

MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PENCAS DE MAGUEY, MATERIAL QUE SE UTILIZA EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA TRADICIONAL

Ávila Vázquez, L.¹, García Duarte, S.², Lira Cortés, L.².

¹División de Ciencias y Artes para el Diseño, Departamento de Medio ambiente,
Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Azcapotzalco.
Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, México, D.F.
Tel. (0155) 57 48 30 75
al201316896@alumnos.azc.uam.mx, ffva@correo.azc.uam.mx.

²División de Termometría/Área de Metrología Eléctrica.
Centro Nacional de Metrología
km 4.5 Carretera a Los Cués, Municipio El Marqués, C.P. 76246 Querétaro, México.
Tel. (01442) 2 11 05 00 ext. 3414 y 3416.
llira@cenam.mx

Resumen: Para la creación de nueva arquitectura, es importante conocer la respuesta de los materiales a las condiciones del clima y las propiedades que pueden aprovecharse para generar alternativas adaptables a los nuevos sistemas constructivos, en pro de una mejor calidad de habitabilidad de los espacios. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de un análisis de muestras de pencas de maguey con diferentes características que permitieron conocer las propiedades térmicas del material y cómo estas se relacionan con las características naturales del mismo.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el conocimiento de las propiedades térmicas de los materiales empleados en la construcción de edificios es importante si se quiere garantizar una mejor calidad en la habitabilidad de los espacios, pues hoy en día el diseño de espacios representa un compromiso con el medio natural y por ende el mejoramiento en la calidad de vida.

El reto radica en generar alternativas en el uso de materiales empleados en los sistemas constructivos, a partir de conocer su comportamiento térmico, de manera que pueda contribuir a un uso eficiente de la energía, además de promover el uso de materiales renovables que ayuden a mejorar las condiciones en los espacios para garantizar el confort térmico de quien los ocupa.

Específicamente en el caso de la arquitectura habitacional, representa un punto de especial interés, pues en el país actualmente existe, en primera instancia, la imperante necesidad por cubrir la demanda de vivienda, consecuencia del incremento poblacional y las transformaciones en las dinámicas de las ciudades; de igual forma, la construcción en serie de grandes bloques habitacionales, que generalmente dan pie al uso de

materiales de mala calidad, dejando de lado las cualidades térmicas de estos, acordes con las características del medio donde se desarrollan.

Muchos de los sistemas constructivos tradicionales surgieron a partir de la utilización de materiales obtenidos del entorno y que aplicados a la construcción de espacios, pueden generar condiciones favorables para su uso, de esta manera, un referente para el desarrollo del proyecto de investigación, fue la vivienda tradicional de maguey utilizada en el Estado de Hidalgo[1], a partir de considerar que los estudios realizados alrededor de este tipo de materiales no han sido suficientes, por lo poco que se conoce acerca del funcionamiento térmico y si de verdad garantizan condiciones de confort.

El motivo principal de este trabajo es dar a conocer el procedimiento general empleado para la medición de la conductividad térmica del maguey, los resultados del análisis de las muestras que manifiestan que el material puede ser desde un muy buen aislante hasta un mal conductor de calor, pues gracias al estudio se pudo conocer la relación entre la composición natural del material, la cantidad de agua que posee y su conductividad térmica.

2. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LAS PENCAS DE MAGUEY.

2.1 Principio básico de operación.

Para la medición de la conductividad térmica de los materiales se utiliza un aparato de placa caliente con guarda (APCG), el cual emplea el método de transferencia de calor por conducción, en estado estable, de acuerdo a la ecuación:

$$\lambda = QL_{promedio} / (A \Delta T_{promedio}) \quad (1)$$

Donde λ es la conductividad térmica de la muestra en W / mK; Q es el flujo de calor unidimensional a través del área de medición de la muestra en W, $\Delta T_{promedio}$ es la media aritmética de la diferencia de temperatura en la muestra en K o °C, $L_{promedio}$ es la media aritmética del espesor de las dos muestras y A es el área de la sección transversal a través de la cual fluye el calor en m². [2]

2.2 Descripción general del aparato

El aparato de placa caliente con guarda genera un flujo de calor axial a través de las muestras colocadas entre las placas. El APCG cumple con los requisitos de la norma ASTM-C-177 (Fig. 1).

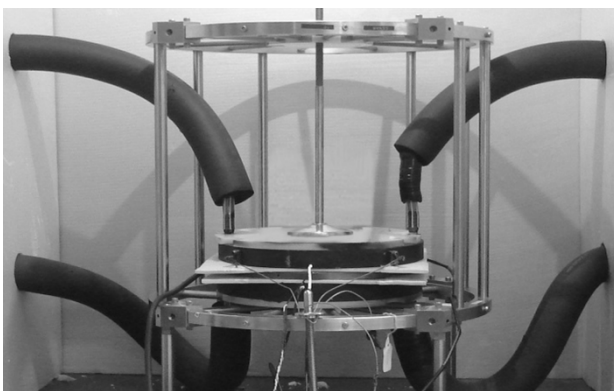


Fig. 1 Aparato de placa caliente con guarda para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes.

Las placas son de cobre, con acabado negro mate, dos de las cuales son frías (superior e inferior) y una caliente (central).

Las placas frías proporcionan una temperatura constante en una de las superficies de las muestras

del material con las que están en contacto. La placa caliente, por otro lado, proporciona una temperatura caliente a las superficies de las muestras (Fig. 2).



Fig. 2 Colocación de placas, muestras y aislantes.

Placas frías: contienen en su interior un serpentín por el que circula un líquido refrigerante que permite mantener constante la temperatura de la placa mediante el intercambio de energía entre el fluido y la superficie metálica de esta. El fluido llega desde un baño termostático que permite controlar y mantener la temperatura.

Placa caliente: consta de dos partes concéntricas: la interna, es el área de medición y la externa, que es la guarda. En el área de medición se encuentra una ranura donde se coloca el calefactor, alimentado mediante una fuente de tensión, que mantiene a una temperatura constante el área de medición.

La guarda de la placa caliente tiene una ranura para colocar el calefactor, cuya función es la de controlar la temperatura de la guarda a fin de reducir los flujos radiales de calor. (Fig. 3).



Fig. 3 Placa caliente.

La medición de las temperaturas se realiza mediante termopares tipo T, calibrados en el laboratorio de termometría de contacto, en el CENAM.

Los termopares de tipo T consisten de dos alambres uno de cobre y el otro de cobre-níquel que se encuentran unidos en un extremo [3]. Se tienen cuatro termopares en la guarda y tres en el área de medición. Las variables significativas en la medición de la conductividad térmica es la diferencia de temperatura entre cada placa fría y la placa caliente, el espesor de las muestras, el flujo de calor y el área de medición, la temperatura de prueba está definida como el promedio entre la temperatura de la placa fría y la placa caliente y en este caso considerando la temperatura media del lugar donde se utiliza el material las pruebas se realizaron a 15 °C.

El indicador de que existe un flujo de calor radial es la diferencia del promedio de la temperatura en el área de medición, respecto al promedio de la temperatura en la guarda. La temperatura ambiente también es otro punto de medición.

2.3 Realización del experimento.

Para realizar las mediciones se consideran tres elementos importantes que conforman el procedimiento, el cual se dividen en 5 etapas generales. Los tres elementos a considerar son: Los materiales a evaluar, el APCG y los datos obtenidos. Por otro lado, las etapas son: obtención, elección y preparación de las muestras, instalación del APCG, y establecimiento del estado permanente térmico, obtención de datos y análisis e interpretación de resultados.

2.3.1 Material a evaluar

En primera instancia, las condicionantes para el estudio del material se determinaron a partir de un análisis de la vivienda tradicional en el Estado de Hidalgo, la cual se realiza a base de maguey, tanto en su estructura como en los elementos de cubierta y muros; este tipo de viviendas, de origen otomí, se utilizaron desde tiempos prehispánicos en la región y hoy en día se siguen utilizando, aunque su uso es cada vez más escaso, de ahí el interés por conocer el funcionamiento térmico del material y su respuesta a las condiciones del clima.

Las pencas de maguey de las que se extrajeron las muestras se obtuvieron de la región de estudio, específicamente en la región sur del Estado de Hidalgo. La especie de maguey del que provienen es del que se conoce como maguey cimarrón, pues es de éste del que se construyen las viviendas.

2.3.2. Preparación de las muestras.

Obtención, elección y preparación de las muestras: las muestras del material se cortaron de manera que al contacto con las placas frías y caliente del APCG se cubra toda la superficie de medición. Las superficies de las muestras deben ser uniformes en toda el área de medición, pues una característica del material es que no es uniforme en su superficie y mientras pierde humedad, se deforma.

Por cada muestra se tiene un registro del promedio de su espesor, su peso y dimensiones. Posterior a ello se cubren los extremos de la muestra con material aislante del mismo espesor de la muestra de manera que se eviten las pérdidas de calor radial, es decir, se realizan guardas de material aislante para cada una de las muestras. (Fig. 4).

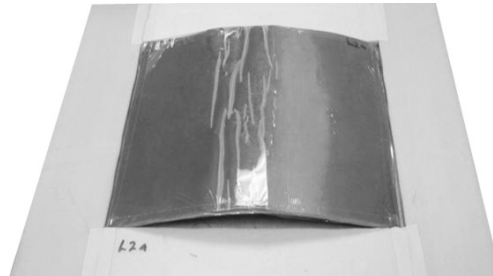


Fig. 4 Muestra de penca de maguey con guarda.

A continuación se mencionan las condiciones de las muestras de acuerdo a las características evaluadas, a partir de las cuales se obtuvieron diferentes variables.

De esta manera se realizó un análisis de varias muestras de pencas de maguey:

- a) Las utilizadas en una vivienda construida hace 15 años.
- b) Las obtenidas de penca de maguey secadas al aire libre por un mes, sin alteraciones específicas.
- c) Las muestras secadas en horno de convección.
- d) A las que se les quitó la membrana que las cubre, que comúnmente se conoce como mixiote.

El análisis de resultados se menciona a detalle en líneas posteriores. Por otro lado, uno de los puntos importantes a considerar para llevar a cabo las pruebas es la temperatura a la que se hicieron éstas, que fue determinada con base en el análisis climático de la región.

Esta temperatura de realización de las pruebas fue a 15 °C, teniendo que:

Medición de 15°C y $\Delta T=20 \rightarrow TPF=5^\circ\text{C}$ y $TPC=25^\circ\text{C}$. (2)

donde:

ΔT : Diferencia de temperatura entre la placa caliente y las placas frías en K o °C.

TPF : Temperatura de placa fría.

TPC : Temperatura de placa caliente.

2.3.3 Instalación de las muestras

Instalación del APCG: una vez que la cámara está lista, se colocan las muestras. Posterior a esto se realiza la conexión de las mangueras de suministro del líquido refrigerante a las placas frías. Para la prueba se requirió una temperatura mínima de 5°C. Después se colocan los termopares en su posición en las placas frías, de esta manera se tendrá control de las temperaturas obtenidas y del comportamiento de cada una de las placas durante la medición.

El siguiente paso es ingresar los datos al programa de medición en la computadora, para lo que deben conocerse las condiciones de operación de la prueba: la temperatura de la placa caliente y la temperatura de la placa fría, además del espesor promedio de las muestras.

2.3.4 Operación de APCG

Establecimiento del aparato en estado permanente térmico: ya que las muestras (con sus guardas) se colocan en el área de medición (Fig.2), el siguiente paso es que se alcance el estado estable térmico, lo que se logra cuando las temperaturas a las que se realicen las pruebas se alcancen, y se tienen valores constantes y uniformes en la temperatura de los termopares en las placas frías (5°C), la placa caliente y la guarda (25°C), y las temperaturas de referencia.

El flujo de calor se mide por medio del efecto Joule en la resistencia eléctrica, es decir se mide la intensidad de corriente eléctrica y la caída de potencial, de donde se calcula la potencia eléctrica que se disipa.

El tiempo en el que se alcanza la estabilidad del estado térmico, depende en gran medida del espesor de las muestras, pues es menor mientras el espesor es más pequeño e incrementa en la medida en que el espesor es más grande.

2.3.5 Adquisición de datos.

Obtención de datos: el programa almacena los datos obtenidos en intervalos de 10 segundos, los cuales se exportan a tablas de Excel para facilitar su análisis. Posterior a ello se determinó mediante fórmulas y procesos matemáticos, la incertidumbre, para tener los valores de conductividad. Todo lo anterior se realizó para cada una de las pruebas.

2.3.6 Análisis de Resultados.

Análisis e interpretación de resultados: una vez que se obtuvieron los valores, considerando todas las variables: temperaturas de las placas frías y caliente, el flujo de calor, la temperatura de la prueba, la diferencia de temperaturas a través de las muestras, así como los valores del área de medición y el espesor, finalmente se calculó la conductividad térmica del material.

3. RESULTADOS

- a) Muestras de pencas utilizadas en una vivienda construida hace 15 años.

Las dos primeras pruebas realizadas fueron a muestras de penca de maguey extraídas de una vivienda construida hace 15 años, localizada en la región de estudio.

Por otro lado se realizó una prueba a muestras armada con segmentos uniformes de pencas secas para tener otro tipo de variables, respecto a las características de estructura y forma del material. Para estas muestras se utilizaron fragmentos planos de penca de vivienda de 15 años.

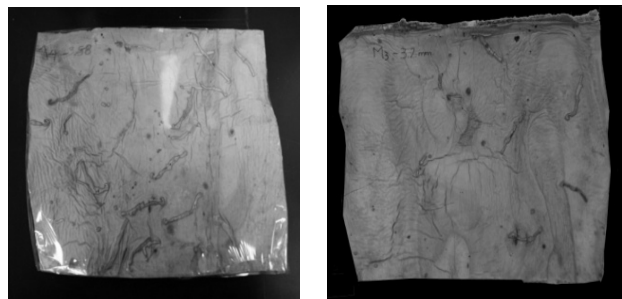


Fig. 5 Muestras de penca de maguey de vivienda de 15 años.

- b) Muestras obtenidas de penca de maguey fresco, sin alteraciones específicas.

Estas pruebas se realizaron a muestras de maguey cimarrón fresco, sin ninguna alteración específica del material.

Posteriormente se analizaron muestras de pencas que se mantuvieron durante un mes al aire libre para después ser llevadas al laboratorio.

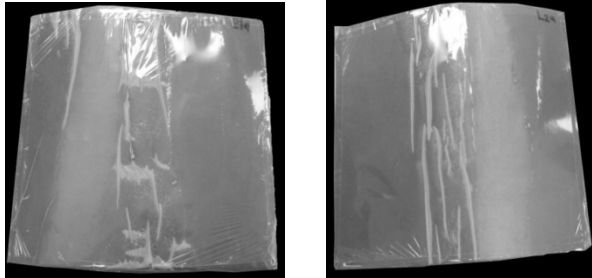


Fig. 6 Muestras de pencas de maguey fresco.

c) Las muestras secadas en horno de convección.

Muestras de pencas sometidas a un proceso de extracción de agua en horno de convección.

Para esta prueba se realizaron dos bastidores con malla de gallinero para evitar que por la pérdida de humedad las muestras se deformaran, es importante mencionar que cuanto más humedad pierde el material, la maleabilidad es menor, lo que permite suponer que las muestras obtenidas de la vivienda de 15 años, tienen un grado mínimo de humedad (posteriormente se muestra la tabla de pruebas de humedad) que evita que el material se vuelva quebradizo.

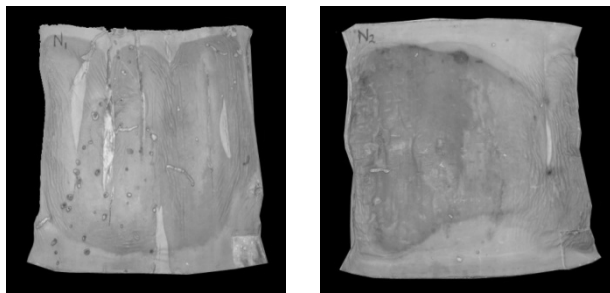


Fig. 7 Muestras sometidas a proceso de extracción de humedad en horno de convección.

d) Muestras a las que se les quitó la membrana que las cubre, que comúnmente se conoce como mixiote.

Con la finalidad de tener resultados de conductividad térmica con la mayor cantidad de variables posibles, descartando posibilidades que

producen ciertos resultados y conociendo el funcionamiento de cada uno de los elementos de las pencas, así como sus cualidades, se realizó una prueba en la que se extrajo la membrana que cubre a las pencas, procurando no dañar la capa que le precede.

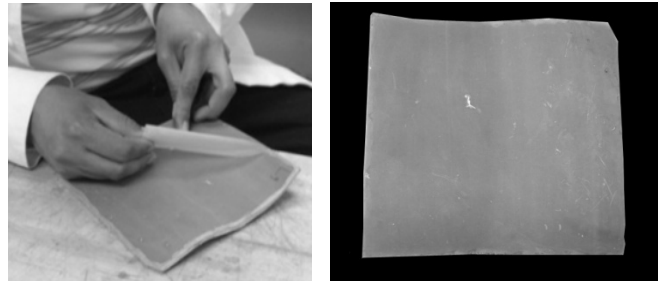


Fig. 8 Muestras de pencas sin membrana o mixiote.

Es así como una vez terminadas las pruebas se realizó la siguiente Tabla 1 en la que se presentan los resultados obtenidos durante el procedimiento de evaluación de las muestras mediante el método primario para la medición de conductividad térmica de materiales sólidos aislantes.

Tabla 1 Resultados preliminares de la conductividad térmica del maguey.

Característica de las muestras	Prueba	Conductividad térmica registrada (provisional) W/ .
Muestras de pencas utilizadas en una vivienda construida hace 15 años.	1	0.018
	2	0.016
	5 (muestras armadas con fragmentos de pencas)	0.034
Muestras obtenidas de penca de maguey fresco, sin alteraciones específicas.	3 (p. secadas al aire libre durante un mes)	0.14
	6	0.28
	8	0.21
Las muestras secadas un horno de convección	7	0.14
Muestras de pencas sin membrana o mixiote.	4	0.27
	9	0.25

De manera simultánea a las pruebas de conductividad y para complementar el análisis de las características del material, se realizó un análisis para medir las condiciones de humedad de algunas muestras, estas se presentan en la siguiente tabla,

donde evidentemente el maguey fresco presenta el porcentaje más alto de humedad, pero se pueden observar los resultados de las pruebas de humedad de las pencas de maguey de 15 años y las de las muestras de maguey fresco sometidas a un procedimiento de extracción de humedad en un horno de convección.

Condición	Humedad promedio (%)
Magüey seco de vivienda de 15 años.	8.162
Magüey fresco.	77.585
Magüey secado en horno de convección.	4.745

Tabla 2 Resultados de las pruebas de humedad a las que se sometieron algunas muestras.

5. CONCLUSIONES

Este proyecto forma parte fundamental de una búsqueda del implemento de materiales en los sistemas constructivos actuales que garantice una utilización sustentable de los recursos, por lo que se analizaron características térmicas de los materiales utilizados en los sistemas constructivos de la arquitectura tradicional, esto permitirá evaluar mediante diferentes métodos su comportamiento y la viabilidad de su implementación en la arquitectura actual.

Se necesita conocer el funcionamiento de los sistemas constructivos tradicionales y los conceptos básicos de la arquitectura regional y vernácula para comprender los procesos de adaptación del medio construido tradicional el medio ambiente, al clima y a las condiciones regionales, pero más necesario es saber qué propiedades de los materiales utilizados son los que hacen que estos sistemas y su implementación sean viables. De ahí la importancia de identificar las características de los materiales que facilitaron la creación de estrategias de integración al medio natural y al clima de la región, pero sobre todo las cualidades que puedan ser aprovechadas para la creación de técnicas constructivas actuales en la construcción de vivienda.

En el caso del material analizado, la medición de la conductividad térmica permitió conocer las características favorables del material, bajo ciertas condiciones. Se pudo saber que el material cuando

tiene poca humedad es un muy buen aislante, pero que esta propiedad de aislamiento se va adquiriendo paulatinamente mientras se pierde humedad, lo cual pudo saberse mediante la medición de la conductividad que se hizo a pencas de maguey fresco y a las que se les extrajo humedad, pues, evidentemente, la conductividad aumenta mientras el material cuenta con un porcentaje mayor de humedad.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet.
Arq. Jesús Delgado García.

REFERENCIAS

- [1] LÓPEZ Morales, Francisco Javier. ARQUITECTURA VERNÁCULA EN MÉXICO. Editorial Trillas, México. 1993.
- [2] CENAM. PATRÓN NACIONAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES SÓLIDOS AISLANTES. División de Termometría. México, mayo de 2006.
- [3] MARTÍNEZ Fuentes, V. / Valencia Rodríguez, J. TERMOPARES. Publicación Técnica CNM-MET-PT-007. CENAM. División de Termometría. México, agosto de 1997.
- [4] CNM-PNE-16. Patrón Nacional de Conductividad Térmica de Materiales Sólidos Aislantes, 2007, SE, DGN.