



Análisis energético de edificios, mediante termografía infrarroja aplicada con un dron cuadricóptero Parrot Anafi thermal

Energy analysis of buildings using infrared thermography applied with a Parrot Anafi thermal quadricopter drone

Didier Aldana-Rodríguez ¹, Cristian Lozano-Tafur ²

Fecha de Recepción: 8 de septiembre de 2022

Fecha de Aceptación: 17 de octubre de 2022

Cómo citar: Aldana-Rodríguez, D. y Lozano-Tafur, C. (2023). Análisis energético de edificios, mediante termografía infrarroja aplicada con un dron cuadricóptero Parrot Anafi thermal. *Tecnura*, 27(78), 157-171. <https://doi.org/10.14483/22487638.19916>

ABSTRACT

Objective: The general objective of this study is to validate the efficiency of building energy analysis through the technique of passive infrared thermography, both qualitative and quantitative, which allows for the optimization of resources through the early detection of leaks in windows, ventilation systems, and/or air conditioning, as well as possible damage in solar panels installed on building roofs.

Methodology: To implement the diagnostic procedure, a handheld Flir E5 thermal camera and the Parrot Anafi Thermal quadcopter drone equipped with a Flir Lepton thermal camera were used. These devices allowed for the acquisition of graphs called thermograms, in which temperature gradients are observed. These were analyzed using the Flir Tools software to search for possible anomalies. This methodology was developed based on the procedures established in the standards ([ASTM E1862-97 \(2010\)](#)), ([ASTM E1933-99a \(2017\)](#)), and ([ISO 18434-1 \(2008\)](#)), among others, which define standardized procedures for the application of infrared thermography as a non-destructive inspection method.

Results: Three thermograms were obtained from two buildings of the Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá campus (Bolívar building and Santander building), two thermograms of the exterior facade and one of the roof. The analysis of these thermograms with qualitative and quantitative thermography allowed for the detection of energy losses and anomalies in the exterior windows and roof, such as leaks and/or heat or cold entries, in the ventilation ducts, and on the exterior facades. The deltas and/or temperature gradients of around 3°C measured at the windows made it possible to detect temperature leaks in the frames and/or joints of the windows, likewise, temperature gradients between 5°C – 11°C allowed for the detection of leaks in the ventilation ducts.

¹Estudiante de Doctorado en informática Magíster en Ingeniería Mecánica, Ingeniero Aeronáutico e Ingeniero Electrónico. Docente de tiempo completo de la Fundación Universitaria los Libertadores y Docente Hora cátedra de la Escuela de Aviación del Ejército. Bogotá, Colombia.

Email: didieraldanarodriguez@cedoc.edu.co

²Estudiante de Doctorado en informática, Magister en materiales y procesos e Ingeniero Aeronáutico. Docente de tiempo completo la Fundación Universitaria los Libertadores. Bogotá, Colombia.

Email: rclozanot@libertadores.edu.co



Conclusions: Qualitative and quantitative passive thermography allows for the effective energy evaluation and maintenance of buildings through the inspection of facades, building roofs, and ventilation and refrigeration equipment. For this, it is important to correctly configure in the camera and/or in the thermogram post-processing software, the values of thermal emissivity of the materials under inspection and the apparent reflected temperature, which are the two most relevant and influential parameters in the results when using the infrared thermography technique, because the values of the deltas and temperature gradients are dependent on these two parameters.

Financing: This research output is associated with the research project titled: "Energy and Structural Analysis of Buildings, through Infrared Thermography and Artificial Intelligence Algorithms" associated with the Fundación Universitaria Los Libertadores. It is also associated with the electronics and drones seedbed of the Escuela de Aviación del Ejército de Colombia (ESAVE).

Keywords: Drones, infrared thermography, building inspection, energy assessment.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo general de este estudio es validar la eficiencia la evaluación energética de edificios mediante la técnica de termografía infrarroja pasiva, cualitativa y cuantitativa que permita la optimización de recursos mediante la detección temprana de fugas en ventanas, sistema de ventilación y/o aire acondicionado, así como posibles daños en paneles solares instalados en techos de edificios.

Metodología: Para implementar el procedimiento de diagnóstico, se utilizó una cámara termográfica de mano Flir E5 y el dron cuadricóptero Parrot Anafi Thermal que está equipado con una cámara termográfica Flir Lepton, equipos que permitieron obtener gráficas llamadas termogramas en los que se observan gradientes de temperatura, los cuales se analizaron mediante el Software FlirTools en busca de posibles anomalías. Esta metodología fue desarrollada con base en los procedimientos establecidos en las normas (ASTM E1862-97 (2010)), (ASTM E1933-99a (2017)) e (ISO 18434-1 (2008)) entre otras, en las que se definen procedimientos estandarizados para la aplicación de termografía infrarroja como método de inspección no destructivo.

Resultados: Fueron obtenidos tres termogramas de dos edificios de la Fundación Universitaria Los Libertadores sede Bogotá (edificio Bolívar y edificio Santander), dos termogramas de la fachada exterior y uno del techo. El análisis de estos termogramas con termografía cualitativa y cuantitativa permitió detectar pérdidas de energía y anomalías, en las ventanas exteriores y el techo, tales como fugas y/o entradas de calor o frío, en los ductos de ventilación y en las fachadas exteriores. Los deltas y/o gradientes de temperatura de alrededor de 3°C medidos en las ventanas, permitieron detectar fugas de temperatura en los marcos y/o uniones de las ventanas, así mismo gradientes de temperatura entre los 5 °C – 11 °C permitieron detectar fugas en los ductos de ventilación.

Conclusiones: La termografía pasiva cualitativa y cuantitativa permite la evaluación energética y mantenimiento eficaz de edificios, mediante la inspección de fachadas, techos de edificios, equipos de ventilación y refrigeración. Para ello es importante configurar correctamente en la cámara y/o en software de postprocesamiento de termogramas, los valores de emisividad térmica de los materiales bajo inspección y la temperatura aparente reflejada, que son los dos parámetros más relevantes e influyentes en los resultados al momento de utilizar la técnica de termografía infrarroja, porque los valores de los deltas y gradientes de temperatura están en función de estos dos parámetros.

Financiamiento: Este producto de investigación está asociado al proyecto de investigación titulado: "Análisis energético y estructural de edificios, mediante termografía infrarroja y algoritmos de inteligencia artificial" asociado a la Fundación Universitaria Los Libertadores. También está asociado al semillero de electrónica y drones de la Escuela de Aviación del Ejército de Colombia (ESAVE)

Palabras clave: Drones, termografía infrarroja, inspección de edificios, evaluación energética.

1. INTRODUCCIÓN

Las pérdidas energéticas en edificios producen disminución del confort térmico de las personas que permanecen dentro de estas estructuras, estas pérdidas derivan en gastos adicionales por fugas en tuberías o ductos de ventilación o refrigeración, por procesos de transferencia de calor anormales en ventanas o daños en aislantes térmicos, también sobrecargan los sistemas de aire acondicionado en climas cálidos y promueven el uso innecesario de sistemas eléctricos de calefacción en climas más fríos, generando consumos eléctricos elevados (Lucchi, E. (2018)).

Actualmente para cuantificar esas pérdidas se llevan a cabo análisis higrotérmicos (Hamdaoui, M.-A., Benzaama, M.-H., El Mendili, Y., & Chateigner, D. (2021)) para analizar la humedad y temperatura de un entorno, así como análisis de envolventes térmicas para determinar los gradientes o diferencias de temperatura adecuadas entre el exterior e interior de un edificio, con el fin de asegurar la eficiencia térmica, estos estudios generalmente se llevan a cabo con higrómetros para medir la humedad, anemómetros para medir las corrientes de aire, termómetros, termocuplas y pirómetros para medir la temperatura (Rathore, P. K. S., Gupta, N. K., Yadav, D., Shukla, S. K., & Kaul, S. (2022)).

Existe una técnica como alternativa eficiente para la auditoria energética de edificios, llamada termografía infrarroja por sus siglas en inglés IRT (InfraRed Thermography), que se basa en el principio físico que todo cuerpo que tenga una temperatura superior a la temperatura del cero absoluto (-273°C) emite energía térmica en forma de radiación infrarroja, que es un tipo de radiación electromagnética no visible al ojo humano y proporcional a la emisividad del material, la cual es una propiedad intrínseca de los materiales que establece que tanta radiación infrarroja emite un cuerpo y se cuantifica en un valor adimensional en un rango entre 0 y 1. La IRT permite medir la radiación infrarroja emitida por los cuerpos, mediante una cámara termográfica que tiene un sensor microbolométrico que convierte la radiación medida en señales eléctricas digitales, que mediante algoritmos de tratamientos de señales permiten crear una imagen de gradientes térmicos llamada termograma como se muestra en la figura 1, el cual permite observar los distintos gradientes de temperatura presentes en la superficie del objeto, proporcionales a la radiación infrarroja que este emite. En un termograma las temperaturas más altas se representan con los colores más brillantes y las temperaturas más bajas con

colores más opacos, como se observa en el rango mostrado a la derecha de la figura 1. Las imágenes obtenidas por estas cámaras pueden almacenarse o transmitirse en tiempo real (Qu, Z., Jiang, P., & Zhang, W. (2020)).



Figura 1. Termograma torre de control Aeropuerto el Dorado Bogotá

Fuente: Autores.

Hay dos tipos de IRT la pasiva y la activa, la primera no requiere que el material sea estimulado para generar una respuesta, debido a que por la misma operación de los componentes o del ambiente estos se calientan y emiten radiación infrarroja que puede ser detectada; La segunda es la IRT activa la cual requiere que el elemento bajo inspección sea estimulado por una fuente externa como lámparas halógenas, pulsos de corriente y otros, con el fin de forzar una respuesta en el componente para que emita una mayor radiación infrarroja. Cada uno de esos tipos a su vez se subdividen en termografía cualitativa y cuantitativa, en la primera se extraen datos numéricos de los termogramas, mientras que en la segunda se analizan las imágenes de manera descriptiva para comparar patrones y/o gradientes térmicos entre imágenes (Tran, Q. H. (2021)).

La IRT es una herramienta útil para la inspección de estructuras y componentes, la técnica se fundamenta en el hecho que cuando la temperatura de un equipo o estructura incrementa, puede ser un indicio que algo anormal está sucediendo, esta temperatura está relacionada con un aumento de energía térmica y de radiación infrarroja, la detección y cuantificación de esta radiación infrarroja

permite evaluar problemas existentes rápido y sin contacto. Es una técnica ampliamente utilizada como método de inspección no destructiva por sus siglas en inglés NDT (Non Destructive Test), porque permite analizar gran variedad de procesos. Actualmente la termografía es utilizada para el monitoreo de condición en varias ramas de la industria incluyendo la inspección de edificios (Garrido, I., Lagüela, S., Otero, R., & Arias, P. (2020)). El análisis de termogramas mediante el software especializado Flir Tools que se muestra en la figura 2, permite evaluar los sitios más comunes en los que se generan pérdidas térmicas como son las ventanas exteriores y puertas de acceso a techos, para buscar fugas y/o entradas de calor o frío en los techados y muros exteriores, humedad por roturas tubería o filtración de agua, también fallos eléctricos de componentes de aire acondicionado.



Figura 2. Análisis de un termograma con FLIR Tools

Fuente: Autores.

En los últimos 10 años el uso de drones por sus siglas en inglés RPAS (Remote Piloted Aircraft System), ha agregado valor a la IRT, embarcando cámaras termográficas en estos vehículos. Se denomina sistema porque se compone de tres subsistemas: *i*) la aeronave no tripulada, *ii*) la estación de control en tierra y *iii*) el enlace de comunicaciones entre aeronave y estación terrena, subsistemas que se articulan entre sí de manera sinérgica, para obtener un vuelo autónomo, controlado y estable de la aeronave. Los RPAS se clasifican en dos tipos según su forma de despegue y aterrizaje, el primer tipo son los de despegue horizontal los cuales se caracterizan por ser de ala fija, recorrer grandes distancias y alcanzar grandes velocidades. El segundo tipo los de despegue vertical que se caracterizan por tener una o varias alas giratorias, poseen la capacidad de realizar vuelo estático sostenido y estable; situación que resulta ventajosa al momento de inspeccionar edificios porque tienen buena

maniobrabilidad y controlabilidad (Daffara, C., Muradore, R., Piccinelli, N., Gaburro, N., de Rubeis, T., & Ambrosini, D. (2020)). Se subdividen en helicópteros y multirrotores, siendo estos últimos los usados para inspección de edificios. Se denominan tricóptero si tienen 3 motores, cuadricóptero si tienen 4 motores, hexacóptero si tienen 6 motores y octocópteros si tienen 8 motores. Un ejemplo de un cuadricóptero es el Parrot Anafi Thermal que se muestra en la figura 3, dron que está equipado con una cámara termográfica marca Flir referencia Lepton con resolución térmica de 120 x 90, un rango de temperaturas de entre -15 y 400°C grados Celsius y una resolución para las mediciones de 0,01 grados. Por otro lado la cámara de mano Flir E5 que también se muestra en la figura 3 tiene un rango de temperatura de entre -20 y 250 °C una resolución térmica de 120 x 90 y una resolución de medición de 0,1 °C



Figura 3. Equipos utilizados para toma de termogramas

Fuente: Autores.

El objetivo general de este estudio es validar la eficiencia del análisis energético de edificios mediante la técnica de IRT, aplicada con una cámara de mano Flir E5 y un dron Parrot Anafi Thermal. El desarrollo metodológico inició con una búsqueda de literatura relacionada en SCOPUS, posteriormente se desarrolló la inspección de las fachadas y techos de dos edificios de la Fundación Universitaria Los Libertadores ubicada en la localidad de Barrios Unidos de la ciudad de Bogotá, obteniendo 3 termogramas analizados con el software Flir tools, con el fin de encontrar pérdidas de energía o fallos

de componentes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de investigación es cuantitativa de tipo descriptivo porque fue realizado un análisis de datos con el propósito de encontrar factores y características del objeto de estudio, que en este caso es el techo y la fachada exterior del sexto piso del edificio la sede Bolívar y el techo del edificio de la sede Caldas de la Fundación Universitaria los Libertadores en la Ciudad de Bogotá. Como primer paso metodológico fue realizada una búsqueda sistemática de literatura científica en la base de datos SCOPUS usando diferentes combinaciones de 5 palabras claves en inglés, Thermography, Buildings, Inspection, Energy Assessment and drone, búsqueda que arrojó un total de 97 referencias distribuidos en 50 artículos de conferencia, 29 artículos de resultados, 8 artículos de revisión y 8 en otros tipos. Posteriormente el estudio fue complementado con otras 15 fuentes extraídas de Google Académico, conformando las 112 fuentes que fueron analizadas y filtradas usando la metodología para revisión sistemática de literatura descrita en ([Perez Rave., J.I. \(2013\)](#)) para seleccionar las 14 referencias utilizadas en el artículo.

Las 97 referencias de SCOPUS se exportaron al programa Vosviewer que es una herramienta de software para construir y visualizar redes bibliométricas como se muestra en la figura 4, con el propósito de encontrar correlación de los estudios y las palabras clave, las cuales permitieron analizar y delimitar de una manera precisa el análisis energético en edificios mediante IRT. En esta misma figura se observa la correlación mostrada por Vosviewer entre los estudios encontrados mediante las palabras clave, el diámetro de los nodos indica la densidad y la frecuencia con la que aparece la palabra clave permitiendo seleccionar las más relevantes y que se correlacionan directamente con el estudio; en este caso las más relacionadas y que son más transversales a las 97 fuentes son termografía, evaluación energética, edificios, utilización de la energía, conservación de la energía, radiación infrarroja, drones y utilización de la energía. Al seleccionar el nodo de drones, se filtran las palabras claves de los estudios relacionados con ese tema específico, allí cada color representa una subárea del estudio, el uso de drones para aplicar termografía en edificios está marcado en color verde, el color amarillo está relacionado con la energía térmica y aprovechamiento de energía solar en edificios, la roja la eficiencia energética como se mide con la técnica de termografía y la morada con defectología y

medición de pérdidas de calor. Así mismo la gráfica permite ver la correlación de análisis energético y los procesos físicos y parámetros asociados, así como las posibles causas y parámetros que influyen y permiten caracterizar las pérdidas de energía. Estas fuentes llevaron al desarrollo metodológico del proyecto.

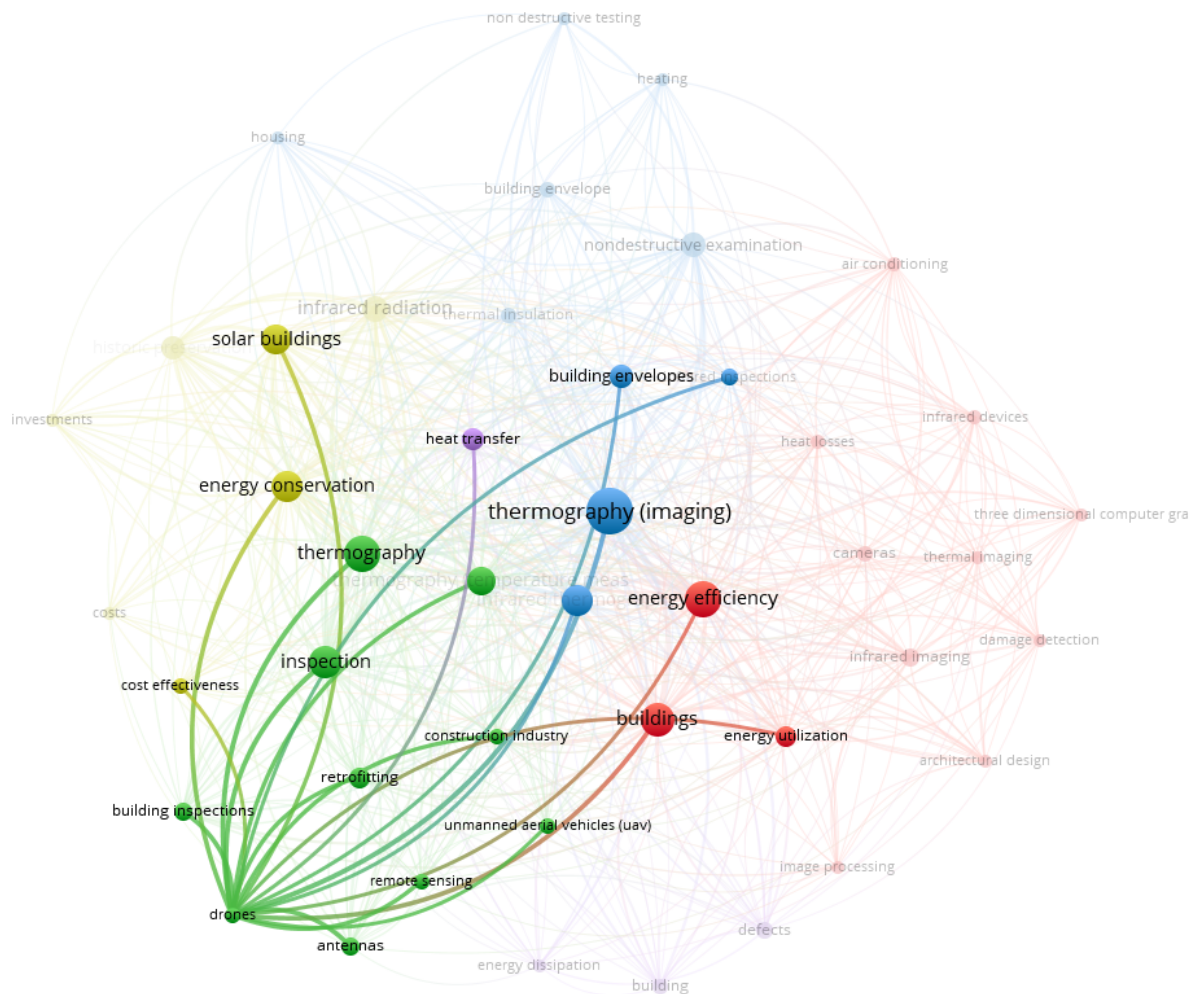


Figura 4. Estudios relacionados con drones, termografía e inspección energética.

Fuente: Autores.

En la investigación de las normas internacionales asociadas a la IRT se determinó que no hay una norma específica para la aplicación de termografía en edificios, pero hay normas estandarizadas para la aplicación de esta técnica en la industria y otros usos, normas que tienen aspectos y parámetros transversales que se pueden utilizar para la aplicación de termografía en análisis energético de edificios,

las normas más relevantes son ([ISO 18434-1 \(2008\)](#)) *Monitoreo y diagnóstico de máquinas con termografía procedimientos generales*, ([ASTM E1933-99a \(2017\)](#)) *Práctica estándar para medir y compensar emisividad usando cámaras termográficas*, ([ASTM E1862-97 \(2010\)](#)) *Práctica estándar para medir y compensar temperatura reflejada con cámaras termográficas*, ([ISO 52000-1:2017 \(2017\)](#)) *Evaluación global de la eficiencia energética de los edificios* y la norma española norma UNE ([EN 13187:1998 \(1998\)](#)) *Prestaciones térmicas de las que debe disfrutar un edificio*. Bajo los procedimientos establecidos en estas normas fueron obtenidos los 3 termogramas que permitieron determinar algunos aspectos energéticos de los edificios inspeccionados. En la fase de toma de los termogramas de los edificios, la técnica utilizada fue la IRT pasiva de tipo cualitativo complementada con datos cuantitativos. Los pasos metodológicos fueron los siguientes:

- Paso 1: configurar y calibrar el dron y la cámara térmica de este, siguiendo los pasos del manual del Parrot Anafi Thermal ([Parrot \(n.d.\)](#)).
- Paso 2: configurar la Cámara Flir E5 siguiendo los pasos del Manual.
- Paso 3: determinar la temperatura aparente reflejada por los objetos y/o alrededor del edificio, que puede reflejar radiación en el edificio bajo estudio y afectar la medida al agregar temperatura que no es emitida por este; este procedimiento se realizó bajo la norma ([ASTM E1862-97 \(2010\)](#)).
- Paso 4: fue necesario determinar el valor de la emisividad térmica del objeto a medir siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ([ASTM E1933-99a \(2017\)](#)), con el fin de lograr obtener una medida confiable y exacta de temperatura. La emisividad es un valor numérico adimensional que esta entre 0 y 1 dependiendo del material, entre más se acerque a 1 más radiación térmica emite un cuerpo y por ende es más confiable la lectura.
- Paso 5: tomar los termogramas siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ([ISO 18434-1 \(2008\)](#)) (ISO.International Standar Organizatió., s. f.).
- Paso 6: analizar los termogramas usando el programa FlirTools.
- Paso 7: Comparar los resultados del análisis del paso 6 con los criterios de aceptación descritos en la norma ([ISO 52000-1:2017 \(2017\)](#)), ([ISO 52000-1:2017 \(2017\)](#)), y la norma UNE ([EN](#)

13187:1998 (1998)) que establece todas las prestaciones térmicas de las que debe disfrutar un edificio.

3. RESULTADOS

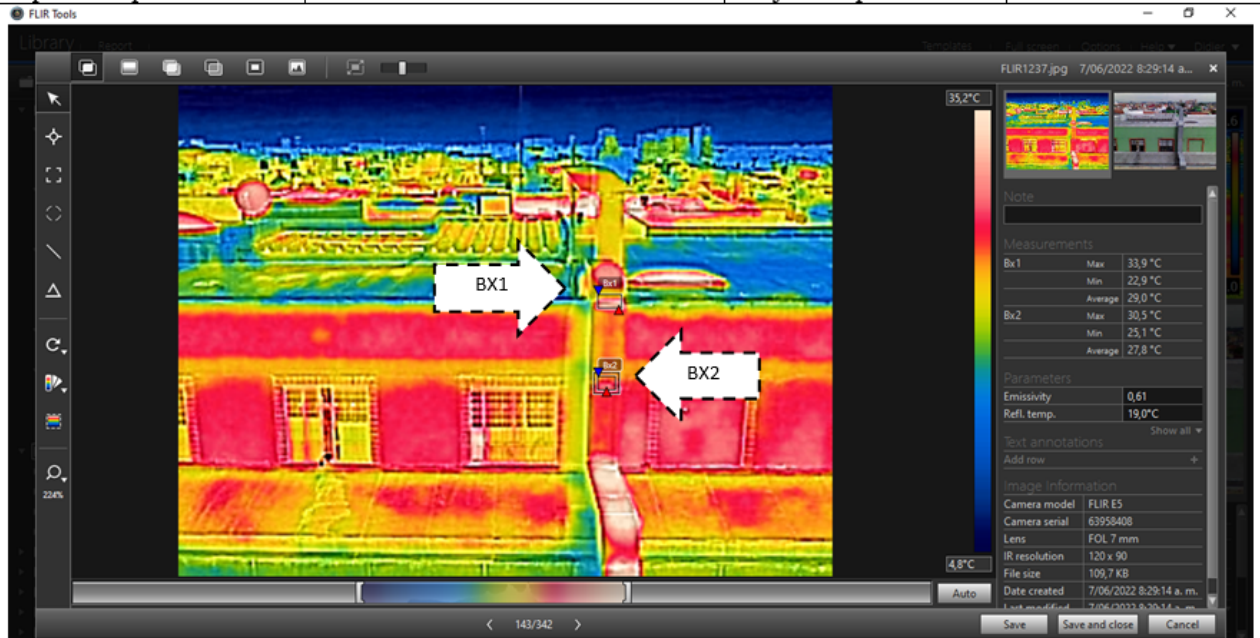
Como resultado del paso 1 y 2 se configuró en la cámara una distancia horizontal de medición de 10 mts desde la cámara al edificio para el termograma 1, una distancia horizontal de 15 mts desde la cámara al edificio para el termograma 2, y 5 metros verticales desde la cámara térmica del dron al panel solar del techo para el termograma 3. Fueron elegidas las paletas de colores lava y arcoíris que permitieron mejor contraste térmico para ver posibles daños o fugas en las tuberías e impermeabilizante del techo del edificio, así mismo para daños en las celdas del panel solar.

Termograma 1:

En la figura 5 se observa la superficie exterior y el techo de la sede Bolívar, donde se aprecian colores más brillantes en las uniones del ducto de ventilación que sugieren posibles fugas, de igual manera en los marcos de la ventana se aprecian cambios en los gradientes térmicos que denotan una falta de aislamiento. El software Flir Tools, permite usar diferentes geometrías para la medición tales como puntos, círculos, líneas y cajas para analizar distintas secciones del termograma y cuyos resultados se despliegan de manera ordenada en tablas con valores de temperatura máxima y mínima, así como promedios de todos los valores que queden encerrados en las geometrías y/o sobre estas, también se registra la emisividad y temperatura aparente reflejada. En este termograma se utilizaron la herramienta Box (caja) para medir dos uniones del ducto, las cuales están señaladas con las flechas en la gráfica, esta herramienta permite determinar la temperatura más alta y baja dentro de la caja, y la diferencia de estos valores permitió determinar el gradiente térmico que indica una fuga. Como resultado del paso 3 se determinó que la temperatura reflejada es de 19°C y se configuró este parámetro en las cámaras. Por otro lado, como resultado de realizar el procedimiento del paso 4 se configuró un valor una emisividad de 0,93 que corresponde a la emisividad del bloque de ladrillo, 0,63 para el latón de los ductos y 0,93 para las ventanas, valores que la cámara tiene entre los parámetros configurables para cada material.. La técnica aplicada en este termograma fue termografía pasiva cuantitativa, en la figura 5 se relacionan los análisis con base en los valores de medición. El

termograma fue tomado con la cámara Flir E5.

Empresa	Fundación Universitaria los Libertadores	Estándar:	E ISO 18434
Descripción y ubicación	Bogotá, Barrios Unidos	Cámara:	FLIR E5
Equipo y elemento	Ducto de ventilación	Fecha	7 Junio 2022
Tipo de inspección	CUANTITATIVA	Hoja de reporte	1



ANALISIS TERMICO

<p>Evaluación y diagnóstico: En los dos puntos de medición correspondientes a dos zonas de unión del ducto de ventilación hay una diferencia de 11°C y 5,4 °C respectivamente situación que es indicador de fugas de aire, con base en esos gradientes de temperatura que según las normas se clasifican como no aceptables. Se sugiere revisar las zonas de unión para corregir las fugas</p>	SPOT	VALOR MEDIO
	Emisividad	0.61
	Distancia	10 m
	Trefl	24°C
	Bx 1	Max 33,9 °C – Min 22,9°C
		Diferencia 11°C
	Bx 2	Max 30,5 °C – Min 25,1 °C
		Diferencia 5,4°C

Figura 5. Superficie exterior y el techo de la sede Bolívar

Fuente: Autores.

Termograma 2:

Exterior lateral del edificio Caldas. En la imagen térmica de la figura 6 se realizó un análisis cualitativo y se aprecia un contraste térmico entre la ventana (color blanco y brillante) y el marco (color rojo amarillo opaco) porque no cuenta con aislamiento térmico, por lo tanto hay fugas de calor

apreciables que se evidencian con el gradiente térmico de 2,7 °C en el marco derecho de la ventana superior, medidos con la herramienta Box (caja), ocasionando que el interior del edificio sea bastante frío. El termograma fue tomado con el dron Parrot Anafi Thermal.

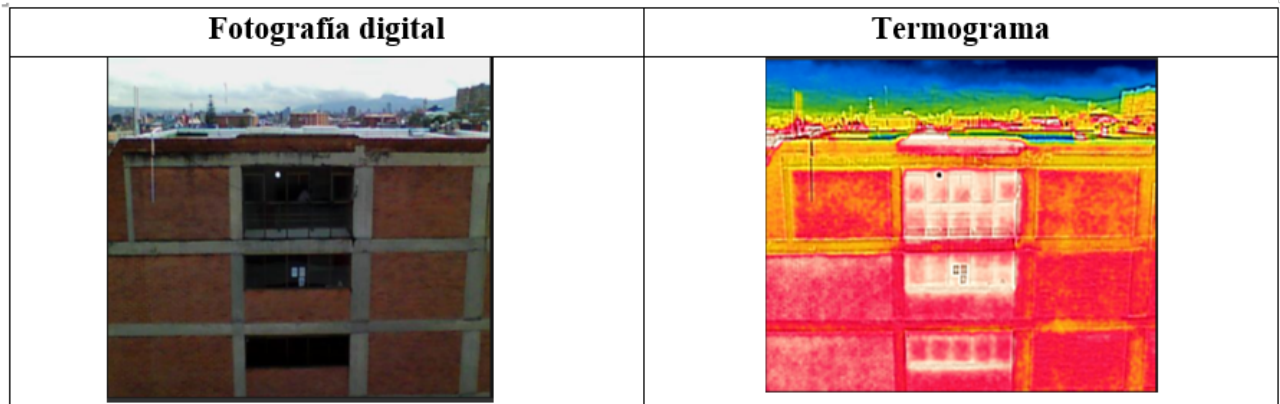


Figura 6. Fachada lateral exterior edificio Caldas.

Fuente: Autores.

Termograma 3:

Techo de la sede Caldas: en la figura 7 se observa un termograma obtenido con el Dron Parrot Anafi Thermal. El techo recientemente fue impermeabilizado y allí se ubica un panel solar. Mediante un análisis cualitativo se observa que el panel no presenta ningún daño en sus celdas ya que el tono es parejo en todas ellas. También se aprecia que el material utilizado para la impermeabilización conserva el calor que se genera por la radiación solar y es más opaco en las juntas ya que allí se utilizó una pintura de un tono mate.

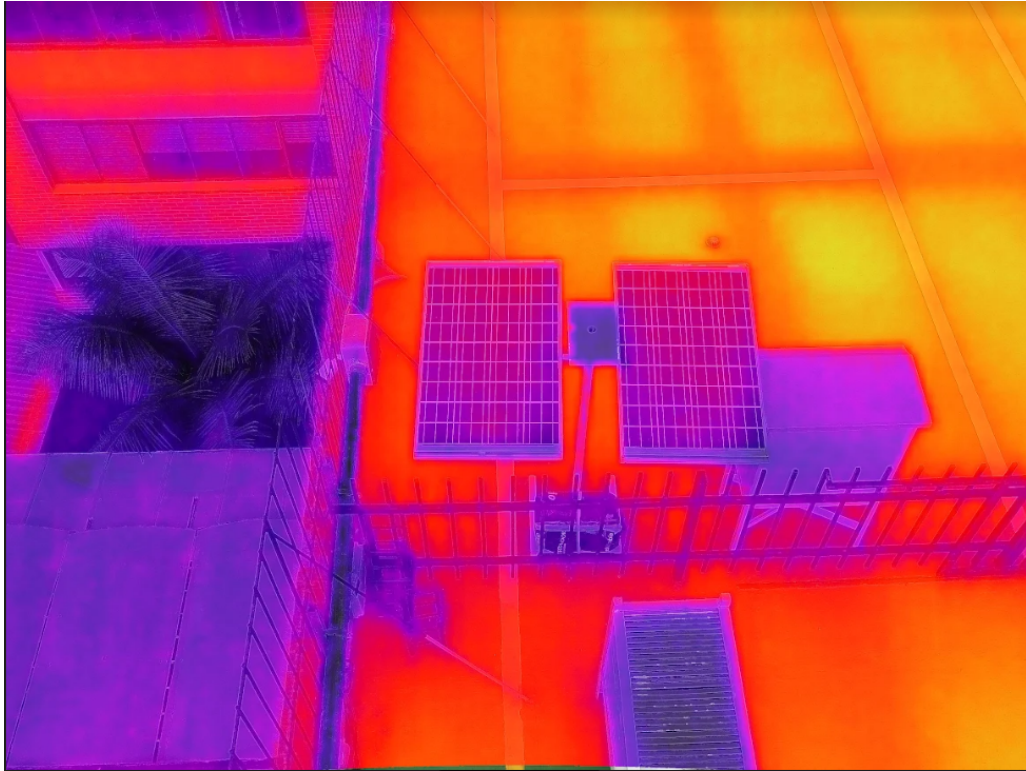


Figura 7. Techo edificio Caldas.

Fuente: Autores.

4. DISCUSIÓN

La termografía cualitativa permitió evidenciar fugas de calor en los ductos de ventilación mediante los gradientes térmicos mostrados en los termogramas, los cuales mostraron diferencias significativas en la unión de los ductos. Por otro lado, la termografía cuantitativa permitió observar fugas de calor en las uniones entre ventanas y en las uniones de estas con los marcos, en las que había diferencias de alrededor de 3°C grados, rango suficiente para evidenciar pérdidas de energía. La cámara en general mostró rangos de temperatura de entre 4 °C a 35 °C en todo el termograma, aunque estas diferencias se deben a los diferentes valores de emisividad térmica de los materiales, las medidas cuantitativas usando las herramientas del software Flir Tools permiten apreciar pérdidas de energía térmica en componentes específicos de la fachada y el techo; estas pérdidas deben evaluarse bajo los criterios de aceptación o rechazo definidos según las normas aplicables a cada caso o tipo de edificio y clima en el que se encuentre. En el caso de los ductos se usa la termografía cuantitativa debido a que

su valor de emisividad bajo de 0,63 hace que las medidas cuantitativas no sean del todo confiables, ya que una limitante de la técnica es que requiere valores de emisividad mayores a 0,8 para realizar termografía cuantitativa.

El uso de drones para realizar inspecciones de edificios ofrece varias ventajas, como la capacidad de acceder a áreas de difícil acceso y la reducción del tiempo y costo de las inspecciones. Se destaca la importancia de seguir las normas y estándares establecidos para la aplicación eficaz y confiable de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo. En general, los resultados de esta investigación sugieren que la termografía infrarroja aplicada con drones es una técnica prometedora para el análisis energético de edificios, que puede ayudar a mejorar la eficiencia energética y reducir los costos de operación de los edificios.

REFERENCIAS

ASTM E1862-97 (2010). Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. ASTM International. <https://www.astm.org/e1862-97r10.html>

ASTM E1933-99a (2017). Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. ASTM International. <https://www.astm.org/e1933-14r22.html>

Daffara, C., Muradore, R., Piccinelli, N., Gaburro, N., de Rubeis, T., & Ambrosini, D. (2020). A Cost-Effective System for Aerial 3D Thermography of Buildings. *Journal of Imaging*, 6(8), 76. <https://doi.org/10.3390/jimaging6080076>

EN 13187:1998 (1998). Thermal Performance of Buildings. Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Building Envelopes. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/22492a43-9c5a-4ddc-ba20-df0226b4148d/en-13187-1998>

Garrido, I., Lagüela, S., Otero, R., & Arias, P. (2020). Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: A review—Post-processing procedures. *Applied Energy*, 266, 114857. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114857>

CHamdaoui, M.-A., Benzaama, M.-H., El Mendili, Y., & Chateigner, D. (2021). A review on physical and data-driven modeling of buildings hygrothermal behavior: Models, approaches and simulation tools. *Energy and Buildings*, 251, 111343. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111343>

ISO 52000-1:2017 (2017). Energy performance of buildings. Organización Internacional de Normalización (ISO). <https://tienda.aenor.com/norma-iso-52000-1-2017-065601>

ISO 18434-1 (2008). Condition monitoring and diagnostics of machines – Thermography. Organización Internacional de Normalización (ISO). <https://www.iso.org/standard/41648.html#:~:text=ISO%2018434%2D1%3A2008%3A,methods%20and%20requirements%20for%20carrying>

Perez Rave., J.I. (2013). Revisión sistemática de literatura en Ingeniería como apoyo a la Consultoría basada en Investigación.

Lucchi, E. (2018). Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3077–3090. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>

Parrot (n.d.). Parrot Anafi Thermal. <https://www.parrot.com/us/drones>

Qu, Z., Jiang, P., & Zhang, W. (2020). Development and Application of Infrared Thermography Non-Destructive Testing Techniques. *Sensors*, 20(14), 3851. <https://doi.org/10.3390/s20143851>

Rathore, P. K. S., Gupta, N. K., Yadav, D., Shukla, S. K., & Kaul, S. (2022). Thermal performance of the building envelope integrated with phase change material for thermal energy storage: an updated review. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103690. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103690>

Tran, Q. H. (2021). Passive and active infrared thermography techniques in nondestructive evaluation for concrete bridge, 050008. <https://doi.org/10.1063/5.0068385>

