

## **DISEÑO DE UN EQUIPO PARA DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

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

Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral

Santiago del Estero 2654 – (3000) Santa Fe

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

### **Resumen:**

El proyecto que da marco al presente trabajo plantea la recuperación y valorización de las virutas de cuero producidas en las industrias del ramo, obteniendo a partir de las mismas un aglomerado para ser usado como un aislante térmico.

Siendo la conductividad térmica del material aglomerado la propiedad física que determina su aptitud como material aislante, es imprescindible su evaluación. Para su determinación experimental, es necesario contar con el equipamiento e instrumental de medición necesario, siguiendo los procedimientos normalizados.

El presente trabajo apunta a la construcción de un equipo adecuado para la determinación de la conductividad térmica de un material según normas, que a su vez, pueda ser usado en los Trabajos Prácticos de la Asignatura Transferencia de Energía y Operaciones de las carreras Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos de esta Facultad, de cuyo dictado son responsables los autores del presente.

Las Normas IRAM N° 11559 (acondicionamiento térmico, determinación de la resistencia térmica; propiedades conexas en régimen estacionario), fueron tomadas como marco teórico para el diseño del equipo. Las mismas establecen los elementos que constituyen el aparato, determinando algunos parámetros que se deben respetar, como forma tamaño del elemento calefactor, necesidad de una fuente de corriente eléctrica de voltaje variable, sensibilidad y distribución de los sensores de temperatura. Dichos elementos, potencias de las resistencias eléctricas y nivel de temperatura de trabajo, fuente de alimentación y tipo de corriente eléctrica, voltaje máximo, forma de variar el mismo, son calculados, estableciendo el valor de parámetros de acuerdo al material y rango de trabajo para los ensayos propuestos y adoptando otros de acuerdo a la disponibilidad en el mercado y su costo.

Se resaltan algunos detalles constructivos en los elementos que ofrecían mayor dificultad. Posteriormente se hacen algunas consideraciones sobre el acondicionamiento de la muestra en ensayo, y la rutina de trabajo a seguir en la realización de las experiencias.

## **Marco Teórico:**

### *1. Introducción:*

El presente surge como una necesidad del proyecto de investigación “Recuperación y valorización de virutas de cuero – Elaboración de un aglomerado aislante”, en el que se propone utilizar esos residuos, generados en la industria de curtiembre, para fabricar a partir de los mismos un aglomerado que pueda ser utilizado como material aislante. La legislación vigente hoy impone su disposición en reservorios especiales con costo para las empresas.

Para caracterizar la aptitud del material es necesario evaluar algunas propiedades, tales como conductividad térmica y resistencia a la tracción.

En cuanto a la determinación de la conductividad térmica, no se disponía de un equipamiento adecuado para ese propósito, ya que los equipos de laboratorio no cumplían con las normas usualmente utilizadas.

El grupo de docentes investigadores que desarrolla el proyecto es responsable además del dictado de la asignatura Transferencia de Energía y Operaciones en distintas carreras dictadas en la Facultad de Ingeniería Química.

Se plantea la construcción de un equipo capaz de satisfacer las necesidades del proyecto, y que a su vez pueda utilizarse en distintos Trabajos Prácticos en docencia, a implementar en las asignaturas mencionadas.

Por ello se encaró la construcción de un equipo adecuado para cumplir dicho propósito, teniendo en cuenta:

- Debe ser adecuado para obtener información experimental confiable, respondiendo a distintas normas vigentes para la determinación de conductividad térmica en materiales aislantes.
- Minimizar costos, utilizando en su elaboración materiales e insumos disponibles en el mercado local, lo que disminuirá las erogaciones necesarias para construcción y mantenimiento, y además aprovechar la infraestructura disponible en la facultad (servicios e instrumental),
- Tener aptitud para desarrollar trabajos prácticos con alumnos, por lo que debe satisfacer expectativas didácticas.

### *2. Fundamentos:*

La mayoría de los ensayos térmicos se llevan a cabo sobre materiales porosos de baja densidad, similares al producto a estudiar. En todos los casos, el proceso de transferencia de calor involucra una combinación de los fenómenos de radiación y convección hacia el medio ambiente, y conducción a través del material. Además, deben considerarse las interacciones de los fenómenos de transferencia de materia asociados con el transporte de humedad.

Debido a ello, la propiedad de transferencia de calor, comúnmente denominada “Conductividad térmica”, calculada a partir de una fórmula definida y de los resultados de medición del flujo de calor, de diferencia de temperatura y de las medidas de una probeta, puede no ser una propiedad intrínseca del material (Geankoplis, 2004).

Esta propiedad, de acuerdo con distintas normas, se recomienda denominarla “factor de transmisión”, dado que puede depender de las condiciones de ensayo, por lo que se la suele denominar también conductividad térmica aparente o efectiva. Este factor puede tener una significativa dependencia del espesor de la probeta y/o de la diferencia de temperatura, para la misma temperatura media de ensayo.

Por ello el conocimiento de los mecanismos mencionados es de suma importancia cuando esta propiedad debe ser evaluada mediante este método de ensayo, y además ser utilizada para predecir el comportamiento térmico del material para una aplicación práctica, aún cuando otros factores como la mano de obra pueden tener influencia en este comportamiento. Se consideró como marco teórico de referencia las siguientes normas:

- IRAM 11559: Acondicionamiento térmico; Determinación de la resistencia térmica; Propiedades conexas en régimen estacionario (Mayo de 1995)
- ISO 8302: Thermal insulation. Determination of steady – state thermal resistance and related properties (año 1991)

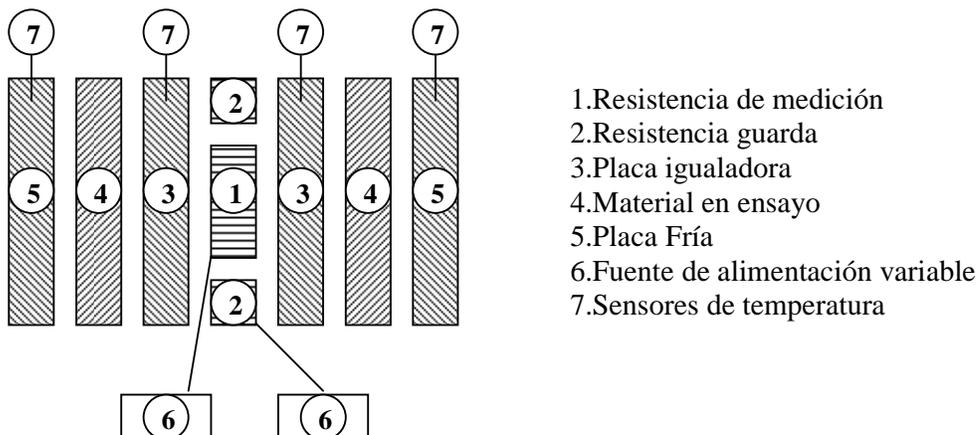
### Objetivos:

Diseño y construcción de un dispositivo que permita la determinación experimental de conductividad térmica en distintos materiales acorde a Normas IRAM 11559 y similares, con la versatilidad necesaria para poder utilizar sus componentes en distintas actividades de docencia.

### Metodología:

La Norma recomienda la utilización de un equipamiento similar al mostrado en la Figura 1 (Norma IRAM 11559):

**Figura 1: Esquema de un conductímetro**



### *Elemento Calefactor:*

El corazón del equipo lo constituye el elemento calefactor, compuesto por las resistencias eléctricas de medición y de guarda, y la fuente de alimentación, de tensión variable. La Norma especifica formas, disposición y dimensiones de las resistencias eléctricas, dejando liberada la potencia de las mismas a las características del material a ensayar y el nivel de temperaturas previsto para realizar las experiencias. Dichos valores deben ser calculados.

Tanto la resistencias de medición como de guarda deben disipar una determinada potencia variable externamente; pero una vez fijado el valor seleccionado, la misma debe mantenerse constante; por lo que la fuente de alimentación debe suministrar una tensión estabilizada con la posibilidad de un ajuste fino de la misma.

Por ello, y considerando además condiciones de seguridad en el manejo del aparato, se adopta para la alimentación corriente continua con una tensión máxima de 40 Volts.

Por razones de costo, en lugar de un varivolt como variador de tensión, se instrumentó un conjunto de resistencias en serie puenteadas a través de dos llaves multipunto de ocho posiciones cada una, en serie, que permiten un ajuste fino, que si bien no es continuo, ofrece variación de tensiones compatibles con las requeridas por norma. Ambas resistencias son alimentadas por circuitos independientes.

Se adopta 600°C como temperatura máxima de trabajo; en esta decisión se tuvo en cuenta los materiales disponibles en el mercado y el costo de los mismos.

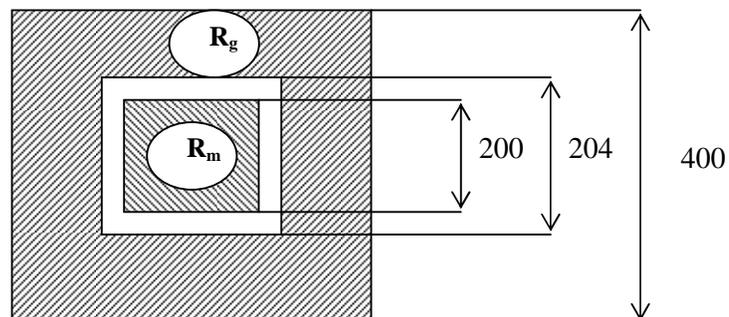
Para definir las potencias necesarias de las resistencias, se adoptaron las características de los materiales a ensayar (espesor, posible valor de conductividad térmica). Los mismos fueron conductividad térmica de 0,02 a 0,50 Watio / m °C (valores compatibles con materiales aislantes y productos alimenticios) y espesores de 20 a 80 mm.

Las potencias resultantes calculadas arrojaron los siguientes valores: resistencia de medición ( $R_m$ ): 40 Watios; resistencia guarda ( $R_g$ ): 120 Watios (Sears y colab.2004),

### *Dimensiones:*

Las formas y dimensiones (en mm), especificadas en norma, se muestran en la siguiente figura (Norma IRAM 11559):

**Figura 2: Dimensiones de la resistencia eléctrica:**



### *Placa igualadora:*

Como su nombre lo indica, su función principal es proponer un plano en contacto con el material en ensayo de temperatura uniforme conocida.

Desde el punto de vista constructivo, permite el montaje, a través de ranuras en su cara en contacto con las resistencias eléctricas, de los cables de alimentación de las mismas (resistencia de medida totalmente rodeada por la resistencia de guarda) y la instalación de los sensores de temperatura en las distintas ubicaciones estipuladas en la norma. De esta manera, se soluciona el montaje de los mismos, recordando que su aislación debe soportar 600°C, por lo que generalmente es un material vitrificado que no permite cambios bruscos de dirección, y de espesor aproximadamente 2 mm. Por razones de costo, y considerando su alta conductividad térmica, el material elegido fue una placa de aluminio de 5 mm de espesor.

### *Placa fría:*

Igual que la anterior propone un plano de temperatura uniforme, controlada, en contacto con el material en análisis y determina la temperatura mínima de la experiencia.

Esta compuesto por una placa de aluminio de 5 mm de espesor, el que está alojado en una serpentina por donde circula agua de enfriamiento provista por un tanque pulmón. La mínima temperatura prevista es de 0°C, el caudal de agua a manejar es 500 lt/h y el salto de temperatura del fluido 0,2°C.

### *Medición de temperatura:*

Está compuesto por un elemento sensor y otro lector.

Elemento sensor: Termo resistor calibrado Tipo TP1000 – catálogo G; Sensibilidad 0,05 °C

Elemento lector: Tester multifunción; Salida numérica para lectura directa; Transductor para alimentación puerto USB computadora, Tipo: Multímetro Digital; Marca: IF – Catálogo Grupo Sur

Distribución: Según ubicación especificada en norma.

### *Técnica operatoria:*

Antes de llevar a cabo las determinaciones experimentales, es necesario llevar a cabo una serie de análisis relacionados con la propiedad específica deseada como resultado de cualquier determinación directa, o con cualquier correlación entre las propiedades determinadas, por ejemplo variación de la conductividad térmica en función de la temperatura.

El análisis está vinculado con el tamaño y forma del equipo, el tamaño y forma de probetas, la necesidad de interponer láminas delgadas de baja resistencia térmica entre la probeta y el equipo, y la conveniencia de guardar las probetas en envolturas cerradas,

herméticas al agua y al vapor, para prevenir la adsorción de humedad posterior al secado o acondicionamiento del material.

Respecto a estos puntos, nos detendremos en el acondicionamiento del material, ya que es una variable importante teniendo en cuenta las características del aislante que queremos estudiar.

El producto es un aglomerado constituido por las virutas de cuero, que se utilizan como carga y el resultado de la hidrólisis de las mismas, que se usa como aglomerante. En el proceso de fabricación se varían tanto la proporción de masa de carga versus aglomerante, las condiciones de la hidrólisis de virutas (temperaturas ambiente o cercanas a la ebullición, reactivos diluidos o concentrados, tiempos cortos o largos), como así también el moldeo y proceso posterior de eliminación de humedad (secado en estufa, al medio ambiente, o en secadero de planta piloto en condiciones controladas del gas), lo que hace que se obtengan productos de naturaleza totalmente distinta que se deben evaluar en el mismo equipo (Schneider y colaboradores, 2007).

Debe tenerse en cuenta además, que las probetas utilizadas deben ser tan idénticas como sea posible, y de tal forma que cubran totalmente la superficie de calefacción, teniendo un espesor suficiente como para dar una representación media verdadera del material a ser ensayado.

#### *Rutina de trabajo:*

1. Preparación y acondicionamiento del material
2. Determinación de la masa, espesor y densidad
3. Selección de las temperaturas de trabajo y potencias necesarias en las resistencias (medición y guarda)
4. Inicio de calentamiento
5. Detección de la diferencia de temperatura en las resistencias de medición y guarda
6. Ajuste de la potencia de la resistencia de guarda para igualar la temperatura a la resistencia de medición
7. Medición de las temperaturas en función del tiempo hasta valores constantes
8. Determinaciones finales
9. Cálculos
10. Informe y evaluación de resultados

#### **Resultados**

Como resultado del presente trabajo, se construyó un equipo apto para ensayos de conductividad térmica, según procedimientos normalizados, en las siguientes condiciones de trabajo:

- Temperaturas de ensayo:
  - Máxima: 600°C
  - Mínima: 0°C
- Disponibilidad de potencias
  - Máxima de ensayo: 40 Watios
  - Total disponible: 20 Watios

- Sensores
  - Rango de temperatura: - 40°C a 700°C
  - Sensibilidad: 0,05°C
  
- Material en ensayo:
  - Forma: placa plana 400 x 400 (mm)
  - Conductividad térmica mínima: 0,02 Watt / m °C
  - Conductividad térmica máxima: 0,50 Watt / m °C
  - Espesor mínimo: 20 mm
  - Espesor máximo: 100 mm

### **Conclusiones:**

Si bien está terminada la etapa de construcción, recién se están llevando a cabo experiencias tendientes al adiestramiento y puesta a punto, por lo que es prematuro sacar conclusiones al respecto.

### **Bibliografía**

- Geankoplis, Christie, (2004); Principios de Transporte y Operaciones Unitarias; 3<sup>ra</sup> Compañía Editorial Continental; Méjico
  
- IRAM 11559 (Mayo de 1995): Acondicionamiento térmico; Determinación de la resistencia térmica; Propiedades conexas en régimen estacionario
  
- Norma ISO 8302; (1991) Thermal insulation. Determination of steady – state thermal resistance and related properties
  
- Schneider, A.; Flores, H.; Rodi, E.; Gunst, E.; (2007), Aglomerado de Virutas de Cuero – Propiedades Térmicas y Mecánicas – Trabajo expuesto en el II Congreso Interamericano de Residuos Sólidos AIDIS – Viña de Mar – Chile.
  
- Sears, F. W.; Zemansky, H.D.; Young, F.A.; Freedman, M.; (2004); Física Universitaria. 11<sup>a</sup> edición. Addison Wesley Longman, México, 2004.

### **Agradecimientos:**

Agradecemos al personal docente y de investigación de la asignatura Instrumentación y Control de Procesos, de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, por el asesoramiento brindado en las adopciones y diseño de los componentes electrónicos del equipo.