

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA MADERA POR MEDIO DE TERMOGRAFÍA PULSADA

Arcos torres, Francisco (1), Villaseñor Mora, Carlos (2)

¹ [Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de los Ríos] | [arcos_torrez@hotmail.com]

² [Departamento de Ingeniería Química, Electrónica y Biomédica; División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato] | [vimc790303@yahoo.com.mx]

Resumen

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo fundamental analizar la estructura de la madera usando termografía activa, con la finalidad de detectar y reconocer anomalías, defectos y lesiones que tiene la madera, en si la calidad de la madera. La termografía es un método de inspección y diagnóstico basado en la formación de imágenes de radiación infrarroja que emiten los cuerpos. En este caso el objeto a estudiar es la madera. Las herramientas necesarias para conseguir imágenes termográficas es principalmente una cámara termográfica con su software que permita su análisis. La cámara percibe la emisión infrarroja de la madera y lo convierte en una imagen visible permitiendo observar sus propiedades. La radiación proveniente del objeto bajo estudio puede ser alterada de forma que permita observar anomalías que en estado estacionario no son evidentes. Para obtener estas imágenes termográficas se utilizó un reflector de halógeno caracterizado por emitir una gran cantidad de energía térmica, por medio de este reflector, se transmite energía calorífica a la madera y por medio del análisis de la secuencia de imágenes adquiridas a diferentes tiempos es posible analizar el transiente de la temperatura en diferentes zonas del objeto bajo estudio y con ello correlacionar alteraciones en la energía observadas desde las imágenes con las anomalías internas de la madera. Este proyecto es un estudio práctico de la termografía donde se describen cada uno de los aspectos mencionados. Concluye con ejercicios en donde se calculan los factores conducción, convección y radiación para obtener la pérdida de calor de la madera las zonas con anomalías térmicas.

Abstract

The following research paper aims analyzing the structure of the wood using Active thermography, in order to detect and recognize anomalies, defects and injuries that have wood, if the quality of the wood. Thermography is a method of inspection and diagnosis based on the formation of images of infrared radiation emitted by the bodies. In this case the object to study is the wood. The tools to get Thermographic images is mainly a thermal imaging camera with its software that allows its analysis. The camera perceives the infrared emission from the wood and turns it into a visible image allowing to observe its properties. The radiation from the object under study can be altered in such a way that it allows to observe abnormalities that are not evident in steady state. To obtain these images thermal imaging was used a reflector halogen characterized by emit a lot of heat, by means of this reflector, transmitting heat to the wood and through the analysis of the sequence of images acquired at different times, it is possible to analyze the transient temperature in different areas of the object under study and thus correlate alterations in energy seen from images with the wooden internal anomalies. This project is a practical study of thermography describing each of these aspects. It concludes with exercises where the factors are calculated such as conduction, convection and radiation for wood heat loss anomalies.

INTRODUCCIÓN

Cuando se observa un árbol vivo, se pueden distinguir el tronco, sus ramas y sus hojas. Del tronco podemos apreciar la corteza que lo protege de lesiones e insectos; está generalmente agrietada y constituida por tejido muerto denominado corcho o súber. Las maderas se pueden clasificar de acuerdo con su origen vegetal como: maderas duras (roble, nogal, caoba, arce y encino), maderas suaves (coníferas, abeto, pino, cedro, pinabete) y maderas finas (ébano, sádalo) [1]. La madera de pino por lo general se ocupa para las construcciones en forma de triplay, pero estas pueden salir defectuosas durante su proceso.

Existen distintas propiedades de la madera que afectan la calidad final de los productos. De éstas, la densidad es considerada la característica física más importante, utilizada para indirectamente medir resistencia, rigidez, dureza. El estudio de tecnologías para medir los atributos relacionados a la calidad de la madera está progresando con diferentes niveles de éxito; ejemplos de éstos son: acústica, escáner láser y óptico, rayos X, microondas, ultrasonido y espectroscopia infrarroja [2].

La termografía es una técnica que permite calcular y determinar temperaturas a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. La termografía permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas.

De acuerdo a lo anterior se realiza el estudio de la calidad de la madera por medio del estudio de la radiación térmica utilizando una cámara termográfica y un reflector de halógeno para la transferencia de calor. En esta interacción, la transferencia de energía térmica se realiza por los mecanismos de transferencia de calor conocidos como conducción, convección y radiación. Estas ganancias de calor provocan un exceso de energía y con ello un aumento en la temperatura en las zonas de la madera expuesta. Este calentamiento es fácil de observar y caracterizar usando una cámara infrarroja, y las diferencias o gradientes térmicos podrán ser seguidos y correlacionados si es el caso con partes defectuosas [3]. La radiación

térmica, como su nombre lo indica, se refiere a la radiación que emiten los cuerpos, debido a la excitación que sus electrones constituyentes sufren a causa de la temperatura. Esta emisión abarca principalmente desde la parte del ultravioleta, del visible y todo el infrarrojo del espectro electromagnético [4,9]. El presente trabajo tiene como finalidad presentar el análisis de la calidad de la madera de pino en forma triplay, por medio de la radiación térmica modificado por pulsos térmicos y obteniendo secuencias de imágenes con una cámara infrarroja.

Emisión de Radiación Térmica

Es un fenómeno volumétrico cuando la radiación emerge o entra a un volumen finito (es el efecto de la emisión a través de un volumen), y se habla de un fenómeno superficial cuando la radiación se origina (o penetra) desde una distancia de aproximadamente $1\mu\text{m}$ de la superficial expuesta, como se trabaja generalmente para sólidos y líquidos. Toda la fenomenología de radiación térmica, al igual que la teoría cuántica, está sustentada en la idealización de un cuerpo, denominado cuerpo negro, el cual por definición es un perfecto emisor y receptor en todas las longitudes de onda y direcciones, y por ende las propiedades radiactivas de los materiales reales son referenciadas con base en éste.

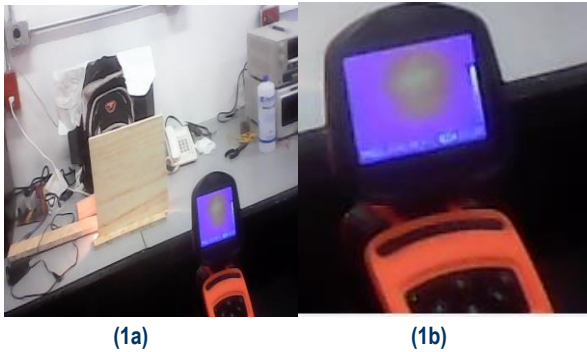
MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar el presente trabajo, se utilizaron tablas de triplay (madera de pino) con un grosor de 1.5 cm, una cámara termográfica (SDS Infrared), un software (SatlrReport) y una lámpara de halógeno de 500 W para la transferencia de calor.

Para observar las propiedades de la madera, se transfiere calor con la lámpara a una temperatura inicial de 30°C y llegando a 133°C . Con una distancia de 10cm y con una duración de 5 minutos. Posteriormente a ello, el calor transferido a la madera se observa con la cámara termográfica (SDS Infrared) a una distancia de 60cm, y usando una paleta de color gris invertido, se ajusta el nivel en 30°C y el alcance a 40°C con una Temperatura de esfera de -20 a -250°C y

emisividad (ϵ)=0.98. En la Imagen 1a se observa visualmente la madera en transferencia de calor y en la Imagen 1b se observa la imagen por medio de la cámara termográfica.

IMAGEN 1 :(1a): Demostración visual (1b): lo que capta la cámara durante la transferencia de calor a la madera.



Finalmente para la identificación de los parámetros de interés, se utilizó las fórmulas de Fourier y de Stefan- Boltzmann para la transferencia de calor en los parámetros de conducción, convección y radiación. En la Tabla 1 se muestran las formulas.

TABLA 1: Formulas para el cálculo de los factores de transferencia de calor.

Ley	Factores	Formulas
Fourier	1. Conducción.	$q_k = -\frac{kA}{L}(T_2 - T_1) = \frac{kA}{L}(T_1 - T_2)$ 43
Fourier	2. Convección.	$q_r = \sigma AT^4$
Stefan- Boltzmann	3. Radiación.	$G = \sigma T_{aire}^4$
Ley de enfriamiento de newton		$q'' = hA(T_s - T_\infty)$
Constante de Stefan- Boltzmann		$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot K^4$

- **Conducción.**

Cuando en un medio sólido existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura.

Convección.

En este sistema de transferencia de calor interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas.

La transmisión de calor por convección puede ser:

- **Forzada:** a través de un ventilador (aire) o bomba (agua) se mueve el fluido a través de una zona caliente y éste transporta el calor hacia la zona fría.
- **Natural:** el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor.

Radiación.

Emisión de energía o de partículas que producen algunos cuerpos y que se propaga a través del espacio. Por radiación la energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. La radiación electromagnética que se considera aquí es la radiación térmica.

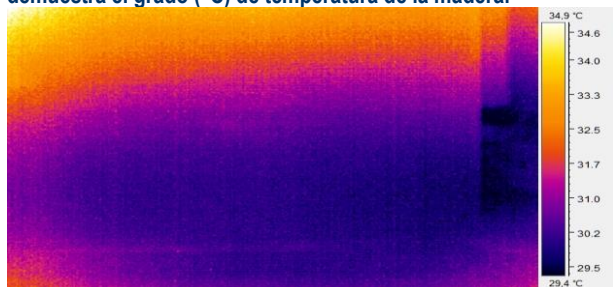
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la aplicación de la termografía pulsada, se logró verificar la calidad interna de la madera de distintos tipos de triplay, madera muy utilizada en la construcción, y su estudio y caracterización contribuye a eliminar riesgos que pueden ser muy costosos para dicha organización. Para el estudio de sus propiedades de la madera se utilizaron las leyes de Fourier, ley de enfriamiento de Newton y la ley de Stefan Boltzmann para el cálculo de la conducción, convección y radiación del calor que se le transmite a la madera por medio de un reflector de halógeno. Como se mostró en la Tabla 1

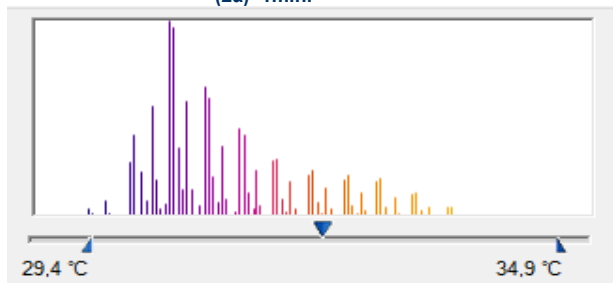
De acuerdo a la información que resalta la cámara se determinan los datos que se utilizaron para el cálculo de transferencia de calor en la tabla de triplay con un grosor de 1.5 cm. La temperatura

máxima que le transmitía la tabla de triplay era de 41.3°C, con esta temperatura la cámara termográfica resaltaba las partes defectuosas de la madera. En las imágenes 3a, 3b, 3c, 3d y 3e con sus respectivas graficas se muestran las partes defectuosas de la madera y la temperatura en esta zona.

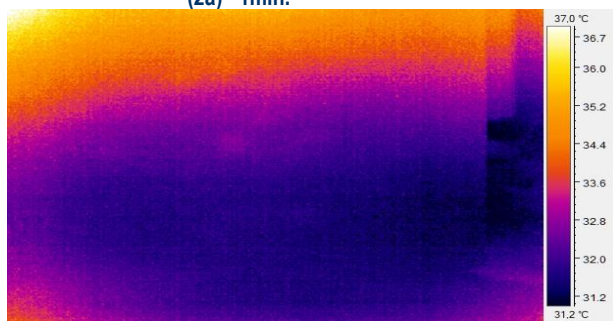
IMAGEN 2: (2a, 2b, 2c, 2d, 2e). Inicio de transferencia de calor, cada imagen por minuto y con sus respectivas en donde se demuestra el grado (°C) de temperatura de la madera.



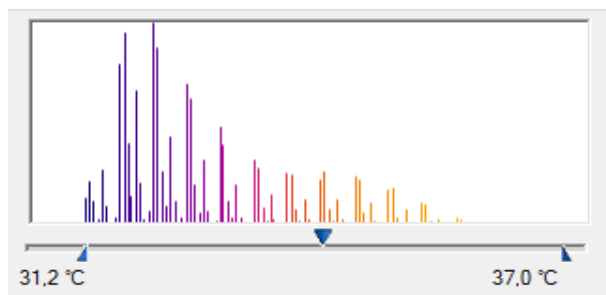
(2a) 1min.



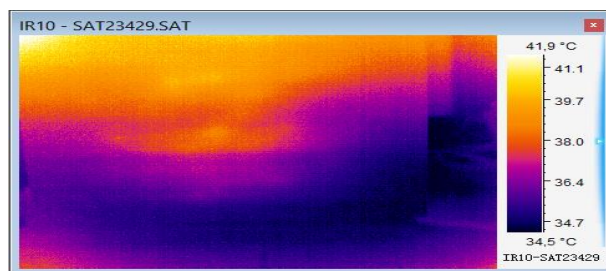
(2a) 1min.



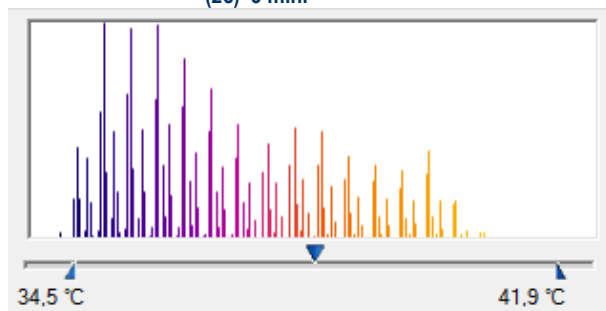
(2b) 2min.



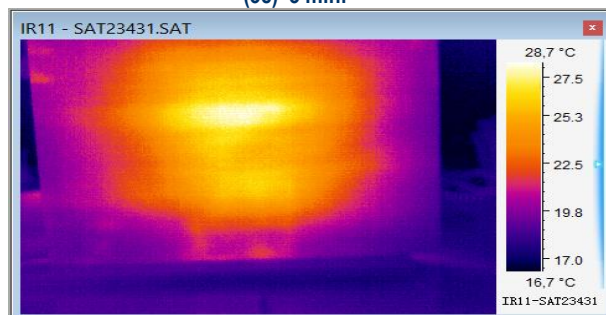
(2b) 2 min.



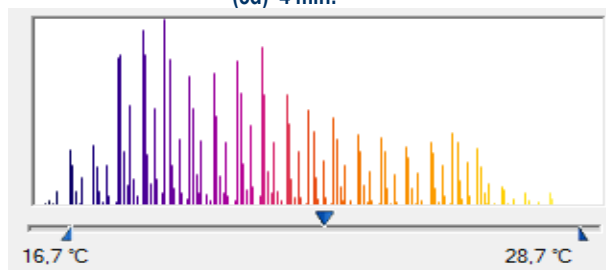
(2c) 3 min.



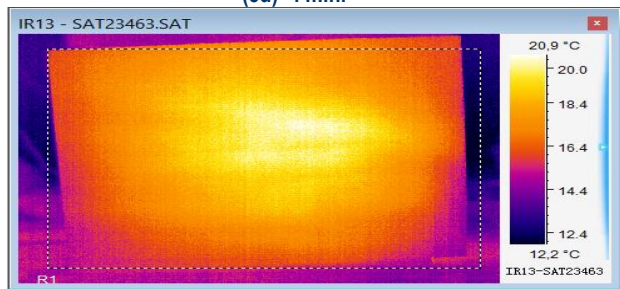
(3c) 3 min.



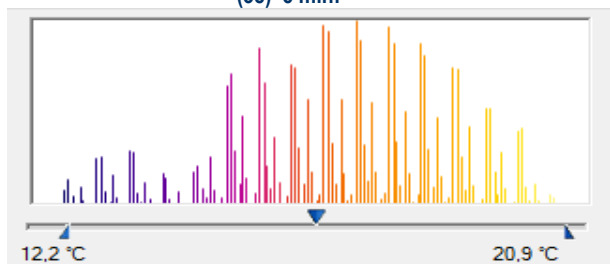
(3d) 4 min.



(3d) 4 min.



(3e) 5 min.



(3e) 5 min.

Como comprobación de los resultados de las transferencias de calor, la parte en donde la madera conserva el calor más tiempo, en las gráficas de las imágenes 3a, 3b, 3c, 3d y 3e en donde estás fueron calculadas con el software de la cámara, se resalta las temperaturas de acuerdo al tiempo en que el reflector de halógeno le transfería calor a la madera. La temperatura que se observa es variada por el tiempo en el que la madera está expuesta a la radiación del reflector de halógeno.

De los resultados del software se puede concluir que las temperaturas de la madera varían con el tiempo de exposición a la radiación, y de acuerdo a lo que se observa en la cámara termográfica, podemos decir que la madera no se encuentra en un buen estado, ya que de sus zonas tienen de defectos, y que estos defectos se manifiestan como gradientes de temperatura en la imagen de infrarrojo; sin embargo, del análisis realizado no es posible determinar si estos defectos surgieron durante su elaboración o como resultado de un mal cuidado que se le dio.

CONCLUSIONES

Es factible concluir que se cumplió el objetivo del proyecto, debido a que se analizó las propiedades de la madera para verificar el estado de su calidad

interna sin destruirla. Los resultados de su temperatura son variadas por el tiempo en que está se expone a la radiación de halógeno, pero la temperatura final es de 41°C ya que después de está temperatura las propiedades de la madera se sobre calientan y está se empieza a quemar.

Se determina la ventaja que tiene el reflector de halógeno al irradiar calor a la madera, ya que por la carga de energía resulta más fácil visualizar las partes defectuosas de la madera, sin embargo, si no se le transfiere calor a la madera sería imposible visualizar sus propiedades estructurales interna. En general se puede decir que la cámara termográfica es de vital importancia en las construcciones y en mantenimientos en equipos de trabajo en las organizaciones, ya que con ella se pueden visualizar las partes defectuosas de las maquinas, así ayudando a reducir costos de los mantenimientos correctivos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi institución que me dio el apoyo para poder realizar mi estancia, y a mi asesor Carlos Villaseñor Mora por su tiempo y para el desarrollo de este trabajo y así mismo, a la universidad de Guanajuato por darme la oportunidad de participar en este verano científica 2017.

REFERENCIAS

- [1] Chávez Valencia, L. E., Hernández Barriga, C., & Ruiz Jaime, C. L. (2010). Determinación de la calidad de la madera de construcción. *Acta Universitaria*, 20(2).
- [2] Acuna, M. A., & Murphy, G. E. (2007). Uso de espectroscopia infrarroja y análisis multivariado para predecir la densidad de la madera de pino oregón. *Bosque (Valdivia)*, 28(3), 187-197.
- [3] Ramón-Prieto, C., Xamán-Villaseñor, J., Álvarez-García, G., & Noh-Pat, F. (2007). Análisis de la transferencia de calor en una cavidad ventilada con una pared conductora de calor. *Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo*, 2(4).
- [4] Suárez Castañeda, J. L., Amell Arrieta, A. A., & Cadavid Sierra, F. J. (2012). La radiación infrarroja como mecanismo de transferencia de calor de alta calidad en procesos de calentamiento. *Ingeniería y Ciencia*, 8(16), 97-127.

[5] Zavala Zavala, D., & Valdivia Acevedo, R. (2004). Transferencia de calor y su efecto en el proceso de prensado de tableros contrachapados. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 10(1).

[6] Soto, S., & Roger, N. (2006). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo-DOE RUN PERÚ.

[7] Maldague, X. P. (1996). Nondestructive evaluation of materials by infrared thermography. NDT and E International, 6(29), 396.

[8] Hernández, E. Mecanismos de transmisión de calor.

Libro:

[9] Frank, I., & David, D. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. Editorial Prentice Hall, cuarta edición, México.

Capítulos: 6, 11 y 12