



# **VII CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

# **II CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA FERROVIARIA**

15, 16 Y 17 DE SEPTIEMBRE DE 2021



**FoDAMI**

Universidad Tecnológica Nacional

VII Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica y II Congreso Argentino de Ingeniería Ferroviaria : VII CAIM-II CAIFE / compilación de Nancy Quaranta ; Marta Caligaris ; Fernando Palmieri ; editado por Nancy Quaranta ; Marta Caligaris ; Fernando Palmieri. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Universidad Tecnológica Nacional ; San Nicolás de los Arroyos : Facultad Regional San Nicolás, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-42-0210-3

1. Ingeniería. I. Quaranta, Nancy, comp. II. Caligaris, Marta, comp. III. Palmieri, Fernando, comp. IV. Título.

CDD 620.007

ISBN 978-950-42-0210-3



AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN) no percibe fondos desde los congresos / jornadas, la publicación es gratuita y abierta para eventos realizados u organizados en unidades académicas de la UTN



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

# **VII CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

# **II CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA FERROVIARIA**

**15, 16 Y 17 DE SEPTIEMBRE DE 2021**

Facultad Regional San Nicolás (UTN)  
Foro Docente del Área Mecánica de las Ingenierías (Fo.D.A.M.I.)



15, 16 Y 17 DE SEPTIEMBRE DE 2021

## PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE MATERIALES BIOMÁSICOS DEL NEA. CONDUCTIVIDAD, DIFUSIVIDAD, NUMERO DE BIOT

Martina P.<sup>1</sup>, Aeberhard R.<sup>1</sup> y Corace J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Termodinámica y Maquinas Térmicas - Facultad de Ingeniería,  
Universidad Nacional del Nordeste

Av. Las Heras 727, Resistencia, Chaco, Argentina

correo-e: [raquelaeberhard@gmail.com](mailto:raquelaeberhard@gmail.com); [pablomartina264@gmail.com](mailto:pablomartina264@gmail.com); [jjcorace@gmail.com](mailto:jjcorace@gmail.com)

### RESUMEN

La utilización de la biomasa, como fuente alternativa, resulta tecnológicamente prominente, ya que no sólo se puede obtener energía a partir de ella, sino también elaborar nuevos materiales factibles de ser utilizados en la construcción.

En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos del estudio de las propiedades térmicas de ocho probetas, fabricadas total o parcialmente, con materiales biomásicos de la región NEA, como ser madera, aserrín, yerba, tacuaras, virutas, utilizados como mezcla o montados en capas.

Se ha determinado la conductividad térmica mediante el aparato de placa caliente fabricado en el Dpto. de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, según la Norma IRAM 11.559. El flujo de calor en todos los ensayos es unidimensional y está provocado por una placa caliente alimentada mediante energía eléctrica. Las pruebas se realizaron hasta que el sistema superó la fase transitoria y alcanzó la etapa estacionaria o permanente.

A partir de los ensayos completos de conductividad, se determinaron otros parámetros como ser la difusividad térmica, que representa la rapidez con que el calor se difunde a través del material, el número de Biot, obtenido como la razón de la resistencia interna del cuerpo a la conducción de calor con respecto a su resistencia externa a la convección de calor, y el número de Fourier que relaciona la velocidad de la conducción de calor y la velocidad del almacenamiento de energía.

La determinación y cálculo de las propiedades térmicas, en especial para materiales biomásicos de la región NEA, permite realizar un análisis detallado de la transferencia de calor, estimando costos y factibilidad de uso, pudiéndose incluso llegar a simular el comportamiento de los mismos, obteniendo resultados sin necesidad de realizar ensayos largos y costosos.

**Palabras clave:** *materiales biomásicos, conductividad térmica, difusividad térmica, número de Biot, transferencia de calor.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la búsqueda de nuevos materiales, posibles de ser utilizados en la industria de la construcción, se ha incrementado notablemente. Este aumento se debe, principalmente, a las restricciones impuestas por el Protocolo de Kioto, respecto a la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI).

Una opción, para sustituir los materiales de construcción tradicionales, es la utilización de la biomasa, como fuente renovable barata, segura y efectiva.

La biomasa, resulta tecnológicamente prominente, ya que no sólo se puede obtener energía a partir de ella, sino también elaborar nuevos materiales factibles de ser utilizados en la construcción contribuyendo al reciclado de residuos y, por lo tanto, a mejorar el medio ambiente.

### 1.1 Antecedentes

Los proyectos de investigación realizados por el grupo G.I.D.E.R. (Grupo de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables) están dirigidos, principalmente, al estudio de la utilización de la biomasa no sólo para la obtención de energía, sino también, a su empleo en la fabricación de materiales constructivos.

Los resultados alcanzados en dichos proyectos demostraron que para mejorar tanto la calidad como también la rentabilidad en el proceso de fabricación de los materiales constructivos, es necesario estudiar el almacenamiento y transporte del calor a través de la estructura de los mismos.

### 1.2 Propiedades térmicas

#### 1.2.1 Conductividad Térmica

En todas las aplicaciones prácticas desempeña un papel importante el coeficiente de conductividad térmica. Este coeficiente es una constante del material, que depende también de la dirección del flujo de calor, de la temperatura y del grado de humedad del mismo.

La conductividad térmica se define como la cantidad de calor que se transmite en una dirección, por unidad de tiempo y de superficie, cuando el gradiente de temperatura es unitario (Norma Iram 11.549 Acondicionamiento térmico de edificios. Definiciones). Este coeficiente se indica con la letra griega lambda  $\lambda$ , y su unidad se expresa en  $W/(m.K)$ .

La determinación de la conductividad térmica de los materiales es un factor fundamental para realizar estudios de calefacción y acondicionamiento térmico en edificios, ya que ésta propiedad indica la cantidad de calor que se pierde o se gana en un ambiente, habitación, etc.

Según la ley que rige la transferencia de calor en los sólidos (Ley de Fourier de la conducción), una vez que se ha alcanzado el régimen permanente, la velocidad de transmisión calorífica a través de un muro viene dada por la Ecuación (1):

$$q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

Donde  $q$  es la velocidad de transmisión del calor a lo largo del espesor, en  $cal/seg$

$\lambda$  es el coeficiente de conductividad térmica del material, en  $W/m.K$

$A$  es la sección del material, perpendicular al flujo del calor, en  $m^2$ .

$dt$  es la variación de temperatura entre las caras fría y caliente, en  $^{\circ}C$ .

$dx$  es el espesor en la dirección  $x$ , en metros.

De la Ecuación (1) se obtiene el coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$ , en función de los demás parámetros.

Las conductividades térmicas de los sólidos deberían determinarse experimentalmente ya que dependen de numerosos factores que son difíciles de medir o predecir. En el caso de sólidos porosos, como por ejemplo materiales construido con biomasa, la conductividad térmica depende extraordinariamente de la fracción de huecos, del tamaño de los poros y del fluido que está contenido en los mismos.

### 1.2.2 Difusividad térmica

La difusividad térmica es una propiedad física cuya importancia radica en que es única para cada material muy sensible a la composición y estructura de los mismos.

Viene dada por la siguiente expresión, Ecuación (2):

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (2)$$

Donde:  $\alpha$  es la difusividad térmica en  $m^2/seg$

$\lambda$  es el coeficiente de conductividad térmica del material, en  $W/m.K$

$\rho$  es la densidad  $kg/m^3$

$c$  el calor específico en  $kcal/kg.K$

Como se observa en (2), la difusividad térmica establece la relación entre el potencial de un material para conducir calor dado por el coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$ , y el producto de la densidad por el calor específico,  $\rho \cdot c$ , que representa la capacidad del mismo para almacenar energía térmica.

### 1.2.3 Número de Biot

El número de Biot es un valor adimensional dado por la siguiente relación, Ecuación (3):

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{\lambda} \quad (3)$$

Donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección,  $W/m^2.K$

$L_c$  es una dimensión de longitud característica que se obtiene dividiendo el volumen del cuerpo y su superficie, en m.

Está dado por la razón entre la resistencia al flujo interno de calor por conducción dentro de un material y la resistencia al flujo externo de calor por convección en la superficie del mismo, es decir, que su magnitud es una medida relativa de la resistencia térmica dentro de un cuerpo sólido.

### 1.2.4 Número de Fourier

El número de Fourier relaciona una dimensión característica de un cuerpo con la profundidad aproximada de penetración de la onda de temperatura, para un tiempo dado.

Matemáticamente viene dado por la Ecuación (4):

$$F_0 = \frac{\alpha \cdot \tau}{L_c^2} \quad (4)$$

Donde  $\alpha$  y  $L_c$  son la difusividad térmica y la longitud característica respectivamente, definidos en párrafos anteriores, y  $T$  es el tiempo en segundos.

## 2. METODOLOGÍA

Las normas indican que el coeficiente de conductividad térmica se obtiene mediante la utilización de un aparato denominado de **placa caliente**, que consiste esencialmente en una fuente caliente constituida por una placa calefactora que comprende una parte central, resistencia interior, y un anillo de guarda, separados por un espacio no mayor de 3mm. Esta fuente está ubicada en el centro del equipo.

La fuente caliente se alimenta por medio de 4 conductores eléctricos (2 en la zona central y 2 en el anillo de guarda). Estos conductores se conectan a 2 variadores de tensión que permiten una alimentación progresiva de la corriente eléctrica que calienta paulatinamente la placa caliente.

De este circuito eléctrico se miden permanentemente la tensión y la corriente. A ambos lados de la placa o fuente caliente, se colocan 2 placas de material conductor (preferentemente cobre, pudiendo utilizarse aluminio u otros) con el objeto de formar una superficie homogénea de transmisión del calor.

Superpuestas a las placas conductoras se ubican las probetas del material a experimentar, y a continuación las planchas metálicas correspondientes a la fuente fría. Estas fuentes están compuestas por serpentines que permiten la circulación del agua de la red a efectos de mantener constante la temperatura. Todo lo expuesto se indica en la Figura 1:

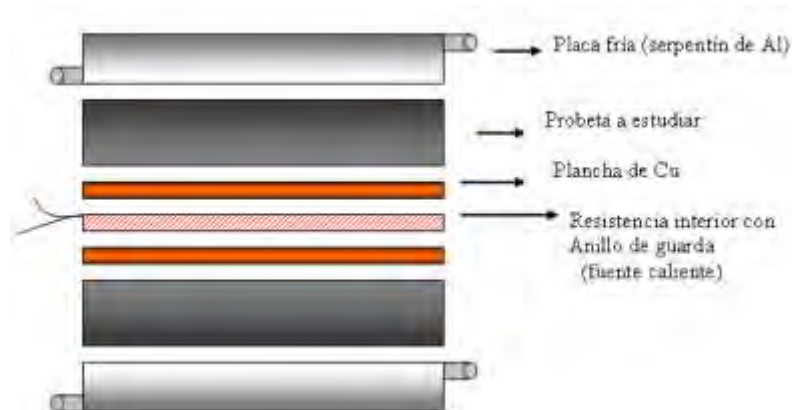


Figura 1: Ubicación de las probetas y fuentes de calor

En ambas caras de la probeta a ensayar deben colocarse termocuplas en número suficiente para registrar permanentemente las temperaturas de la superficie fría y caliente. El conjunto se rodea de un material aislante para impedir fugas de calor al exterior. Se forma así una especie de "sándwich" horizontal formado por varias capas, donde el calor causado por la resistencia eléctrica en el centro se transmite hacia ambos lados externos por conducción.

Las experiencias se realizaron con ocho probetas de diferentes materiales: algarrobo macizo, yerba, arroz, diario y bórax, aserrín y muestras conformadas de mezclas de: ladrillos de arena (40%) + pasta de poliestireno (10%) en bolitas fundido con nafta + aserrín de pino blanco tamizado (50%), ladrillos de suelo-cemento-virutas-agua en las siguientes proporciones: suelo tamizado:12 partes, cemento: 4 partes, virutas chicas de diversas maderas: 6 partes, agua: 6 partes y ladrillos de suelo-cemento-virutas-agua en las mismas proporciones que el anterior, pero conteniendo en su interior una capa aislante de tacuaras cilíndricas de aprox. 1,5 cm de diámetro y 30 cm de largo, totalmente cubiertas por la mezcla de suelo, cemento, virutas y agua.

Todos los ensayos se efectuaron con la misma metodología. Al inicio de cada prueba, se reguló el variador de tensión para que entregara una intensidad de corriente baja, y luego se aumentó lentamente la misma para alcanzar una temperatura de fuente caliente entre 60°C y 70°C. En ese punto se dejó fija la corriente eléctrica, y la temperatura de la fuente fría comenzó a aumentar hasta alcanzar, luego de 20 a 22 hs, una temperatura de entre 30°C y 40°C, mientras se hizo circular agua de red por el serpentín de la placa o fuente fría.

El objeto de estas fuentes es generar una fuente fría de temperatura constante. Las fuentes frías se construyeron con placas de aluminio, dentro de las cuales se encuentra un serpentín de agua, por el cual circula en forma permanente agua de red. Las medidas de estas placas son: 30cm\*30cm\*3,9cm de espesor, mientras que los serpentines interiores tienen un diámetro de 11 mm.

Aproximadamente a las 26 hs, el sistema ya había alcanzado el estado estacionario (las temperaturas permanecían constantes), registrándose a partir de ese momento los valores de temperatura de la fuente fría, fuente caliente y potencia entregada a la placa, datos con los que se calculó la conductividad térmica, teniendo en cuenta el espesor y la sección de pasaje del calor de cada probeta.

En las **Figuras 2 y 3**, se observa la disposición de las probetas y las fuentes en el aparato de placas y una de las probetas utilizada en los ensayos:



Figura 2: Disposición de las probetas y fuentes



Figura 3: Probetas de madera de algarrobo

En la **Figura 4**, se muestra al aparato de placas con las termocuplas colocadas en las superficies de las muestras y en la **Figura 5** el dispositivo listo para comenzar los ensayos.



Figura 4: Ubicación de las termocuplas



Figura 5: Dispositivo listo para ensayar

### 3. ANÁLISIS DE CÁLCULOS Y RESULTADOS

Con los datos obtenidos experimentalmente y despejando de la Ecuación (1), se obtuvo el coeficiente de conductividad térmica. Éste procedimiento se realizó para cada muestra.

Una vez obtenido el coeficiente de conductividad térmica se procedió a calcular la difusividad térmica mediante la ecuación (2), conociendo la densidad de las muestras y determinando, por métodos calorimétricos los respectivos calores específicos. Este valor es de suma importancia ya que indica la rapidez de un cuerpo al cambio de temperatura y es una propiedad específica de cada material.

Debido a que el equipo de placa caliente para determinar la conductividad térmica está totalmente cerrado y no hay partes o caras expuestas a la convección, la transferencia del calor

se efectúa totalmente por conducción, es por ello que no tendría sentido el cálculo del número de Biot, ya que en su determinación interviene el coeficiente de convección. Sin embargo, se procedió a su cálculo suponiendo que el material estudiado sea utilizado, por ejemplo, en una pared, caso típico de transferencia de calor por conducción y convección combinadas.

El número de Biot ( $Bi$ ) se determinó aplicando la ecuación (3) donde interviene la longitud característica, que resulta de dividir el volumen del cuerpo y su superficie, y los coeficientes de conductividad y de convección térmica.

Para el cálculo de  $Bi$  se utilizó un valor del coeficiente convectivo de  $h=12 \text{ watt/m}^2\text{K}$ , obtenido como promedio de los valores de  $h$ , para el rango de temperatura en los que se trabajó.

Conociendo el número de Biot, se puede realizar un análisis de la transferencia de calor ya que éste representa la relación entre la resistencia interna del material a la conducción del calor, dado por  $L_c/\lambda$ , y la resistencia a la convección en la superficie según  $1/h$ .

Se puede establecer que, si el número de Biot es pequeño, el cuerpo ofrece poca resistencia a la conducción del calor.

El valor que toma el número de Biot permite elegir el método utilizado para el estudio de la transferencia de calor. Cuando  $Bi \leq 0,1$  se utiliza el análisis de sistemas concentrados donde se admite en el material una distribución uniforme de temperatura.

Cuando  $Bi > 0,1$  el análisis de sistemas concentrados ya no es aplicable por lo que se utilizan soluciones aproximadas de un término. Para este estudio debe conocerse el número de Fourier que se obtiene a partir de la ecuación (4).

Los datos de las variables termométricas, obtenidos en forma experimental y adquiridos mediante cálculos, para las muestras ensayadas, se volcaron en la **Tabla 1**:

Tabla 1: Datos de las variables termofísicas obtenidos en forma experimental y mediante cálculo

Muestra	$\lambda$ watt/m.K	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Ce kcal/kg*K	Difusividad $\alpha$ (m <sup>2</sup> /seg)	Lc m	$Bi$
<b>Algarrobo macizo</b>	0,260	697,11	0,51	$1,75 \cdot 10^{-07}$	0,02	0,92
<b>Yerba</b>	0,083	333	0,31	$1,927 \cdot 10^{-07}$	0,036	5,195
<b>Arroz</b>	0,206	649,4	0,394	$1,927 \cdot 10^{-07}$	0,034	1,98
<b>Diario+borax</b>	0,401	98,02	0,203	$4,822 \cdot 10^{-06}$	0,034	1,017

<b>Arena+pasta poliest+aserrin</b>	0,338	121,66	0,268	$2,479 \cdot 10^{-06}$	0,04	1,421
<b>Aserrin</b>	0,120	301,96	0,52	$1,825 \cdot 10^{-07}$	0,031	3,105
<b>Suelo-cemento-viruta-agua</b>	0,724	1196,61	0,473	$3,06 \cdot 10^{-07}$	0,04	0,663
<b>Sue-cem-virut-ag-tacuaras</b>	0,651	1160,21	0,469	$2,867 \cdot 10^{-07}$	0,04	0,738

En la Tabla 1 se puede observar que, de los materiales estudiados, los que poseen una alta difusividad térmica, el calor se propaga con rapidez, por lo que la temperatura del ladrillo varía cuando cambia bruscamente la temperatura en la superficie del mismo.

Este comportamiento se observa en las muestras de diario-bórax y en la de arena-pasta poliestireno- aserrín. En estos dos ejemplos, si bien el coeficiente de conductividad térmica es inferior a otras muestras (suelo-cemento-viruta-agua y suelo-cemento-viruta-agua-tacuaras), las densidades de ambas son bajas, lo que según la Ecuación (2) da como resultado un valor considerable de la difusividad térmica.

Respecto al número de Biot, como se indicó en párrafos anteriores, se supuso para su cálculo que el elemento estudiado sería utilizado como material para la construcción, por ejemplo, de una pared, caso típico de transferencia de calor combinada por conducción y convección, por lo que los cálculos de  $Bi$ , para todas las muestras, se realizaron con el mismo valor del coeficiente pelicular  $h$ .

Como ya se mencionó, un número bajo de  $Bi$ , corresponde a materiales donde la conducción de calor dentro del mismo es mucho más rápida que la convección en la superficie de éste. Caso contrario, para un  $Bi$  relativamente grande, la resistencia a la conducción del calor en el interior de la muestra es grande en relación a la resistencia por convección, tal el caso de las probetas fabricadas de yerba con un valor de 5,195 y la de aserrín cuyo número de Biot es de 3,105.

El número  $Bi$ , adimensional, se utiliza junto con el número de Fourier dado por la Ecuación (4), para resolver problemas de transferencia de calor por conducción transitoria y predecir la variación de temperaturas con el tiempo.

Si bien el estudio de las variaciones de temperatura dentro de un material no es objeto de la presente publicación, se pretende, en trabajos futuros, determinar éstas fluctuaciones térmicas para un material determinado.

#### 4. CONCLUSIÓN

Se han obtenido las siguientes propiedades termofísicas: coeficiente de conductividad térmica, difusividad térmica, número de Biot y número de Fourier, para ocho probetas de diferentes materiales: algarrobo macizo, yerba, arroz, diario y bórax, aserrín y muestras conformadas de

mezclas de: ladrillos de arena - pasta de poliestireno en bolitas fundido con nafta - aserrín de pino blanco tamizado, ladrillos de suelo-cemento-virutas-agua y ladrillos de suelo-cemento-virutas-agua - tacuaras.

La determinación y estudio de las propiedades termofísicas para nuevos materiales elaborados con biomasa residual, permitirá predecir y simular campos de temperatura para procesos de transferencia de calor en condiciones no estacionarias. La simulación admitirá examinar el comportamiento de los mismos, obteniendo resultados sin necesidad de realizar ensayos largos y costosos.

Los residuos biomásicos, como materia prima renovable y disponible localmente, no son aún totalmente aprovechados. En muchas aplicaciones estos residuos, o sus mezclas con otros sólidos, podrían ocupar un rol significativo en el reemplazo de materiales que normalmente se utilizan en la construcción y reducirían, de esta manera, los impactos negativos que éstos provocan para el medio ambiente.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cengel, Y.; Ghajar A.; Transferencia de Calor y Masa. Fundamentos y Aplicaciones. 4° Edición. Mc. Graw Hill. 9786071505408 (2011)
- [2] Crank. J.; *The mathematics of diffusion*. 2<sup>nd</sup> Ed., Oxford University Press, London, pp. 69-88 (1975).
- [3] Muñoz Hernández, R. A.; Calderón, A.; Sánchez Ramírez, J. F.; Herrera Pérez, J. L.; Cruz-Orea, A.; López López, M.; Sánchez Sinencio, F. Estudio de la difusión de calor en sistemas de dos capas de GaAs/GaSb unidos mediante la técnica de fusión Superficies y vacío, Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales A.C. Distrito Federal, México vol. 8, pp. 94-98 (1999)
- [4] Calderón, A.; Alvarado Gil J. J., YG. Gurevich, A. Cruz Orea, I. Delgadillo, H. Vargas and L.C.M. Miranda, *Physical Review Letters* 79, 5022-5025 (1997).
- [5] YS. Touloukian, RW. Powell, RW HO CY and MC. Nicolu, *Thermophysical Properties of Matter*, Vol. 10, Plenum, New York, (1970).
- [6] Ziegler G. And DPH. Hasselman, *Journal of Materials Science*. 16, 495-503, (1981).
- [7] Martina, P., Corace J., Aeberhard A., Aeberhard R. Fabricación de un equipo de placa caliente para medir conductividad térmica Autores: Revista Averma, vol 8, año 2004, ISSN 0329-5184 y también presentado en la Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar y Medio Ambiente, ASADES, octubre de 2004, La Plata. Cantidad de páginas: 6. <http://actas.asades.org.ar/index.php/asades/asades2004>