

Potencial de análisis termográfico para evaluar manifestaciones patológicas en sistemas de revestimientos de fachadas

O. T. Takeda¹, W. Mazer*¹

*Autor de Contacto: wmazer@utfpr.edu.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>

Recebido: 02/03/2017 | Aceito: 23/11/2017 | Publicado: 30/01/2018

RESUMO

O presente artigo discute o potencial da análise termográfica na avaliação de manifestações patológicas em fachadas de edifícios. Seu uso pode ajudar na identificação e no diagnóstico, reduzindo tempo e custos destas atividades. Para colocar em prática esta técnica, foi realizada a calibração do sensor térmico e os ensaios fueron realizados em dois períodos diferentes de luz solar. Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação da análise termográfica permite a identificação e medir a extensão de manifestações patológicas ocultas em sistemas de revestimento de fachadas, incluindo locais de difícil acesso, complementando os resultados das inspecciones visuales e diminuindo a sua subjetividade.

Palavras chave: durabilidade; fachadas, termografia, ensayos nao destructivos, manifestaciones patológicas.

Citar como: O. T. Takeda, W. Mazer (2018), “Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas”, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 38 – 50, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181>

¹ Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Universidad en Curitiba, Brasil.

Informação Legal

Revista ALCONPAT é uma publicação da Asociación Latino-americana Control de Calidad, Recuperación Patología e Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos ao No. 04-2013-011717330300-203 uso exclusivo, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional do Direito de Autor. Responsável pela atualização mais recente deste número, ALCONPAT Unidade Computing, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores nao refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e imagens publicadas sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C é proibida.

Qualquer discussão, incluindo a réplica dos autores, serao publicados na terceira edição do 2018, desde que a informação é recebida antes do encerramento da segunda edição de 2018.

Potential of thermographic analysis to evaluate pathological manifestations in facade cladding systems.

ABSTRACT

The present article discusses the potential of thermographic analysis in the evaluation of pathological manifestations in building façades. Its use may assist the identification and diagnosis of pathologies by reducing time and cost of these activities. For the application of this technique, the thermal sensor was calibrated, and the tests were performed in two distinct periods of solar incidence. The obtained results from this study demonstrate that the application of the thermographic analysis enables the identification and measurement of hidden pathological manifestations in façade cladding systems, including hard to reach sites, complementing the results of visual inspections and reducing its subjectivity.

Keywords: durability; facade; thermographic analysis; non destructive testing; pathological manifestations.

Potencial del análisis termográfico para evaluar manifestaciones patológicas en sistemas de revestimiento de fachadas

RESUMEN

El presente artículo discute el potencial del análisis termográfico en la evaluación de las manifestaciones patológicas en las fachadas de edificios. Su uso puede ayudar en la identificación y diagnóstico, reduciendo tiempo y costos de estas actividades. Para poner en práctica esta técnica, se realizaron la calibración del sensor térmico y los ensayos en dos periodos diferentes de luz solar. Los resultados obtenidos demostraron que la aplicación del análisis termográfico permite la identificación y extensión de las manifestaciones patológicas ocultas en sistemas de revestimientos de fachadas, incluyendo sitios de acceso difícil, complementando los resultados de las inspecciones visuales y disminuyendo su subjetividad.

Palabras clave: durabilidad; fachadas, termografía, ensayos no destructivos, manifestaciones patológicas.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción civil es uno de los apoyos económicos del país y ha evolucionado tanto en las técnicas constructivas como en el desarrollo de materiales de construcción, sin embargo, las manifestaciones patológicas de las edificaciones continúan ocurriendo, pudiendo tener su origen en las fases de proyecto, ejecución ó de uso y operación (Santos, 2013).

La Ausencia de proyectos detallados ó fallas en su concepción y compatibilidad, errores en la elección de los sistemas constructivos y/o técnicas de ejecución, en la definición y especificación de los materiales, en el control de calidad y tecnológico, y factores ambientales presentes en la región del emprendimiento, tanto en el período de ejecución como en la fase de uso y operación, pueden ocasionar problemas directos e indirectos a las edificaciones y sus propietarios, usuarios o no de los inmuebles (Santos, 2013).

Según Carvalho Jr. *et. al.*, (1999) en el caso de las fachadas, las manifestaciones patológicas de los revestimientos comprometen la imagen de la ingeniería y la arquitectura del país, siendo una agresión a la vista de las personas, a la integridad de las edificaciones e hiriendo el concepto de habitabilidad. Además de la devaluación natural del inmueble debido a los aspectos visuales, la base de los revestimientos, sin el adecuado acabado final, se vuelve vulnerable a las filtraciones

de agua y gases, lo que consecuentemente lleva a sérios deterioros de los edificios, pudiendo ser de orden estético ó estructural.

Debido a la gravedad, riesgos potenciales de accidentes y daños materiales y sus implicaciones, la investigación de las manifestaciones patológicas en fachadas pueden envolver a la investigación tanto en las fallas como en los os procesos constructivos utilizados, evaluando los criterios de calidad, seguridad y desempeño a través del análisis de documentos, inspecciones visuales, ensayos de campo y laboratorio necesarios para la fundamentación de los laudos técnicos (Gomide, 2006).

En este sentido, el presente trabajo utilizó una técnica de investigación basada en ensayos no destructivos (END) a través de análisis termográficos, que posibilitan la identificación de anomalías térmicas en sistemas de revestimientos de fachadas, vinculandolas al análisis de la tipología y extensión de los daños encontrados, demostrando las potencialidades de esta técnica tanto en la identificación y mapa de manifestaciones patológicas ya existentes.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Investigación de las manifestaciones patológicas

La sistematización de las prácticas de investigación y recolección de informaciones de manifestaciones patológicas en fachadas de edificaciones viene siendo estudiada hace mucho tiempo y por vários autores (Mazer *et al*, 2016; Romero *et al*, 2011; Japiassú *et al*, 2014; Galletto, Andrello, 2013).

Según Gomide (2006), las pericias en fachadas se inician con las investigaciones visuales “*in loco*” de las condiciones físicas de las áreas afectadas. Tales exámenes brindan informaciones técnicas fundamentales la pericia y colaboran en la determinación de la causa del problema y la indicación de la solución. Aún según el autor, tales levantamientos son complicados debido a las dificultades de visualización aproximada de todas las áreas de las fachadas, lo que recomienda la adopción de procedimientos técnicos adicionales a la pericia.

En este tipo de situación, se hace necesario utilizar otros recursos que permitan la minuciosa visualización exigida para el levantamiento, sean éstos directos o indirectos. El mapeo con ensayo consiste en el levantamiento directo con anotación en planta de las áreas afectadas a través de la constatación, por percusión, mediante el recorrido por la fachada, en silla o guindola. El recurso indirecto usualmente utilizado en este tipo de investigación consiste en un mapeo fotográfico de la fachada (Gomide, 2006). Otro recurso indirecto posible de utilización es el análisis termográfico de la fachada.

2.2 Principios de la termografía

La termografía es una técnica de inspección no destructiva y no invasiva que tiene como base la detección de la radiación infraroja emitida naturalmente por los cuerpos con intensidad proporcional a su temperatura. A través de esta técnica es posible identificar regiones, o puntos, donde la temperatura está alterada con relación a un patrón pré establecido. Esta basada en la medida de la radiación eletromagnética emitida por un cuerpo a una temperatura sobre cero absoluto (Bauer, 2013).

Esta técnica puede ser clasificada en activa y pasiva, de acuerdo con la excitación térmica utilizada. Para la termografía pasiva, es necesario un diferencial natural de temperatura entre la muestra y el medio en el cual se encuentra, es decir, ningún estímulo térmico artificial es utilizado. Ya para la termografía activa, un estímulo externo es indispensables para incudir los contrastes térmicos entre la muestra y el ambiente (Maldague, 2001; Bauer, 2013).

La radiación infraroja no puede ser detectada a la vista humana, por tanto, la cámara infraroja tiene por función adquirir y procesar estas informaciones presentando imágenes que describen las variaciones de temperatura en objetos foco (FLIR, 2012).

Las propiedades radiactivas de los objetos generalmente son descritas en relación con un cuerpo negro perfecto, es decir, un emisor/receptor perfecto de energía radiante. En el mundo real, no hay objetos emisores/receptores perfectos, sin embargo, es posible encontrar objetos con propiedades muy aproximadas a estas características (FLIR, 2012).

Considerando que la energía emitida por un cuerpo negro perfecto es denotada por W_{bb} y que la de un objeto normal a la misma temperatura es W_{obj} , a razón entre estos dos valores describe la emisividad ε de este objeto, como se indica en (1).

$$\varepsilon = \frac{W_{obj}}{W_{bb}} \quad (1)$$

Es decir que la a emisividad es un valor que varia de 0 hasta 1 y mientras mejor son las propiedades radiantes del objeto, mayor es su emisividad.

Un objeto que tenga la misma emisividad en todas SUS dimensiones de onda es llamado cuerpo gris. La energía de emisión (W) de estos cuerpos es determinada a través de la Ley de Stefan-Boltzmann's presentada em (2):

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

Donde ε es la Emisividad del Objeto, σ es la Constante de Stefan-Boltzmann's y T es la temperatura.

Además de la radiación del objeto en análisis, los lentes de la cámara reciben radiaciones del ambiente del entorno que son reflejadas en la superficie del objeto. Estos dos componentes de la radiación también son atenuados por la atmosfera que, también absorbe y emite de manera propia parte de esta radiación (FLIR, 2012).

Dadas esas premisas, la radiación total recibida (W_{tot}) por la cámara puede ser escrita según (3):

$$W_{tot} = \varepsilon \tau W_{obj} + (1 - \varepsilon) \tau W_{amb} + (1 - \tau) W_{atm} \quad (3)$$

Donde ε es la emisividad del objeto, τ es la transmisión a través de la atmosfera, W_{amb} es la energía efectiva del ambiente alrededor del objeto (ó a energía reflejada por el ambiente) y W_{atm} es la energía presente en la atmosfera entre el objeto y la cámara.

2.3 Técnicas termográficas en la investigación de fachadas

El creciente uso de la termografía de infrarojos en la construcción civil está intrinsecamente relacionadas con el hecho fato de tratarse de un ensayo no destructivo, permitiendole presentarse como una óptima herramienta de diagnóstico (Soares, 2014).

Con la termografía infraroja es posible detectar solamente anomalías asociadas a modificaciones medibles de las características térmicas como flujo de calor y temperaturas resultantes, y manifestaciones patológicas con profundidades limitadas, es decir, próximas a la superficie (Pavón, 2015).

Estudios de laboratorio demuestran que fallas de adherencia ó ausencia de pega por detrás de revestimientos cerámicos son facilmente identificables a través de la termografía presentando temperaturas superficiales mayores que alrededor en el período de flujo de calor positivo y temperaturas superficiales menores en el período de flujo de calor negativo (Bauer *et al.*, 2015).

En estudio realizado por Edis *et al.* (2014), fué demostrado que también es posible identificar áreas con presencia de humedad confinada por debajo de revestimientos cerámicos. Esta situación se configura por la identificación de anomalías en lastemperaturas superficiales de las áreas sospechosas en lós revestimientos cerámicos durante el flujo positivo de calor, características de problemas de separación ó de áreas con presencia de humedad.

Para el caso de fachadas revestidas con friso y pintura/textura, es posible identificar otros tipos de manifestación patológica tales como fisuras y presencia de humedad. En caso de las fisuras, estas frecuentemente estan asociadas a la presencia de humedad y la extensión de las áreas afectadas son facilmente identificables durante el día pues la evaporación del agua causa una reducción de la temperatura superficial en estas regiones. De la misma forma, la presencia de humedad en paredes y estructuras de concreto debido a la capilaridad también es facilmente identificable en el período de flujo positivo de calor (Pavon, 2015).

Menezes *et al.* (2015) realizaron campañas de inspección de anomalías diversas utilizando inspecciones visuales, termografía, ensayos de percusión, tubos de karsten e higrómetro con la finalidad de proponer metodologia de campo para la investigación de manifestaciones patológicas de revestimientos. Como resultado del trabajo, se verificó que las inspecciones visuales en conjunto con la termografía cualitativa fueron suficientes para a identificación da maioria das anomalías encontradas es dee forma rápida, principalmente por posibilitar la inspección de locales de difícil acceso.

En la construcción civil, una variación de temperatura de 1°C hasta 2°C es geralmente un indicativo ó sospecha de existencia de problemas. A partir de 4°C se puede afirmar la existencia de anormalidades en el cuerpo (Maldague y Marinetti, 1996; Cortizo *et al.*, 2008).

Para Bauer (2013), las principais influencias en lós resultados de las inspecciones termográficas cuantitativas están en la emisividad del material, que es función de la temperatura superficial y del ángulo de observación, en la reflectividad de la superficie, función de la radiación directa incidente y de la radiación de objetos próximos, en la atenuación atmosférica que es función de las condiciones meteorológicas.

3. PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente fué realizado un estudio exploratorio en las fachadas de los bloques B y C del Campus Curitiba, sede Ecoville de la UTFPR a fin de investigar la ocurrencia de anomalías térmicas y los tipos de manifestaciones patológicas existentes a través de inspecciones visuales y termográficas cualitativos para la definición de las áreas de estudio.

Luego de esta etapa fué realizada la caracterización de las áreas de estudio y fueron definidos los parámetros de calibración de la cámara infraroja que consistió en la determinación de la emisividad de los materiales, temperatura ambiente, humedad y distancia entre el termovisor y las regiones analizadas en el estudio de confirmación.

Fueron analizados y comparados los termogramas obtenidos tanto en el estudio exploratóoio como en la campaña de confirmación con el objetivo de verificar si las anomalías térmicas encontradas pueden ser vinculadas con las manifestaciones patológicas existentes en las áreas de estudio.

3.1 Especificaciones de la cámara infraroja

La cámara infraroja (termovisor) utilizada en las inspecciones es de marca FLIR, modelo E60. Los parámetros de calibración personalizados de la cámara consisten en la emisividad, temperatura ambiente, temperatura reflejada, humedad relativa del aire y la distancia al objeto. Las principales especificaciones técnicas del equipo son presentadas en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Especificaciones técnicas Cámara Infraroja FLIR E60.

Modelo	FLIR E60
Resolución IR	320 x 240 pixels
Resolución da Cámara Digital	3,1 MP
Sensibilidad térmica	< 0,05 °C
Precisión	+ 2 °C ó +- 2% de lectura
Rango de temperatura	(-20,00 °C a 650,00 °C)
Rango espectral	7,5 a 13µm
Campo de visión (FOV)	25°
Foco	Manual
Micro bolómetro no refrigerado	LWIR (Long Wave Infra Red)
Display de colores	3,5" (320 x 240)
Frame Rate	60Hz
Puntos movibles de medición	3
Formato del archivo (Termograma)	Radiometric JPG

Fonte: FLIR – Manual da Cámara Infraroja modelo E60 (2015).

3.2 Estudio exploratorio y definición de las áreas de estudio

El estudio exploratorio consistió en la inspección visual y termográfica de las fachadas de los Bloques B y C de la sede Ecoville de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná - UTFPR. La elección de las áreas de estudio fue realizada durante el período de la mañana a través de la inspección visual de las anomalías existentes en las fachadas y también la inspección termográfica cualitativa, para la identificación de gradientes de temperatura en regiones de un mismo material, con el parámetro de emisividad patrón del concreto ($\epsilon=0,95$) y los parámetros de temperatura ambiente (20°C) y humedad relativa del aire (70%) configurados en el equipo. Durante la inspección, las condiciones climáticas eran estables, sin presencia de lluvia, con cielo parcialmente nublado y sin viento.

Los sistemas de revestimientos de fachadas encontrados en el estudio exploratorio consistieron en paredes externas de bloques de concreto con pintura blanca (Bloque IJ), paredes externas de bloques de concreto, friso con mezcilla revestimiento en textura acrílica gris claro (Bloques A, B y C), y revestimientos cerámicos aplicados sobre el friso (Bloques B e C).

A continuación, serán presentados los cuadros con las fotos y termogramas obtenidos del estudio exploratorio acompañados de una breve descripción de las interferencias, anomalías térmicas encontradas y posibles manifestaciones patológicas asociadas.

En la Figura 1 se presenta el área de estudio 1, definida en la fachada del Bloque C, conjuntamente con el termograma de la región.

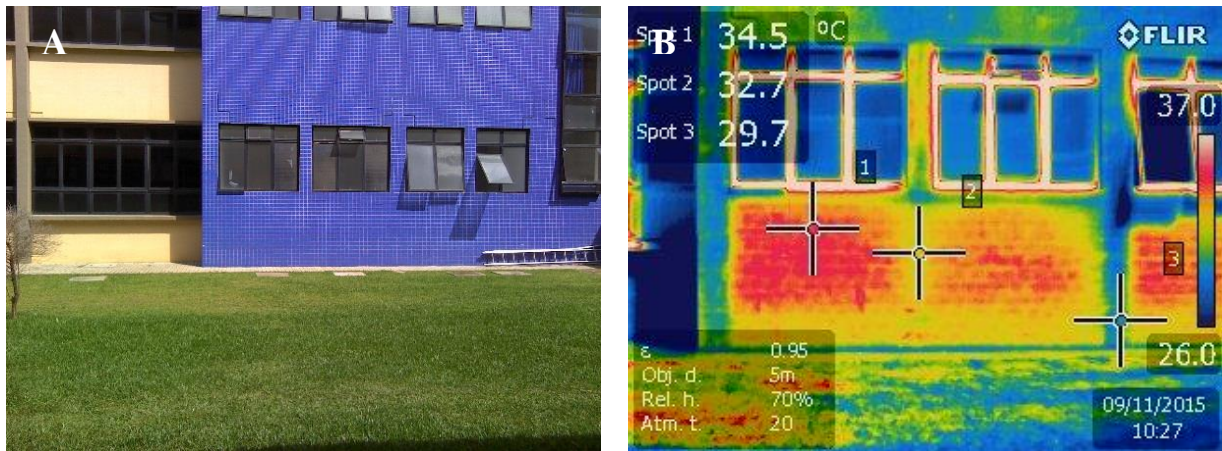


Figura 1. A) Fachada del Bloque C siendo el área de estudio
B) Termograma del área de estudio.

En el examen visual del área de estudio 1 presentada en la Figura 1.A fueron identificados puntos con junta deteriorada entre los revestimientos cerámicos de la región del recuadro de las ventanas. De manera complementaria, fué ejecutado ensayo de percusión donde se verificó sonido hueco en trechos de la pared en la región de los recuadros de las ventanas. En el termograma presentado en la figura 1B, es posible identificar anomalía térmica en el trecho de la fachada ejecutada con revestimiento cerámico durante el período de flujo positivo de calor en la región con exposición directa a la radiación solar durante el período de la mañana.

En la inspección visual realizada del área de estudio 2, ilustrada en Figura 2A fué constatada la existencia de fisura en el revestimiento. También, fué ejecutado ensayo de percusión en la región donde se verificó sonido hueco a lo largo de toda la región de la fisura y también en la región por debajo de la fisura.

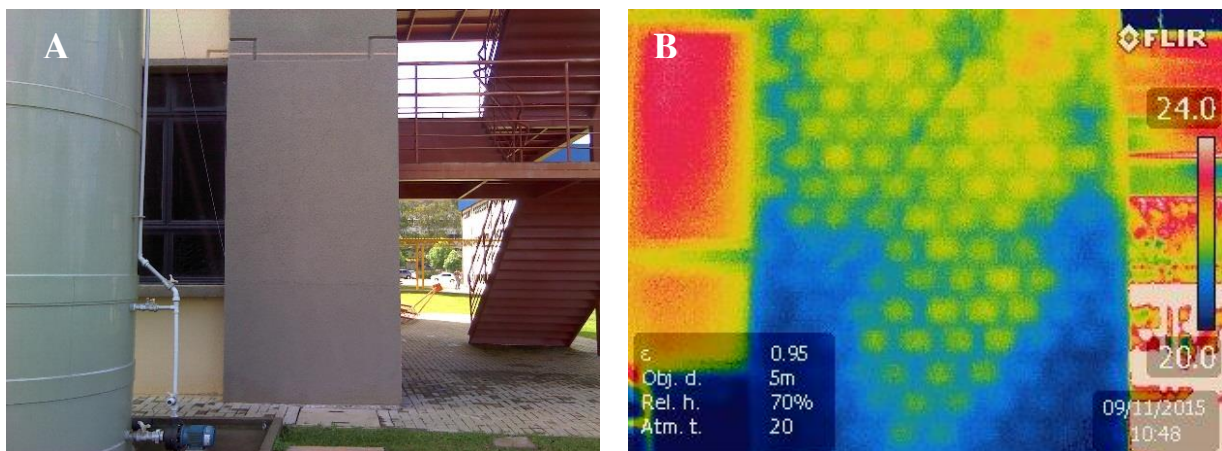


Figura 2. A) Trecho de la fachada del Bloque C constituido por textura acrílica gris sobre friso.
B) termograma del área de estudio.

El termograma presentado en la Figura 2B, es posible identificar anomalía térmica en el trecho de fachada durante el período de flujo positivo de calor positivo en la región sin exposición directa a la radiación solar durante el período de la mañana. La anomalía identificada en el termograma es característica de la presencia de humedad y en conjunto con la constatación de la fisura del revestimiento y el despegado del revestimiento, por lo que se puede inferir que hay a presencia de humedad en esa región inferior, entre el friso y las paredes de bloques de concreto.

En el área de estudio 3, presentada en la Figura 3A es posible observar la fachada lateral del Bloque B ejecutada con revestimiento en textura acrílica gris sobre friso aplicado en paredes de bloques de concreto durante período de flujo positivo de calor positivo en región sin exposición directa a la radiación solar durante el período de la mañana.

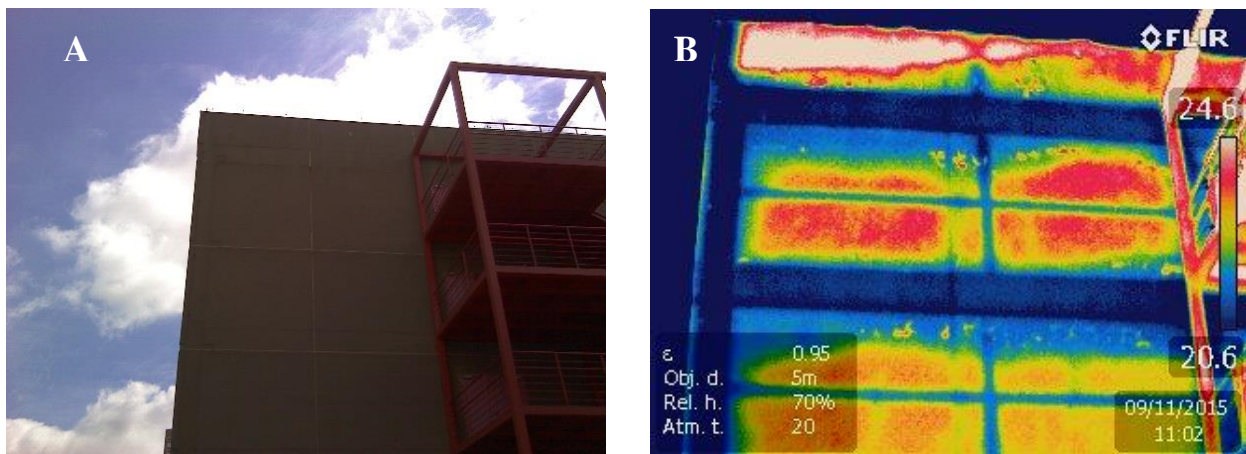


Figura 3. A) Fachada lateral del Bloque B.
B) Termograma del área de estudio 3.

En el termograma de esta región, presentado en Figura 3B, es posible observar anomalía térmica en la región de coronamiento que es característica de la presencia de humedad. Es posible identificar también los elementos estructurales, cierre superior de las paredes de bloques de concreto y la temperatura más elevada en la región del borde perimetral el cual está expuesto a radiación solar.

3.3 Determinación de los parámetros de calibración del termovisor

Definidas las áreas de estudio, fueron realizados ensayos de campo a fin de determinar la emisividad de los materiales encontrados. Los ensayos consistieron en la determinación de la emisividad de los materiales de las fachadas a través de la comparación de sus temperaturas superficiales con las temperaturas de un material con emisividad conocida y con estabilidad térmica con la superficie analizada.

Para realizar el ensayo de determinación de la emisividad de los materiales, fueron utilizados pedazos de cinta aislante negra adheridos a la superficie. Los parámetros de configuración utilizados para el termovisor fueron:

- Distancia de la medición: 5m.
- Temperatura ambiente: 22 °C
- Humedad Relativa del aire: 88%
- Emisividad de la cinta aislante: 0,96.

El ensayo consistió en la medición de la temperatura en la superficie de la cinta aislante, ya en estabilidad térmica con la superficie, indicada por el punto A, y enseguida, en la medición de la temperatura en la región del material a ser analizado, indicado por el punto B, alterandose el parámetro de emisividad del termovisor hasta que la temperatura indicada en el punto B sea igual la medida de temperatura indicada en la superficie de la cinta aislante. En la Figura 4 está indicada la calibración efectuada en el termovisor para un revestimiento cerámico.

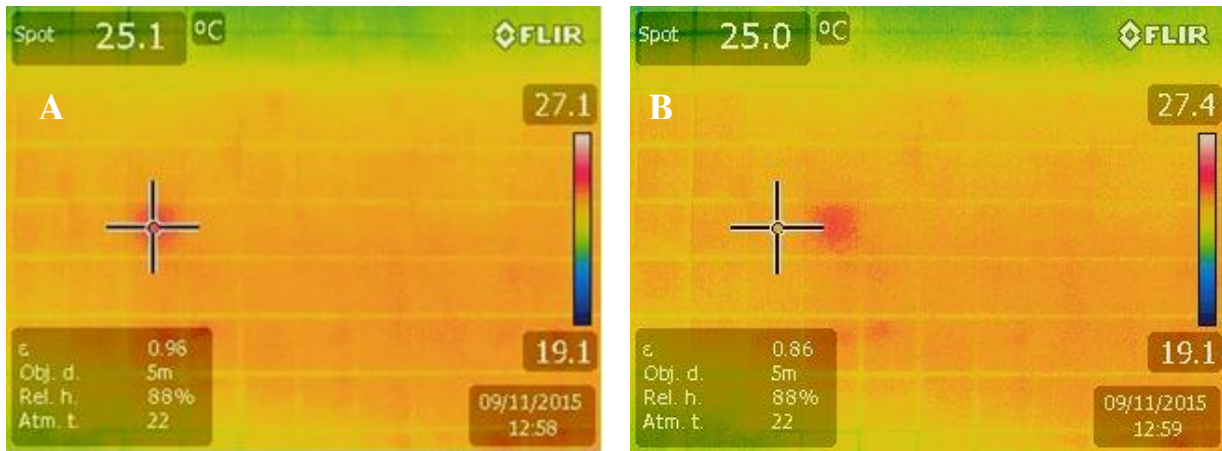


Figura 4. Determinación de la emisividad del revestimiento cerámico.

Este procedimiento fué realizado para todos los revestimientos encontrados en las áreas de estudio y los valores de emisividad encontrados son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores obtenidos para la emisividad de los materiales en las áreas de estudio.

Superficie	Emisividad
Textura acrílica gris	0,80
Revestimiento cerámico rojo	0,86
Revestimiento cerámico azul	0,86
Pintura blanca sobre bloques de concreto	0,70

Fuente: Propia.

Como el parámetro de emisividad utilizado en el estudio exploratorio era fijo, la inspección termográfica de esta etapa fué cualitativa, pues los valores absolutos de la temperatura de las superficies no reflejan sus valores reales. A pesar de esto, los termogramas obtenidos en el estudio exploratorio fueron plenamente capaces de identificar gradientes de temperatura característicos de las anomalías térmicas en las regiones inspeccionadas.

3.4 Estudios confirmatorios con el termovisor

El estudio confirmatorio buscó obtener informaciones complementarias sobre la dinámica del flujo de calor de las superficies de las áreas de estudio 1, 2 y 3 con el objetivo de confirmar las sospechas preliminares sobre las potenciales manifestaciones patológicas observadas.

El regreso a las áreas de estudio fué realizado durante la noche del mismo día utilizando el termovisor de manera cuantitativa, con el parámetro de emisividad obtenidos en la Tabla 1 y los parámetros de temperatura ambiente (22°C) y humedad relativa del aire (88%) configurados en el equipo.

En la Figura 5 son presentados los termogramas del estudio exploratorio y del estudio de confirmación del área de estudio 1.

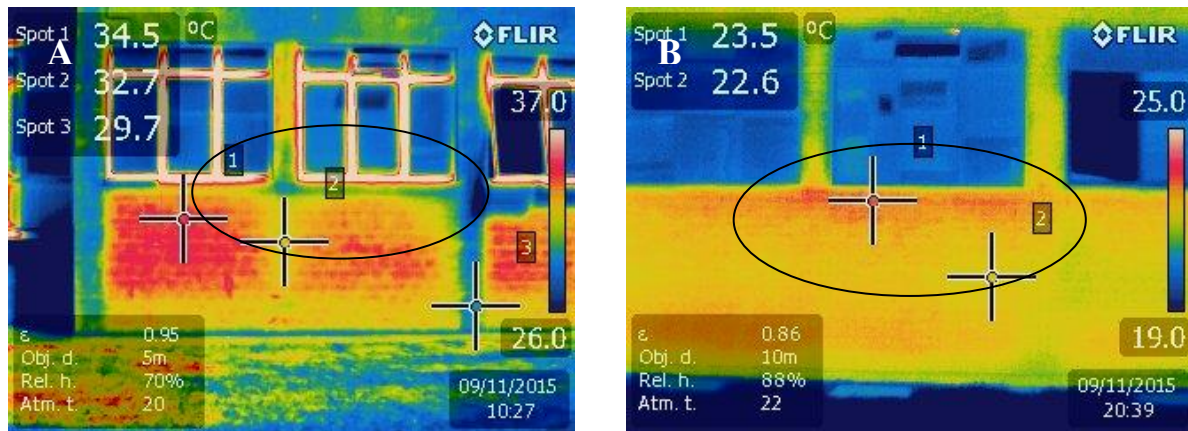


Figura 5. A) Termograma del estudio exploratorio.
B) Termograma del estudio de confirmación.

En el estudio confirmatorio del área de estudio 1, presentado en la Figura 5B, es posible identificar una anomalía térmica que puede ser asociada a un posible despegado con presencia de humedad por debajo del revestimiento cerámico en la región del recuadro de las ventanas pues la presencia de humedad en la región tiene por característica mantener las temperaturas más elevadas en los termogramas durante el período de flujo negativo de calor en comparación con la región no afectada. Esta hipótesis es reforzada por la identificación de puntos con junta deteriorada entre los revestimientos cerámicos en la región del recuadro de las ventanas. También es posible notar en el termograma del estudio exploratorio, presentado en la Figura 5A, que durante el período de flujo positivo de calor las temperaturas en la región de los recuadros es menor debido a la evaporación del agua.

En el área de estudio 2 fué observada la existencia de una fisura en el revestimiento, este hecho también presentado por los termogramas, como lo indicado en la Figura 6.

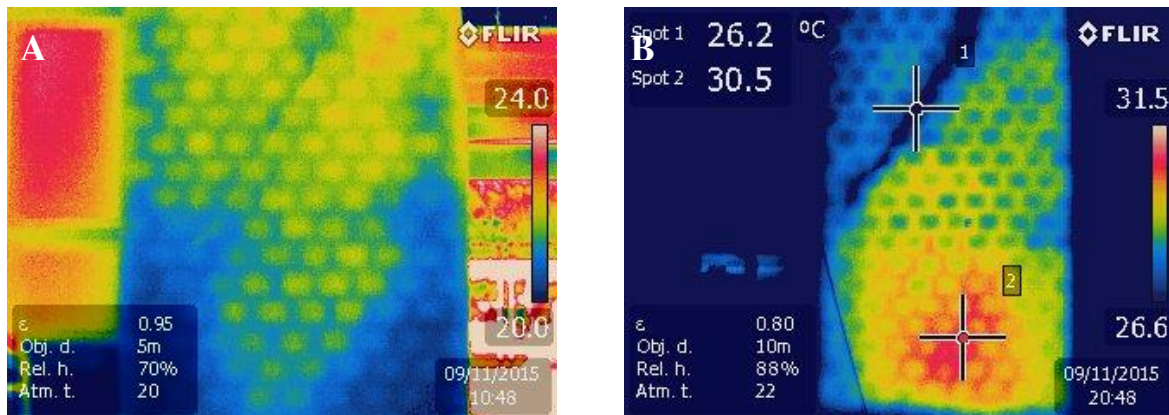


Figura 6. A) Termograma del estudio exploratorio.
B) Termograma del estudio confirmatorio.

En el termograma del estudio exploratorio, presentado en la figura 6A, es posible la existencia de un gradiente térmico en la parte inferior de la fachada es una línea diagonal, con temperaturas menores que la parte central de la fachada. En el termograma de estudio confirmatorio, ilustrado en Figura 6B, es posible verificar la existencia de la fisura inclinada, marcada por el punto 1, y la región con despegado del friso en conjunto con la presencia de humedad marcada por el punto 2, con mayor temperatura debido a la mayor capacidad del agua en retener el calor durante el

período de flujo negativo de calor cuando es comparada con los materiales que constituyen el revestimiento.

Los termogramas del estudio exploratorio y confirmatorio del área de estudio 3 están presentados en la Figura 7.

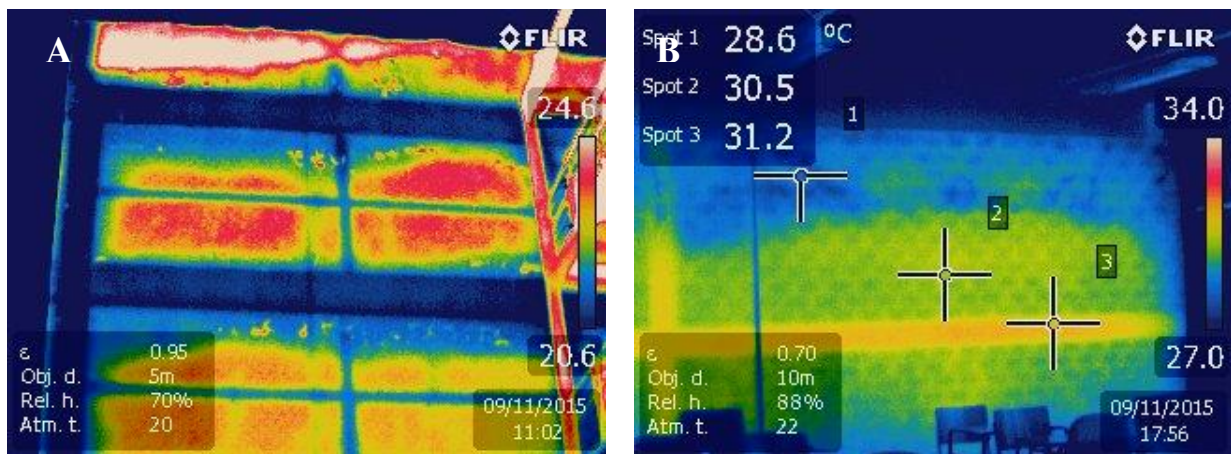


Figura 7. A) Termograma del estudio exploratorio.
B) Termograma del estudio confirmatorio.

En el estudio exploratorio, presentado en Figura 7A, es posible observar la variación de temperatura existente, indicando temperaturas inferiores en regiones próximas a las vigas. En la Figura 5B, obtenida de la parte interna del edificio en el último pavimento, es posible observar anomalía térmica en la región superior de la cuña de cierre. En la parte interna quedó evidente la presencia de humedad por aparición de hongos en las paredes en la región con presencia de humedad identificada en el termograma. De manera complementaria, fué realizada la inspección visual de la región externa, debido a la posibilidad de acceso por la escalera de emergencia, donde fué constatada la fisura en toda la extensión de dicha cuña perimetral de la región afectada, esa discontinuidad permite la infiltración de agua hacia el interior de la edificación.

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La capacidad de identificar anomalías térmicas asociadas a manifestaciones patológicas a través de la termografía agilizan el proceso de inspección y permiten que sean caracterizadas las áreas que deben ser sometidas a investigaciones más minuciosas, sea por la ejecución de estudios termográficos confirmatorios o por el uso de otros ensayos de campo ó laboratorio.

A pesar de ser relativamente simple utilizar el termovisor para obtener termogramas durante las inspecciones, se no son tomadas en cuenta las interferencias y las condiciones ambientales en las cuales las imagenes fueron obtenidas, el análisis y la interpretación de los termogramas pueden llevar a conclusiones equivocadas. Para que esto no ocurra, el basamento teórico y la experiencia en el uso del equipo para la identificación de las anomalías térmicas, características de las manifestaciones patológicas investigadas, son fundamentales para obtener los subsídios adecuados para su interpretación y en consecuencia, asociar correctamente las características con las manifestaciones patológicas correspondientes.

En cuanro a los parámetros de calibración del termovisor, los valores de emisividad y demás parámetros ambientales deben ser determinados para cada situación de inspección cuando se pretende obtener termogramas con medidas precisas de temperatura de las superficies analizadas, es decir, en análisis cuantitativos. Ya para la identificación de anomalías de forma cualitativa, estos parámetros no presentan influencia que perjudiquen la identificación de gradientes de

temperatura en superficies de un mismo material, este hecho, confirmado en el estudio exploratorio. Entre tanto, la determinación de los parámetros correctos siempre debe ser realizada para que fundamenten el análisis y la interpretación de las anomalías térmicas para el diagnóstico de manifestaciones patológicas.

La dinámica del comportamiento de los flujos de calor de las superficies y los desvíos asociados a determinadas manifestaciones patológicas también son factores que requieren atención durante la inspección y el análisis de los termogramas. La determinación de los mejores períodos y condiciones de inspección pueden auxiliar en la obtención de termogramas que dejen evidentes las anomalías térmicas que pueden estar asociadas a manifestaciones patológicas.

En cuanto a la determinación de la gravedad y extensión de las manifestaciones patológicas existentes, la termografía permite identificar la región de influencia y también la sinergia deletérea de manifestaciones patológicas conjuntas. Un ejemplo de esta situación es la asociación de la presencia de humedad y el despegado en una misma región, condición esta que potencializa la evolución de ambos daños y, por tanto representan un potencial elevado de pérdidas al desempeño y durabilidad de los sistemas de revestimientos de fachadas.

Considerando el flujo de calor positivo y negativo observado en las inspecciones realizadas en los períodos de la mañana y de la tarde, fue posible determinar la presencia de humedad en 100% de las regiones inspeccionadas, hecho este confirmado a través de una inspección visual. También en 60% de los casos fue posible determinar la existencia de revestimiento despegado, siendo el del cerámico más fácil de ser detectado. En cambio la existencia de fisuras fue posible de detectar apenas cuando existía humedad en el interior de la fisura, siendo observado en 20% de los casos analizados.

Algunas limitaciones operacionales pudieran ser identificadas durante las inspecciones. La resolución de los termogramas (320x240 pixeles) es relativamente baja, dificultando la identificación de las anomalías térmicas con precisión adecuada, de modo que su interpretación puede no ser posible cuando las regiones analizadas se encuentran a grandes distancias. Otro potencial factor limitante en la obtención de los termogramas es la posible variación de los resultados debido al ángulo de observación entre la cámara y la región de estudio. En los estudios de campo esta situación puede ser abordada al aumentar la distancia de las observaciones para evitar la toma de imágenes en ángulos superiores a 45°, según el manual del equipo.

5. CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos en las inspecciones, fue posible caracterizar las manifestaciones patológicas según las inspecciones termográficas y visuales, complementadas con la inspección visual y ensayos de percusión en locales donde el acceso fue posible.

La confirmación de las regiones con sospecha de despegado, identificadas con la termografía en el estudio exploratorio, se dió a través del ensayo de percusión y a través de la inspección confirmatoria durante el flujo negativo de calor. Ambas técnicas confirmaron la eficiencia de la termografía de infrarrojo para la identificación de despegados en el revestimiento de fachada.

La interpretación de los termogramas basada en las características de las anomalías térmicas y flujos de calor asociadas a cada una de las manifestaciones patológicas permitió la identificación de su real extensión.

Los resultados obtenidos en este trabajo confirmaron la viabilidad de la termografía como un ensayo no destructivo aplicable en la inspección de revestimientos de fachadas con gran potencial de utilización y en el monitoreo de la evolución de las manifestaciones patológicas con grandes ventajas cuanto la agilidad de las inspecciones y confiabilidad de los resultados, se compara con las técnicas usuales de inspección de fachadas, disminuyendo la subjetividad de inspecciones exclusivamente fotográficas, eliminando los riesgos de seguridad para trabajos en altura y

viabilizando el mantenimiento predictivo y preventivo de los sistemas de revestimientos de fachadas.

6. REFERENCIAS

- Bauer, E., (2013) “*Condicionantes das medições termográficas para avaliação de temperatura em fachadas.*”, X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza:CE (Brasil).
- Bauer, E., Freitas, V. P., Mustelier, N., Barreira, E., Freitas, S., (2015), “*Infrared Thermography – Evaluation of the results reproducibility.*”, Structural Survey, v. 33, n. 1, p. 20-35.
- Carvalho, Jr., A. N., Silva, A. P., Neto, F. M., (1999), “*Perícias em patologias de revestimentos de fachadas. Congresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias.*”, X COBREAP. Porto Alegre:RS (Brasil).
- Cortizo, E. C., Barbosa, M. P., Souza, L. A. C., (2008), “*Estado da arte da termografia*”, Fórum Patrimônio, Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, v. 2, n.2, p 158 – 193, mai/ago. Belo Horizonte:MG (Brasil).
- Edis, E., Flores-Colen, I., Brito, J., (2014), “*Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding.*”, Construction and Building Materials, V. 51, pp 187-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.085>
- FLIR (2012), “*The Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals*”, FLIR-Forward Looking Infrared.
- Galletto, A., Andrello, J. M., (2013), “*Patologias em fachadas com revestimentos cerâmicos.*”, IX Congresso Internacional sobre Patologia y Recuperación de Estructuras, CINPAR, Joao Pessoa:PB (Brasil).
- Gomide, T. L. F. (2006), “*Pericias de engenharia em fachadas de edificaciones*”, IBAPE-SP, Sao Paulo: SP (Brasil).
- Japiassú, J., Carasek, H., Cascudo, O., Velosa, A. L., (2014), “*Caracterización da interface azulejo/argamassa de fachadas históricas*”, Revista ALCONPAT, V. 4, No. 1, pp. 55-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v4i1.61>
- Maldague, X. (2001) “*Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook.*”, (Columbus, OH, Patrick O. Moore, 3th ed.).
- Maldague, X.; Marinetti, S., (1996), “*Pulse phase infrared thermography.*”, Journal Applied Physics, New York, v. 79, p. 2694-2698. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.362662>
- Mazer, W., Silva, L. M. R., Lucas, E., Santos, F. C. M., (2016), “*Avaliação de manifestações patológicas em edifícios em função da orientação geográfica.*”, Revista ALCONPAT, Volumen 6, Número 2, mayo – agosto 2016, Páginas 145 – 156. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i2.135>
- Menezes, A., Gomes, M. G., Flores-Colen, I., (2015), “*In-situ assessment of physical performance and degradation analysis os rendering walls.*”, Construction and Building Materials. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.039>
- Pavón, E., (2015), “*Termografia de infrarojo na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios.*”, Concreto & Construções, IBRACON, V. 79, p. 93-98.
- Romero, N., Dupuy, C., Quiñones, J., (2011), “*Influencia de la contaminación atmosférica em la fachada de rascacielos, caso Torre Colpatria*”, Revista ALCONPAT, V. 1, No. 3, pp. 228-235. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v1i3.17>
- Santos, S. S., (2013), “*Patologia das Construções.*”, Instituto de Pós-Graduação e Graduação - IPOG, Revista On Line IPOG Especialize, Curitiba:PR (Brasil).
- Soares, T. C. R., (2014), “*Termografia na avaliação do desempenho higrotérmico de edifícios – análise de sensibilidade.*”, Tese de Mestrado em Engenharia de Construcción e Reabilitação, Instituto Politécnico de Viseu, Santa Maria (Portugal).