

INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS CIVILES POR MEDIO DE TERMOGRAFÍA

DIEGO ARMANDO MORA AREVALO



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS CIVILES POR MEDIO DE TERMOGRAFÍA

DIEGO ARMANDO MORA AREVALO

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director

OSCAR JAVIER BEGAMBRE CARRILLO
Ingeniero civil, PhD en Ingeniería de Estructuras

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2016

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. METODOLOGÍA	14
3. CALOR, TEMPERATURA Y RADIACIÓN	15
3.1 CALOR.....	15
3.2 TEMPERATURA.....	15
3.3 RADIACIÓN	16
4. TERMOGRAFÍA INFRARROJA.....	17
5. LA CÁMARAS INFRARROJAS.....	19
5.1 MEDICIONES TERMOGRÁFICAS	20
6. EMISIÓN, REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN	21
7. LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA APLICADA EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO	22
8. DESCRIPCIÓN DE LA INSPECCIÓN	26
8.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA...27	
9. REALIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN	29

9.1 ANÁLISIS DE CADA CUERPO.....	29
9.2 ANÁLISIS GENERAL.....	45
10. CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Rango de medición Infrarrojo en el espectro electromagnético [9]	16
Figura 2. Esquema de adquisición de imágenes IR por Termografía Infrarroja activa.	17
Figura 3. Los actores del acto termográfico y los fenómenos físicos que intervienen en la medición. [12]	20
Figura 4. Emisión, reflexión y transmisión en un objeto. [9]	21
Figura 5. Ejemplo de detección de delaminación en un puente. Izquierda, detección de delaminación. Derecha, misma imagen delaminación captada por una cámara termografía [8].	22
Figura 6. Cámara termográfica industrial-comercial Fluke Ti125 [7]	27
Figura 7. Cuerpos de prueba.	29
Figura 8. Cuerpo de prueba 1 (CP)	30
Figura 9. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba (Fecha: 27/01/2016, Hora: 15:16:43)	30
Figura 10. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1: variaciones de temperatura (SmartView)	31
Figura 11. Imagen del cuerpo de prueba (CP1) - Experimento 1: Superficie lisa	32
Figura 12. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1 CP1 – Experimento 1 (Fecha: 27/01/2016; Hora: 15:15:16)	33
Figura 13. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1- Experimento 1: Variaciones de temperatura (SmartView)	33
Figura 14. Imagen de cuerpo de prueba 2 cubierta de pintura roja – Experimento 2	34
Figura 15. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1- Experimento 2	35
Figura 16. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1- Experimento 2: Variaciones de temperatura (SmartView)	35
Figura 17. Cuerpo de prueba 2 (CP2)	37

Figura 18. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 1 (Fecha: 27/01/2016, Hora: 15:46:10)	37
Figura 19. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 2 – Experimento 1: Variaciones de temperatura (SmartView)	38
Figura 20. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 2 (Fecha: 28/01/2016, Hora: 15:20:54)	39
Figura 21. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 2: Variaciones de temperatura (SmartView)	39
Figura 22. Cuerpo de prueba 3 (CP3).....	41
Figura 23. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 1. a) Vista frontal, b) Vista Superior (Fecha: 28/01/2016, Hora: 15:21:59)	41
Figura 24. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 1: Variaciones de temperatura. a) Vista frontal, b) Vista Superior (SmartView)	42
Figura 25. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3– Experimento 2: a. Cara Frontal b. Cara superior. (Fecha: 29/01/2016 Hora: 11:09:16)	43
Figura 26. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 1: Variaciones de temperatura. a) Vista frontal, b) Vista Superior (SmartView)	44

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Termografía Infrarroja	17
Tabla 2. Tabla de Emisividad (ϵ) de materiales comunes [11].....	24
Tabla 3. Especificaciones técnicas de la Cámara termográfica industrial-comercial Fluke Ti125 [7]	27
Tabla 4. Dimensiones de los cuerpos prueba	29
Tabla 5. La tabla muestra los datos de la temperatura máxima y mínima de la superficie externa de cada cuerpo y los datos de Radiación de cada cuerpo y su radiación solar.	45

RESUMEN

TITULO: INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS CIVILES POR MEDIO DE TERMOGRAFÍA*

AUTOR: DIEGO ARMANDO MORA AREVALO**

PALABRAS CLAVES: Termografía Infrarroja, Placa en concreto, Mediciones termográficas, Calor, Temperatura.

DESCRIPCIÓN

La termografía es una técnica de inspección no destructiva que permite, a distancia y sin contacto alguno, visualizar las temperaturas de superficie con precisión. En una estructura de concreto reforzado la termografía infrarroja sirve de apoyo para inspeccionar el recubrimiento al cual se observa el cambio termográfico de los diferentes materiales, puesto que esta tiene la capacidad de aportar imágenes visibles del estado energético de cualquier objeto. Este trabajo tiene como fin verificar la utilización de la termografía infrarroja (TIR) como técnica de inspección del estado de cuatro cuerpos de muestra en entorno natural (placas en concreto) que se componen de diferentes elementos. Se reúnen los resultados obtenidos en varios trabajos de campo. Mediante esta técnica se pueden analizar: localización de materiales y elementos ocultos, presencia de grietas, localización de estructuras, localización de zonas húmedas y puntos donde se presenta pérdidas de calor. La termografía Infrarroja (TIR) permite inspeccionar un gran número de estructuras en un breve periodo de tiempo, proporcionando resultados con alto grado de veracidad. Los resultados se muestran en función del número de estructuras inspeccionadas. Estas inspecciones se realizaron en un horario de 10 a.m. hasta las 4 p.m. para evidenciar con más exactitud los elementos que componen cada estructura.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Oscar Javier Begambre Carrillo Ingeniero civil, PhD, en Ingeniería de Estructuras.

ABSTRACT

TITLE: INSPECTION OF CIVIL STRUCTURES THROUGH TERMOGRAFIA *

AUTHOR: DIEGO ARMANDO MORA AREVALO **

KEY WORDS: infrared thermography, plate of concrete, thermographic measurements, heat, temperature.

DESCRIPTION

Thermography is a inspection technique non destructive that allows within distance and without contact view the temperatura surfaces accuratelu in a reinforced concrete structure infrared thermography provides support to inspect the covering which thermographic xhange is observed from different materials since this has the ability to provide visible images of the energy state of any object. This paper has a final goal to verify the use of the infrared thermography (TIR) as a technique of inspection of the state of four test specimens in natural environment (plate of concrete) that is composed by many different elements. The results obtained in various field works were collected by this method we could analyze: the location of the materials and hidden elements, the presence of cracks, the location of structure, the location of humid zones and specific points where the head is lost. The infrared thermography let us inspection a great number of structures in a short period of time, giving us fast results. The results are shown in function of the number of the structures inspected. These inspections were made between 10 a.m. and 4 p.m. choosing a moment of cloudy weather for taking photography this to to demonstrate with accuracy the elements that make up each structure.

* Job grade

** Faculty of Physical- Mechanical Engineering , School of Civil Engineering , Director Oscar Javier Carrillo Begambre civil engineer, PhD in Structural Engineering

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes técnicas que se usan en la inspección de estructuras de obra civil, estas técnicas deben ser capaces de proporcionar resultados con una sola medición, debido a la complejidad de cada medición. Para esto es recomendable usar la termografía infrarroja puesto que es una técnica de inspección no destructiva que permite, a distancia y sin contacto alguno, visualizar las temperaturas de superficie con precisión. En una estructura de concreto reforzado la termografía infrarroja sirve de apoyo para inspeccionar el recubrimiento al cual se observa el cambio termográfico de los diferentes materiales, puesto que esta tiene la capacidad de aportar imágenes visibles del estado energético de cualquier objeto.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Emplear termografía para inspección no destructiva de estructuras civiles.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Proponer y elaborar un cuerpo de prueba (placa), con las características especificadas en el planteamiento.

Determinar los patrones que diferencian las propiedades térmicas de los elementos a analizar mediante el empleo de una técnica termografía.

2. METODOLOGÍA

Este proyecto de investigación está dividido por las siguientes fases:

FASE I

Se comienza la elaboración del trabajo con la recopilación de información, revistas y artículos científicos, bases de datos, tutoriales del manejo de la cámara termográfica y todo tipo de pautas iniciales que nos aporten asesoría sobre el tema.

FASE II

Se filtrará la información recopilada en la primera fase analizando lo más pertinente para seguidamente elaborar el cuerpo de prueba y poder leer los posibles resultados que se van a obtener.

FASE III

Como última instancia se analizará y se dará resultado de los datos obtenidos en laboratorio, plasmado en un artículo científico que de declaración detallada y argumentada para una fácil comprensión a los lectores.

3. CALOR, TEMPERATURA Y RADIACIÓN

3.1 CALOR

El calor es la cantidad de energía cinética. Es una expresión del movimiento de las moléculas que componen un cuerpo. Cuando el calor entra en un cuerpo se produce calentamiento y cuando sale, enfriamiento. Incluso los objetos más fríos poseen algo de calor porque sus átomos se están moviendo.

El tipo de energía que se pone en juego en los fenómenos caloríficos se denomina energía térmica. El carácter energético del calor lleva consigo la posibilidad de transformarlo en trabajo mecánico. Las máquinas de vapor que tan espectacular desarrollo tuvieron a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX eran buena muestra de ello. Desde entonces las nociones de calor y energía quedaron unidas y el progreso de la física permitió, a mediados del siglo pasado, encontrar una explicación detallada para la naturaleza de esa nueva forma de energía, que se pone de manifiesto en los fenómenos caloríficos. [1]

3.2 TEMPERATURA

La temperatura es la medida del calor de un cuerpo (y no la cantidad de calor que este contiene o puede rendir).

La temperatura se mide en unidades llamadas grados, por medio de los termómetros, esto se refiere que para medir la temperatura utilizamos una de las magnitudes que sufre variaciones linealmente a medida que se altera la temperatura. [1]

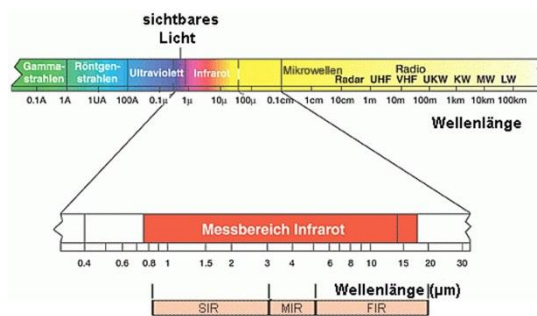
Existen tres escalas definidas para medir la temperatura: Celsius, Fahrenheit y Kelvin; siendo esta última, también denominada “escala termodinámica”. El Kelvin se basa en la energía térmica que poseen los cuerpos y es por tanto la medida empleada en por la física. En este proyecto de investigación se usaran las escalas Celsius y Fahrenheit.

3.3 RADIACIÓN

Es un fenómeno que consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un material

Todos los objetos con una temperatura absoluta por encima del 0 K (0 Kelvin = - 273,15°C) emiten radiaciones infrarrojas (figura 1). Estas radiaciones infrarrojas son invisibles al ojo humano. [1]

Figura 1. Rango de medición Infrarrojo en el espectro electromagnético [9]



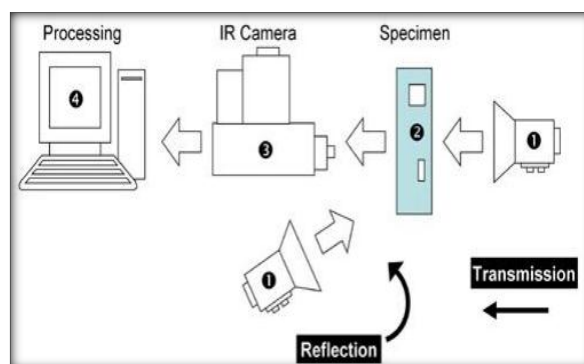
4. TERMOGRAFÍA INFRARROJA

En la tabla 1, se encuentra descrita la definición de la termografía infrarroja, junto con su clasificación:

Tabla 1. Termografía Infrarroja

TERMOGRAFÍA INFRARROJA	
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 por medio de cámaras termográficas. Existen dos formas de medir las radiaciones infrarrojas de un cuerpo o material: Termografía infrarroja pasiva y termografía infrarroja activa.	
TERMOGRAFÍA INFRARROJA PASIVA	TERMOGRAFÍA INFRARROJA ACTIVA
Es una forma de medición sencilla, la cual no necesita de una excitación o calentamiento externo para provocar en el objeto estudiado un flujo de calor. En la termografía infrarroja pasiva, los perfiles anormales de temperatura indican un problema probable. [2]	Es aquella que utiliza una fuente externa para atraer energía al objeto estudiado, provocando así un flujo de calor interno que tiene la finalidad de obtener diferencias de temperaturas significativas, (Figura 2). Estas diferencias de temperatura pueden captar defectos superficiales y subsuperficiales, ya que la presencia de estos en el interior del objeto modifica su difusión térmica haciendo que aparezcan contrastados con el área no afectada que les rodea. [2]

Figura 2. Esquema de adquisición de imágenes IR por Termografía Infrarroja activa.



- 1) La posición de la fuente de calor con respecto a la cámara infrarroja, se produce en reflexión o en transmisión. 2) El cuerpo inspeccionado con defectos internos. 3). Equipo de captura de imágenes infrarrojas. 4) fase de procesado, análisis y almacenamiento de las imágenes infrarrojas.

[2]

Existen 4 tipos de termografía infrarroja activa [2]:

Termografía pulsada:

Consiste en utilizar un calentamiento pulsado, corto e intenso sobre el cuerpo inspeccionado para luego medir como disminuye la temperatura. [2]

Termografía modulada:

Consiste en examinar un cuerpo sometido a un calentamiento sinusoidal, generando ondas térmicas en el interior de la pieza, en tal caso que existan anomalías internas causaran alteraciones a las ondas. [2]

Termografía de Pulso Largo:

Consiste en registrar el proceso de calentamiento de un cuerpo sometido a un calentamiento continuo y prolongado, de baja potencia o intensidad. [2]

Vibrotermografía:

Esta técnica está basada en el principio de que bajo vibraciones mecánicas inducidas externamente a un objeto, el calor es liberado por fricción en los lugares donde existen defectos, como una interrupción en la continuidad del material (grietas, huecos, etc.). Esto ocurre debido a que la energía mecánica se convierte en térmica dentro del material. [2]

5. LA CÁMARAS INFRARROJAS

Por su naturaleza, los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación de cuerpo negro en forma infrarroja en función de su temperatura, en general los cuerpos que emiten más radiación infrarroja son aquellos que tienen mayor temperatura. Estas mediciones se hacen a través de una cámara térmica o cámara infrarroja que operan con longitudes de onda en la zona del infrarrojo térmico, emitiendo imágenes donde muestran el comportamiento de la temperatura en los cuerpos. Estas imágenes pueden ser monocromáticas, es decir son aquellas que utilizan un solo tipo de sensor que percibe la longitud de onda infrarroja mostrando la zona con mayor temperatura en blanco y las de menor temperatura en negro y por otro lado están las que se usan particularmente para medición de temperaturas evidenciando imágenes más procesadas para mostrarse a color, estos colores no corresponden a la radiación infrarroja sino que la cámara asigna arbitrariamente de acuerdo a la intensidad de la longitud de onda, denominados falsos colores, para el caso en estructuras de concreto reforzado emiten imágenes que van desde el tono azul para objetos con menor temperatura hasta el tono amarillo para objetos con mayor temperatura.

En el caso de este proyecto, en placas de concreto la termografía infrarroja como técnica no destructiva permite por medio de las cámaras infrarrojas evidenciar en imágenes térmicas desde presencia de agua, cambios de materiales, alteraciones en la superficie, entre otras. La interpretación de las temperaturas superficiales puede indicar el estado de cada cuerpo analizado, si corresponden faltas de asilamiento entre los materiales que lo componen, infiltraciones de aire, infiltraciones de agua, entre otras.

5.1 MEDICIONES TERMOGRÁFICAS

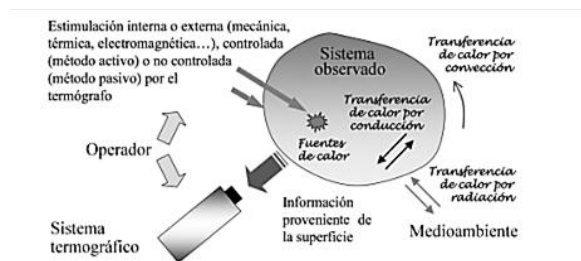
La complejidad de las mediciones termográficas van desde la naturaleza misma de la medición por medio de cámaras infrarrojas, la complejidad del objeto observado, la transferencia de calor del objeto observado y el medio ambiente que lo rodea, y la existencia de otras fuentes desconocidas de calor. Para el caso de la termografía activa es la transferencia que está bajo el control del operador, o termografía pasiva que es totalmente independiente a él. De acuerdo a esto se puede deducir que en las mediciones termográficas intervienen tres factores importantes:

1. El operador
2. El sistema observado
3. El medio ambiente o entorno.

La relación de los tres factores se evidencia en la figura 2, implicando los modos de transferencia de calor (radiación, convección y conducción), la producción de fuentes de calor de naturalezas diferentes.

Un diagnóstico termográfico solo es posible realizarlo cuando se tiene conocimiento de la cámara infrarroja usada y sus características metrológicas, información acerca del objeto observado y del medio ambiente y conocimientos en transferencia de calor.

Figura 3. Los actores del acto termográfico y los fenómenos físicos que intervienen en la medición. [3]

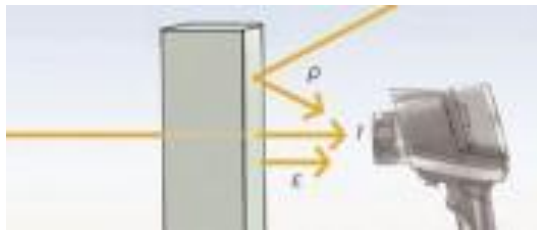


6. EMISIÓN, REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN

La conservación de la energía irradiada por Kirchoff describe que la radiación infrarroja detectada por la cámara termográfica consiste en:

- La radiación (ϵ) emitida por el objeto medido
- La reflexión (ρ) de las radiaciones del entorno
- La transmisión (τ) de radiación a través del objeto medido

Figura 4. Emisión, reflexión y transmisión en un objeto. [1]



Es decir la suma de las radiación, reflexión y transmisión es igual a uno (1)

$$\epsilon + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

Para el caso de cuerpos en concreto, la transmisividad es prácticamente despreciable en el dentro de rango de infrarrojo, se desprecia y la formula se simplifica a:

$$\epsilon + \rho = 1 \quad (2)$$

En términos de termografía, significa que la radiación es inversamente proporcional a la reflexión, es decir que mientras más baja sea la emisividad, más alta será la reflexión de ondas por ende será más difícil tomar mediciones exactas y será necesario ajustar correctamente la compensación de la temperatura reflejada. [1]

7. LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA APLICADA EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO

La primera publicación del uso de la TIR en elementos de concreto se hizo en 1973 en Ontario, Canadá, desde este tiempo se ha descubierto mucho sobre esta técnica. Actualmente se usa como método efectivo no destructivo, económico y conveniente para realizar ensayos sobre el concreto, puede determinar grietas en estructuras de concreto tales como edificaciones, pavimentos rígidos, tableros de los puentes, y estructura civil construida en concreto [4].

Esta técnica TIR ha demostrado ser eficaz y precisa en localización de grietas, presencia de humedades, (ver figura 5) [4].

Figura 5. Ejemplo de detección de delaminación en un puente. Izquierda, detección de delaminación. Derecha, misma imagen delaminación captada por una cámara termografía [4].



Todos los materiales tienen la capacidad de absorber radiaciones infrarrojas aumentando su temperatura. Así mismo los materiales con una temperatura superior al cero absoluto emiten energía infrarroja. La termografía es una técnica que aprovecha la radiación emitida por la superficie de un cuerpo como variable termométrica. Esta radiación es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura superficial del objeto (Ley de Stefan-Boltzmann):

$$W = \mu * \tilde{A} * T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3)$$

Donde W es la energía radiante de un cuerpo, μ es la emisividad (valor entre 0 y 1), \tilde{A} es la constante de Stefan-Boltzmann $5,7 * 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$ y T es la temperatura absoluta del objeto. [5]

En la práctica se puede considerar la emisividad como una constante propia de cada material, aunque en realidad es función de la longitud de onda, de la temperatura y del ángulo de incidencia. Por tanto, si se conoce la emisividad del objeto que se va a inspeccionar, la medida de la radiación arrojará el valor de la temperatura del objeto. En el caso de este proyecto, los materiales empleados en cada cuerpo de prueba tienen emisividades superiores a 0,8, (concreto $\epsilon=0.93$, Agua $\epsilon=0.98$, ver tabla 2) estos valores hacen que la temperatura medida mediante termografía proporcione valores correctos. Por el contrario los metales o materiales brillantes tienen emisividades entre 0,05 y 0,2, por lo que resulta difícil medir su temperatura si no se emplean sistemas para aumentar su emisividad [5].

Como se sabe, el espectro infrarrojo se extiende desde el límite del rango visible hasta llegar a la región de las microondas. Sin embargo, existen dos regiones donde la transmisión es más elevada, la zona de 3 a 5 $\frac{1}{4}$ m (Sistemas de onda corta) y la zona de 8 a 13 $\frac{1}{4}$ m (Sistemas de onda larga). El equipo empleado en este trabajo es una cámara Termográfica Fluke Ti125 es un sistema de onda larga (longitud de onda: 10×10^3) puesto que es más recomendado para el uso en exteriores porque captan con más dificultad las reflexiones solares y son más sensibles a las radiaciones de baja temperatura del entorno. Se trata de un sistema de captación de imágenes térmicas que representan la distribución superficial de temperaturas del objeto observado, permitiendo la realización de medidas y análisis térmico sobre la propia imagen.

El uso de la termografía infrarroja para la inspección de estructuras en concreto requiere un conocimiento previo de los fenómenos físicos que tienen lugar entre el exterior y el interior. La capacidad de acumulación de calor de un cuerpo es

función de su volumen, de su densidad y de su calor específico, cuan mayores sean éstos, el cuerpo acumulará más calor/frío y mantendrá su temperatura durante más tiempo transcurrido el período de calentamiento/enfriamiento. Las diferencias de temperaturas en los elementos de las estructuras en concreto estarán determinadas por las distintas cualidades de los materiales.

Tabla 2. Tabla de Emisividad (ϵ) de materiales comunes [6]

MATERIAL	ϵ
Aluminio pulido	0.05
Asbestos	0.96
Acero Corrugado	0.96
Hormigon	0.93
Ladrillo	0.85
Agua	0.98
Mortero	0.93
Hierro	0.97
Yeso	0.81
Esmalte	0.90
Pintura en aceite	0.94

La termografía es una herramienta eficaz a la hora de identificar los elementos que componen las estructuras en concreto. A pesar de que la termografía se basa en la medición de la radiación y, por tanto, la temperatura superficial de un cuerpo, se pueden detectar elementos interiores siempre que éstos transmitan por conducción su diferencia de temperatura hacia el exterior. Una aplicación muy interesante de la termografía es la de determinar fallos en la estructura y en el cerramiento. En el caso de este trabajo, es importante conocer los elementos que componen cada cuerpo, anomalías de superficie, presencia de grietas y humedad. La termografía muestra la localización de anomalías que no serían apreciables a simple vista. La detección de este tipo de fallos corresponde a una diferencia de emisividad más que a una diferencia de temperaturas. La zona donde se localiza el defecto no tiene las mismas características superficiales que la superficie intacta, lo que hace que varíe su capacidad de emitir radiación. Esta identificación permite conocer el estado en el que se encuentra cada cuerpo, si tiene zonas

húmedas, pérdidas de calor, situación de grietas, localización de elementos y materiales ocultos.

Algunas ventajas de la termografía para determinar el estado de conservación de una estructura real son: La termografía es una técnica no destructiva que proporciona información fiable y completa sobre diversas características de las estructuras, es decir toma de imágenes en tiempo real, lo que permite una visualización muy rápida de procesos estacionarios; toma medidas sin contacto alguno. Así, por una parte mantiene al usuario situado en posiciones remotas, alejado del elemento inspeccionado, permitiendo analizar zonas inaccesibles. No resulta intrusiva ni afecta de ninguna forma al cuerpo a caracterizar, lo que representa una condición muy importante para muchas aplicaciones. La termografía infrarroja es bidimensional, por lo que resulta posible la comparación entre áreas del mismo cuerpo. [7]

8. DESCRIPCIÓN DE LA INSPECCIÓN

Este proyecto se enmarca en la utilización de la termografía en varios cuerpos de prueba buscando identificar su aplicación en problemas reales podrá ayudar a detectar problemas potenciales.

Las inspecciones termográficas se han realizado desde el exterior de los cuerpos de prueba, por tanto se han obtenido mapas de temperaturas de la superficie de cada uno, los cuales muestran el estado de cada cuerpo, anomalías, defectos de construcción, cambios de material, entre otros.

Se han inspeccionado cuatro (4) cuerpos de prueba durante tres jornadas, en un horario de 10 a.m. hasta las 4 p.m., en tiempo nublado. Se ha seleccionado la hora y el tiempo de la inspección de tal forma que la radiación solar no incida y enmascare algunos fallos; lo cual evidenciara el comportamiento real de los elementos que las componen.

Los datos de temperatura ambiente fueron tomados de la página web de la escuela de ingeniería civil, de la Universidad Industrial de Santander, para el análisis se usó el software de la cámara Fluke Ti125 llamado Smartview 3.1, gentilmente prestado por división de mantenimiento tecnológico de la Universidad Industrial de Santander.

8.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Figura 6. Cámara termográfica industrial-comercial Fluke Ti125 [8]



Como ya se mencionó la cámara empleada es una Cámara Termográfica Industrial - Comercial Fluke Ti125. La cámara posee un sistema de enfoque que garantiza imágenes correctas a partir de una distancia de 1,2 metros (4 pies) para obtener una claridad de la imagen óptima y comodidad en la exploración. Es capaz de medir rangos de medición de temperatura de -10°C a $+350^{\circ}\text{C}$. En la tabla 3, se puede apreciar detalles del equipo.

Tabla 3. Especificaciones técnicas de la Cámara termográfica industrial-comercial Fluke Ti125 [8]

Especificaciones detalladas	
Resolución IR (tamaño FPA)	160 x 120 FPA
Banda espectral	7,5 μm a 14 μm (onda larga)
Captura o velocidad de actualización	Versiones de 9 Hz o 30 Hz
NETD (sensibilidad térmica)	$\leq 0,10^{\circ}\text{C}$ a 30°C temp. destino (100 mK)
Campo de visión (FOV)	22,5 $^{\circ}\text{H}$ x 31 $^{\circ}\text{V}$
Resolución espacial (IFOV)	3,39 mRad
Rango de medición de temperatura (no calibrada por debajo de -10°C)	-20°C a $+350^{\circ}\text{C}$ (de -4°F a $+662^{\circ}\text{F}$)
Precisión de medida de temperatura	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2% (a 25°C nominales, la mayor de ambas)
Alarmas de color	Alta temperatura
Paleta estándar	Azul-Rojo, Escala de Grises, Escala de Grises Invertida, Alto Contraste, Metal Caliente, Hierro, Ámbar, Ámbar Invertido
Capacidad de descarga directa	Descarga por mini USB directo a la PC
Rango de temperaturas de	De -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$ (de 14°F a 122°F)

funcionamiento	
Rango de temperaturas de almacenamiento	De -20 °C a +50 °C (de -4 °F a 122 °F)
Humedad de funcionamiento	En funcionamiento y en almacenamiento, del 10 % al 95 %, sin condensación
Resistencia a choques y vibraciones	2G, IEC 68-2-26 y 25G, IEC 68-2-29

9. REALIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN

Los cuerpos de prueba utilizados en la inspección son cuatro placas rectangulares (Figura 7) de diferentes dimensiones relacionadas en la tabla 4, en concreto con resistencia a la compresión de 3000 psi, y se presentan a continuación en la figura 7. Se busca observar los elementos que componen cada cuerpo y emplear el software de la cámara SmartView 3, encontrando datos de temperaturas. [8]

Figura 7. Cuerpos de prueba.



Tabla 4. Dimensiones de los cuerpos prueba

Cuerpo de Prueba	DIMENSIONES		
	H (cm)	B (cm)	A (cm)
CP	15	30	35
CP1	3	48	49,5
CP2	15	35	30
CP3	10,5	30	35

9.1 ANÁLISIS DE CADA CUERPO

- **Cuerpo de prueba (CP):**

Objetivo: Verificar la presencia de los elementos que componen el cuerpo de prueba CP.

Descripción. Corresponde a una placa en concreto con doble malla en acero de reforzamiento con recubrimiento de 2,5 cm, de tal forma que vistas desde la parte superior se observan las dos mallas. La primera malla contiene cuatro varillas # 4 (Diámetro: $\frac{1}{2}$ "= 1,27 cm, masa nominal: 0,994 Kg/m) en total, dos varillas transversales de 25 cm de longitud cada una y dos varillas longitudinales de 30 cm de longitud cada una. La segunda malla contiene seis varillas #5 (Diámetro: $\frac{5}{8}$ "= 1,588 cm, masa nominal: 1,552 Kg/m), tres varillas transversales de 25 cm de longitud cada una y tres varillas longitudinales de 30 cm de longitud cada una; como lo muestra la figura 8.

Figura 8. Cuerpo de prueba 1 (CP).



Figura 9. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba (Fecha: 27/01/2016, Hora: 15:16:43)

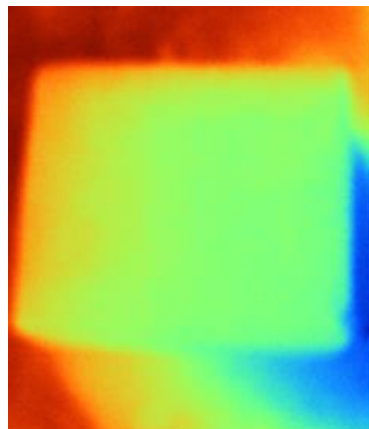
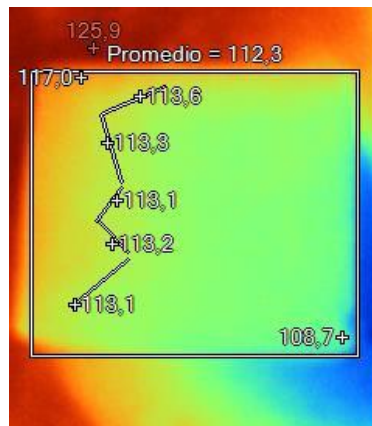


Figura 10. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1: variaciones de temperatura (SmartView)



De los mapas de temperatura del cuerpo CP, figura 9 y 10, se obtuvieron los siguientes datos:

T° máx CP= 113,80 °F = 45,44 °C

T° min CP= 110,00 °F = 43,33 °C

T° Ambiente= 87,55° = 30,86 °C

T° Prom CP= 112,6 °F = 44,61 °C

T° máx Externa= 125,9 °F = 52,16 °C

T° min Externa= 95,2 °F = 35,11 °C

Radiación solar= 250 W/m²

Análisis: Del cuerpo de prueba CP se obtuvo un mapa de temperatura evidenciado en la figura 9, el cual muestra una temperatura uniforme promedio (44,61 °C) en toda la superficie del cuerpo de color verde-amarillo, no se logra evidenciar la presencia del acero de refuerzo, la emisividad del acero es similar a la del concreto, (ver tabla 2) esto hace que se uniformice actuando como uno solo. Pero se realizaron líneas de medición de temperatura como se evidencia en la parte izquierda de la figura 10, las cuales nos indican la temperatura promedio de cada línea, buscando variaciones internas, obteniendo unas diferencias

temperatura oscilando entre 113,1 °F y 113,6 °F, estas mínimas variaciones son debido a la uniformidad de la placa en su superficie. En la parte superior de la imagen (Afuera del cuerpo) se observan dos variaciones de temperatura, la máxima 125,9 °F de color rojo correspondiente a un piso en concreto con impermeabilizante y la mínima 95,2°F de color azul correspondiente a la sombra generada por el cuerpo de prueba.

- **Cuerpo de prueba 1 (CP1):**

Corresponde a una placa en concreto con una malla electro soldada referencia Q5 (diámetro: 6mm) de reforzamiento, con recubrimiento de 1,2 cm; mostrada en la figura 11.

A este cuerpo de prueba se le realizaron dos experimentos, el primero con la superficie en concreto lisa y el segundo se aplicó pintura roja en toda la superficie.

Experimento 1: Superficie lisa

Objetivo: Verificar si se nota la presencia de elementos que componen el cuerpo, tales como la malla del acero, pueden alterar las mediciones termografías la presencia de defectos.

Figura 11. Imagen del cuerpo de prueba (CP1) - Experimento 1: Superficie lisa

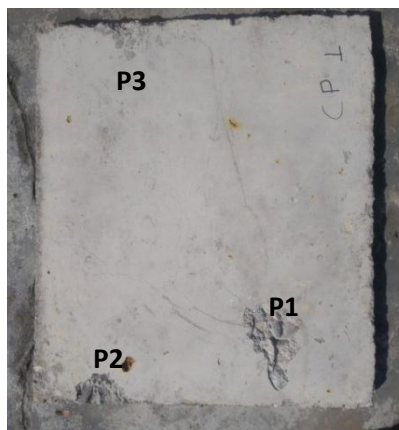


Figura 12. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1 CP1 – Experimento 1
(Fecha: 27/01/2016; Hora: 15:15:16)

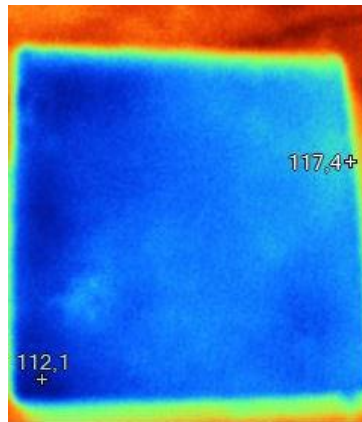
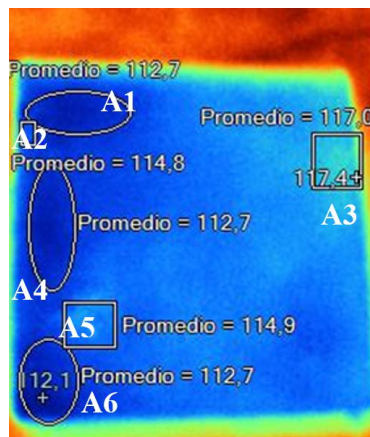


Figura 13. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1- Experimento 1:
Variaciones de temperatura (SmartView)



De los mapas de temperatura del cuerpo CP1 – Experimento 1, Figura 12 y 13, se obtuvieron los siguientes datos:

T° máx CP1= 117,40 °F = 47,44 °C

T° min CP1= 112,10 °F = 44,50 °C

T° Ambiente= 87,55° = 30,86 °C

T° Prom CP1= 115,30 °F = 46,27 °C

T° máx Externa= 127,00 °F = 52,57 °C

$T^{\circ} \text{ min Externa} = 115,60 \text{ }^{\circ}\text{F} = 46,40 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Radiación Solar= 250 W/m^2

Análisis: Del mapa de temperatura del cuerpo de prueba 1, en el experimento 1 - figura 12, se observa una temperatura uniforme en todo su volumen, no se logra observar la malla electrosoldada en acero. Pero si se logra ver cómo evidencian las anomalías en la superficie, presentando variaciones de temperaturas, para analizarlas, se realizaron una serie de áreas (A1, A2, A3, A4, A5, A6) (Figura 13,) las cuales evidencian las máximas y las mínimas temperatura con respecto a la promedio $115,30 \text{ }^{\circ}\text{F}$; oscilando entre $112,7 \text{ }^{\circ}\text{F}$ y $114,9 \text{ }^{\circ}\text{F}$. Las temperaturas máximas son A2, A3, A5; están ubicadas donde se presentan irregularidades en la superficie del cuerpo (P1, P2, y P3, de la figura 11).

Experimento 2: Superficie con Pintura

Objetivo: Verificar la presencia de los elementos que componen el cuerpo, tales como la malla del acero y como el color puede alterar las mediciones termografías y la presencia de defectos.

Figura 14. Imagen de cuerpo de prueba 2 cubierta de pintura roja – Experimento 2



Figura 15. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1- Experimento 2

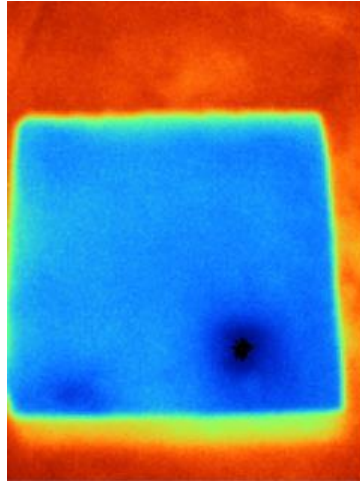
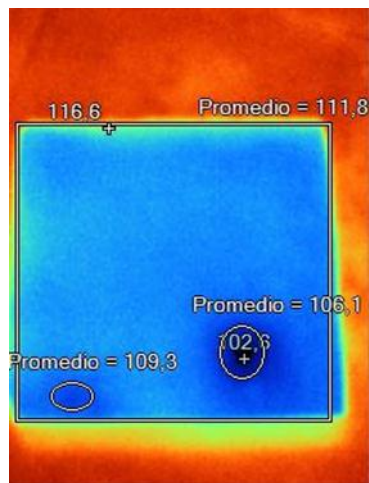


Figura 16. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 1- Experimento 2: Variaciones de temperatura (SmartView)



De los mapas de temperatura del cuerpo CP1 – Experimento 2, Figura 15 y 16, se obtuvieron los siguientes datos:

$T^{\circ} \text{ max CP1} = 116,6 \text{ }^{\circ}\text{F} = 47,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T^{\circ} \text{ min CP1} = 106,0 \text{ }^{\circ}\text{F} = 39,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T^{\circ} \text{ Ambiente} = 83,12 \text{ }^{\circ}\text{F} = 28,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T^{\circ} \text{ Prom CP1} = 111,80 \text{ }^{\circ}\text{F} = 44,33 \text{ }^{\circ}\text{C}$

T° máx Externa= 127,80 °F = 53,22 °C

T° min Externa= 118,6 °F = 47,77 °C

Radiación solar= 180 W/m²

Análisis: Del cuerpo de prueba 2, en el experimento 2, figura 15, tal cual como se evidencia en el experimento 1, se observa una temperatura uniforme en toda la superficie, no se logra observar la malla electrosoldada en acero, aunque este experimento con relación al experimento 1. La alteración del color, se manifiesta evidenciando una disminución en la temperatura promedio del cuerpo de 3,5 °F, pero no interviniendo como se esperaba porque la pintura no influye en la emisividad del concreto. Con respecto a la Figura 16, las anomalías presentan las menores temperaturas diferente de lo que paso en el experimento 1 evidenciado en la figura 13, porque al aplicar la pintura, en las irregularidades se formó una capa más espesa que en la parte donde la superficie no presenta irregularidades.

- **Cuerpo de prueba 2 (CP2):**

Corresponde a una placa en concreto con doble malla en acero de reforzamiento de tal forma que vistas desde la parte superior se observan las dos mallas. La primera malla contiene cuatro varillas en total, dos varillas transversales: diámetro #4 y #5, de 25 cm de longitud cada una y dos varillas longitudinales, diámetro #4 y #5, de 30 cm de longitud cada una. La segunda malla contiene seis varillas, tres varillas transversales: #4, #5, #6 (Diámetro: 3/4"= 1,905 cm, masa nominal: 2,235 Kg/m), de 25 cm de longitud cada una y tres varillas longitudinales: #4, #5, #6, de 30 cm de longitud cada una. Además contiene un tubo PVC perforado de 15 cm de longitud y 5.08 cm de diámetro ubicado en el centro de la placa; como lo muestra la figura 17.

A este cuerpo de prueba se le realizaron dos experimentos, experimento 1: el cuerpo tal cual como se construyó, y experimento 2, se llena de agua el tubo PVC que se encuentra ubicado en el centro de la placa. En este cuerpo se busca

observar los elementos que componen el cuerpo, y su comportamiento con presencia de agua.

Experimento 1: Sin presencia de Agua

Objetivo: Verificar la presencia de los elementos que componen el cuerpo, tales el acero de refuerzo, el tubo PVC, pueden alterar las mediciones termografía.

Figura 17. Cuerpo de prueba 2 (CP2).



Figura 18. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 1 (Fecha: 27/01/2016, Hora: 15:46:10)

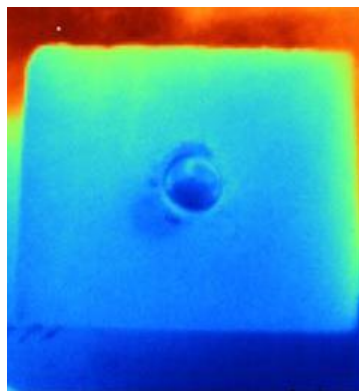
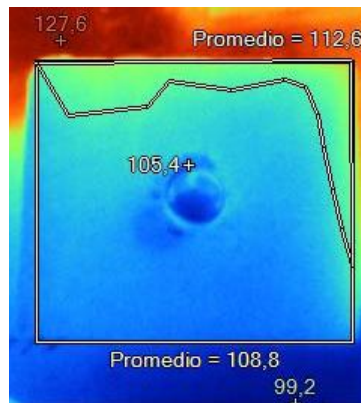


Figura 19. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 2 – Experimento 1:
Variaciones de temperatura (SmartView)



De los mapas de temperatura del cuerpo CP2 – Experimento 1, Figura 18 y 19, se obtuvieron los siguientes datos:

T° max CP2= 115,3 °F = 46,2 °C

T° min CP2= 105,4 °F = 40,7 °C

T° Ambiente=85,10°F = 29,5 °C

T° Prom CP2= 112,60 °F = 44,77 °C

T° máx Externa= 127,60 °F = 53,11 °C

T° min Externa= 99,20 °F = 37,33 °C

Radiación solar= 240 W/m²

Análisis: Del cuerpo de prueba CP2, en el experimento 1, se observa que la temperatura mínima la evidencia donde está ubicado el tubo PVC, debido a que este tiene menor densidad por lo tanto almacena menos calor. Con respecto al refuerzo empleado no se logra destacar ninguna malla de acero, Se evidencia en la parte superior derecho de la figura 19, mostrando una temperatura promedio de 112,6 °F del cuerpo, superior a la temperatura minina, porque los rayos solares pegan directamente allí.

Experimento 2: Con presencia de Agua

Objetivo: Verificar la presencia de los elementos que componen el cuerpo, tales el acero de refuerzo, el tubo PVC y la presencia de agua, pueden alterar las mediciones termografía.

Figura 20. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 2 (Fecha: 28/01/2016, Hora: 15:20:54)

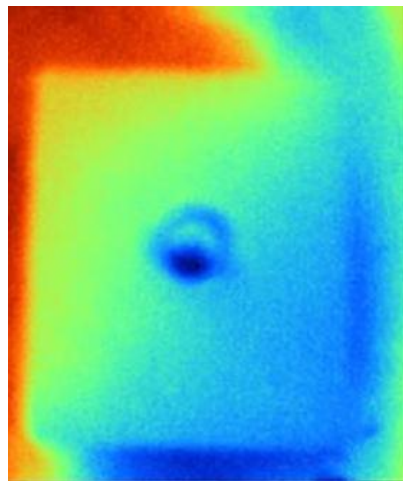
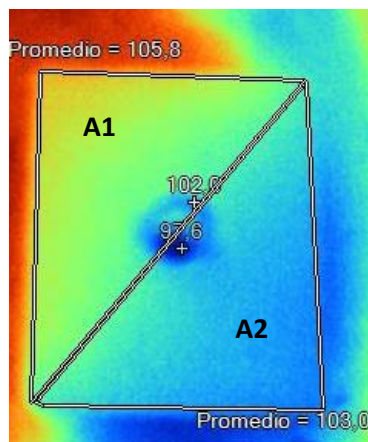


Figura 21. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 2: Variaciones de temperatura (SmartView)



De los mapas de temperatura del cuerpo CP2 – Experimento 2, Figura 20 Y 21, se obtuvieron los siguientes datos:

T° máx CP2 = 109,7 °F = 43,16 °C
T° min CP2 = 97,6 °F = 36,4 °C
T° Ambiente= 83,84 °F = 28,8 °C
T° Prom CP2= 104,40 °F = 40,22 °C
T° máx Externa= 113,40 °F = 45,22 °C
T° min Externa= 100,00 °F = 37,77 °C
Radiación solar= 240 W/m²

Análisis: Del cuerpo de prueba 3 CP2, en el experimento 2, se observa igual que en el experimento 1 que la temperatura mínima la evidencia donde está ubicado el tubo PVC y no le logra evidenciar el refuerzo como se muestra en la figura 20. En este experimento la temperatura disminuye de una manera considerable debido a la presencia del agua, tal cual como se evidencia en el mapa de temperatura en la figura 21, presentando una temperatura mínima de 97,6, disminuyendo 17,7° F, respecto a la temperatura mínima del experimento 1. También se observa que el cuerpo se divide en dos áreas de calor, A1 y A2. El área A1, corresponde a la temperatura más caliente del cuerpo de colores naranja-verde y el área A2, corresponde a una temperatura más fría, de color azul.

- **Cuerpo de prueba 3(CP3):**

Corresponde a una placa en concreto que contiene dos tubos PVC de 33 cm de longitud ubicados horizontalmente, con un recubrimiento de 2,5 cm en concreto, quedando cubierto solo en un extremo, como lo muestra la figura 22.

A este cuerpo de prueba se le realizaron dos experimentos; experimento 1: sin modificar las condiciones iniciales, y el experimento 2: llenando de agua los tubos PVC que se encuentra ubicado en el centro de la placa.

Figura 22. Cuerpo de prueba 3 (CP3).

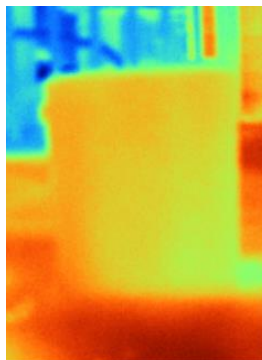


Experimento 1: Sin presencia de agua

Objetivo: Verificar la presencia de los elementos que componen el cuerpo, los tubos PVC, pueden alterar las mediciones termografía.

Figura 23. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 1. a) Vista frontal, b) Vista Superior (Fecha: 28/01/2016, Hora: 15:21:59)

a)



b)

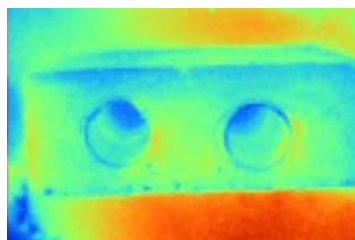
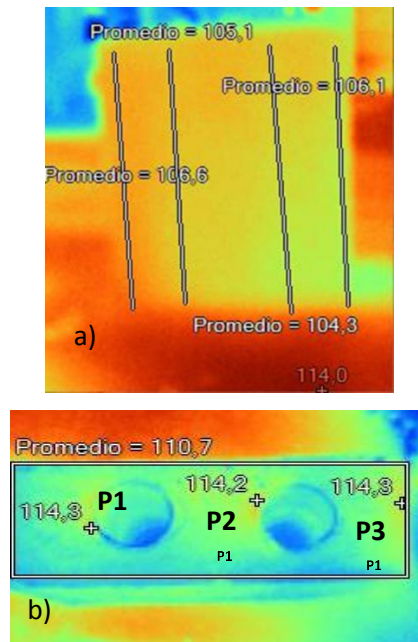


Figura 24. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 1: Variaciones de temperatura. a) Vista frontal, b) Vista Superior (SmartView)



De los mapas de temperatura del cuerpo CP 3 – Experimento 1, Figura 23 y 24, se obtuvieron los siguientes datos:

- T°prom1 = 106,6 °F = 41,4 °C
- T°prom2 = 105,1 °F = 40,61 °C
- T°prom3 = 104,3 °F = 40,17 °C
- T°prom4 = 106,1 °F = 41,17 °C
- T° Ambiente=83,84 °F = 28,8 °C
- T° Prom CP2= 110,70 °F = 43,72 °C
- T° máx Externa= 114,00 °F = 45,55 °C
- T° min Externa= 100,80 °F = 38,22 °C
- Radiación solar= 240 W/m²

Análisis: Del cuerpo de prueba 4 CP3, en el experimento 1, en la figura 24 en el numeral a), como se esperaba la menor temperatura de 105,1 °F y 104,3 °F, se

presenta en donde se encuentran ubicados los tubos PVC visualizándose de color amarillo, que donde se encuentra solo el concreto siendo de color naranja de 106,1 °F y 106,6 °F, tal cual como se evidencia en el cuerpo de prueba 3, debido a que este tiene menor densidad por lo tanto almacena menos calor. En la figura 23, b) se observan tres puntos máximos de temperatura, (P1=114,30 °F, P2=114,2 °F, P3= 114,30 °F) de temperatura porque los tubos sobresalen, direccionado los rayos solares no incidan uniformemente en toda la superficie.

Experimento 2: Con presencia de agua

Objetivo: Verificar la presencia de los elementos que componen el cuerpo, los tubos PVC y la presencia del agua, pueden alterar las mediciones termografía.

Figura 25. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3– Experimento 2: a. Cara Frontal b. Cara superior. (Fecha: 29/01/2016 Hora: 11:09:16)

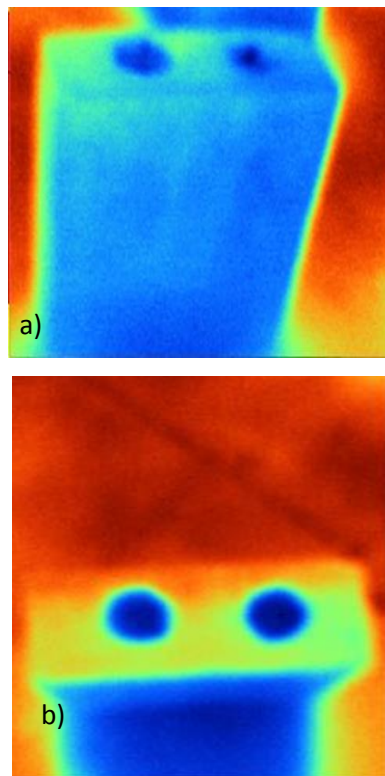
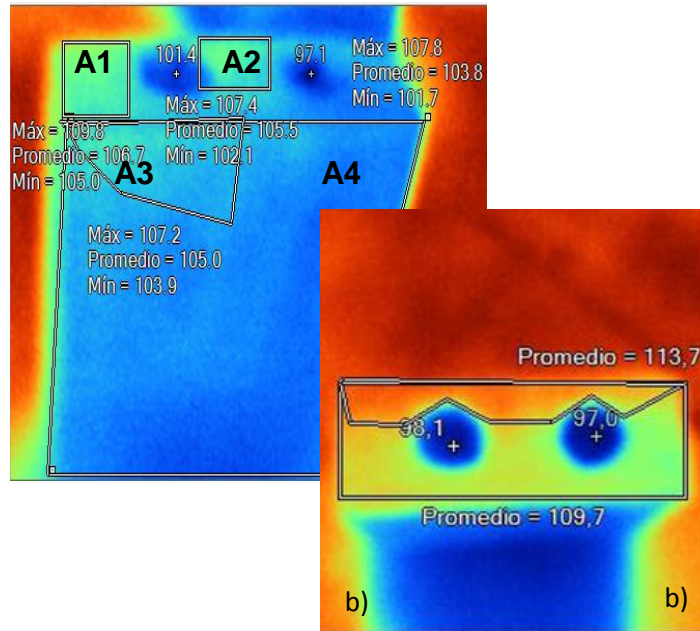


Figura 26. Mapa de temperatura de cuerpo de prueba 3 – Experimento 1: Variaciones de temperatura. a) Vista frontal, b) Vista Superior (SmartView)



De los mapas de temperatura del cuerpo CP 3 – Experimento 2, Figura 25 y 26, se obtuvieron los siguientes datos:

T° max= 115,8 °F = 46,50 °C

T° min= 97,1 °F = 36,1 °C

T° Ambiente= 24,20 °C

Radiación solar= 490 W/m²

Análisis: Del cuerpo de prueba 3 CP3, en el experimento 2, según los datos de temperatura emitidas por el cuerpo (Figura 25) igual que en el experimento 1 que la temperatura mínima la evidencia donde está ubicado el tubo PVC, pero en éste experimento la temperatura disminuye de una manera considerable debido a la presencia del agua. En la Figura 26, en el numeral a) se presentan cuatro superficies de variaciones de temperatura(A1 = °F, A2 = °F, A3 = °F): corresponden a las zonas con mayor temperatura, donde los rayos solares inciden

directamente y en el numeral b) se muestra una figura no geométrica con una temperatura promedio de 113.7 °F, en la parte superior del cuerpo de color rojo en el concreto, y en el tubo se presenta temperaturas en un rango de los 97° F a los 98,1 °F de color azul, correspondientes a la temperatura del tubo, porque tienen menor de almacenar calor en comparación con el concreto.

9.2 ANÁLISIS GENERAL

A continuación se muestran los datos e información recopilada de temperatura de la superficie externa y radiación solar de cada ensayo. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. La tabla muestra los datos de la temperatura máxima y mínima de la superficie externa de cada cuerpo y los datos de Radiación de cada cuerpo y su radiación solar.

CUER-POS DE PRUE-BA	Temperatura Mínima Superfi- cie Externa °C	Temperatura Máxima Superficie Externa °C	Radiación Solar (W/m2)	Radiación del Cuerpo (W/m2)	Resultado inspección. Acero/ defecto
CP	35,11	52,16	250	539	Negativo
CP1. Exp 1	46,44	52,77	250	546	Afirmativo
CP1. Exp 2	48,11	53,22	180	532	Afirmativo
CP2. Exp 1	37,33	53,11	240	535	Negativo
CP2. Exp 2	37,77	45,22	240	510	Negativo
CP3. Exp 1	38,22	45,55	240	528	Afirmativo
CP3. Exp 2	38,77	45,05	490	539	Afirmativo

Temperaturas de la superficie externa.

Las variaciones de las de la temperatura de las superficies externas de cada cuerpo varía en general por la presencia de materiales externos, por ejemplo en la figura 26, numeral b donde se muestran los mapas de temperatura del cuerpo CP3, se observan dos variaciones significantes de temperatura, la máxima de 113,09 °F de color rojo, correspondiente al piso de concreto con impermeabilizante, tiene mayor absorción de energía y la mínima de 101.786 °F, de color azul, siendo la sombra generada por el cuerpo, porque el cuerpo evita la

incidencia de los rayos del sol. Este se convierte en un patrón que se repite en todos los ensayos realizados en los cuerpos de prueba de este proyecto.

Radiación del cuerpo con respecto a la solar.

La radiación de cada cuerpo es posible obtenerla teniendo la temperatura y la emisividad de cada cuerpo, aplicando la Ley de Stefan-Boltzmann, ecuación 3. Los valores almacenados en la tabla 5 se obtuvieron así: Para en el cuerpo de prueba CP, se tiene que la temperatura promedio de $45.35\text{ }^{\circ}\text{C} = 318.5\text{ K}$, emisividad $\epsilon = 0.92$ (tabla 2) y la constante de Stefan-Boltzmann $5,7 * 10^{-8}\text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$, se obtiene:

$$W = 0.92 * 5.7 * 10^8 * 318.5^4$$

$$W = 539\text{ W/m}^2$$

La energía radiante del cuerpo es 539 W/m^2 , superior a la radiación solar 490 W/m^2 , este incremento es porque el cuerpo absorbe la radiación solar, se incrementa el estado de excitación de los electrones provocando vibraciones, y así aumentando la temperatura

10. CONCLUSIONES

De la inspección realizada se puede concluir que la termografía es una técnica que sirve para una localización inicial de posibles puntos donde hay cambio de elementos en la estructura, como se evidencia en el cuerpo de prueba CP1, CP2, y CP3, evidenciando alteraciones de temperatura. Además permite realizar un gran número de inspecciones en un tiempo limitado, proporcionando información a distancia, sin ser necesario el contacto con la estructura que está analizando y permite inspeccionar puntos que no tienen acceso.

De los cuerpos inspeccionados se puede confirmar que en los cuerpos que tienen menor densidad como el tubo PVC, se presentan las menores temperaturas en comparación de los de mayor densidad como en el concreto y acero, debido a que la capacidad de almacenamiento de calor es directamente proporcional a la densidad, es decir a mayor densidad mayor almacenamiento de calor. Deduciendo que los segundos (mayor densidad) acumulan calor por el día y lo mantienen durante más tiempo que los ligeros

Gracias a la técnica de termografía infrarroja no destructiva se permitió observar los cuerpos tubos PVC en el interior de la placa, en del cuerpo de prueba 3, aun estando cubiertos en concreto con un espesor de 2.5 cm. de 3000 psi, lo cual sería muy útil en instalaciones hidráulicas y sanitarias, ya que evita la destrucción tanto del material de recubrimiento que tenga la acometida, como de la misma. A diferencia de lo que sucede con el acero, no se logra detectar en la placa porque tiene una emisividad similar a la del concreto (Tabla 2), esto hace que se uniformice la temperatura presentándose como un cuerpo de un solo material.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] TESTO. Teoría y práctica de la medición termográfica. Testo Argentina S.A. Buenos Aires, Argentina. s.f. Consultado el 02 de Febrero de 2016. Disponible en https://www.testo.com.ar/es/home/formacion/curso_online_de_termografia/introduccion/introduccion.jsp

[2] MALDAGUE, X. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. Wiley Series. 2001. ISBN: 978-0-471-18190-3. Consultado el 10 de Diciembre de 2015.

[3] BALAGEAS D. Termografía Infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END). IV Conferencia Panamericana de END; Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales. Buenos Aires, Argentina. 2007. Consultado el 02 de Febrero de 2016. Disponible en <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/128.pdf>

[4] GUERRERO, C. Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón". Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. 2013. Consultado el 14 de Diciembre de 2015. Disponible en http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19610/CelyGuerrero_TFM.pdf

[5] RESOLVIENDOCO. Ingeniería: Métodos de Transferencia de Calor "Conducción". Paperblog.com. 2013. Consultado el 29 de Noviembre de 2015. Disponible en <http://es.paperblog.com/ingenieria-metodos-de-transferencia-de-calor-conduccion-1828379/>

[6] FLUKE. Emissivity values of common materials. Fluke Corporation. 2013. Consultado el 02 de Febrero de 2016. Disponible en http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/3038318_6251_ENG_C_W.PDF

[7] RODRÍGUEZ, D.; SABATER J. V. La termografía infrarroja en el patrimonio histórico. Consultado el 02 de Febrero de 2016.

[8] FLUKE. Cámara termográfica industrial-comercial Fluke Ti125. Fluke Corporation. 2016. Consultado el 14 de Diciembre de 2015. Disponible en <http://www.fluke.com/fluke/eses/termografia/ti125.htm?pid=73872>

BIBLIOGRAFIA

BALAGEAS D. Termografía Infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END). IV Conferencia Panamericana de END; Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales. Buenos Aires, Argentina. 2007. Consultado el 02 de Febrero de 2016. Disponible en <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/128.pdf>

CERDEIRA, F. Desarrollo de nuevas técnicas de análisis no destructivo basadas en termografía infrarroja para su aplicación en la detección de falta de adherencia de aplacados en fachadas de edificios. Universidad de Vigo. Tesis Doctoral. 2008. Consultado el 10 de Diciembre de 2015.

EDUARDO LUIS. Calor y temperatura. Blog Fisicoquimica. 2012. Consultado el 14 de Enero de 2016. Disponible en <http://profeluisfisicoquimica.blogspot.com.co/2011/07/calor-y-temperatura.html>

FLUKE. Cámara termográfica industrial-comercial Fluke Ti125. Fluke Corporation. 2016. Consultado el 14 de Diciembre de 2015. Disponible en <http://www.fluke.com/fluke/eses/termografia/ti125.htm?pid=73872>

FLUKE. Emissivity values of common materials. Fluke Corporation. 2013. Consultado el 02 de Febrero de 2016. Disponible en http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/3038318_6251_ENG_C_W.PDF

FRANCOR CONSTRUCCIÓN INDUSTRIAL. Estudios de termografía infrarroja. Francor. Mexico D.F. Mexico. s.f. Consultado el 29 de Noviembre de 2015. Disponible en <http://francor.com.mx/estudios-de-termografia-infrarroja/>

GUERRERO, C. Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón". Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. 2013. Consultado el 14 de Diciembre de 2015. Disponible en http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19610/CelyGuerrero_TFM.pdf

LÓPEZ, G. Aplicación de la Termografía Infrarroja en la Evaluación No Destructiva de Estructuras de Madera. Universidad de Valladolid. 2010. Consultado el 10 de Diciembre de 2015.

MALDAGUE, X. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. Wiley Series. 2001. ISBN: 978-0-471-18190-3. Consultado el 10 de Diciembre de 2015.

QUIMINET. Principales usos y aplicaciones de las cámaras infrarrojas en la industria. QuimiNet.com. 2011. Consultado el 29 de Noviembre de 2015, Disponible en http://www.quiminet.com/articulos/principales-usos-y-aplicaciones-de-las-camaras-infrarrojas-en-la-industria-55606.htm?mkt_medium=44170&mkt_term=&mkt_content=&mkt_campaign=1&mkt_source=66

RESOLVIENDOCO. Ingeniería: Métodos de Transferencia de Calor "Conducción". Paperblog.com. 2013. Consultado el 29 de Noviembre de 2015. Disponible en <http://es.paperblog.com/ingenieria-metodos-de-transferencia-de-calor-conduccion-1828379/>

RODRÍGUEZ, D.; SABATER J. V. La termografía infrarroja en el patrimonio histórico. Consultado el 02 de Febrero de 2016.

TESTO. Teoría y práctica de la medición termográfica. Testo Argentina S.A. Buenos Aires, Argentina. s.f. Consultado el 02 de Febrero de 2016. Disponible en

https://www.testo.com.ar/es/home/formacion/curso_online_de_termografia/introduccion/introduccion.jsp