

Propiedades Térmicas de Materiales Convencionales y No Convencionales en la Construcción de una Vivienda Rural

Thermal Properties of Conventional and Non-Conventional Materials
in the Construction of a Rural Housing

—

Raúl Pável Ruiz Torres
raul.ruiz@unach.mx
ORCID: 0000-0001-5707-0411

Juan-Carlos Solís-Granados
juan.solis@unach.mx
ORCID: 0000-0003-2609-3420

Nguyen Molina Narváez
nguyen.molina@unach.mx
ORCID: 0000-0003-2049-4821

Eddy González García
eddy.gonzalez@unach.mx
ORCID: 0000-0002-7207-7600

FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS.
TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS. MÉXICO.



Para citar este artículo:

Ruiz Torres, R. P., Solís Granados, J. C., Molina Narváez, N., & González García, E. Propiedades Térmicas de Materiales Convencionales y No Convencionales en la Construcción de una Vivienda Rural. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 13(38). <https://doi.org/10.31644/IMASD.38.2024.a01>

RESUMEN

Se presenta la determinación de la conductividad térmica de cuatro materiales utilizados en la construcción de una vivienda rural: tabla de madera de pino, losa de concreto armado, bloque de concreto y una propuesta no convencional de un panel de aserrín, además de que se calcula la resistencia térmica de sistemas utilizando los valores obtenidos. La obtención de la conductividad térmica fue realizada de acuerdo con la norma American Society for Testing and Material ASTM C177-91 (2019), por el método de prueba del estado estable utilizando un Equipo de Placa Caliente con Guarda (EPCG). Los datos de conductividad térmica se utilizaron para comparar las diferencias de las resistencias térmicas y su cumplimiento con la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009 (2009), norma que indica el método de cálculo de aislamiento térmico por medio de la resistencia térmica denominado valor “R” (Resistencia térmica). Los resultados indican que el uso de la losa convencional y la lámina de zinc están muy lejos del cumplimiento del mínimo “R” de la norma, mientras que las opciones como aislantes térmicos con materiales locales como es la madera y el panel de aserrín permite acercarse al cumplimiento de la norma. Esto tiene un impacto en las condiciones térmicas al interior que contribuirá a mejorar las condiciones de confort térmico de las personas, beneficiando en su salud y minimizando las condiciones de frío que suelen percibir en un clima templado los habitantes de la comunidad rural Monte Sinaí II el Fénix, municipio de Cintalapa, Chiapas.

Otro factor considerado relevante es el cultural, porque las personas buscan transitar de materiales locales a materiales industrializados, aspecto que se logra observar en la comunidad, por lo que este trabajo busca divulgar las virtudes y oportunidades desde el factor térmico que presenta el utilizar los materiales locales de una comunidad.

Palabras clave:

Conductividad térmica; resistencia térmica; madera de pino y panel de aserrín.

— Abstract—

The determination of the thermal conductivity of four materials used in rural housing construction is presented, pine wood board, reinforced concrete slab, concrete block, and a non-conventional proposal of a sawdust panel, in addition to calculating the thermal resistance of systems using the values obtained. The thermal conductivity was obtained according to the ASTM C177-91 (2019) standard, by the steady state test method using a guarded hot plate equipment (EPCG). The thermal conductivity data were used to compare the differences in thermal resistance and their compliance with the Mexican standard NMX-C-460-ONNCCE-2009 (2009), a standard that indicates the method of calculating thermal insulation through thermal resistance called value “R” (Thermal resistance). The results indicate that the use of the conventional slab and the zinc sheet are very far from compliance with the minimum “R” of the standard, while the options such as thermal insulators with local materials such as wood and sawdust panel allow us to get closer. to compliance with the standard. This has an impact on the thermal conditions inside that will contribute to improving the thermal comfort conditions of people, benefiting their health and minimizing the cold conditions that the inhabitants of the rural community Monte Sinaí II usually perceive in a temperate climate. Fénix, in the municipality of Cintalapa, in the state of Chiapas.

In these temperate climate conditions, focusing on the rural community Monte Sinaí II el Fénix, in the municipality of Cintalapa, in the state of Chiapas. Another factor considered relevant is the cultural factor that people seek to transition from local materials to industrialized materials, an aspect that can be observed in the community, which is why this work seeks to disseminate the virtues and opportunities from the thermal factor presented by using the materials premises of a community.

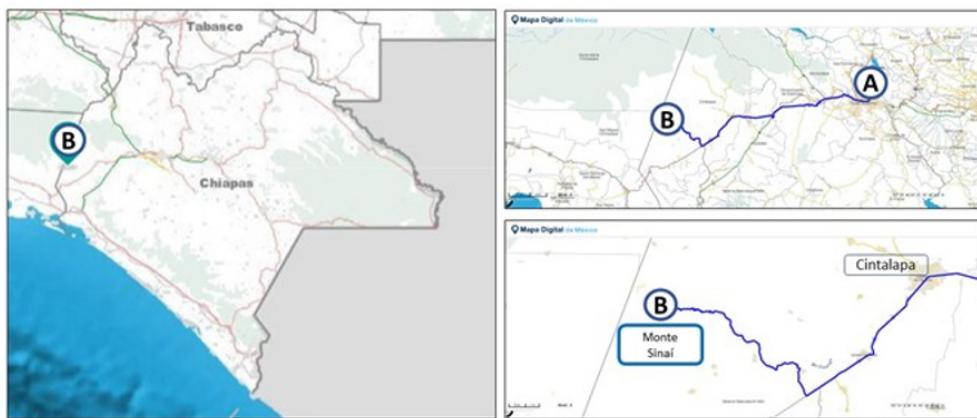
Keywords:

Thermal conductivity, thermal resistance, pine wood and sawdust panel.

En México existen normas no obligatorias que permiten evaluar el cumplimiento del aislamiento térmico de materiales para la construcción, como la norma oficial mexicana NOM-020-ENER-2011 (2011) y la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009 (2009), a pesar de que se han enfocado en evaluar y disminuir el uso de equipos para enfriar el espacio, como el aire acondicionado, comúnmente utilizado para disminuir las temperaturas de aire en interior de las viviendas, también se puede analizar el aislamiento térmico para disminuir las pérdidas de calor de un espacio interior.

Para el caso de las viviendas, uno de los componentes que tiene mayor pérdida o ganancias térmicas, que podría contribuir a tener discomfort térmico por frío o calor, es la cubierta, ya que en un clima cálido recibe la radiación solar directa e indirecta en horas de soleamiento, mientras que un clima templado se pierde calor durante las noches. En este sentido, se considera un factor importante dar valores técnicos a las virtudes térmicas que pueden presentar el uso de materiales locales, y que en este caso la comunidad cuenta con el manejo forestal sustentable de la madera de pino, por lo que se eligió determinar las propiedades térmicas de una muestra de tabla de madera de pino y se elaboró un panel de aserrín, producto del aserradero que maneja la comunidad Monte Sinaí.

Monte Sinaí II (El Fénix) es una comunidad rural indígena ubicada en el municipio de Cintalapa, se encuentra al este del estado en la sierra madre de Chiapas, colindando con el estado de Oaxaca, con coordenadas geográficas 16.67 grados latitud Norte y 94.01 grados longitud Oeste, con una altitud de 1300 m.s.n.m. El Fénix resalta debido a que Chiapas es uno de los estados del país donde crece la deforestación y predomina la tala ilegal. Esta comunidad transitó hace 15 años al aprovechamiento forestal sustentable y tiene aproximadamente medio millar de habitantes y 56 ejidatarios que comparten 1080 hectáreas. Hoy cuentan con una empresa forestal comunitaria certificada, otorgada por el Forest Stewardship Council (Guzmán y Díaz, 2019).



Nota. Fuente: Ruiz et al, 2022.

Figura 1. Ubicación de Monte Sinaí (A: Tuxtla Gutiérrez; B: Monte Sinaí II el Fénix)

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la medición de la conductividad térmica se usó un Equipo de Placa Caliente con Guarda (EPCG). Este equipo se encuentra en la Facultad de Arquitectura desarrollado en el marco del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables de la UNACH. El equipo está compuesto por una placa caliente conectada a un transformador variable de voltaje y una placa fría conectada a un baño termostático de recirculación. Se verificó la planicidad de la muestra, se midió su espesor en tres puntos por lado y se colocó entre la placa fría y la placa caliente. Una transferencia de energía térmica (calor) se genera en la placa caliente hacia la placa fría a través de la muestra. Se calcula la conductividad térmica al momento de lograr el estado estable en el sistema de acuerdo con la norma ASTM C177-91 (2019). Las temperaturas de las placas fueron medidas con termopares tipo “t”, recopilando los datos con un adquisidor conectados a Interfaz de medición programada en LabView, los registros están programados cada 10 segundos para determinar el momento en que se logre el estado estable del sistema. Los termopares fueron calibrados por medio de un baño termostático de acuerdo con la norma ASTM E 220-07^a. El espesor de las muestras se realizó con calibrador vernier, el área de medición con flexómetro y la potencia suministrada con multímetros digitales.

La conductividad térmica aparente del material se determinó a partir de la ecuación de estado estable para el equipo de placa caliente:

$$\lambda = \frac{qL}{\Delta T A}$$

Nota. Fuente: Lira Cortés, 2010.

Figura 2. Ecuación 1. Ecuación para calcular la conductividad térmica del material

Donde:

- q es el flujo de calor a través de la muestra en W.
- λ es la conductividad térmica aparente de la muestra en W/m K.
- ΔT es la diferencia de temperatura aplicada a la muestra en °C ó K.
- L es el espesor de la muestra en m.
- A es el área efectiva de la sección transversal en m².

Cuando una muestra de material es un compuesto laminar, contiene porosidades, celdas vacías o mezclas de materiales, el calor se puede transferir por convección y radiación. Además de la conducción, en estos casos al parámetro λ , de la ecuación anterior, se le denomina conductividad térmica efectiva o aparente.

La resistencia térmica está definida como el inverso de la conductividad térmica multiplicada por el espesor de la muestra.

$$R = \frac{L}{\lambda}$$

Nota. Fuente: NMX-C-460-ONNCCE-2009 (2009).

Figura 3. Ecuación 2. Ecuación para calcular la resistencia térmica

El área de medición del sistema es de 0.199 m x 0.197 m siendo un área de 0.128 m². El área de guarda comprende 0.10 m por cada lado, por tal razón se solicitan muestras con una dimensión mínima de 0.20 m x 0.20 m.

Para la resistencia térmica se utilizó de acuerdo con la norma NMX-C-460 ONNCCE-2009 (2009), la resistencia térmica total de un elemento de la envolvente; Valor “R” es la suma de las resistencias superficiales, interna y externa, y de las resistencias térmicas de las varias capas de los diversos materiales que componen al elemento de la envolvente, esta suma también es conocida como valor “R”. La ecuación para el cálculo “R” es la siguiente:

Ecuación 1: Cálculo simplificado de la resistencia térmica de un material homogéneo.

$$K = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{L_n}{\lambda_n}}$$

Nota. Fuente: NMX-C-460-ONNCCE-2009 (2009).

Figura 4. Ecuación 3. Cálculo simplificado de la resistencia térmica de un material homogéneo

Siendo los siguientes valores que componen dicha ecuación:

- K es el coeficiente de transmisión térmica, en W/m² K.
- L es el espesor de la capa del material en el componente, en m.
- λ es la conductividad térmica del material obtenida de valores tabulados, reportes del fabricante o de ensayos de laboratorio, en W/(m K).
- h_i es la conductancia superficial interior, en W/m²K, su valor (de la norma NOM-008-ENER-2001) es: 8.1 para superficies verticales, 9.4 para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba (de piso hacia el aire interior o del aire interior hacia el techo), 6.6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo (del techo al aire interior o del aire interior al piso).
- h_e es la conductancia superficial exterior, en W/m²K, su valor es igual a 13 (de la norma NOM-008-ENER-2001).

- N es el número de capas que forman la porción de la envolvente.
- RT es la resistencia térmica total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, $m^2 K/W$.

RESULTADOS

En las diferentes muestras las superficies no fueron tratadas debido a que cumplían con las características para el contacto de las superficies con la placa caliente y placa fría. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la determinación de la conductividad térmica por medio del EPCG.

Losa de concreto armado

La muestra de losa de concreto armado evaluado tiene un espesor promedio de 0.1018 m. La muestra cumple con el área mínima para el ensayo, midiendo la muestra 0.30m x 0.30 m. El período de medición fue el 6 de octubre de 2022, de 9:00 a 19:00 horas.



Figura 5. Muestra de losa de concreto armado

Tabla 1
Resultados del ensayo de la losa de concreto armado

| Variable | Valor promedio |
|---|---|
| Conductividad térmica aparente (W/m K) | 2.036 |
| Resistencia térmica (m ² K/W) | 0.05 |
| Espesor (m) | 0.1018 |
| Temperatura media de trabajo del EPCG (°C) | 31.05 |
| Temperatura en la placa caliente (°C) | 40.35 |
| Temperatura en la placa fría (°C) | 21.54 |
| Diferencia de temperatura de las placas (°C) | 18.81 |
| Área de medición efectiva (m ²) | 0.128 |
| Potencia suministrada (W/ m ²) | 381.83 |
| Inicio de ensayo (hr:mm) – término del ensayo (hr:mm) | 9:00 h a 19:00 h 10 horas de medición apróx. |

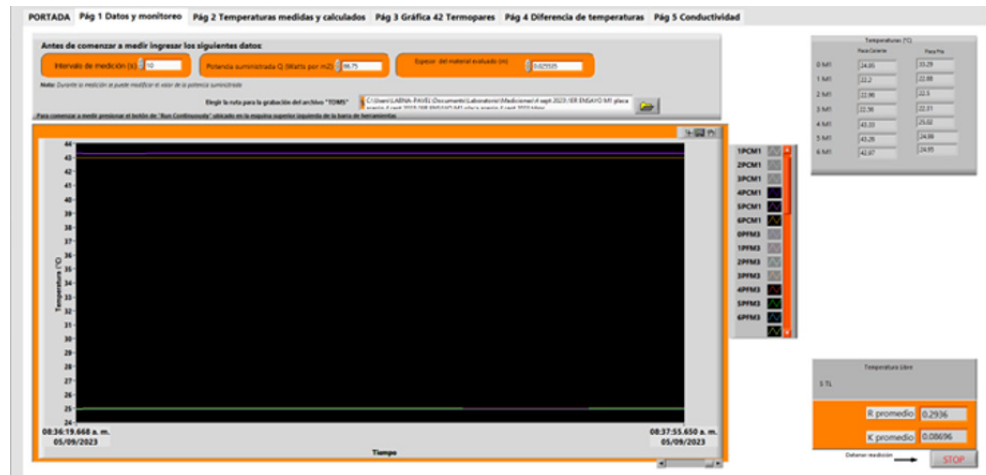


Figura 6. Interfaz de medición en LabView en la estabilización del ensayo de losa de concreto armado

Bloque macizo de concreto

La muestra de bloque de concreto cuenta con un espesor promedio de 0.15096 m. La muestra cumple con el área mínima para el ensayo, midiendo la muestra 0.30m x 0.30 m. El período de medición fue el 2 de noviembre de 2022, de 9:00 a 19:00 horas.



Figura 7. Muestra de bloque de concreto

Tabla 2
Resultados del ensayo de bloque de concreto

| Variable | Valor promedio |
|---|---|
| Conductividad térmica aparente (W/m K) | 1.815 |
| Resistencia térmica (m ² K/W) | 0.08318 |
| Espesor (m) | 0.15096 |
| Temperatura media de trabajo del EPCG (°C) | 28.01 |
| Temperatura en la placa caliente (°C) | 33.07 |
| Temperatura en la placa fría (°C) | 22.95 |
| Diferencia de temperatura de las placas (°C) | 10.12 |
| Área de medición efectiva (m ²) | 0.128 |
| Potencia suministrada (W/ m ²) | 121.514 |
| Inicio de ensayo (hr:mm) – término del ensayo (hr:mm) | 9:00 h a 19:00 h 10 horas de medición apróx. |

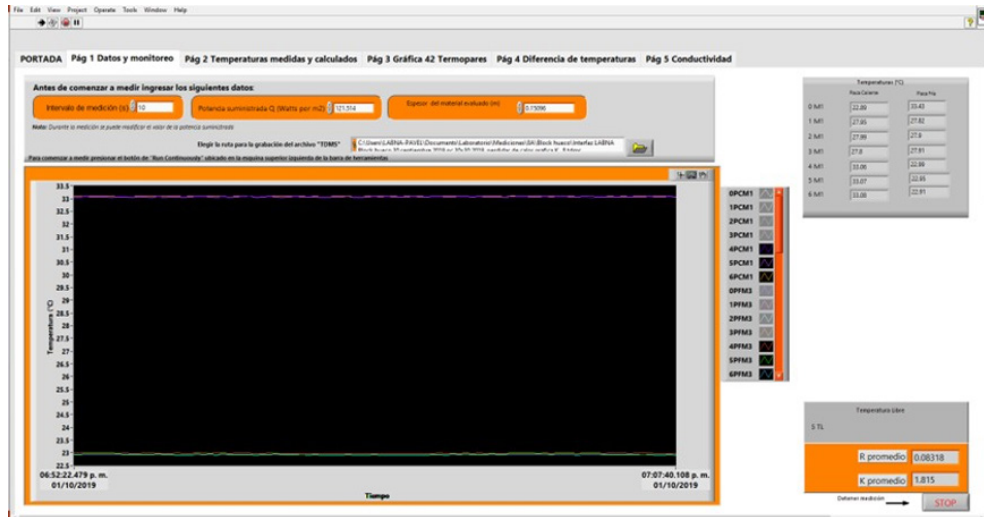


Figura 8. Interfaz de medición en LabView en la estabilización del ensayo del bloque de concreto

Madera de pino

El ensayo de la tabla de madera de pino, con un espesor promedio de 0.0229 m. Las muestras cumplen con el área mínima solicitada del ensayo, midiendo la muestra 0.30m x 0.20 m. Esta tabla es de la madera de pino de manejo sustentable de Monte Sinaí.



Figura 9. Ensayo de tabla de madera de pino

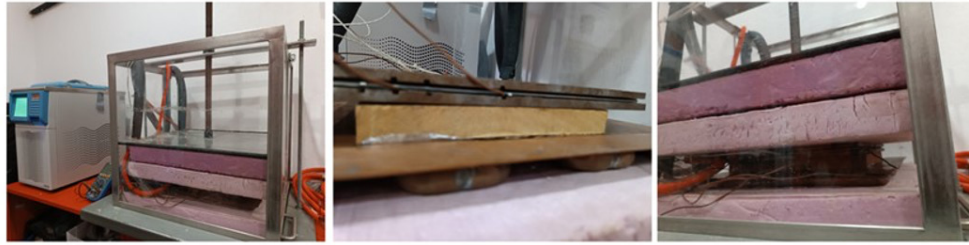


Figura 10. Habilitación del panel de madera en el Equipo de Placa Caliente con Guarda (EPCG)

Tabla 3
Resultados del ensayo de tabla de madera de pino

| Variable | Valor promedio |
|---|--|
| Conductividad térmica aparente (W/m K) | 0.1191 |
| Resistencia térmica (m ² K/W) | 0.1923 |
| Espesor (m) | 0.0229 |
| Temperatura media de trabajo del EPCG (°C) | 31.6 |
| Temperatura en la placa caliente (°C) | 37.93 |
| Temperatura en la placa fría (°C) | 25.28 |
| Diferencia de temperatura de las placas (°C) | 12.64 |
| Área de medición efectiva (m ²) | 0.128 |
| Potencia suministrada (W/ m ²) | 69.12 |
| Inicio de ensayo (hr:mm) – término del ensayo (hr:mm) | 11:30 h (28 ene) - 14:20 h (29 ene). 14 horas con 50 minutos de medición apróx. |

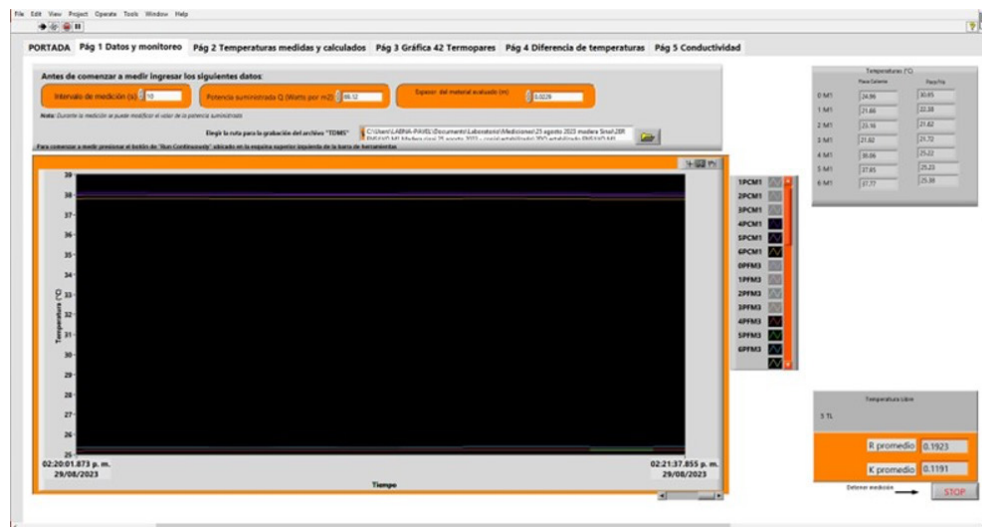


Figura 11. Interfaz de medición en LabView en la estabilización del ensayo de la tabla de madera de pino

Panel de aserrín

La muestra de panel de aserrín tiene un espesor promedio de 0.1018 m. La muestra cumple con el área mínima para el ensayo, midiendo la muestra 0.30m x 0.30 m. Este panel se elaboró. El período de medición fue del 27 de octubre de 2022 a las 13:30 horas, al 28 de octubre a las 8:37 horas.



Figura 12. Muestra del panel de aserrín

El panel de aserrín se realizó con materiales de fácil acceso, entre ellos se ha experimentado inicialmente con su elaboración en un molde de madera, comprimiéndolo manualmente, aglutinado con una mezcla de agua y pegamento blanco, la proporción utilizada de la mezcla fue de 1:8, una porción de pegamento blanco y 8 porciones de agua. El tiempo de secado fue de aproximadamente una semana. La elaboración se puede ver en la siguiente figura, además de que en dicha actividad se involucraron a estudiantes.



Figura 13. Elaboración del panel de aserrín, producto del aserradero de Monte Sinaí

Tabla 4
Resultados del ensayo de tabla de madera de pino

| Variable | Valor promedio |
|---|---|
| Conductividad térmica aparente (W/m K) | 0.08696 |
| Resistencia térmica (m ² K/W) | 0.2936 |
| Espesor (m) | 0.025535 |
| Temperatura media de trabajo del EPCG (°C) | 34.09 |
| Temperatura en la placa caliente (°C) | 43.19 |
| Temperatura en la placa fría (°C) | 24.99 |
| Diferencia de temperatura de las placas (°C) | 18.2 |
| Área de medición efectiva (m ²) | 0.128 |
| Potencia suministrada (W/ m ²) | 66.75 |
| Inicio de ensayo (hr:mm) – término del ensayo (hr:mm) | 13:30 h a 8:37 h 17 horas con 7 minutos de medición apróx. |

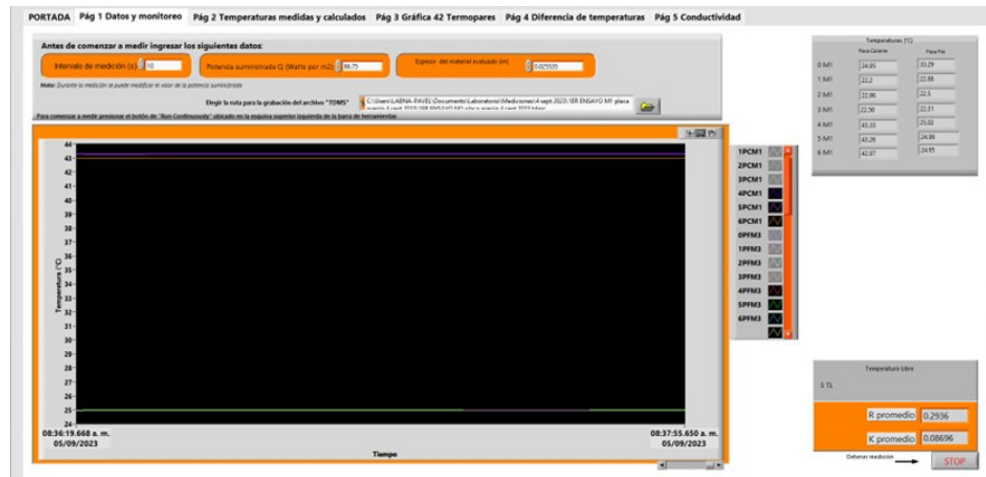


Figura 14. Interfaz de medición en LabView en la estabilización del ensayo de panel de serrín

OBTENCIÓN DEL VALOR DE RESISTENCIA TÉRMICA

Para el caso del cálculo de la resistencia térmica se utilizaron los valores obtenidos de la determinación de la conductividad térmica. Solo el caso de la lámina no se determinó debido a que es un material estandarizado y se utilizó el del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (2010), otra referencia para comparar valores determinados de conductividad térmica fue lo expuesto por Eduardo González (2003). A continuación, se presenta los cálculos y los sistemas compuestos por capas de acuerdo con el cálculo de la NMX-C-460-ONNCCE-2009. Se agrega como comparativo la cubierta de lámina de zinc ya que se utiliza comúnmente en comunidades rurales. Para el valor de conductividad térmica de la lámina de zinc se utilizó el del CTE (2010).

Tabla 5
Resistencia térmica calculado para una lámina de zinc

| Material (**) | Espesor (m) b | Conductividad térmica (W/mK) h o K (***) | Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)] |
|----------------|------------------|---|--|
| rsi | | 6.6 | 0.152 |
| Lámina de zinc | 0.003 | 110 | 0.00003 |
| rse | | 13 | 0.077 |
| | | R (m ² °K/W) | 0.228 |

Tabla 6
Resistencia térmica calculado de una losa de concreto armado

| Material (**) | Espesor (m) b | Conductividad térmica (W/mK) h o K (***) | Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)] |
|-------------------------|------------------|---|--|
| rsi | | 6.6 | 0.152 |
| Losa de concreto armado | 0.10 | 2.036 | 0.04912 |
| rse | | 13 | 0.077 |
| | | R (m ² °K/W) | 0.278 |

Tabla 7
Resistencia térmica calculado de un muro de bloque de concreto aparente

| Material (**) | Espesor (m) b | Conductividad térmica (W/mK) h o K (***) | Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)] |
|--------------------|------------------|---|--|
| rsi | | 8.1 | 0.123 |
| Bloque de concreto | 0.15 | 1.815 | 0.08264 |
| rse | | 13 | 0.077 |
| | | R (m ² °K/W) | 0.283 |

Tabla 8
Resistencia térmica calculado de cubierta de lámina de zinc con madera

| Material (**) | Espesor (m) b | Conductividad térmica (W/mK) h o K (***) | Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)] |
|----------------|------------------|---|--|
| rsi | | 6.6 | 0.152 |
| Madera de pino | 0.0229 | 0.1191 | 0.19228 |
| Lámina de zinc | 0.003 | 110 | 0.00003 |
| rse | | 13 | 0.077 |
| | | R (m ² °K/W) | 0.421 |

Tabla 9
Resistencia térmica calculado de cubierta de lámina de zinc con panel de aserrín

| Material (**) | Espesor (m) b | Conductividad térmica (W/mK) h o K (***) | Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)] |
|------------------|------------------|---|--|
| rsi | | 6.6 | 0.152 |
| Panel de aserrín | 0.01018 | 0.08696 | 0.11707 |
| Lámina de zinc | 0.003 | 110 | 0.00003 |
| rse | | 13 | 0.077 |
| | | R (m²°K/W) | 0.346 |

Tabla 10
Resistencia térmica calculado de un sistema de muro con madera y aire al interior

| Material (**) | Espesor (m) b | Conductividad térmica (W/mK) h o K (***) | Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)] |
|----------------|------------------|---|--|
| rsi | | 6.6 | 0.152 |
| Madera de pino | 0.0229 | 0.1191 | 0.19228 |
| Aire | 0.1 | 0.026 | 3.84615 |
| Madera de pino | 0.0229 | 0.1191 | 0.19228 |
| rse | | 13 | 0.077 |
| | | R (m²°K/W) | 4.459 |

A continuación, se presenta un concentrado de los valores de resistencia térmica calculados de los diferentes sistemas para su discusión.

Tabla 11
Concentrado de resistencias térmicas calculadas a partir de la conductividad térmica, obtenida en laboratorio

| Tipo de sistema | Sistema constructivo | Resistencia térmica calculado R (m ² K/W) | Referencia de la conductividad térmica utilizada |
|--|---|--|--|
| Sistemas constructivos convencionales | Cubierta de lámina de zinc | 0.0228 | CTE (2010) |
| | Losa de concreto armado | 0.0229 | |
| | Muro de bloque de concreto aparente | 0.1 | Ensayo en laboratorio |
| Sistemas constructivos no convencional utilizando materiales locales | Cubierta de lámina de zinc con madera | 0.421 | Ensayo en laboratorio y CTE (2010) |
| | Cubierta de lámina de zinc con panel de aserrín | 0.346 | |
| | Muro de madera con espacio de aire al interior | 4.459 | Ensayo en laboratorio |

CONCLUSIÓN

En relación al concentrado que se presenta en la Tabla 1, las resistencias térmicas de los sistemas convencionales, el valor R más alto es $0.1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, siendo del muro de bloque de concreto aparente y el valor más bajo es 0.0228 , siendo el de la cubierta de zinc. Remitiéndonos a la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009, donde la referencia para cumplirla para cubiertas es de una resistencia térmica (R) de $1.4 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ y para muros una resistencia térmica (R) de $1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, permite identificar que el valor de la cubierta de lámina de zinc no se acerca al 2 % del valor que debe cumplir para una cubierta. En el caso del muro de bloque de concreto aparente está a un 10 % del valor mínimo para muros.

Para las propuestas no convencionales, utilizando materiales locales el valor R del sistema, utilizando una cubierta de zinc pero con tabla de madera por debajo, se obtuvo un valor R de $0.425 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, representando un 30 % del valor de cumplimiento R de $1.4 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ para cubiertas. Para el sistema de Cubierta de lámina con el panel de aserrín, el valor R fue de $0.346 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, representando un 24.7 % del valor de cumplimiento, y finalmente el valor R del sistema de muro que cuenta una capa de madera, aire al interior y una capa de madera al exterior se obtuvo un valor R de $4.459 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, sobrepasa el cumplimiento de la norma.

En función de comparar la conductividad térmica obtenida en el panel de fibra de madera, se aprecia el trabajo de Troppová et al. (2015), donde se reporta un trabajo sobre la conductividad térmica de tableros o paneles a partir de fibra de madera. Las conductividades térmicas fueron obtenidas con diferentes condiciones de temperatura de trabajo del sistema y humedad del panel, en el cual se obtuvo una conductividad térmica desde $0.048 \text{ W}/\text{mK}$ hasta $0.088 \text{ W}/\text{mK}$; al compararlo con el valor obtenido en este trabajo del panel de aserrín que resultó de $0.08696 \text{ W}/\text{mK}$ (tabla 4), vemos que coincide con condiciones el valor de conductividad más alto. En el trabajo de Božiková et al. (2021) se encontró valores de conductividad térmica de un panel elaborado con residuos de madera de pino desde $0.08 \text{ W}/\text{mK}$ a $1.0 \text{ W}/\text{mK}$, donde también resulta con valores similares al obtenido en este trabajo. Finalmente, en otra investigación realizada por Medved et al. (2021) determinaron una conductividad térmica de $0.084 \text{ W}/\text{mK}$, para un panel hecho con fibras de madera comprimidas a presión, realizadas con un procedimiento similar a este trabajo. Estos estudios anteriores sirven de referencia sobre la conductividad térmica del panel de fibra de madera, determinado en este trabajo, es prácticamente igual o similar a los valores encontrados en investigaciones similares. Este valor y referencia es relevante, porque se calcula la resistencia térmica como sistema, y se pueden apreciar las diferentes propuestas de la Tabla 11.

Por lo anterior, se evidencia que los sistemas de cubierta de lámina de zinc tienen un valor R muy por debajo de la norma, y esto permite inferir que es

ineficiente para resistirse al flujo de calor, lo cual provoca que durante la noche la lámina de zinc se enfríe rápidamente perdiendo calor el espacio interior, por lo que las temperaturas en un clima templado podrían ser frías al interior. Caso contrario, durante el día gana calor y calienta rápidamente el espacio interior. La opción de utilizar la madera de pino como un aislante, permitiría mejorar las condiciones de confort térmico al interior, con la virtud de ser un material local y reemplazable. También se presenta la posibilidad de fabricar paneles con residuos del aserrín como una alternativa de uso para aislar las cubiertas de zinc en esta comunidad.

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Material [ASTM].** (2019). *ASTM C177 – 97: Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate apparatus*. <https://www.astm.org/database.cart/historical/c177-97.html>
- Božiková, M., Kotoulek, P., Bilčík, M., Kubík, L., Hlaváčová, Z., y Hlaváč, P.** (2021). Thermal properties of wood and wood composites made from wood waste. *International Agrophysics*, 35(3), 251-256. <https://doi.org/10.31545/intagr/141849>
- Código Técnico de la Edificación [CTE].** (2010). *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Ministerio de Vivienda, Gobierno de España.
- González, E.** (2003). *Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática*. https://www.researchgate.net/publication/351564413_SELECCION_DE_MATERIALES_EN_LA_CONCEPCION_ARQUITECTONICA_BIOCLIMATICA
- Guzmán Bracho, M., y Legorreta Díaz, M.** (2019). *La milpa y el bosque, agencia constructiva del ejido Monte Sinaí II El Fénix*. Universidad Nacional Autónoma de Chiapas.
- Lira Cortés, L. S., García Duarte, E., Méndez Lango, E., y González Durán.** (2010). *Diseño del sistema de medición de conductividad térmica*. Simposio de Metrología 2010.
- Medved, S., Tudor, E. M., Barbu, M. C., y Young, T. M.** (2021). Thermal conductivity of different bio-based insulation materials. *Les Wood*, 63(3), 73-82. <https://doi.org/10.26614/les-wood.2021.v70n01a05>
- Norma Mexicana.** (2009). NMX-C-460-ONNCCE-2009. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5105784
- Norma Oficial Mexicana.** (2011). NOM-020-ENER-2011. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011
- Ruiz Torres, R. P., González García, E., Molina Narváez, N., Solís Granados, J. C., Jiménez Albores, J. L., Gutiérrez Zenteno, C. A., Trujillo Samayoa, R., Hernández Cruz, D., Pérez Díaz, J. L., Godínez Domínguez, E. A., Castillejos Suastegui, B. I., Gómez Hernández, D. F., Zavala Juárez, D., Escobar Castillejos, D., Carpy Chávez, M. d. L., Gutiérrez Aceves, P. E., Arredondo Martínez, M., López Hidalgo, M. A., Álvarez Gutiérrez, I., y Aguilar Díaz, M.** (2022). *Informe técnico etapa prepropuesta: Desarrollo de un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat, Proyecto semilla de Pronace Vivienda*. CONAHCYT, México.

Troppová, E., Svehlík, M., Tippner, J., y Wimmer, R. (2015). Influence of temperature and moisture content on the thermal conductivity of wood-based fibreboards. *Materials and Structures*, 48(12), 4077-4083. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0816-1>

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto nacional de investigación e incidencia 321260 “Modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat” de PRONACE VIVIENDA financiado por CONAHCYT.