

APLICACIÓN DIDÁCTICA DE UN EQUIPO PARA DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

AUTORES: SCHNEIDER, A.; FLORES H.; RODI, E.; SIAN, L.; ELIZALDE, E.

Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral

Santiago del Estero 2654 – (3000) Santa Fe

Correo electrónico: hlores@fiq.unl.edu.ar

Resumen:

El presente trabajo surge de la vinculación entre investigación y docencia del personal que participa del proyecto “Recuperación Valorización de Virutas de Curtiembre – Elaboración de un Aglomerado Aislante”, que a su vez es responsable del dictado de la asignatura Transferencia de Energía y Operaciones, de las carreras Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos.

El proyecto mencionado desarrolla un aglomerado aislante térmico a partir de las virutas de cuero (desechos sólidos de tenerías), y para caracterizar sus propiedades se diseñó y construyó un conductímetro, de tal forma que sea confiable para la obtención y extrapolación de datos experimentales, contemplando además su utilización para llevar a cabo Trabajos Prácticos de las asignaturas mencionadas, no solamente de determinación de valores de conductividad térmica, sino aprovechando sus partes constituyentes (fuente eléctrica, sensores de temperatura), poder desarrollar otras experiencias.

Los objetivos docentes planteados son entrenar al personal de investigación y docencia en el diseño, montaje y operación de un equipo apto no sólo para obtener información experimental de una propiedad como la conductividad térmica siguiendo la normativa; desarrollar experiencias para construir el perfil de temperatura del material operando en estados estacionario y no estacionario; que los alumnos pasantes que se desempeñan en el proyecto afiancen los conocimientos recibidos en la asignatura y adquieran experiencia en la construcción y uso de un aparato, y que los alumnos cursantes puedan aplicar los conceptos teóricos recibidos y adquieran criterios de uso del equipo y obtención de datos experimentales para cambio de escala.

Se desarrollan los trabajos prácticos a poner en marcha, los fundamentos teóricos de los mismos y las expectativas de desarrollar nuevas experiencias a partir del uso de dicho equipo, utilizando la infraestructura construida: fuente de calor variable, termo resistencias, etc.

Marco Teórico:

El personal docente de la asignatura Transferencia de Energía y Operaciones cumple tres actividades sustantivas dentro del ámbito de la Universidad: docencia, investigación y servicios a terceros, encuadradas las mismas dentro de la temática y los conceptos teóricos y prácticos desarrollados en la mencionada asignatura.

En el ítem Investigación, se desarrolla el proyecto “Recuperación y Valorización de Virutas de Cuero – Elaboración de un Aglomerado Aislante”, donde se propone fabricar a partir de dicho residuo un aglomerado apto para su utilización como aislante térmico (algún trabajo ya presentado sobre viruta).

Para conocer la aptitud de dicho material es necesario caracterizarlo y evaluar algunas propiedades, tales como conductividad térmica y resistencia a la tracción, las que deben ser determinadas dentro de las normas vigentes al respecto. Por ello, el personal participante del proyecto diseñó un construyó un conductímetro, de acuerdo a lo aconsejado por las Normas IRAM (Schneider y colaboradores, 2008).

Además, el grupo de trabajo cuenta con antecedentes sobre diseño y construcción de equipos con fines didácticos, para ampliar el equipamiento al menor costo posible. Por ello, surgió la idea de utilizar el dispositivo diseñado para desarrollar distintas experiencias y trabajos prácticos (Schneider y colaboradores, 1991).

Por ello, en el diseño y construcción del equipo, se tomaron en cuenta ciertos requerimientos:

- Aptitud para desarrollar trabajos prácticos con alumnos, por lo que debe satisfacer expectativas didácticas, y también ser adecuado para obtener datos experimentales confiables, para lo que se debe tener en cuenta parámetros geométricos del equipo e instrumental de medición necesarios.
- Minimizar costos, teniendo en cuenta la infraestructura disponible en la facultad (servicios e instrumental), y utiliza materiales e insumos disponibles en el mercado local, lo que disminuyen los costos de construcción y mantenimiento.

También deben destacarse otros aspectos, en primer lugar, el entrenamiento del personal responsable del diseño en algunas áreas de la actividad profesional poco exploradas durante la práctica docente habitual.

Además resulta importante el aprendizaje de los alumnos que, habiendo cursado y aprobado la asignatura, participan del proyecto de referencia en carácter de pasantes ad honorem, ya que por un lado, pueden consolidar los conocimientos teóricos impartidos en el dictado de la asignatura, sino además compartir la experiencia del diseño de un equipo para ser utilizado en docencia, investigación y servicios a terceros.

Finalmente, respecto a los alumnos que cursan la asignatura, se persiguen objetivos que van más allá del aprendizaje de contenidos, ya que se pretende se adquieran capacidades, aptitudes y actitudes no siempre contempladas a través de otros métodos de enseñanza y aprendizaje, como estimular el pensamiento creativo, el análisis crítico, el razonamiento y la iniciativa particular.

Esto se logrará cuando apliquen los conceptos teórico práctico, recibidos y a través del uso correcto del equipo y del relevamiento y procesamiento de la información experimental, adquieran criterios de diseño de experiencias para una correcta obtención de datos experimentales para cambio de escala.

Objetivos

1. Desarrollar Trabajos Prácticos en la asignatura Transferencia de Energía y Operaciones, a partir de la utilización de un equipo diseñado para determinar conductividad térmica.
2. Entrenar al personal que participa en las actividades de docencia, investigación y servicios a terceros en el diseño, construcción y puesta en marcha de un aparato apto para docencia e investigación
3. Adquisición de habilidades por parte de los alumnos que se desempeñan como pasantes en dichas actividades
4. Afianzar conocimiento de teoría y problemas en los alumnos regulares de la materia, como así también capacitarlos en la utilización correcta de un equipo, además de recabar y procesar correctamente la información experimental generada.

Metodología

En este caso en estudio, apunta al manejo de un equipo diseñado bajo normas, la determinación de condiciones de operación adecuadas, para obtener resultados experimentales confiables y poder evaluar correctamente la información obtenida.

En la formulación de las experiencias, se tuvieron en cuenta algunos aspectos importantes, tales como (Molyneux, 1969):

1. Plantear correctamente las cuestiones que se desea resolver mediante dicha práctica.
2. Elegir en forma adecuada el método experimental, a fin de obtener la precisión deseada y eliminar los efectos no deseados.
3. Planear el procedimiento para llevar a cabo las experiencias, el número de las mismas y las relaciones entre ellas.
4. Procesar la información obtenida, para poder valores experimentales confiables y extrapolables a otras condiciones.

A continuación, se desarrollan los trabajos prácticos a implementar utilizando el conductímetro, exponiendo en forma resumida los objetivos, principios teóricos, técnica operatoria y procesamiento de datos

Trabajo Práctico N° 1- Determinación de la conductividad térmica de un aislante

Objetivos:

1. Obtener en forma experimental el valor de conductividad térmica para distintos materiales, operando en distintas condiciones.
2. Comparar por un lado, los valores obtenidos experimentalmente con los de bibliografía, y la aptitud de distintos materiales para su uso como aislante térmico

Principios teóricos

Las pérdidas de calor al medio ambiente es uno de los problemas más importantes que enfrenta la industria en general. Para evitar las mismas se debe aislar las superficies de intercambio, y la conductividad térmica es la propiedad que caracteriza la aptitud de los materiales utilizados para tal fin. Por ello, la determinación de ese valor es muy importante.

Durante el proceso de transferencia de calor, existe el fenómeno de conducción a través de la pared del aislante, y la radiación y convección combinadas, desde la pared aislante hacia el medio ambiente.

La transferencia de calor por conducción se evalúa a partir de la ley de Fourier (Kreith):

$$Q = - k A (dT/dL) \quad (1)$$

Si consideramos régimen estacionario, la velocidad de transferencia de calor es constante, e integrando la ecuación anterior, obtenemos

$$Q = k A (T_1 - T_2) / L \quad (2)$$

A partir de la cual se puede calcular el valor de la propiedad

$$k = Q L / A (T_1 - T_2) \quad (3)$$

Técnica Operatoria

1. Preparación y acondicionamiento del material
2. Selección de las temperaturas de trabajo
3. Inicio de calentamiento
4. Detección de la diferencia de temperatura
5. Ajuste del tiempo y del intervalo de medición
6. Medición de las temperaturas en función del tiempo hasta valores constantes
7. Determinaciones finales
8. Cálculos
9. Informe y evaluación de resultados

Para obtener los resultados finales, se debe confeccionar la siguiente tabla:

Voltaje	Intensidad	Temperaturas	Calor	Cond. Térmica	Temp.. promedio
---------	------------	--------------	-------	---------------	-----------------

Trabajo Práctico N° 2: Estudio del comportamiento de un sólido semi infinito en estado no estacionario

Objetivos:

1. Determinar el perfil de temperatura en una placa plana al someterla al calentamiento por una fuente eléctrica.
2. Obtener información experimental de parámetros tales como difusividad térmica, calor específico, etc. a partir de los datos relevados en los ensayos.

Marco Teórico:

Una geometría muy común en los problemas de conducción en estado no estacionario es una placa de espesor determinado, medido en la dirección del eje x , que tiene además dimensiones muy grandes o infinitas, comparadas con ésta, en las direcciones de los ejes y y z . Por ello, puede suponerse que el calor es conducido desde las superficies planas paralelas en la dirección x (Geankoplis, 2004).

Debido a las características constructivas del equipo a utilizar, y las dimensiones de la probeta que se ensaya, se puede suponer que el sólido en cuestión se comporta como el modelo descrito.

Por ello, una placa que se encuentra a una temperatura inicial uniforme (T_0), se pone en contacto con una fuente calefactora a alta temperatura (T_{∞}), y otro que se encuentra a menor temperatura (fuente fría).

En consecuencia, se va a desarrollar un perfil de temperatura en el sólido, que va a tener su valor máximo en la punto en contacto con la fuente caliente y mínimo en la cercanías a la fuente fría.

Esta situación lleva a considerar que la placa tiene el espesor igual al doble de lo descrito en el modelo, ya que el máximo de temperatura se encuentra en el borde, y no en el centro.

Para obtener el perfil de temperatura del sólido existen soluciones gráficas y analíticas, expresadas en función de números adimensionales, a saber (Kreith, 2001):

$$Fo = \alpha \theta / L_0^2 \quad (4)$$

$$\alpha = k / \rho C_P \quad (5)$$

$$Bi = h L_0 / k \quad (6)$$

$$\Psi = (T_{\infty} - T_{x, \theta}) / (T_{\infty} - T_0) \quad (7)$$

$$X = L_{x, \theta} / L_0 \quad (8)$$

Trabajando adecuadamente con las expresiones gráficas y analíticas, y los datos experimentales de temperatura y tiempo, se puede plantear las siguientes alternativas:

- Si se trabaja con sólidos cuyas propiedades se conocen, obtener experimentalmente los valores de temperatura en función del tiempo y compararlos con los obtenidos mediante ecuaciones o gráficas.
- Si en cambio, no se conocen las propiedades del material en estudio (como el caso del aglomerado desarrollado en el proyecto), obtener a partir de los datos relevados en el ensayo, las propiedades del mismo (difusividad térmica, calor específico, etc.)

Para llevar a cabo este TP, es necesario tomar ciertas precauciones, como seleccionar sólidos cuya conductividad térmica sea más alta y con mayor espesor para obtener menores diferencias de temperatura y poder determinar adecuadamente su perfil

Técnica Operatoria

No se describe en detalle la técnica operatoria, porque es muy similar a la del trabajo práctico anterior, lo que difiere en esta forma de operar es relevar cuidadosamente información de temperatura en función del tiempo de operación, en forma constante, y no solamente los valores del estado de régimen o estado estacionario

Resultados:

Las experiencias diseñadas no han sido puestas en práctica, ya que la incorporación a los programas de la asignatura Transferencia de Energía y Operaciones requiere una modificación en el cronograma de la misma, por lo que dicha implementación será puesta en práctica a partir del primer período lectivo del año 2009.

La misma será en forma alternada, es decir llevar a cabo el Trabajo Práctico N°1 en el primer período lectivo, y el Trabajo Práctico N° 2, en el segundo, para aprovechar mejor el tiempo disponible, y además presentar un instrumento adicional de motivación del estudiante.

Conclusiones:

Se han cumplido parcialmente los objetivos presentados en el presente trabajo, ya que si bien el equipo ha sido diseñado y construido y se encuentra en la etapa de puesta a punto, y familiarización en el manejo del mismo por parte del personal docente y pasantes ad honorem, no se han implementado en forma efectiva los Trabajos Prácticos con alumnos de la asignatura.

Es decir, se ha cumplido satisfactoriamente con las etapas de diseño y montaje, y los objetivos de capacitar al personal docente y de investigación, y pasantes en el diseño, construcción y montaje del equipo, resta avanzar en el manejo y optimización de condiciones de operación, y desarrollar en forma efectiva los trabajos prácticos previstos.

Nomenclatura

A: Área de transferencia de calor [m^2]

Bi: Número adimensional de Biot

C_p : Capacidad calorífica [joule / kg °C]

d: Derivada

Fo: Número adimensional de Fourier

h: Coeficiente pelicular de transferencia de calor del medio ambiente [Watt / m^2 °C]

k: Conductividad térmica material [Watt / m °C]

L: Espesor de la probeta [m]

$L_{x, \theta}$: Longitud, función del espacio y del tiempo [m]

L_0 : Longitud característica placa semi infinita [m]

Q: Calor intercambiado [Watt]

$T_{x, \theta}$: Temperatura, función del espacio y del tiempo [°C]

T_1 : Temperatura fuente caliente [°C]

T_2 : Temperatura fuente fría [°C]

T_0 : Temperatura inicial del sólido [°C]

T_{∞} : Temperatura de la perturbación [°C]

X: Función adimensional de longitudes

α : Difusividad Térmica [m^2 /seg]

ρ : Densidad [kg / m^3]

θ : Tiempo de operación [seg]

Ψ : Función adimensional del temperaturas

Bibliografía

- Geankoplis, Christie, (2004); Principios de Transporte y Operaciones Unitarias; 3^{ra} Compañía Editorial Continental; Méjico
- Kreith, F. (2001); Principios de Transferencia de Calor; Editorial Thomson International
- Molyneux, Fernando (1969); Ejercicios de Laboratorio de Ingeniería Química; versión española de Fernando Camacho Rubio y José Luis Sotelo Sancho; Editorial Blume, Madrid.
- Schneider, A.; Rodi, E.; Flores, H.; Granero, M.; Silber, P.; Berga, M.; (1991) Racionalización de Equipamiento de Planta Piloto en el Área de Transferencia de Calor; Jornadas sobre Desarrollo de Equipamiento de Bajo Costo en Facultades de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química, U.N.L..
- Schneider, A.; Gunst, E.; Flores, H.; Rodi, E.; Marcolín, D.; Brondino, A.; (2006) Virutas de Cuero como Aislante Térmico; Trabajo presentado en el XXVI Congreso Argentino de Química. San Luis.
- Schneider, A.; Flores, H.; Rodi, E.; Elizalde, E.; Sian, L.; (2008) Diseño de un Equipo para Determinación de Conductividad Térmica; Trabajo enviado para su aprobación para presentar en el Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Cuyo.