ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 48 - 2026

ORIGINAL

RCTA
Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada
UNIPAMPLONA

Análisis térmico de fachadas mediante termografías infrarrojas para la identificación de variables asociadas a las diferencias de temperatura superficial en edificaciones de clima cálido

Thermal analysis of façades through infrared thermography for the identification of variables associated with surface temperature differences in buildings located in warm climates

Erika Tatiana Ayala García[1]

Jessica Viviana Sánchez Zúñiga[2]

Jorge Sánchez Molina[3]

[1] **Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Educación Arte y Humanidades, Grupo de Investigación Taller de Arquitectura y Gestión del Territorio TAR_GET, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.**

[2] **Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Educación Arte y Humanidades, Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.**

[3] **Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.**

Recibido: 10 junio 2026. Revisado: 20 agosto 2026. Aceptado: 07 septiembre 2026. Publicado: 10 septiembre 2026.

Autor de correspondencia: Jorge Sánchez Molina

Cómo citar: E. T. Ayala García, J. V. Sánchez Zúñiga, and J. Sánchez Molina, "Análisis térmico de fachadas mediante termografías infrarrojas para la identificación de variables asociadas a las diferencias de temperatura superficial en edificaciones de clima cálido", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, vol. 2, no. 48, sept. 2026, art. no. 4537, doi: 10.24054/rcta.v2i48.4537

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen:

El comportamiento térmico de las envolventes arquitectónicas influye directamente en las condiciones de confort y en el consumo energético de las edificaciones en climas cálidos. Por tanto, el objetivo de este manuscrito consiste en analizar el comportamiento térmico de fachadas mediante termografía infrarroja para la identificación de diferencias de temperatura superficial y de esa manera, evaluar el impacto térmico de variables de diseño arquitectónico sobre el confort térmico en edificaciones ubicadas en el campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, en San José de Cúcuta, Colombia. La metodología es cuantitativa con enfoque experimental basado en las mediciones in situ con tecnología especializada para la toma de datos. Se seleccionaron tres casos de estudio representativos para el análisis comparativo de variables como orientación, materialidad y entorno. Los resultados indican que las orientaciones sureste y suroeste presentan las mayores temperaturas superficiales, superando los 40°C. Asimismo, materiales como el concreto estriado y las losas de concreto se identifican como materiales asociados con mayores temperaturas superficiales, mientras que elementos como aperturas y vegetación contribuyen a la disipación del calor, incluso en orientaciones con mayor incidencia solar. Además, la temperatura ambiente supera el rango de confort térmico local (23.5 °C y 28.5 °C), lo cual evidencia las condiciones climáticas desfavorables en todos los casos de estudio. En conclusión, el comportamiento térmico de las edificaciones depende de la interacción entre variables de orientación, materialidad y entorno, y de la implementación de estrategias pasivas como ventilación, materiales claros y vegetación en contextos de clima cálido.

Palabras clave: confort térmico, envolvente arquitectónica, materiales, termografía infrarroja.

Abstract:

El comportamiento térmico de las envolventes arquitectónicas influye directamente en las condiciones de confort y en el consumo energético de las edificaciones en climas cálidos. Por tanto, el objetivo de este manuscrito consiste en analizar el comportamiento térmico de fachadas mediante termografía infrarroja para la identificación de diferencias de temperatura superficial y de esa manera, evaluar el impacto térmico de variables de diseño arquitectónico sobre el confort térmico en edificaciones ubicadas en el campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, en San José de Cúcuta, Colombia. La metodología es cuantitativa con enfoque experimental basado en las mediciones in situ con tecnología especializada para la toma de datos. Se seleccionaron tres casos de estudio representativos para el análisis comparativo de variables como orientación, materialidad y entorno. Los resultados indican que las orientaciones sureste y suroeste presentan las mayores temperaturas superficiales, superando los 40°C. Asimismo, materiales como el concreto estriado y las losas de concreto se identifican como materiales asociados con mayores temperaturas superficiales, mientras que elementos como aperturas y vegetación contribuyen a la disipación del calor, incluso en orientaciones con mayor incidencia solar. Además, la temperatura ambiente supera el rango de confort térmico local (23.5 °C y 28.5 °C), lo cual evidencia las condiciones climáticas desfavorables en todos los casos de estudio. En conclusión, el comportamiento térmico de las edificaciones depende de la interacción entre variables de orientación, materialidad y entorno, y de la implementación de estrategias pasivas como ventilación, materiales claros y vegetación en contextos de clima cálido.

Palabras clave: confort térmico, envolvente arquitectónica, materiales, termografía infrarroja.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es una realidad del planeta que demanda una mirada crítica sobre las decisiones en las diferentes industrias. En el caso del sector de la arquitectura y la construcción, el uso de edificios representa el 28% de las emisiones globales de CO2 en el año 2018, además, la industria de la construcción independientemente de las edificaciones, representa el 11% de las emisiones, según la Agencia Internacional de Energía[1]. Por tal motivo, la arquitectura en general debe continuar y acelerar la transición hacia la eficiencia energética, de tal manera que se puedan mitigar los impactos medioambientales negativos asociados al consumo energético, la isla de calor urbano, la dependencia de combustibles fósiles, la contaminación del aire, agua y suelos, entre otros, con el fin de garantizar entornos saludables, mejorar el confort térmico de espacios interiores y proporcionar calidad habitacional asequible [1]–[3].

Partiendo de esta premisa, las edificaciones tienen un impacto directo en el cambio climático. A pesar de que el campo de estudio es muy amplio, múltiples autores coinciden que los factores principales de esta problemática son la rápida urbanización de las ciudades, el desconocimiento de las propiedades de los materiales de las edificaciones, el calor antropogénico, la ubicación geográfica y sus características climáticas, lo cual, también contribuye a la intensificación del fenómeno de la Isla de calor urbano (ICU) o “Urban Heat Island (UHI)” [3]–[6].

Aunque este fenómeno fue inicialmente analizado a gran escala para analizar la diferencia entre las dinámicas de las temperaturas en la ciudad y zonas rurales por Oke en 1987[7], gracias al avance de las tecnologías es posible acceder a la toma de datos satelitales y locales con equipos especializados como cámaras termográficas infrarrojo y sensores, que permiten la toma de datos de las temperaturas y humedad de las superficies y el ambiente y por consecuencia, cuantificar los beneficios y ahorros de las nuevas prácticas constructivas [3]–[6].

El fenómeno de la isla de calor urbana impacta la calidad de vida de las personas porque no mitiga las condiciones climáticas exteriores. De acuerdo a múltiples autores, la intensificación de la isla de calor urbano varía según la cobertura vegetal [3]–[8], las propiedades térmicas de los materiales de las superficies[2],[7],[9],[10], la incidencia solar de las superficies de fachada [11]–[13], la proyección de sombras[3], la orientación de los edificios, la geometría de los cañones urbanos[7], entre otros.

Basado en lo anterior, las principales causales de este problema son la morfología y composición de las edificaciones. Los efectos contraproducentes de edificios diseñados sin ningún tipo de planificación, desencadena una serie de demandas de desafíos como el alto consumo energético por sistemas de climatización, disconfort de las personas, disminución de la productividad y deterioro de la salud[1].

El análisis de la envolvente arquitectónica

Las edificaciones tienen como objetivo principal la protección de los individuos de los factores exteriores de un entorno, de los cuales, no se pueden controlar porque son variables ambientales como temperatura, radiación solar, velocidad del viento, precipitaciones, humedad, calidad del suelo, entre otros. Estos factores son considerados cargas que impactan y condicionan las características físicas y formales de la edificación[1].

En síntesis, los edificios son la capa de protección que regulan las variables exteriores y proporcionan la calidad del aire y el confort térmico de los usuarios[1]. No obstante, la composición de la capa exterior del edificio se ha dividido en elementos de muros de fachada y cubiertas independiente y no, como un conjunto de envolvente o piel que protege la edificación[14].

Los elementos que componen esta envolvente son un conjunto de decisiones de diseño intrínsecos de la primera capa como sistemas continuos de revestimiento, sellado de juntas exteriores en las aberturas de las fachadas[1]. Además, la selección de materiales reflectantes, el diseño de aberturas para la iluminación y la ventilación natural, entre otros[14].

En este sentido, la temperatura superficial de una envolvente está condicionada por la radiación solar y las propiedades de los materiales [9]. Asimismo, el color y la absorción superficial influyen en la cantidad de energía incidente absorbida, la cual puede transferirse por conducción a través del material de acuerdo con sus propiedades de inercia y conductividad térmica, dando lugar a variaciones en las temperaturas superficiales registradas[9],[16],[17].

En este contexto, la termografía infrarroja permite identificar diferencias de temperatura superficial, aunque, estas diferencias no constituyen la evidencia de los flujos de calor hacia el interior de la edificación, tan solo una estrategia no invasiva para reconocer información relacionada con el comportamiento térmico superficial de los materiales [16], [17]. Independientemente del campo de estudio, la técnica de Termografía Infrarroja debe considerar 3 actores que interfieren en el análisis: el operador, es decir, la cámara termográfica, el sistema observado y el entorno [18].

No obstante, como el enfoque de esta investigación está orientado hacia el análisis térmico de las edificaciones, los factores relacionados al sistema observado (edificios) y el entorno (condiciones climáticas) se describen en la sección del caso de estudio. Sin embargo, el operador para la realización de esta técnica es la cámara especializada en termografía infrarroja con especificaciones como alta sensibilidad térmica o “Noise Equivalent Temperature Difference”, precisión promedio de

+/- 2°C o +/- 2% y resolución espacial a través del campo de visión instantáneo o Instantaneous Field of View y frecuencia de la imagen [18]. De esta manera, se pueden diagnosticar los rendimientos térmicos de las edificaciones para realizar el análisis térmico deseado.

El análisis de la envolvente debe considerar medidas de mejora que incorporen estrategias constructivas sostenibles adaptativas de acuerdo al tipo de intervención para ajustarse a la infraestructura del entorno construido y aprovechar elementos existentes y por consecuencia mitigar el impacto ambiental negativo[6]. Según [6] y[19], las principales estrategias suelen ser infraestructura verde como parques, fachadas y/o techos verdes, infraestructura azul y enfriamiento evaporativo, materiales selectivos fríos para techos, pavimentos y fachadas, reducción del calor antropogénico generado por las actividades urbanas y edificatorias, la proyección de sombras y ventilación a través de la morfología urbana y medidas geotérmicas[2],[3],[6].

Además de la promoción de arborización de las ciudades a través del espacio público y de las envolventes arquitectónicas, [5] también sugiere la planificación territorial de zonas de cesión en proyectos urbanísticos, desarrollo de políticas ambientales, incentivación del uso de materiales de construcción con alta reflectancia solar y sistemas de riego eficientes, monitoreo y evaluación continua de los registros. No obstante, para promover la implementación de estas estrategias a nivel de ciudad es fundamental la colaboración interinstitucional entre academia, empresa y estado a través de la formulación y gestión de proyectos con alto impacto de mitigación de las islas de calor urbano generadas por la infraestructura de las ciudades[5].

La Tabla 1 sintetiza resultados cuantitativos de investigaciones relacionada con el comportamiento térmico de envolventes arquitectónicas y superficies de fachada, considerando el objeto de estudio, las variables analizadas, las diferencias de temperatura registradas y los instrumentos de medición implementados.

Tabla 1: Diferencias térmicas registradas en envolventes arquitectónicas a través de mediciones de termografía infrarroja (IR) y modelados numéricos.

Objeto de estudio	Variables	Diferencias térmicas	Método de medición
Fachada de edificio residencial, Zaragoza [11]	Exposición solar, estaciones, temperatura superficial, color, absortancia solar.	7.4 °C entre superficies soleadas y sombreadas en verano y hasta 1.2 °C en invierno.	Termografía IR, termohigrómetro y datos climáticos
Cubierta de iglesias en Cúcuta [12], [13]	Geometría, incidencia solar, conductividad térmica, orientación, transferencia de calor	Reducción entre 10% y 70% en envolventes cupulares y hasta 77 % en planos inclinados según la orientación.	Simulaciones de incidencia solar
		Entre 3.79 °C y 20.19 °C de acuerdo a la inclinación de los planos de superficie.	Simulaciones de transferencia de calor en ANSYS
Envolventes de edificaciones agrícolas [16]	Distribución térmica superficial, puentes térmicos.	Entre -7.3 °C y 6.1 °C.	Termografía IR y modelado numérico
Productos para sistemas de fachadas cerámicas [9]	Materialidad, geometría, transferencia de calor, propiedades térmicas	Entre 1 °C y 7 °C de acuerdo a la geometría y las variaciones de las superficies exteriores del producto.	Simulaciones de transferencia de calor en ANSYS

Fuente: elaboración propia

Por tanto, el aporte de la investigación se centra en explorar la termografía infrarroja como estrategia de identificación y análisis no invasiva para relacionar las diferencias de temperatura superficial con variables de diseño arquitectónico en tres edificaciones del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, sede San José de Cúcuta. El siguiente estudio es una lectura térmica de las superficies con características de orientación, materialidad, configuración de fachada y entorno, como información de apoyo para orientar futuras investigaciones sobre las envolventes arquitectónicas.

Caso de estudio: Edificaciones ubicadas en campus de la Universidad Francisco de Paula Santander en Cúcuta, Colombia.

En el contexto de Cúcuta, Norte de Santander (Colombia) predomina condiciones climáticas cálidas con temperaturas promedios entre 26.2°C hasta 34.4°C a lo largo del año. Además, el registro de la incidencia solar también representa un desafío ambiental para la ciudad, ya que los valores más altos alcanzan entre 664.2 W/m2 hasta 796.8 W/m2 [20] y esto implica consecuencias directas en las altas temperaturas y la incidencia solar de las fachadas de las edificaciones (entorno). De las cuales, se desencadenan prácticas edificatorias de alto consumo energético como la implementación de sistemas de refrigeración y ventilación mecánica para el acondicionamiento climático de los espacios.

Si bien el fenómeno de la isla de calor urbano tiene múltiples alcances de investigación y variables, esta propuesta se limita al entendimiento del impacto de las edificaciones a pequeña escala. Por tal motivo, el caso de estudio seleccionado son las edificaciones ubicadas en el campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, sede Cúcuta (sistema observado). Debido a que cuenta con una amplia variedad de tipologías de edificios, uso de materiales diversos y locales, zonas de esparcimiento tipo plazas arborizadas y no arborizadas, entre otros. La selección de este caso de estudio nutre el desarrollo de la investigación a través de la exploración, comparación y evaluación de variables para el análisis térmico de fachadas y la consideración de medidas de mejoras sostenibles.

METODOLOGÍA

La metodología es una investigación cuantitativa con enfoque experimental que permite la exploración de resultados a

través de mediciones in situ con tecnología especializada para la toma de datos. La investigación se estructura en 4 etapas: (1) identificación y selección de casos de estudio, (2) medición térmica de fachadas, (3) análisis de puentes térmico y (4) evaluación del impacto de variables de diseño arquitectónico sobre el confort térmico.

En la primera fase se realizó el reconocimiento de las edificaciones ubicadas en el campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, sede Cúcuta. Se consideraron variables como orientación, exposición a la radiación solar, materialidad, configuración de fachadas, uso, ocupación, longevidad y se seleccionaron 3 casos de estudio representativos de las edificaciones ubicadas en el campus UFPS para comparar variables asociadas al diseño y arquitectura con las futuras mediciones termográficas. La selección corresponde a un estudio de casos aplicado y localizado, orientado al análisis comparativo de variables asociadas al diseño arquitectónico y las diferencias térmicas superficiales de las edificaciones seleccionadas.

La segunda fase consistió en la medición de las temperaturas de las superficies exteriores de las edificaciones seleccionadas mediante termografía infrarroja y la medición de la temperatura ambiente. Asimismo, se realizó el registro fotográfico tradicional de las fachadas seleccionadas con el fin de construir una base comparativa para el análisis térmico de las fachadas y su entorno.

En la tercera fase, se analizaron las diferencias de temperaturas superficiales a partir de la correlación entre las variables del diseño arquitectónico y los resultados térmicos. De esta manera, se permite identificar los patrones de comportamiento térmico y su relación con la configuración de las envolventes.

El experimento comprendió tres casos de estudio, con cuatro fachadas analizadas por edificación y cinco jornadas de medición, para un total de 60 observaciones fachada-jornada. En cada jornada de medición se realizó un registro de temperatura superficial por fachada, acompañado del registro de temperatura ambiente y humedad relativa. De esta manera, cada fachada contó con cinco observaciones (n=5) correspondientes a las cinco jornadas de medición. Las superficies registradas fueron posteriormente caracterizadas según los materiales y elementos presentes en cada fachada. Por tanto, no todos los materiales se encuentran representados en todas las orientaciones ni en los tres casos de estudio.

Los valores de temperatura superficial fueron obtenidos mediante mediciones puntuales sobre las superficies identificadas en las imágenes termográficas capturadas con una cámara FLIR E4. La resolución infrarroja es de 80 x 60 píxeles, con sensibilidad térmica (NETD) < 150mK, IFOV de 10.3 mrad, precisión de ±2 °C o ±2 % de la lectura, rango espectral de 7.5-13 μm y rango de medición de -20 °C a 250 °C. Asimismo, el equipo cuenta con lente de enfoque fijo y campo de visión de 45° x 34°. Durante el experimento, se mantuvo la configuración operativa del equipo sin realizar ajustes diferenciados de emisividad según el material.

Para cada material o elemento identificado se seleccionó un punto de medición sobre la superficie correspondiente y se registró la temperatura indicada por la cámara. Las imágenes fueron revisadas mediante la aplicación FLIR Tools, sin aplicar regiones de interés (ROI), por tanto, los valores registrados corresponden a temperaturas puntuales y no a temperaturas medias, máximas o mínimas de regiones de interés.

A partir de esta información, el tratamiento cuantitativo de los datos se realizó mediante estadística descriptiva. Para cada superficie de fachada se calcularon valores promedio a partir de las cinco jornadas de medición y se compararon posteriormente según orientación, material y caso de estudio. La totalidad de los registros obtenidos durante las cinco jornadas fue incorporada al análisis, sin aplicar criterios posteriores de exclusión.

Finalmente, en la cuarta fase se evaluó el impacto térmico de las variables arquitectónicas sobre el confort de las edificaciones, utilizando como referencia el diagrama psicométrico de Givoni. Esto permitió establecer relaciones entre condiciones observadas, estrategias bioclimática y posibles medidas de mejora orientadas a la optimización del desempeño térmico.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Identificación y selección de casos de estudio

Para la identificación y selección de los casos de estudio, se realizó inicialmente el reconocimiento de las edificaciones del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, sede Cúcuta, a partir de información planimétrica suministrada por la oficina de planeación institucional, complementada con observación in situ. La Figura 1 ilustra el plano urbano del campus universitario UFPS. Esta etapa permitió construir una base de datos de 55 inmuebles y espacios ubicados en el campus que incluye variables como tipología, uso, configuración volumétrica y características generales de las edificaciones.

Con base en esta información, se estableció una primera clasificación según la cantidad de niveles: Edificios con 1 o 2 pisos (E1), edificios con más de 3 pisos (E2), plantas libres con cubiertas (P) y espacios abiertos (A). De acuerdo a esta clasificación, se identificó que el 50% de los inmuebles corresponde a edificaciones tipo E2, las cuales presentan mayor área de fachada y, por tanto, mejores condiciones para el análisis térmico. En consecuencia, esta tipología fue definida como criterio principal de

preselección. El segundo tipo de inmuebles con mayor presencia en el campus UFPS es E1 (31%), seguido por los espacios abiertos dedicados a zonas de esparcimiento al aire libre (A - 15%) y en menor medida y plantas libres con cubierta (P – 4%).

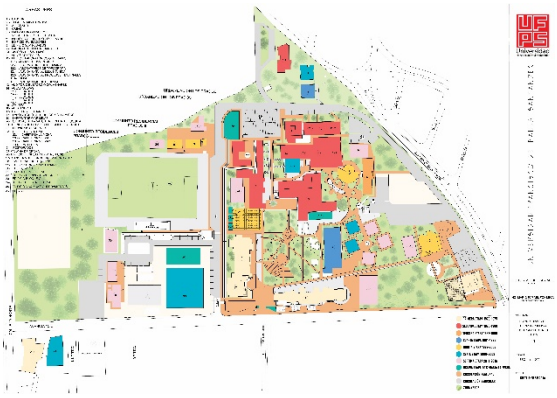

Fig. 1. *Plano urbano de espacio público con proyecciones UFPS.*
Fuente: Planeación UFPS (2019).

Como segundo filtro, se incorporaron variables asociadas a la etapa de construcción y a los materiales principales de fachada (MPF), entre los cuales se identificaron el ladillo caravista (MPF_01), sistema aporticado con ladrillo caravista (MPF_02), revestimiento con fachaleta en gres (MPF_03), concreto liso y estriado (MPF_04), ladrillo caravista y revestimiento con acabado liso en estuco y pintura (MPF_05), revestimiento con acabado liso en estuco y pintura y envolvente metálica (MPF_06), sistema aporticado con ladrillo caravista y voladizos (MPF_07), bloque en concreto caravista (MPF_08) y revestimiento con acabado liso en estuco y pintura (MPF_09). La Figura 2 ilustra la clasificación de las edificaciones por etapa de construcción y los MPF.

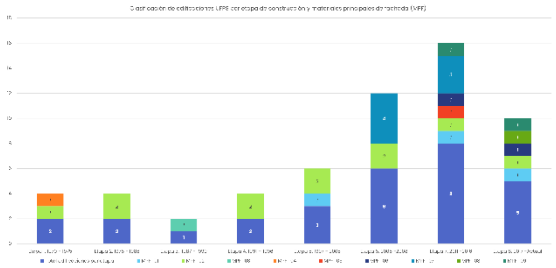

Fig. 2. *Clasificación de las edificaciones UFPS por etapa de construcción y materiales principales de fachada (MPF).*
Fuente: Elaboración propia

El tiempo de construcción se consideró como parte de la caracterización de las edificaciones durante el proceso de clasificación y selección de los casos de estudio. Aunque esta información permitió reconocer diferencias entre las edificaciones existentes en el campus, no representa una variable directa en el análisis de las diferencias de temperatura superficial.

Además, se consideró el tipo de entorno (natural, artificial o mixto) como criterio complementario, priorizando edificaciones con condiciones mixtas por su potencial comparativo.

La aplicación de estos criterios permitió reducir el universo de análisis de 55 a 12 edificaciones, sobre las cuales se realizó la selección final de tres casos de estudio. Esta selección consideró inmuebles con mayor representatividad en términos de diversidad de materiales, etapas de construcción y entorno, con el fin de analizar distintos comportamientos térmicos en una muestra controlada. Los casos de estudio seleccionados corresponden a los edificios Torre Administrativa (ETA), Fundadores (EFU) y Bienestar Universitario (EBU), los cuales representan diferentes etapas de construcción y configuraciones de materiales en fachada.

Una vez seleccionados los casos de estudio, se realizó la caracterización de acuerdo a las variables de diseño arquitectónico de fachadas. Para esta etapa se tuvo en cuenta los criterios de envolventes arquitectónicas planteados por[14],[21].

Bajo esta estructura de observación, se identificó que la Torre Administrativa se destaca por el uso predominante del ladrillo caravista en gres como sistema de envolvente, el edificio Fundadores destaca por la presencia de materiales tradicionales como el concreto con acabados en texturas lisas y estriadas, y el edificio de Bienestar Universitario resalta por la combinación de sistemas aporticados, acabados lisos y envolventes metálicas, lo cual permite analizar variaciones en la configuración de fachada y su relación con el entorno.

Las fachadas fueron codificadas de acuerdo a su orientación respecto a los puntos cardinales: norte (FN), noreste (FNE), noroeste (FNO), este (FE), oeste (FO), sur (FS), sureste (FSE) y suroeste (FSO). Lo anterior permitió estandarizar la identificación de las superficies analizadas. La Figura 3 identifica las fachadas de acuerdo a implantación de las edificaciones Torre Administrativa (ETA), Fundadores (EFU) y Bienestar Universitario (EBU) en el campus UFPS.



Fig. 3. *Fachadas representativas de casos de estudio seleccionados tras la clasificación de edificaciones por niveles, materiales principales de fachada y etapa de construcción.*
Fuente: Elaboración propia

Medición térmica de fachadas

La medición de temperaturas de superficies exteriores de las edificaciones se realizó durante cinco días en el mes de diciembre de 2025, en un rango horario entre las 11:30 y las 14:00, con el fin de capturar condiciones de mayor incidencia de radiación solar.

La selección del mes de diciembre correspondió al periodo disponible para la ejecución experimental de la investigación, por lo que los resultados corresponden a las condiciones ambientales registradas durante las cinco jornadas de medición y no representan el comportamiento térmico anual de las edificaciones.

Durante cada jornada se registraron las temperaturas superficiales de las fachadas, así como variables ambientales complementarias de temperatura ambiente y humedad relativa para la correlación con el entorno.

La Figura 4 presenta el registro termográfico de las fachadas de ETA, EFU y EBU. Durante el periodo de medición, las temperaturas superficiales de las fachadas variaron entre 28.1 °C y 46.2°C, evidenciando una alta amplitud térmica. Por su parte, la temperatura ambiente registró valores entre 27.7°C y 39.6 °C y la humedad relativa entre 45 % y 75.5%. Estos rangos permiten contextualizar el comportamiento térmico observado en las fachadas en relación con las condiciones ambientales del periodo de medición.

Análisis de diferencias térmicas en superficies de fachadas y entorno

El análisis de temperaturas superficiales evidencia un patrón térmico asociado a la orientación de la fachada y al tipo de material. En términos generales, las fachadas con orientaciones sur (S) y sureste (SE) registran los valores más críticos con temperaturas superficiales entre 32.5 °C y 46.3 °C, seguida por la fachada oeste (O) y suroeste (SO) con variación de temperaturas entre 30.3 °C y 38.3 °C. Mientras que las fachadas con orientaciones hacia el norte (N), noreste (NE) y noroeste (NO) varían las temperaturas superficiales entre 29 °C y 35.3 °C. No obstante, el comportamiento térmico de las superficies de pisos varia principalmente en función del material y no de la orientación de la fachada.

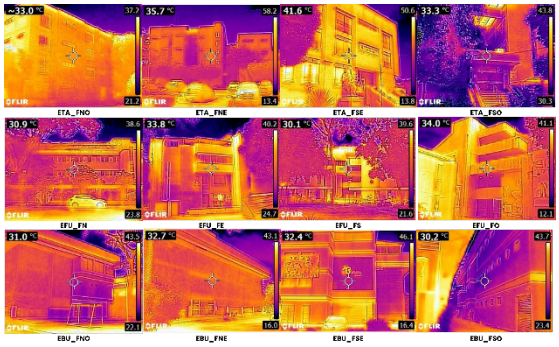

Fig. 4. *Termografías infrarrojas de las fachadas de ETA, EFU y EBU.*
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 sintetiza las temperaturas promedio del ambiente y de las superficies de fachada de acuerdo al material, la edificación y su implementación en el caso de estudio. La categoría de superficies de fachada son aquellos materiales que componen los sistemas de fachadas de la edificación, utilizados en sentido vertical. Mientras que, los materiales de entorno son aquellos implementados en las superficies de pisos exteriores, utilizados en sentido horizontal, y la vegetación ubicada en el entorno inmediato de cada fachada. Debido a que los materiales y elementos identificados varían entre los casos de estudio, aquellos que no se encuentran presentes en una edificación se indican como No Aplica (N/A) en la Tabla 2.

Tabla 2: Temperaturas promedio (°C) del ambiente y de las superficies de fachada de acuerdo al material, la edificación y su implementación en el caso de estudio.

Categoría	Materiales	ETA	EFU	EBU
Datos climáticos	Temperatura ambiente	32,4	34,5	34,0
Superficies de fachada	Ladrillo caravista	35,2	N/A	N/A
	Revestimiento cerámico en azulejo blanco	N/A	31,1	N/A
	Concreto estriado	40,3	36,4	N/A
	Concreto liso	N/A	32,6	N/A
	Revestimiento en estuco y pintura blanca	N/A	N/A	31,8
	Estructura aporticada con revestimiento en estuco y pintura roja y blanca	N/A	N/A	35,8
	Rejilla metálica en aluminio	N/A	N/A	31,9
	Carpintería en aluminio	34,4	31,9	34,7
	Ventanas de vidrio	32,7	30,2	32,0
	Huecos o aperturas	26,6	29,5	27,6
Entorno	Piso exterior en Tableta en gres	40,7	35,2	N/A
	Piso exterior en Losa de concreto	44,9	38,5	40,8
	Piso exterior en grama	28,9	N/A	N/A
	Vegetación	26,5	26,4	N/A

Fuente: elaboración propia Nota: Los valores corresponden a temperaturas promedios obtenidas de las superficies identificadas según el material y caso de estudio, La variabilidad de las temperaturas según orientación se presenta en el análisis descriptivo de los resultados.

Los materiales registrados en las superficies de fachada presentan un rango térmico entre 30.2 °C y 40.3 °C. El material con mayor registro de temperaturas es el concreto estriado, ubicado en ETA (Promedio: 40,3°C) y EFU (Promedio: 36,4°C), ver Figura 5. La variación de temperaturas de acuerdo a la orientación de la fachada es de 5,1°C (EFU) hasta 12°C (ETA). Sin embargo, la presencia de vegetación en el entorno inmediato de fachadas contribuye a la mitigación de la transferencia de calor, así como, la diversidad de materiales ayuda a equilibrar las cargas térmicas como lo expone el caso de estudio EFU con mejoras entre 3,8 °C con el concreto liso y 5,3°C con el revestimiento cerámico en azulejo blanco frente al concreto estriado.



Fig. 5. *Termografías de superficies de fachadas y entorno: Estructura aporticada (izquierda), concreto estriado (centro), pisos con losas de concreto (derecha).*
Fuente: elaboración propia.

Asimismo, la estructura aporticada con revestimiento en estuco y pintura roja y blanca ubicada en EBU registra una temperatura promedio de 35,8°C y una variación de temperaturas de 5 °C según la orientación de la fachada, tal como se muestra en la Figura 5. A pesar de que la estructura representa un valor térmico alto, la presencia de materiales como muros con revestimiento en estuco y pintura blanca y la envolvente de rejilla metálica en aluminio también representan mejoras térmicas alrededor de 3,9°C. El caso de estudio EBU demuestra la importancia de explorar alternativas de materiales para mitigar el calentamiento de las superficies de fachada, porque implementa dos tipos de materiales con un comportamiento térmico similar pero que ofrece funciones diferentes; protección y ventilación.

El ladrillo caravista registra una temperatura promedio de 35,2°C similar a la estructura aporticada. El comportamiento térmico mejora en la fachada NE (32,9°C), pero aumenta en la fachada SE (39,5°C). Por su parte, los elementos como las ventanas de vidrio y la carpintería en aluminio registran temperaturas promedio entre 31,6°C y 33,7°C, respectivamente, y además son recursos presentes en los tres casos de estudio. En contraste, los huecos o aperturas registran el comportamiento más bajo en la categoría de superficies de fachada con una temperatura promedio de 27,9 °C, como se observa en la Figura 6.

En la siguiente categoría, los materiales identificados en el entorno son superficies de piso ubicados en el exterior en tableta de gres, losa de concreto, grama y zonas de vegetación como arboles denso de alturas similares a la edificación. De acuerdo a la Tabla 1, el piso exterior en losa de concreto está ubicado en los tres casos de estudio, principalmente para la circulación vehicular dentro del campus UFPS. La temperatura promedio es de 41,1°C, siendo EFU el caso con menor temperatura a causa del tipo de tránsito peatonal, mientras que en los casos de EBU (40,8°C) y ETA (44,9°C) corresponden a tránsito vehicular.

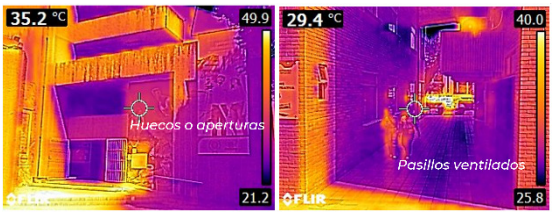

Fig. 6. *Termografías de aperturas y pasillos ventilados en edificaciones.*
Fuente: elaboración propia

De igual manera, el piso exterior en tableta de gres registra altas temperaturas alrededor de 37,9°C de temperatura, con una variación de 5,5°C entre EFU y ETA. Seguido, el piso exterior en grama presente en ETA disminuye a 28,9°C. Sin embargo, las temperaturas registradas en la vegetación más cercana a las fachadas de los casos de estudio registran un promedio de 26,5°C.

Esta perspectiva define las pautas para plantear medidas de mejora que, en lugar de limitar o eliminar el uso de un material, lo complementa con otras alternativas de diseño que le proporcione una mejor distribución de temperaturas. Por tanto, el siguiente objetivo tendrá en cuenta este análisis para relacionar el registro termográfico y los datos climáticos del entorno.

Evaluación del impacto de variables de diseño arquitectónico sobre el confort térmico

Las condiciones climáticas de la ciudad de San José de Cúcuta presentan una temperatura promedio de 27.1 °C, con un rango de confort térmico entre 23.5 °C y 28.5 °C[20]. Durante el periodo de medición, la temperatura ambiente registradas en las fachadas (27.7°C y 39.6 °C) superaron este rango durante las horas de mayor incidencia solar. Esta comparación se utiliza como referencia de las condiciones ambientales exteriores y no como una evaluación directa del confort térmico interior de las edificaciones.

La relación entre las temperaturas superficiales y las condiciones ambientales se analizó a partir de la diferencia entre la temperatura superficial y la temperatura ambiente registrada en cada medición. Las diferencias observadas variaron entre –9.4 °C y 13.5 °C, evidenciando superficies con temperaturas tanto inferiores como superiores a las condiciones ambientales registradas, en correspondencia con los rangos de temperatura superficial presentados en la Tabla 2.

La consideración del rango de confort térmico tiene como propósito evaluar las medidas de mejora en función de las necesidades de confort según los hallazgos de la investigación, la literatura y el apoyo de herramientas digitales (Climate Consultant 6.0) como lo sugiere[6]. La generación del diagrama psicométrico orienta la selección de estrategias de diseño hacia el alcance del confort térmico. La Figura 7 ilustra el diagrama psicométrico de San José de Cúcuta generado a partir del programa Climate Consultant 6.0.

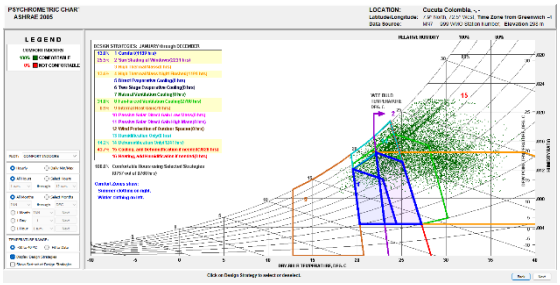

Fig. 7. *Diagrama psicométrico de San José de Cúcuta.*
Fuente: Elaboración propia a partir del programa Climate Consultant 6.0.

En este sentido, las orientaciones noreste (NE) y noroeste (NO) presentan valores más cercanos al rango de confort, mientras que las orientaciones sureste (SE) y suroeste (SO) registran las mayores temperaturas, confirmando la influencia de la radiación solar en el comportamiento térmico de las envolventes.

A partir del análisis térmico comparativo de las diferencias de temperatura superficial, es posible identificar que las variaciones no dependen exclusivamente de la orientación, sino de la interacción entre el tipo de material, la configuración de la fachada y las condiciones del entorno. Las mayores temperaturas se registraron en las orientaciones S y SE, mientras que las comparaciones de un mismo material entre orientaciones evidenciaron variaciones de hasta 12 °C en el concreto estriado y 6.6 °C en el ladrillo caravista. Asimismo, las diferencias entre la temperatura superficial y la temperatura ambiente oscilaron entre -9.14 °C y 13.5°C durante las jornadas analizadas. Materiales como el concreto estriado en fachada y losas de piso expuestas a la incidencia solar registran mayores temperaturas superficiales, mientras que elementos como la vegetación y las aperturas presentan temperaturas superficiales más bajas.

En este contexto, estrategias pasivas como la ventilación cruzada, el uso de materiales claros y la incorporación de vegetación se plantean como medidas potenciales de mejora a partir de las temperaturas registradas y los principios de diseño bioclimático para clima cálido según Climate Consultant, orientados a reducir la ganancia térmica y favorecer la ventilación natural.

En conjunto, los resultados evidencian que el comportamiento térmico de las edificaciones está directamente asociado a decisiones de diseño arquitectónico, lo que resalta la importancia de integrar criterios climáticos en la concepción de las envolventes en contextos de clima cálido.

CONCLUSIONES

El análisis de fachadas mediante termografías infrarrojas permite establecer que el comportamiento térmico de los sistemas de fachada responde a un conjunto de variables que interactúan entre sí, como la orientación, la materialidad y las condiciones del entorno inmediato. En este sentido, se evidencia que las orientaciones con mayor incidencia solar, sureste (SE) y suroeste (SO), registran las temperaturas superficiales más elevadas, mientras que las orientaciones norte presentan temperaturas superficiales más bajas respecto a las orientaciones con mayor incidencia solar.

Las termografías infrarrojas permitieron identificar que las mayores temperaturas superficiales se registraron en aquellas superficies con materiales oscuros como el concreto estriado en muros y las losas de concreto en pisos, los cuales superan los 40 °C. En contraste, elementos como las aperturas y la vegetación presentan temperaturas superficiales más bajas dentro de las condiciones analizadas.

Asimismo, la temperatura ambiente registradas superan el rango de confort térmico establecido para la ciudad de San José de Cúcuta, lo que indica condiciones ambientales exteriores con mayor radiación solar. Esto resalta la necesidad de incorporar criterios de diseño bioclimático desde etapas iniciales de diseño y planificación del proyecto arquitectónico.

A partir de los resultados obtenidos y de la literatura consultada, la ventilación cruzada, el uso de materiales claros y la incorporación de la vegetación en el entorno inmediato se plantean como estrategias potenciales para mitigar el aumento de temperaturas superficiales en sistemas de fachada de edificaciones en clima cálido.

En este sentido, el análisis termográfico se consolida como una herramienta útil para la toma de decisiones en el diseño y evaluación de envolventes arquitectónicas en climas cálidos.

Los resultados del análisis térmico de superficies de fachada corresponden a las condiciones particulares de los tres casos de estudio y a las mediciones realizadas durante cinco días del mes de diciembre de 2025, en el horario comprendido entre las 11:30 y 14:00. Por tanto, el análisis es de carácter descriptivo y se limita a las condiciones ambientales registradas durante las jornadas de medición, sin pretender establecer una generalización estadística ni representar el comportamiento térmico anual de las edificaciones en clima cálido.

Finalmente, la aplicación de termografía infrarroja en los tres casos de estudio permitió relacionar la diferencia de temperatura superficial con variables de orientación, materialidad, configuración de fachada y entorno. En este sentido, su implementación como estrategia no invasiva aporta información sobre el comportamiento térmico superficial de las envolventes arquitectónicas y permite reconocer condiciones particulares las edificaciones analizadas para ser consideradas en procesos de mejora futuros.

REFERENCIAS

[1] Ching, F. D. y Shapiro, I. M., 2024. “Arquitectura ecológica: Un manual ilustrado”. Editorial GG.

[2] Piracha, A. y Chaudhary, M. T., “Urban air pollution, urban heat island and human health: a review of the literature”, *Sustainability*, vol. 14, no. 15, July, 2022, doi: https://doi.org/10.3390/su14159234

[3] Mohamed-Irfeey, A. M., Chau, H. W., Sumaiya, M. M. F., Wai, C. Y., Muttil, N. y Jamei, E., “Sustainable mitigation strategies for urban heat island effects in urban areas”, *Sustainability*, vol. 15, no. 14, July, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/su151410767

[4] Moreno-García, M. C. y Serra-Pardo, J. A., “El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica”, *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. 21, no.1.179, noviembre 2016, doi: http://www.ub.es/geocrit/b3w-1179.pdf

[5] Niebles, M., “Cubiertas ecológicas: estrategia de manejo del efecto isla calor urbano en Barranquilla”, Tesis de maestría. Universidad de la Costa, Barranquilla. Departamento de Civil y Ambiental, 2024.

[6] Palme, M. y Carrasco, C., “Isla de calor en ciudades de Chile: una revisión. Intensidad, variabilidad, impactos y medidas de mitigación”, Avances en el estudio de islas de calor urbano en América Latina. México, Editor: CIGA-UNAM, 2024, págs. 306-328.

[7] Cabras, E, “Efectos de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona: Estudio del comportamiento térmico de calles urbanas con diferente relación de aspecto (H/W) y orientación en dos barrios de Barcelona”, tesis de maestría. Universitat Politècnica de Catalunya., Barcelona, 2014.

[8] Borbolla-Gaxiola, C., Osuna-Gallardo, M. G. y Zazueta-Medina, L. R., “Caracterización de las islas de calor urbanas superficiales en

una agrociudad. El fenómeno de isla de frío urbano en Culiacán, México", *Quivera: Revista de Estudios Territoriales*, vol. 26, no. 2, julio, 2024, doi: https://doi.org/10.36677/qret.v26i2.22970.

[9] Colmenares-Uribe, A. P., Sánchez-Molina, J., Diaz-Fuentes, C. X. y Sánchez-Zuñiga, J. V., "El diseño de producto cerámico como estrategia de mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas". Ecoe Ediciones S.A.S., 2023.

[10] Montalbán Pozas, B., Lucas Bonilla, M. y Lorenzo Gallardo, J. M., 2024, Determinación de islas de calor urbanas mediante monitorización de una muestra de viviendas. Ibiza: Convención Internacional de arquitectura Técnica.

[11] Barbero-Barrera, M. D. M., Tendero-Caballero, R. y García de Viedma-Santoro, M, "Impact of Solar Shading on Façades' Surface Temperatures under Summer and Winter Conditions by IR Thermography", *Architecture*, vol. 4, no. 2, April, 2024, doi: https://doi.org/10.3390/architecture4020014.

[12] Colmenares-Uribe, A. P., Diaz-Fuentes, C. X. y Diaz-Umaña, Y., "Rendimiento térmico y geometría de cubiertas en iglesias de San José de Cúcuta, Colombia", *VLC arquitectura. Research Journal*, vol. 11, no. 1, April, 2024, doi: 10.4995/vlc.2024.20612

[13] Diaz-Umaña, Y., Colmenares-Uribe, A. P. y Diaz-Fuentes, C. X., "Study of Solar Incidence on Roof Surface Geometry of Churches in San José de Cúcuta, Colombia: Analysis of Architectural Enclosure in Hot Weather". The International Journal of Architectonic, Spatial, and Environmental Design, vol. 19, no. 1, December, 2024, doi: https://doi.org/10.18848/2325-1662/CGP/v19i01/71-92.

[14] González-Vásquez, M. R. y Molina-Prieto, L. F., "Envolvente arquitectónica: un espacio para la sostenibilidad". *Arkitekturax Visión FUA*, vol. 1, no. 1, noviembre, 2018, doi: https://doi.org/10.29097/26191709.201

[15] Garrido, I., Solla, M., Lagüela, S. y Rasol, M., "Review of InfraRed Thermography and Ground-Penetrating Radar Applications for Building Assessment", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2022, no.1, September 2022, doi: https://doi.org/10.1155/2022/5229911

[16] Junga, P., Koutný, T., Tichá, Z., Kudělka, J. y Mareček, J., "Possibilities of Detecting and Evaluating Thermal Defects in Agricultural Building Envelopes Using Simultaneous Infrared Thermography and Computer Modelling", *Acta Technologica Agriculturae*, vol. 27, no. 3, pp. 179–186, September, 2024, doi: 10.2478/ata-2024-0024.

[17] Balageas, D. L, "Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END). Asociacion Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales.", en IV Conferencia Panamericana de END Buenos Aires, october, 2007.

[18] Pérez Rondón, F. A., "Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial", Bucaramanga: Ediciones USTA, Universidad Santo Tomas, 2021, pags. 107, E-ISBN: 978-958-8477-92-3.

[19] Santamouris, M. y Kolokotsa, D. (2016). Urban Climate Mitigation Techniques. Routledge.

[20] Sánchez Molina, J, Narváez Ortega, M y Sánchez Zúñiga, J., "Cerámica constructiva envolventes verticales en la ciudad de Cúcuta", Bogotá: Ecoe Ediciones, 2023, págs. 157, e-ISBN: 978-958-503-576-8.

[21] R. Velasco y D. Robles, «el diseño y la evaluación de envolventes arquitectónicas para climas tropicales»., Rev. arquit., vol. 13, n.º 1, pp. 92–105, jul. 2011.

FINANCIACIÓN

Ninguna

CONFLICTOS DE INTERÉS

No existen

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Redacción - borrador original: Erika Tatiana Ayala García, Jessica Viviana Sánchez Zúñiga, Jorge Sánchez Molina.

Redacción - revisión y edición: Erika Tatiana Ayala García, Jessica Viviana Sánchez Zúñiga, Jorge Sánchez Molina.