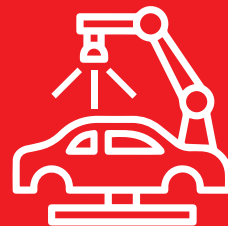


# Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería

- | Enseñanza de la Ingeniería-CAEDI
- | Gestión de la Educación en Ingeniería
- | Agrimensura, Geodesia y Ciencias de la tierra y el mar
- | Biotecnología y Bioingeniería
- | Materiales y Nanotecnología aplicada a los materiales
- | Desarrollo Tecnológico Social, Vinculación Universidad, Empresa y Estado
- | Ejercicio Profesional de la Ingeniería, Empresas y Servicios
- | Ferroviaria, Automotriz, Naval y Transporte
- | Alimentos y Agroindustria
- | Agronomía y Forestal
- | Energía, Energías Limpias, Energías Renovables y Eficiencia Energética
- | Ingeniería Sostenible, Gestión Ambiental y Cambio Climático
- | Innovación y Emprendedorismo en Ingeniería
- | Mujeres en Ingeniería y Cambio Social
- | Obras y Proyectos de Ingeniería, Infraestructura y Conservación del Patrimonio
- | Tecnología de la Información y Comunicación



**Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería : edición 2022 / José Basterra...**

[et al.] ; contribuciones de Carolina Orcola ; compilación de Martina Perduca ; prólogo de Nestor Braidot ; Jose Basterra. - 1a ed compendiada. - Corrientes : Universidad de la Cuenca del Plata. Secretaría de Políticas del Conocimiento, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4050-08-3

1. Ingeniería. 2. Educación. I. Basterra, José, prolog. II. Orcola, Carolina, colab. III. Perduca, Martina, comp. IV. Braidot, Nestor, prolog.

CDD 620.007

ISBN 978-987-4050-08-3



## Placa de algarrobo: simulación del comportamiento térmico en régimen transitorio unidireccional.

Martina Pablo<sup>a</sup>, Aeberhard M. Raquel.<sup>a</sup> y Corace Juan<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Termodinámica y Maquinas Térmicas Fac.de Ing. UNNE

Av. Las Heras 727, Resistencia, Chaco, Argentina

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

### Resumen

El uso 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.

El objetivo del presente trabajo es exponer los resultados, obtenidos del estudio de la transmisión de calor por conducción, en el interior de una placa de madera de algarrobo, y por convección en su superficie, determinándose, mediante ecuaciones, la temperatura superficial desde el inicio y con un intervalo de 10 minutos.

A partir de los ensayos completos de conductividad, y teniendo en cuenta que el flujo de calor es unidimensional, se determinaron otros 3 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. Finalmente se compararon estos valores con los alcanzados en forma experimental, obteniéndose muy buena concordancia.

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.

### Abstract

The use of biomass, as an alternative source, is technologically prominent, since not only can energy be obtained from it, but also new materials that can be used in construction can be produced.

In the present work, the results obtained from the study of heat transmission by conduction, inside a carob wood plate, and by convection on its surface, are exposed, determining by formulas the surface temperature from the beginning and with an interval of 10 minutes.

From the complete conductivity tests, and taking into account that the heat flow is one-dimensional, 3 other parameters were determined, such as thermal diffusivity, which represents the speed that heat diffuses through the material; the Biot number, obtained as the ratio of the body's internal resistance to heat conduction to its external resistance to heat convection; and the Fourier number that relates the speed of heat conduction and the speed of energy storage. Finally, these values were compared with those obtained experimentally, obtaining very good coincidence.

The determination and calculation of the thermal properties, especially for biomass materials of the NEA region, allows a detailed analysis of the heat transfer, estimating costs and feasibility of use, being able to even simulate their behavior. obtaining results without the need to carry out long and expensive tests.

*Palabras clave:* Simulación, conductividad térmica, difusividad térmica, número de Biot, transferencia de calor

### 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.

Los proyectos de investigación realizados por el grupo G.I.D.E.R. (Grupo de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables) [1], 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.

Para la realización del presente trabajo se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos teóricos:

**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):

$$q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dt}{dx} \tag{1}$$

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.

**Difusividad térmica**

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

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

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \tag{2}$$

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.

**Número de Biot**

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

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{\lambda} \tag{3}$$

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.

### 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  $\tau$  es el tiempo en segundos.

## METODOLOGÍA

### Determinación de las propiedades termofísicas

Para la realización de los ensayos, se utilizó una placa de madera de algarrobo de 4 cm de espesor cuyas características son, tabla 1:

**Tabla 1: Características físicas de la muestra ensayada**

Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Ce (Kcal/Kg.K)
697,11	0,51

Ambos valores se obtuvieron para un contenido de humedad de 14% (base seca), humedad de equilibrio higroscópico para nuestra zona.

La experiencia consistió en depositar una placa de madera de algarrobo en estufa a 60 °C ( $T_0$ ) hasta que la misma alcanzó una temperatura uniforme. Luego se la dejó enfriar en el ambiente a temperatura constante de 10 °C ( $T_\infty$ ).

Las temperaturas superficiales de placa se calcularon y se compararon con los valores medidos, registrándose el tiempo que tardó la muestra en alcanzar  $T_\infty$ .

Se determinó la temperatura de la muestra en la mitad del espesor, considerando un tiempo de 50 minutos.

Finalmente se calculó el calor que fue cediendo la placa en 4 intervalos iguales de 47,5 minutos cada uno.

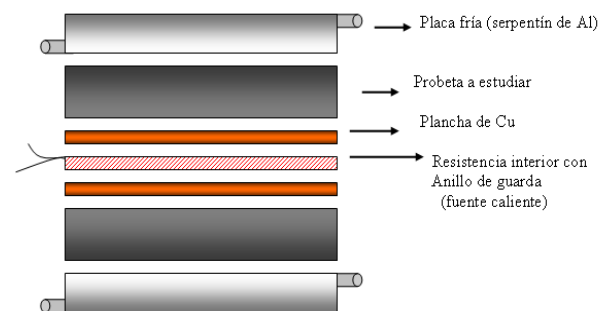
La determinación de las propiedades físicas fueron realizadas utilizando un equipo de placa caliente [1], que consiste esencialmente en una fuente caliente constituida por una placa calefactora que comprende una parte central, resistencia interior, y un anillo de

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 [2]. Todo lo expuesto se indica en la Figura 1:



**Figura 1: Ubicación de las probetas y fuentes de calor**

Mediante este dispositivo se obtuvo en forma directa el coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$ , y, en forma indirecta, la difusividad térmica  $\alpha$  y el número de Biot  $Bi$ , siendo  $L_c$  la longitud característica igual al espesor de la muestra dividido 2.

Dichos valores se exponen en la tabla 2:

**Tabla 2: Propiedades térmicas de la madera de algarrobo**

$\lambda$ W/m.K	Difusividad $\alpha$ (m <sup>2</sup> /seg)	$L_c$ m	$Bi$
0,260	$1,75 \cdot 10^{-07}$	0,02	0,92

**Cálculo de la temperatura superficial**

Para obtener la temperatura en la superficie de la pared de algarrobo, se consideraron dos suposiciones. La primera fue determinar la temperatura según el análisis de sistemas concentrados o de resistencia interna despreciable.

Este análisis, de idealización del proceso de transferencia de calor, tiene en cuenta que la temperatura, en el interior del cuerpo, permanece uniforme en todo momento [3].

Para considerar este criterio de estudio, el cuerpo debería tener una alta conductividad térmica y bajo coeficiente de convección, por lo que se debería cumplir, como límite de aplicabilidad, un valor del número de Biot (BI) menor o igual a 0,1.

Según los datos obtenidos para la muestra de algarrobo, y tomando como longitud característica un valor de:  $L_c = 0,02 m$ , el número de Biot resultó de  $Bi = 0,92$ , valor mayor al requerido para aplicar el método de sistemas concentrados, por lo que se optó por la segunda suposición.

En el segundo método, se consideró la transmisión del calor en régimen transitorio, [4] es decir que la temperatura, dentro del cuerpo, varía con el tiempo y la posición y, además, que el mismo posee simetría geométrica y térmica respecto a su plano central.

La aplicación de este análisis supone una solución que abarca series infinitas y ecuaciones implícitas, cuya resolución no sólo es complicada sino que es muy difícil de evaluar.

Debido a lo expuesto en el párrafo anterior, se siguió una forma simplificada a través de gráficos y tablas, donde las relaciones que intervienen son simples de calcular y valorar. Este método, llamado de aproximación de un término, considera que las soluciones en serie convergen rápidamente al aumentar el tiempo, y que el número de Fourier  $Fo > 0,2$ .

Para los cálculos se tuvo en cuenta el número de Biot y el número de Fourier de tal forma que ecuaciones (5) y (6):

$$\frac{1}{Bi} = \frac{\lambda}{hL} \tag{5}$$

$$Fo = \frac{\alpha t}{L^2} \tag{6}$$

Con dichas fórmulas e ingresando en la Figura 2, se obtuvo el valor de la ecuación (7) por extrapolación:

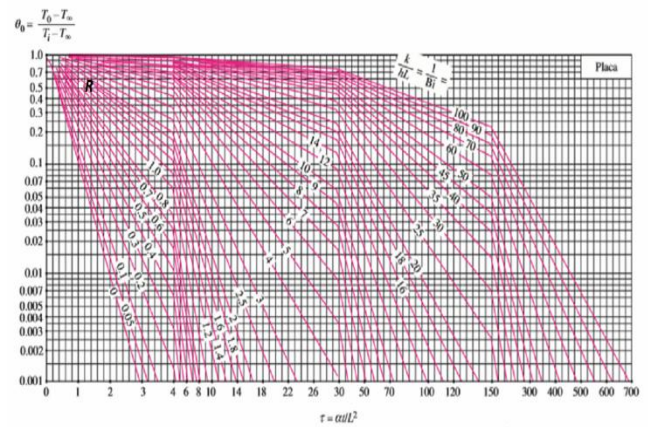


Figura 2: Temperatura del plano medio. [4]

$$\frac{T_0 - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \tag{7}$$

Procediendo de la misma manera, se adquirió mediante las ecuaciones (5) y (8) el resultado de la ecuación (9) por extrapolación utilizando la figura 3:

$$\frac{1}{Bi} = \frac{\lambda}{hL} \tag{5}$$

$$\frac{x}{L} = \frac{L}{L} = 1 \tag{8}$$

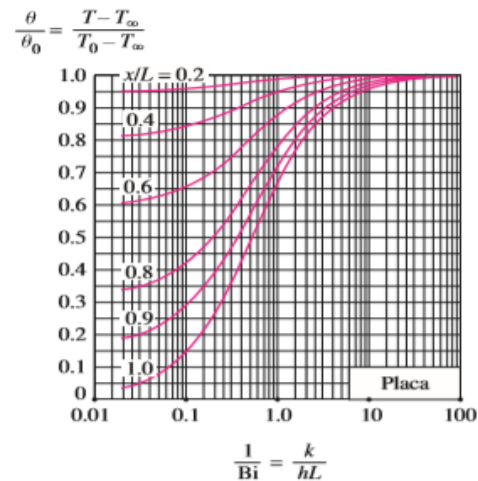


Figura 3: Distribución de temperatura. [4]

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} \tag{9}$$

Una vez adquiridos los valores, a partir de las ecuaciones (7) y (9), se pudo obtener la temperatura en la superficie despejando T de la ecuación (10):

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} \cdot \frac{T_0 - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \tag{10}$$

Para comparar las temperaturas calculadas adquiridas en forma teórica, también se midieron las temperaturas superficiales de la placa de algarrobo de 4 cm de espesor (en ambos casos cada 5 min).

La medición de las temperaturas se realizó con un termómetro infrarrojo, considerando el mismo intervalo de tiempo que la contemplada en la simulación, para una temperatura inicial y final de placa de 60 °C y 10 °C respectivamente, teniendo en cuenta que, para la madera de algarrobo, la emisividad es de:  $e = 0,87$ .

### Cálculo de la temperatura en el interior de la placa de madera

Una vez obtenida la temperatura superficial, se realizaron los cálculos para conocer la temperatura dentro de la placa de madera y la transferencia de calor en la misma, se optó por realizar los cálculos a los 50 minutos de iniciado el proceso.

Para ello se tuvo en cuenta que:  $\alpha = 1,75 \cdot 10^{-07}$ , por lo que el número de Fourier resultó de (6) igual a:  $Fo = 1,312$  . y, debido a que se cumple que:  $Fo > 0,2$ , se obtiene la solución mediante el método de aproximación de un término.

Luego, con los valores de  $1/Bi$  (5) y el número de Fourier (6) se obtiene la ecuación (7) del diagrama de la Figura 2.

### Cálculo del porcentaje de calor transmitido a los 50 minutos

Finalmente se determinó el porcentaje, del calor total, que se transfirió a los 50 minutos de iniciado el proceso.

Para ello se consideró que el calor total transferido por el panel de madera es:

$$Q_T = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad (11)$$

Y, a partir de la Figura 4, se obtuvo la relación de transferencia de calor, entre el calor transferido a los 50 minutos y el calor máximo que puede transmitir la madera, conociendo  $Bi$  y  $Fo$ :

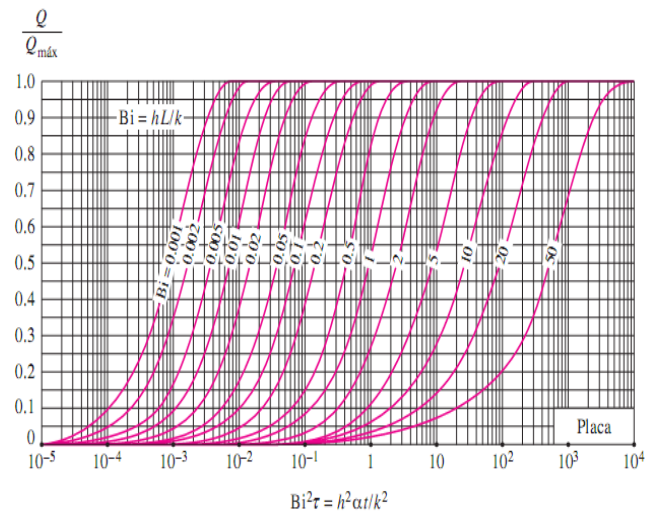


Figura 4: Transferencia de calor [4]

### Cálculo de calor transmitido en cuatro intervalos

Para comparar el tiempo total que duró el proceso (190 minutos) y el calor máximo transmitido, se dividió el tiempo en cuatro partes, como una forma de conocer la cantidad de calor transmitida en cada cuarto del mismo.

## CÁLCULOS Y RESULTADOS

### Cálculo de la temperatura superficial

Para la realización de los cálculos se consideraron las siguientes condiciones, Tabla 3:

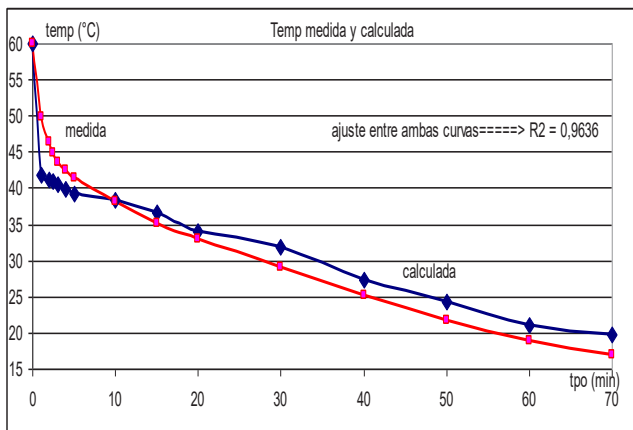
Tabla 3: Condiciones de inicio

Espesor de la madera cm	T. inicial °C	T. ∞ °C	Coef. Convección h Watt/m²K
4	60	10	12

Las temperaturas de la superficie de la placa de algarrobo, se midieron cada 5 minutos, despejando la temperatura a partir de la ecuación (10).

Para ello se calculó el valor del número de Fourier en función del tiempo, de acuerdo a la ecuación (6) y se determinaron, por extrapolación a partir de las Figuras 2 y 3 las temperaturas superficiales según (10).

En la Figura 5, se comparan las curvas de las temperaturas superficiales obtenidas en forma experimental, a través de un termómetro infrarrojo, y calculadas mediante el método llamado de aproximación de un término:



**Figura 5: Comparación entre las temperaturas superficiales obtenidas en forma experimental y calculadas.**

En la Figura 4, se observa que, en los primeros 5 minutos, las curvas no dan valores precisos de temperaturas. Ésto se debe a que, en ese intervalo de tiempo, el número de Fourier,  $Fo$  (6), es menor a 0,2.

Luego, a partir de los 5 minutos de iniciado el proceso de transmisión, el número de Fourier comienza a aumentar y los valores calculados se ajustan a la realidad.

**Cálculo de la temperatura en el interior de la placa de madera**

El cálculo de la temperatura, en el interior de la placa de madera de algarrobo, se llevó a cabo para un tiempo de 50 minutos de iniciado el proceso de enfriamiento, considerando la temperatura inicial de 60°C y la temperatura infinita de 10°C.

Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla 4:

**Tabla 4: Resultados obtenidos para la temperatura interior de la placa**

$\alpha$ (m <sup>2</sup> /seg)	$Fo$ (50 min)	1/Bi	$\frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty}$ (7)	$T_0$ °C
1,75.10 <sup>-07</sup>	1,312	1,08	0,44	32

Observando la tabla 4, se concluye que, al cabo de 50 minutos de iniciado el proceso de enfriamiento, la temperatura en el interior de la placa era de 32 °C.

**Cálculo del porcentaje de calor transmitido a los 50 minutos**

Aparte del cálculo del porcentaje de calor transmitido a los 50 minutos, se determinó el calor total que la tabla de madera de algarrobo podía transmitir mediante la ecuación (11) siendo:

\* Masa del algarrobo:  $m_{algarrobo} = 27,3 \text{ kg}$

\*Calor específico del algarrobo:  
 $c_e = 0,51 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$

\*Variación de temperatura  $\Delta T = 50^\circ\text{C}$

A partir de estos datos y utilizando la ecuación (11) resultó:

$Q_T = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 696,15 \text{ kcal}$

Para el cálculo de la cantidad de calor transmitida a los 50 minutos, se calculó el valor de:

$Bi^2 \cdot Fo = 0,92^2 \cdot 1,312 = 1,11$  (12)

Con el valor anterior y sabiendo que el número de Biot es :  $Bi = 0,92$  se obtiene, por extrapolación de la Figura 4, la relación entre el calor transmitido a los 50 minutos y el calor total, resultando:

$\frac{Q_{50}}{Q_T} = 0,77$  de tal forma que:

$Q_{50} = Q_T \cdot 0,77 = 696,15 \text{ kcal} \cdot 0,77 = 536 \text{ kcal}$

De lo anterior se concluye que, al cabo de 50 minutos se transfirieron 536 kcal de un total de 696,15 kcal.

**Cálculo de calor transmitido en cuatro intervalos**

Finalmente para comparar el tiempo total de transmisión del calor (190 minutos) y el calor total transmitido (696,15 kcal), se procedió a dividir el tiempo total en cuatro partes, de tal forma de obtener el calor transmitido en cada cuarto de tiempo.

De esta forma se pudo evaluar en qué cuarto de tiempo se transmitió la mayor cantidad del calor total.

Para obtener el tiempo total de transmisión, es decir el tiempo en llegar la tabla de algarrobo a la temperatura ambiente, se procedió de la siguiente manera:

Con  $1/Bi=1,08$  y  $x/L=L/L=1$  se recurre a la Figura 3, y del gráfico, se obtiene (9):

$\frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = 0,65$

De la ecuación (10) se extrae la constante  $\Theta$ , ya que:

$\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} \cdot \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = 0,65 \cdot \theta = 0,02$

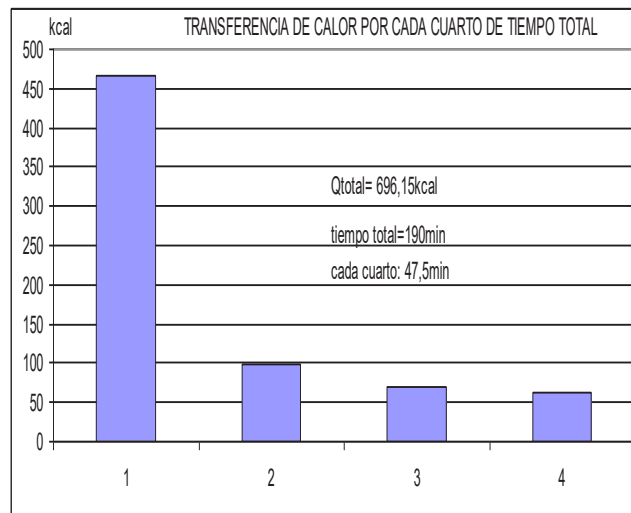
De donde:  $\theta = \frac{0,02}{0,65} = 0,03$

Finalmente con el valor obtenido en el cálculo anterior y  $1/Bi=1,08$  se obtiene el número de Fourier de la Figura 2, obteniéndose  $Fo = 5$ .

Sabiendo que (6):

$$Fo = \frac{\alpha t}{L^2} \rightarrow t = 11428 \text{ seg} = 190 \text{ min}$$

Los resultados de la transferencia de calor para un tiempo total de 190 minutos se muestran en la Figura 6:



**Figura 6: Transferencia de calor por cada cuarto de tiempo**

En la Figura 6, se observa que la mayor cantidad de calor transmitido se produjo en el primer cuarto de tiempo, que fue del 67 % del calor total.

Esto se debe a que, en ese intervalo de tiempo, la diferencia de temperatura es máxima.

Los siguientes tres cuartos de tiempo concentran el 33 % del calor total transmitido.

## CONCLUSIONES

Se han obtenido las siguientes propiedades termofísicas: coeficiente de conductividad térmica, difusividad térmica, número de Biot y número de Fourier, para una muestra de madera de algarrobo.

Se determinó mediante cálculo la temperatura superficial de la placa y se compararon estos valores con los valores hallados experimentalmente obteniéndose una muy buena concordancia.

Como se mencionó, establecer las propiedades térmicas, en especial para muestras biomásicas, admite realizar un análisis preciso de la transferencia de calor, estimando costos y perspectivas de uso, pudiéndose incluso estimar, a partir de la simulación, el

comportamiento de los mismos, obteniendo resultados sin necesidad de realizar ensayos largos y costosos.

Para futuros estudios se prevé los siguientes desafíos y proyectos:

- Simular con mayor precisión el inicio del proceso de enfriamiento (de 0min a 5min), ya que es la parte en la que más errores se comete.

Por los resultados obtenidos, ésta primera parte es la porción más irreversible (está la mayor diferencia de temperaturas entre la superficie de madera y el ambiente), por lo que se tiene pensado en trabajos futuros, calcular, también, la generación de entropía en cada uno de los 4 períodos.

- Adquirir un programa de simulación y hacer la triple comparación entre la medición, cálculo por fórmulas y cálculo por software.

- Buscar otro método para realizar el cálculo del tiempo total de enfriamiento ya que el calculado (190min) se determinó para una temperatura final de 11°C (si se hubiera calculado para 10°C, la fórmula daba una indeterminación).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, por el apoyo económico brindado al Grupo G.I.D.E.R. (Grupo de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables) perteneciente a la Facultad de Ingeniería, durante las actividades realizadas para la concreción del Proyecto: “Estudio Integral de Residuos Biomásicos del Nordeste desde el punto de vista Constructivo y Energético: Conductividad Térmica, Resistencia al Fuego, Gases Contaminantes desprendidos en la Combustión, Briquetas, Poder Calorífico”.

## REFERENCIAS

- [1] Martina P.A.; Aeberhard M.R.; Corace J.J (2020) propiedades termofísicas de materiales biomásicos del NEA. Conductividad, difusividad, número de Biot. *VII Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica*.
- [2] 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/asades>  
2004

- [3] Kreith, F.; Bohn M. S. (2001) *Principios de Transferencia de Calor*. Thomson learning, Buenos Aires, 184-227.
- [4] Cengel, Y.; Ghajar A. (2011); *Transferencia de Calor y Masa. Fundamentos y Aplicaciones*. 4° Edición. Mc. Graw Hill. 9786071505408