo turbulento.

El equipo está aislado con lana mineral, y en el mismo se miden con termocuplas y lector digital las temperaturas de entrada y salida del fluido que se calienta, la presión del vapor y la temperatura del condensado. El caudal de agua se suministra a través de una bomba centrífuga tipo domiciliaria, pudiendo variarse mediante una válvula.

La energía térmica incorporada al fluido calefaccionado en estado estacionario se expresa mediante:

$$Q = m C_p (T_s - T_e) \quad (17)$$

donde

Q : energía intercambiada (W)

m : caudal másico de agua (kg/s)

C_p: calor específico medio del agua (J/kg °C)

T_s: temperatura de salida del agua (°C)

T_e: temperatura de entrada del agua (°C)

En el intercambiador de doble tubo el coeficiente total de transferencia de energía (U₀), está relacionado con el área de transferencia del tubo interior (A₀), con la diferencia media logarítmica de temperaturas (ΔT_m) y con la energía intercambiada (Q).

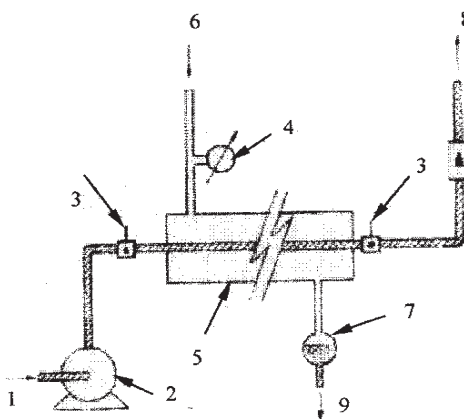


Figura 6: Intercambio de Calor en Tubos Concéntricos (1- Entrada de agua, 2- Bomba de impulsión, 3- Termocupla, 4- Manómetro, 5- Intercambiador aislado, 6- Entrada de vapor, 7- Trampa de vapor, 8- Salida de agua, 9- Descarga de condensado).

$$U_0 = \frac{Q}{A_0 \hat{T}_m} \quad (18)$$

El área A₀ es el perímetro exterior del tubo interno multiplicado por su longitud, y la diferencia media de temperatura se calcula entre el vapor -que condensa a la temperatura T_v- y el fluido.

$$\hat{T}_m = \frac{T_s - T_e}{\ln \frac{T_v - T_e}{T_v - T_s}} \quad (19)$$

Dado que el caudal de agua puede modificarse se realizan experiencias variando el número de Reynolds. Entonces, en condiciones de flujo turbulento y estado estacionario se determina en cada caso el caudal y las temperaturas del fluido y del vapor.

Conocidas las variables geométricas y el calor específico, se calculan los valores del coeficiente total:

$$U_0 = \frac{m C_p}{A_0} \ln \frac{T_v - T_e}{T_v - T_s} \quad (20)$$

El coeficiente total está relacionado con los coeficientes individuales del agua (h_a) y del vapor (h_v) y con la resistencia térmica de la pared del tubo interior (R_m).

El coeficiente de transferencia del agua es dependiente del caudal másico. Si se supone que las propiedades del fluido no varían con la temperatura, según las correlaciones típicas para flujo en tubos -por ejemplo ecuación de Dittus-Boelter- se puede formular:

$$h_a = \alpha m^{0.8} \quad (21)$$

donde α es aproximadamente constante.

Aunque se varíe el caudal circulante, no cambian la resistencia térmica de la pared ni la del vapor, por lo tanto puede escribirse:

$$\frac{1}{U_0} = \beta + \frac{1}{\alpha m^{0.8}} \quad (22)$$

donde $\beta = R_m + (D_0 / D_i) / h_v$ es constante, y D_i y D_0 son los diámetros interior y exterior del tubo interno del intercambiador .

Haciendo uso de los datos relevados en las experiencias descriptas, pueden ahora hallarse h_v y h_a . Para ello se trabaja con datos de $(1/U_0)$ vs. $(1/m^{0.8})$, y por un método de regresión lineal se obtienen α y β .

Luego con la conductividad térmica del acero (k) y los diámetros del tubo interior se estima

$$R_m = (D_0 / 2k) \ln (D_0 / D_i) \quad (23)$$

Finalmente, con el el valor de β , se calcula h_v y paralelamente con α y m se puede encontrar el valor de h_a en cada una de las experiencias.

Conclusiones

La estrategia de enseñanza implementada («trabajos prácticos especiales») favoreció la comprensión de los conceptos teóricos en los que se basan los Fenómenos de Transferencia de Energía así como su aplicación en el campo experimental,

propiciando la interrelación por parte de los estudiantes, de los conocimientos de las ciencias experimentales básicas con los de las áreas específicas de la Ingeniería. Al mismo tiempo, posibilitó la integración de dichos conceptos con los procesos de producción de conocimientos científicos, así como el reconocimiento de que la experimentación implica una intervención en los fenómenos, planificada y guiada por la teoría, y que los conceptos no son universales sino que tienen un significado relativo en el marco de una teoría.

Si bien los equipos y experiencias presentados en este trabajo fueron desarrollados en el marco de una estrategia de enseñanza orientada por los propósitos antes enunciados, su utilización no necesariamente debe circunscribirse a una metodología similar, antes bien, se considera que son lo suficientemente versátiles como para ser empleados en situaciones de enseñanza disímiles, de acuerdo con la propuesta didáctica del docente. Por otra parte, el material presentado puede adaptarse a los requerimientos específicos de distintas áreas de la ingeniería, ya que el estudio de los fenómenos de transferencia de energía es común a diversos contenidos curriculares de las Carreras de Ingeniería.

Referencias Bibliográficas

- ALBIZZATI E.D, ARESE A. N., ESTENOZ D. A. y ROSSETTI G.H. (1998a). Equipamiento para el Aprendizaje de los Fundamentos de la Transferencia de Cantidad de Movimiento, de Energía y de Materia. *Información Tecnológica* 9 (4): 349-355.
- ALBIZZATI E.D, ARESE A. N., ESTENOZ D. A. y ROSSETTI G.H. (1998b). Equipos Didácticos para el Estudio de los Fenómenos de Transferencia de Materia entre Fases. *Actas del VII Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Materia* Vol. I, 139 - 143.
- CROSBY E. J. (1968). Experimentos sobre Fenómenos de Transporte en las Operaciones Unitarias de la Industria Química. Hispano Americana S.A., Buenos Aires.
- GARG H.P. Y RANI U. (1982). Theoretical and Experimental Studies on Collectors/Storage Type Solar Water Heater. *Solar Energy* 29 (6): 467-478.
- INCROPERA F. Y DE WITT D. (1990). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3rd. Ed., J. Wiley & Sons, New York.
- MOLYNEUX F. (1969). *Ejercicios de Laboratorio de Ingeniería Química*. Ed. Blume, Madrid.
- SELÇUK K. M. (1977). Solar Air Heaters and Their Applications, en *Solar Energy Engineering*, Cap. 8, Sayigh A.A.M (Editor). Academic Press Inc., New York.