



ENSAYOS NO-DESTRUCTIVOS DE MATERIALES EMPLEADOS EN OBRAS CIVILES MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Luis Abad Rodríguez-Galván^a, Juan Carlos Ramírez-Granados^a, Marija Strojnik^b,
Blanca E. Gómez-Luna^a, Rafael Alejandro Veloz-García^a, Israel Enrique Herrera-Díaz^a

^aDepartamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías,
Universidad de Guanajuato, Celaya, Gto., larg1992@hotmail.com, jcramirez@ugto.mx,
bgomezl2000@yahoo.com.mx, alejandrovloz@hotmail.com, eherrera@ugto.mx

^bCentro de Investigaciones en Óptica, A.C., León, Gto. mstrojnikp@aol.com

Autor para correspondencia: jcramirez@ugto.mx

Resumen

La termografía infrarroja puede reunir información térmica de un objeto para evaluarlo de manera no-destructiva mediante la detección de defectos ocultos en su estructura que pueden afectar su desempeño o apariencia. El principal objetivo de este trabajo de investigación es modelar el proceso de inspección de objetos y materiales usados en obras civiles para determinar sus características internas. Por esta razón, simulamos la inspección de placas con varias capas de materiales distintos para determinar si en su interior existen imperfecciones, tales como fisuras, delaminaciones, huecos o insertos de materiales extraños que pueden alterar la integridad del objeto. Utilizamos un modelo de transferencia de calor basado en diferencias finitas que fue implementado en el lenguaje de programación Visual C++. También consideramos las propiedades físicas y térmicas de materiales típicamente empleados en construcciones civiles tales como ladrillo rojo, concreto, mortero, acero, asfalto, madera, tablarroca, entre otros. Realizamos simulaciones numéricas de objetos con diferentes combinaciones de materiales y defectos. A través del análisis del comportamiento temporal de la señal térmica emitida por los defectos fue posible detectarlos bajo ciertas condiciones. Esta aplicación de la termografía infrarroja puede ser de gran utilidad para evaluar el estado de estructuras civiles, monumentos históricos, obras de arte, etc. y determinar si requieren ser restaurados o reemplazados para preservar su funcionalidad y aspecto.



1. INTRODUCCIÓN

La termografía es un proceso de obtención de imágenes térmicas que brindan información sobre la temperatura superficial de un cuerpo tomando en cuenta la radiación emitida por dicho cuerpo. La cantidad de radiación emitida por un cuerpo aumenta a medida que aumenta su temperatura. La termografía es un tipo de obtención de imágenes por radiación infrarroja, ya que la radiación emitida por un cuerpo corresponde a una temperatura diferente. Es la única técnica diagnóstica que permite una visualización instantánea del desempeño térmico de un elemento.

El trabajo presentado es una contribución al campo de la termografía desde el punto de vista numérico, y se espera que los resultados logrados puedan ser de gran utilidad para la evolución tecnológica en el desarrollo de la termografía computacional.

El tratamiento numérico realizado en este trabajo busca describir procesos térmicos para determinar fallas a partir del comportamiento térmico en los mismos. (Cartz, 1995)

2. TEORÍA

La principal técnica empleada en las pruebas infrarrojas es la Termografía Infrarroja (TI). Esta técnica se basa en la detección de áreas calientes o frías mediante el análisis de la parte infrarroja del espectro electromagnético. La radiación infrarroja se transmite en forma de calor mediante ondas electromagnéticas a través del espacio. De esta forma, mediante el uso de instrumentos capaces de detectar la radiación infrarroja es posible detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en los materiales.

Generalmente, en la técnica de TI se emplean una o más cámaras que proporcionan una imagen infrarroja (termograma), en la cual las áreas calientes se diferencian de las áreas frías por distintas tonalidades. Como ejemplo, podemos observar la termografía de abajo (Fig. 1), en la cual los tonos amarillos y rojizos representan las áreas calientes y los tonos azules y violetas representan las áreas frías.

La técnica de TI ofrece grandes ventajas: no se requiere contacto físico, la prueba se efectúa con rapidez incluso en grandes áreas, los resultados de la prueba se obtienen en forma de una imagen o fotografía, lo cual agiliza la evaluación de los mismos.

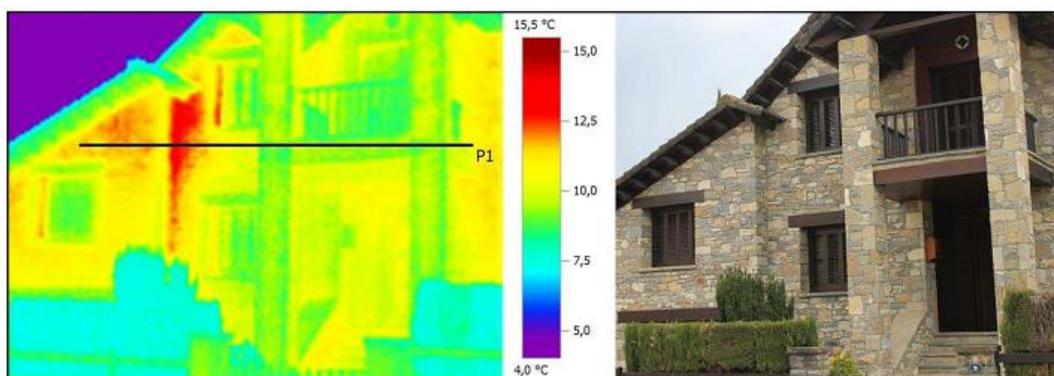


Fig.1. Localización de defectos en instalaciones eléctricas, el análisis de delaminaciones de materiales compuestos, el control de proceso de fabricación, la detección de pérdidas energéticas en edificaciones son importantes beneficios mediante el uso de la termografía infrarroja. (Mur, 2011)



La termografía es la rama de la Teledetección que se ocupa de la estimación de la temperatura superficial de los objetos desde una cierta distancia. La termografía infrarroja es la técnica que consiste en producir una imagen visible de radiación infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por los objetos de acuerdo a su condición térmica. Una cámara termográfica produce una imagen en tiempo real (visualizada como fotografía de la temperatura superficial de un objeto). (Schickert, 1980)

Las cámaras calculan la temperatura superficial de cualquier objeto y producen una imagen con colores o tonos de gris que representan el diseño térmico con facilidad. Una imagen producida por una cámara infrarroja es llamada: termografía o termograma. La termografía infrarroja es una técnica que permite medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión a distancia y sin ningún contacto (Fig. 2).



Fig. 2. Las áreas más claras de este edificio con calefacción aumentaron las pérdidas de calor. Tales indicaciones son normales para las ventanas y las puertas, las superficies irregulares de las paredes sugieren aislamiento, probablemente estaba mal colocado un material fundido en la cavidad de la pared después de la construcción. (Mur, 2011)

Las termografías pueden ser aplicadas en cualquier situación donde un problema o condición puede ser visualizado por medio de una diferencia de temperatura. Una termografía puede tener aplicación en cualquier área siempre y cuando ésta tenga que ver con una variación de temperatura. (Wilmington, June 2002)

Las funciones principales de la termografía infrarroja son:

- Detectar problemas rápidamente sin interrumpir el funcionamiento del equipo.
- Minimizar el mantenimiento preventivo y el tiempo en localizar problemas.



3. RESULTADOS

Se utilizó un modelo de transferencia de calor basado en diferencias finitas el cual fue implementado en el lenguaje de programación Visual C++, en el que se consideraron las propiedades físicas y térmicas de los materiales empleados en el área de la construcción.

Se realizaron simulaciones numéricas de materiales diferentes, así como se observa en la realidad, como por ejemplo: yeso-ladrillo rojo, acero-concreto, entre otros. A los cuales se hicieron varias pruebas con diferentes combinaciones y defectos. A través del análisis del comportamiento temporal de la señal térmica emitida por los defectos fue posible detectarlos bajo ciertas condiciones.

A continuación se muestra el resultado de una simulación de una placa que consta de 2 capas, la primera es de yeso y la segunda de ladrillo rojo, esto con la finalidad de representar un muro.

Tabla 1. Propiedades físicas y térmicas de los materiales que se utilizaron:

Material	d=Densidad (Kg/m ³)	k=Conductividad Térmica (W/m°C)	Ce=Calor Específico (J/Kg°C)	α=Difusividad térmica (m ² /s)
Yeso	700	0.24	840	4.095E-07
Ladrillo rojo	1800	0.63	920	3.790E-07

(Maldague, 1993)

La fórmula a utilizar para calcular la difusividad térmica (α) es la siguiente:

$$\alpha = \frac{k}{d * Ce}$$

El modelo computacional numérico se realizó con las siguientes propiedades iniciales:

- Defecto que se está simulando: Aire a una temperatura de 300K (23.99672E-6 m²/s²)
- Espesor de la capa de Yeso: 0.001 m
- Espesor de la capa de Ladrillo rojo: 0.00953 m
- Dimensiones de la placa de prueba: 0.012 m * 0.012 m
- Tiempo que se requiere analizar: 0.1 seg.
- Difusividad térmica de yeso: 4.095E-07 m²/s
- Difusividad térmica del ladrillo rojo: 3.790E-07 m²/s

Se van a presentar defectos con tres formas geométricas los cuales se muestran a diferentes profundidades.

a) Defecto Cilíndrico:

- Dimensiones de la placa: 0.012 m * 0.012 m
- Altura del defecto: 0.04 m
- Diámetro del cilindro: 0.06 m
- Profundidad donde inicia el defecto: 0.004 m

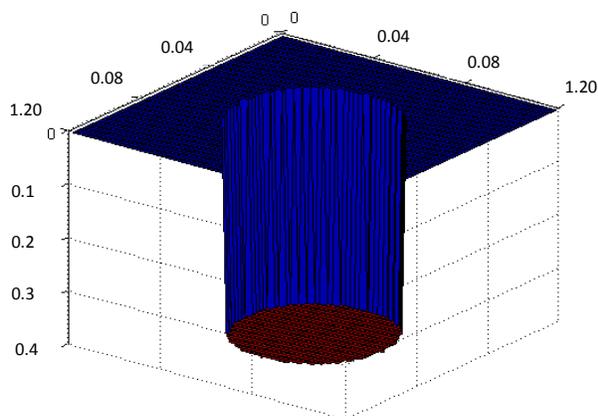


Fig. 3a. Defecto modelado de una placa (m)

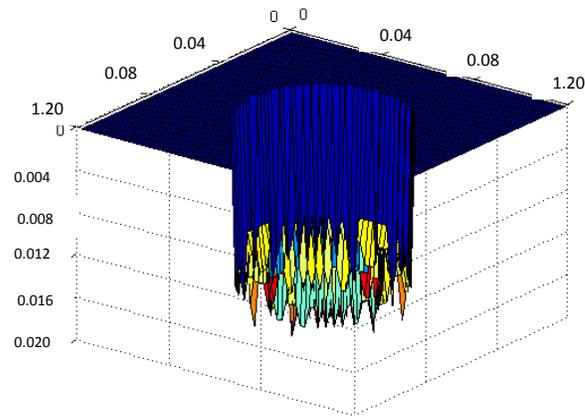


Fig. 3b. Defecto detectado a través de la termografía infrarroja de una placa (m)

En la Fig. 3a se muestran los defectos modelados, mientras que en las Fig. 3b se presentan los defectos detectados a través de Termografía Infrarroja y la técnica de análisis de datos que desarrollamos en donde se proyectó un defecto en forma cilíndrica.

b) Defecto Discoidal:

- Dimensiones de la placa: 0.012 m * 0.012 m
- Altura del defecto: 0.004 m
- Diámetro del cilindro: 0.06 m
- Profundidad donde inicia el defecto: 0.004 m

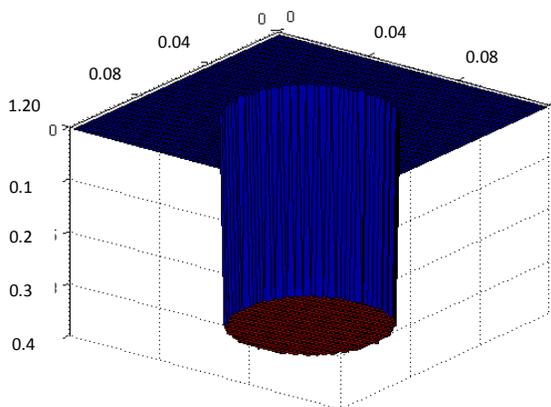


Fig. 4a. Defecto modelado de una placa (m)

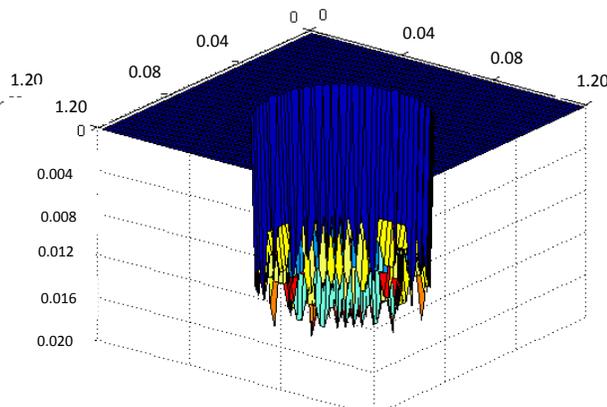


Fig. 4b. Defecto detectado a través de la termografía infrarroja de una placa (m)



En la Fig. 4a se muestran los defectos modelados, mientras que en las Fig. 4b se presentan los defectos detectados a través de Termografía Infrarroja y la técnica de análisis de datos que desarrollamos en donde se proyectó un defecto en forma discoidal.

c) Defecto cúbico:

- Dimensiones de la placa: 0.012 m * 0.012 m
- Altura del defecto: 0.03 m
- Profundidad donde inicia el defecto: 0.001 m

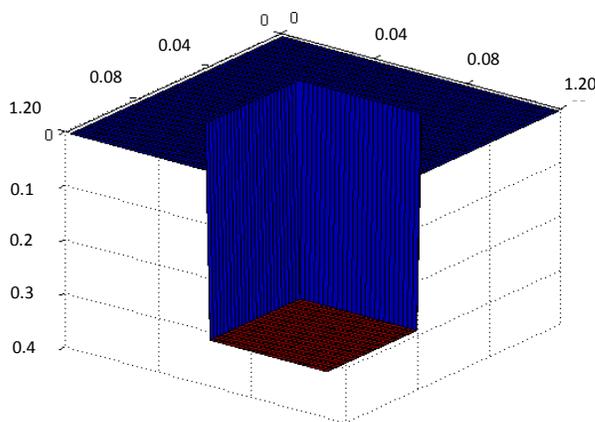


Fig. 5a. Defecto modelado de una placa (m)

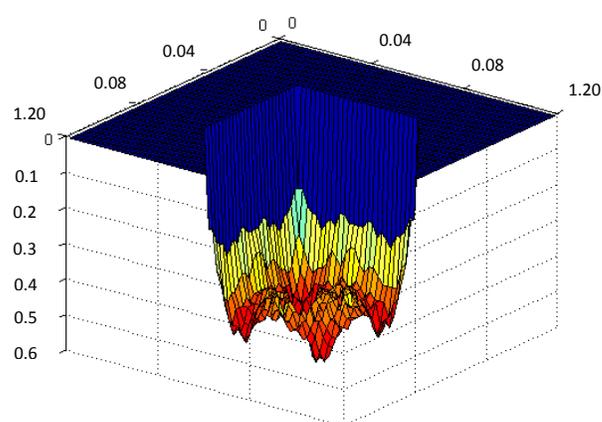


Fig. 5b. Defecto detectado a través de la termografía infrarroja de una placa (m)

En las Fig. 4a se muestran los defectos modelados, mientras que en las Fig. 5b se presentan los defectos detectados a través de Termografía Infrarroja y la técnica de análisis de datos que desarrollamos en donde se proyectó un defecto en forma cubica.

4. CONCLUSIONES

La Termografía Infrarroja es una técnica de inspección no-destruccion aplicable a cualquier fenómeno físico que conlleve una variación de temperatura o emisividad del cuerpo. No es necesario el contacto físico entre el cuerpo y el equipo, lo cual elimina posibles perturbaciones en la temperatura. Además, es una técnica rápida y aplicable *in situ*.

Una primera prueba de la zona de estudio indica aquellas áreas en las que se produce un cambio de la radiación emitida. Posteriormente, sería necesario un estudio más detallado de la zona dañada. Este primer estudio nos daría un perfil de variación de radiación sobre la superficie.

Si estos datos se complementan con el conocimiento de los posibles fenómenos que están ocurriendo en el objeto o con medidas realizadas por otras técnicas, se pueden obtener perfiles de temperatura, emisividad u otras variables que son el origen de estos cambios (humedad, espesores,



etc.). Una limitación importante de la técnica es el carácter superficial de sus medidas. Todos los resultados obtenidos se refieren a la superficie del cuerpo o a una capa delgada.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Louis Cartz, (1995), Nondestructive Testing. United States of America: ASM INTERNATIONAL. P.p. 229-261
- [2] Wilming, John and Rirozzol, (June, 2002), Advance Analysis. World Coal.
- [3] Maldague, Xavier. P. (1993). Nondestructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography. London: Springer-Verlag.
- [4] SCHICKERT, R.: "Infrared thermography as a possible tool to detect damaged areas in buildings". SPIE Vol. 254. Thermosense III (1980) (pp. 11-117).
- [5] Mur, A. M. (2011). Caracterización térmica de un conjunto de edificaciones mediante termografía infrarroja. Valencia, España: Escuela Técnica Superior Ingeniería de Edificación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Guanajuato (UG), la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado (DAIP) de la UG, al Centro de Investigaciones en Óptica y al CONACYT por su apoyo técnico y financiero a través del proyecto 252-2013.