

Diseño e implementación de un dron tipo hexacoptero, con visión artificial por infrarrojo para la detección de emisividad IR, aplicado a la reducción de emisión calorífica a la atmosfera por materiales reflectantes

Jonathan Alberto Rodríguez Ovarés
Universidad Fidélitas
jrodriguezo@ufidelitas.ac.cr

Resumen— Este trabajo presenta el diseño e implementación de un dron tipo Hexacóptero para la detección de superficies con alta emisividad térmica mediante técnicas de termografía infrarroja. El sistema integra cámaras térmicas, sensores infrarrojos y modelos físicos basados en la ley de Stefan-Boltzmann y la ley de desplazamiento de Wien para estimar la radiación emitida por diferentes materiales. La información recopilada permite identificar zonas de acumulación de calor y evaluar su contribución al calentamiento ambiental. Esta investigación se desarrolla en colaboración con el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) como una herramienta de apoyo para el monitoreo ambiental, el análisis térmico y los estudios relacionados con el cambio climático.

Palabras clave— Hexacóptero, termografía infrarroja, emisividad térmica, monitoreo ambiental, cambio climático.

Abstract— This paper presents the design and implementation of a hexacopter drone for the detection of surfaces with high thermal emissivity using infrared thermography techniques. The proposed system integrates thermal cameras, infrared sensors, and physical models based on the Stefan-Boltzmann law and Wien's displacement law to estimate the radiation emitted by different materials. The collected information enables the identification of heat accumulation zones and the assessment of their contribution to environmental warming. This research is conducted in collaboration with the Federated College of Engineers and Architects of Costa Rica (CFIA) as a supporting tool for environmental monitoring, thermal analysis, and climate change studies.

Keywords— Hexacopter, infrared thermography, thermal emissivity, environmental monitoring, climate change.

I. INTRODUCCIÓN

La implementación de drones capaces de operar en entornos aéreos, terrestres y marítimos, junto con sistemas de termografía infrarroja, permite mejorar la adquisición y el análisis de datos ambientales. Estos sistemas facilitan la identificación de zonas con elevada radiación térmica y el monitoreo de variables atmosféricas como temperatura, humedad, presión y radiación infrarroja. Uno de los principales desafíos consiste en integrar sensores ambientales, cámaras por termografías y sistemas de comunicación en una plataforma

Hexacóptero capaz de transmitir información en tiempo real. La solución propuesta incorpora sensores especializados y técnicas de visión por computador para la recopilación y procesamiento eficiente de datos. La investigación contribuye al desarrollo de herramientas tecnológicas orientadas al monitoreo ambiental y al análisis térmico de la atmósfera, mediante la integración de robótica, aeronáutica y sensores inteligentes para la obtención precisa de información en diversas condiciones geográficas.

II. METODOLOGÍA

A. Diseño de la plataforma aérea

En la primera etapa se realizará el diseño estructural y aerodinámico de un dron tipo hexacóptero fabricado mediante impresión 3D. Se seleccionará una configuración de seis hélices debido a su estabilidad, capacidad de carga y redundancia de propulsión. El sistema será modelado mediante software CAD 3D, considerando la distribución de masa, la reducción de vibraciones y la capacidad de carga útil requerida para integrar sensores ambientales y cámaras térmicas.

B. Implementación de electrónica y Sistema de control

Posteriormente se implementará el sistema electrónico basado en microcontroladores ESP32 y controladores de vuelo con sensores IMU, GPS, magnetómetros y barómetros para altitud, la estabilidad del dron será controlada mediante algoritmos PID

C. Implementación del Sistema de termografía

El sistema de detección térmica estará compuesto por cámaras termográficas, LASER de detección de temperatura IR, además de sensores de temperatura y humedad. La calibración de sensores infrarrojos se realizará utilizando materiales de emisividad conocida y patrones de referencia térmica.

III. ESTADO DE LARTE.

A. Ley de Stefan Boltzmann y de desplazamiento de Wien

El desarrollo de drones tipo hexacoptero orientados al monitoreo ambiental y térmico ha tomado relevancia debido a la necesidad de analizar fenómenos asociados al calentamiento atmosférico, radiación térmica y comportamiento energético de diferentes materiales. Los drones permiten realizar mediciones en tiempo real y acceder a zonas de difícil alcance, integrando

tecnologías de aeronáutica, robótica aplicada y visión por computador [1], [7], [8].

En el diseño propuesto se implementan sensores tipo LASER infrarrojo (IR), cámaras termográficas y sensores ambientales para detectar materiales con alta emisividad térmica y bajo albedo. Según Iturbide et al. [2], el albedo corresponde a la capacidad de una superficie para reflejar radiación solar incidente, siendo un parámetro importante en estudios ambientales y energéticos. Superficies con bajo albedo absorben una mayor cantidad de energía y generan incrementos en la temperatura ambiental. La emisión de radiación infrarroja de un cuerpo puede modelarse mediante la ley de Stefan–Boltzmann, la cual establece que la energía radiada por un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta, mostrada en (1):

$$Q = \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

donde ε corresponde a la emisividad térmica del material [adimensional], σ es la constante de Stefan–Boltzmann definida por (2)

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} [W/m^2 K^4] \quad (2)$$

A representa el área superficial [m^2] y T la temperatura absoluta del cuerpo [K]. Los materiales con alta emisividad liberan grandes cantidades de radiación infrarroja hacia la atmósfera, contribuyendo a fenómenos como las islas de calor urbanas y el aumento de la carga térmica ambiental. La termografía infrarroja permite visualizar dichas emisiones y analizar el comportamiento térmico de diferentes superficies [11] Los materiales con alta emisividad pueden liberar grandes cantidades de radiación infrarroja hacia la atmósfera, contribuyendo a fenómenos como las islas de calor urbanas y el aumento de la carga térmica ambiental. La Figura 1 muestra un ejemplo de termografía aplicada al concreto, evidenciando zonas con elevada emisión térmica. El patrón de radiación de un cuerpo es directamente proporcional a la potencia cuarta de la temperatura absoluta, también el patrón de emisión depende del tipo de material y del color. La reflectividad de la radiación térmica en materiales, afecta considerablemente la acumulación de radiación térmica en las capas superiores de la atmósfera.

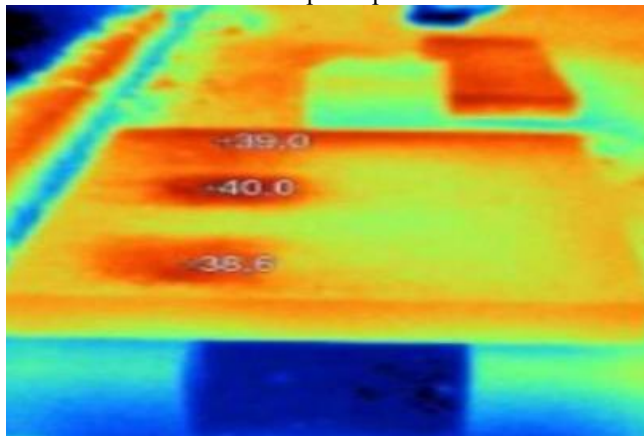


Fig. 1. Termografía del concreto [1]

La emisividad térmica es un parámetro adimensional comprendido entre 0 y 1 que describe la capacidad de un material para emitir radiación infrarroja. Un valor cercano a 1 representa máxima emisión térmica, mientras que valores bajos indican superficies reflectivas o con menor capacidad de radiación. EngineeringToolBox establece distintos coeficientes de emisividad para materiales comunes, permitiendo comparaciones térmicas entre superficies diversas:

Tabla I
COEFICIENTE DE EMISIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES [16]

Material	Emisividad - ε -
Alloy 24ST Polished	0.09
Alumina, Flame sprayed	0.8
Aluminum Commercial sheet	0.09
Aluminum Foil	0.04
Aluminum Commercial Sheet	0.09
Aluminum Heavily Oxidized	0.2 - 0.31
Aluminum Highly Polished	0.039 - 0.057
Aluminum Anodized	0.77
Aluminum Rough	0.07
Aluminum paint	0.27 - 0.67
Anodize black	0.88
Antimony, polished	0.28 - 0.31
White	0.96
Concreto	0.85

El sistema propuesto incorpora un dron hexacoptero con capacidad de detección de radiación infrarroja mediante tres técnicas principales:

- Detección sobre fondo blanco utilizando sensores LASER IR.
- Comparación térmica mediante cámaras termográficas.
- Detección de color mediante cámaras convencionales RGB.

Según la Subdirección de Termómetros de Radiación de Metrología Física [3], la radiación térmica corresponde a una región del espectro electromagnético comprendida aproximadamente entre $0.1 \mu m$, $0.1 \mu m$ y $1000 \mu m$, incluyendo parte del ultravioleta, visible e infrarrojo. Esta radiación resulta fundamental en procesos de transferencia de calor, monitoreo ambiental y análisis energético. La detección de radiación infrarroja mediante técnicas LASER puede analizarse usando la ley de radiación de Planck para cuerpo negro.

La ecuación (3) siguiente muestra la constante de emisividad ε [adimensional] de los materiales, este método se conoce como la ley de emisión de Kirchooff:

$$\varepsilon = \frac{Q_{emitido}}{Q_{recibido}} \quad (3)$$

La longitud de onda máxima emitida puede relacionarse con la temperatura del objeto utilizando la ley de desplazamiento de Wien:

$$\lambda = \frac{b}{T} \quad (4)$$

donde λ [m] representa la longitud de onda máxima emitida, T [K] la temperatura absoluta y b la constante de Wien dada por 2.898×10^{-3} [mK]. Mondragón Cortez [4] y Ponce Peña et al. [6] destacan que la espectroscopia infrarroja permite estudiar fenómenos de absorción, reflexión y emisión térmica de materiales mediante el análisis de radiación electromagnética. Asimismo, Pastor Pastor et al. [5] indican que los detectores infrarrojos modernos basados en silicio permiten incrementar la sensibilidad y precisión en aplicaciones de monitoreo térmico y visión infrarroja.

B. Cámaras térmicas y modelos de detección térmica

Las cámaras térmicas son dispositivos capaces de detectar y representar visualmente la radiación infrarroja emitida por objetos, personas o superficies. Según Hikvision [12], estos sistemas utilizan sensores térmicos especializados acoplados a lentes ópticos para capturar patrones de calor y convertirlos en imágenes térmicas interpretables. El principio de funcionamiento es la reflexión de ondas electromagnéticas, el flujo de calor se considera una onda de radiación del espectro térmico, usando fotodiodos en matrices de puntos, es posible establecer la medición de temperatura del medio, esto mediante una corriente proporcional a dicha reflectividad, el principio de detección por cámara térmica consiste en usar píxeles de LASER tipo infrarrojo como se verá en las siguientes secciones. La Figura 2 presenta distintos métodos de detección infrarroja, incluyendo técnicas pasivas y activas de medición térmica [11]. En el método activo se emplean fuentes infrarrojas externas, como LASER IR, para analizar fenómenos de reflexión, absorción y transmisión energética.

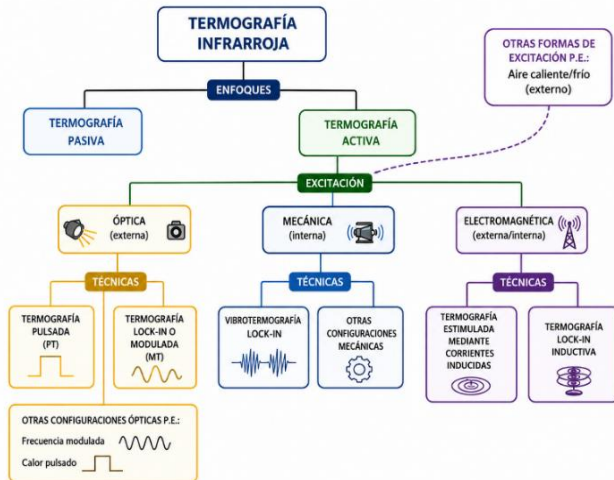


Fig. 2. Métodos de detección infrarroja (IR) [11].

Debido a que la radiación infrarroja corresponde a radiación electromagnética, puede modelarse mediante principios ópticos y térmicos. En consecuencia, la combinación de la ley de Wien y la ley de Stefan– Boltzmann permite estimar temperatura, potencia radiada y comportamiento térmico del medio analizado. Para considerar pérdidas energéticas en el aire y transferencia de calor hacia el entorno, puede emplearse la ecuación de conducción térmica (6):

$$Q = \frac{k \Delta T}{\Delta x} \quad (5)$$

donde Q representa el flujo de calor [W/m^2], k la conductividad térmica [W/mK], A el área de transferencia [m^2] y dT/dx es el gradiente de temperatura [K/m]. La precisión de las mediciones térmicas depende significativamente de la correcta calibración de emisividad y de factores ambientales como humedad, transmisión atmosférica y reflexión térmica [15], [23]. Superficies con bajo albedo absorben una mayor cantidad de radiación solar y presentan temperaturas superiores respecto a superficies reflectivas [2].

El principio de detección IR se basa en el principio de absorción, reflexión y transmitancia el medio dada por (7):

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (6)$$

Donde α es la absorción, ρ la reflexión y τ la transmitancia, con unidades adimensionales. La figura (3) ofrece un medio de detección IR.

C. Medición de temperatura por LASER

La medición térmica mediante tecnología LASER IR se basa en la emisión y recepción de radiación infrarroja reflejada sobre una superficie. Esta técnica permite determinar propiedades térmicas del material y estimar coeficientes de reflexión, absorción y transmitancia [11]. La Figura 4 muestra un sistema de medición IR por transmitancia utilizando un haz LASER infrarrojo. Mediante este método es posible establecer patrones de radiación térmica y comparar materiales con diferentes niveles de emisividad

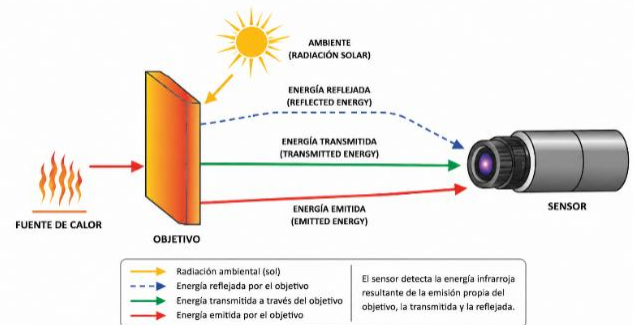


Fig. 4. Medición infrarroja (IR) mediante láser [11].

Otro fenómeno relevante corresponde al análisis de color y reflectancia asociado a la radiación electromagnética. Debido a que el color observable depende de la reflexión de determinadas longitudes de onda, es posible relacionar ciertas características visuales con el comportamiento térmico de las superficies. La Figura 4 presenta el fenómeno de reflexión térmica infrarroja, el cual puede emplearse tanto para monitoreo ambiental como para aplicaciones agrícolas orientadas a la detección de enfermedades en plantas y análisis de clorofila mediante visión artificial y sensores infrarrojos [11].

D. Diseño de Drones tipo hexacoptero

En los últimos años, el desarrollo de drones multirrotor tipo hexacóptero ha experimentado un crecimiento significativo debido a sus aplicaciones en monitoreo ambiental, inspección industrial, agricultura de precisión y

análisis térmico atmosférico [7], [8]. Los hexacópteros presentan ventajas importantes respecto a otras configuraciones aéreas gracias a su elevada estabilidad, mayor capacidad de carga útil y redundancia de propulsión, características que permiten integrar cámaras termográficas, sensores infrarrojos y sistemas de adquisición de datos en tiempo real [7], [8], [9]. Estas capacidades los convierten en plataformas adecuadas para tareas de supervisión ambiental, medición térmica y recolección de información en zonas de difícil acceso. Desde el punto de vista aerodinámico, el vuelo de un hexacoptero se fundamenta en la generación de sustentación producida por las hélices. La fuerza de sustentación puede modelarse mediante (8):

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 SC \quad (7)$$

Donde L corresponde a la fuerza de sustentación [N], ρ a la densidad del aire [kg/m^3], V a la velocidad del flujo[m/s], S al área efectiva [m^2] y C al coeficiente de sustentación[adimensional], La dinámica y estabilidad del dron dependen del control del empuje generado por cada rotor, permitiendo realizar maniobras de ascenso, descenso, desplazamiento y control de orientación. Los modelos dinámicos de drones multirrotor se fundamentan en principios de mecánica clásica y aerodinámica aplicados a vehículos aéreos no tripulados [7], [8], [9]. Asimismo, el diseño de hexacópteros ofrece ventajas en estabilidad, capacidad de carga y redundancia de propulsión, características que favorecen la integración de sensores ambientales y sistemas de monitoreo térmico [7], [8].

Los modelos dinámicos de drones se basan en ecuaciones de Newton–Euler para sistemas multirrotor, ampliamente utilizados en la modelación y control de vehículos aéreos no tripulados [7], [8]. Los sistemas modernos integran sensores IMU, GPS, magnetómetros y barómetros para navegación autónoma y estabilización en vuelo, permitiendo el control preciso de la actitud y posición del hexacóptero [7], [8], [9].



Fig. 5. Hexacóptero empleado para aplicaciones de monitoreo ambiental y adquisición de datos térmicos. Adaptado de [7] y [31].

Los drones modernos incorporan sistemas de navegación inercial compuestos por: IMU (Inertial Measurement Unit), Magnetómetros (odometría por

campo magnético), Barómetros BMP280 y sensores tipo giroscopio con control PWM para motores sin escobillas

IV. RESULTADOS

Antes del análisis de albedo y radiación térmica, se desarrolló un sistema electrónico integrado en un Hexacóptero para la adquisición de datos atmosféricos y térmicos. El controlador principal es un módulo ESP32 TTGO LoRa, encargado del control de vuelo, lectura de sensores, transmisión inalámbrica LoRa, el cual tiene la ventaja de rodear obstáculos, procesamiento térmico y control de servomotores mediante señales PWM. Este dispositivo incorpora conectividad WiFi, Bluetooth y LoRa, permitiendo transmisión de datos a largas distancias y bajo consumo energético.

Para la medición ambiental se empleó un sensor SHT20, utilizado para obtener temperatura y humedad relativa, variables necesarias para la corrección atmosférica en los cálculos térmicos. Asimismo, se implementaron sensores infrarrojos GY-906 (MLX90614), ubicados en la parte inferior del dron para medir radiación térmica emitida por diferentes superficies mediante detección infrarroja pasiva basada en la ley de Stefan–Boltzmann. Se muestra a continuación un diagrama de bloques del sistema empleado:

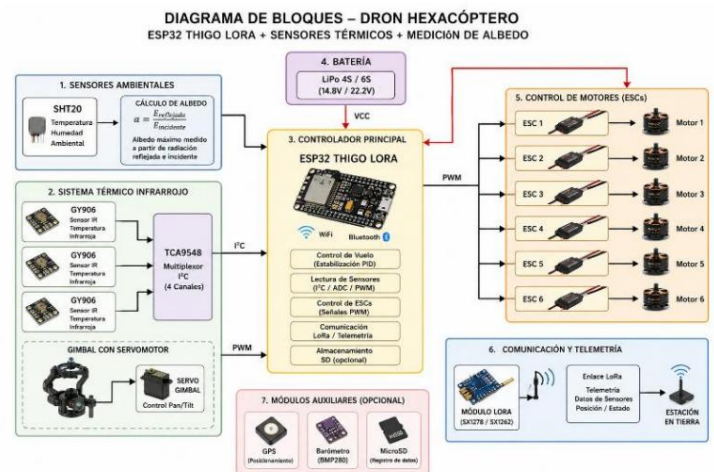


Fig. 6. Diagrama de bloques del sistema hexacóptero para la medición de albedo y radiación térmica. Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial.

El sistema incorpora un multiplexor I²C TCA9548A que permite conectar múltiples sensores térmicos al mismo bus de comunicación del ESP32, aumentando la resolución espacial y permitiendo triangulación térmica. Mecánicamente, el Hexacóptero fue diseñado con motores Brushless de 2600 KV y hélices 9x4, obteniendo un empuje aproximado de 9 kgf, suficiente para transportar sensores, electrónica y sistemas de comunicación.

El software desarrollado en Arduino para ESP32 implementa lectura multisensor, cálculo de flujo térmico, estimación de albedo, transmisión LoRa y visualización OLED. Los resultados muestran que materiales como asfalto y concreto presentan alta emisividad y bajo albedo, favoreciendo la

acumulación de calor urbano, mientras que materiales reflectivos como aluminio pulido poseen bajo nivel de emisión térmica. Para el caso del diseño del dron a 6 hélices, se muestra en la figura (7) un modelo constructivo:

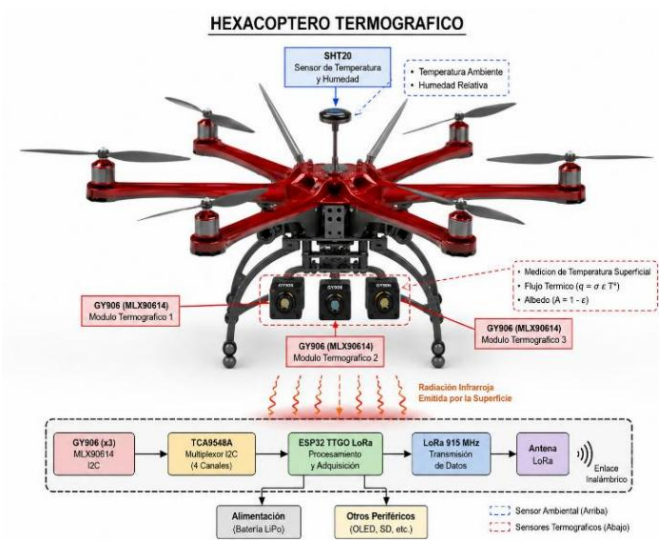


Fig. 7. Estructura del sistema hexacóptero para la medición de albedo y radiación térmica. Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial.

Se muestra en la siguiente tabla una serie de parámetros de transmisión de Albedo para diferentes materiales

Tabla II

Datos de emisión térmica del dron hexacóptero

Material	Emisividad ϵ	Albedo A	Temp. $^{\circ}\text{C}$	Flujo térmico q (W/m^2)
Asfalto	0.95	0.05	60	661
concreto	0.94	0.06	45	551
Agua	0.96	0.04	30	459
Vegetación	0.98	0.02	28	447
Arena	0.76	0.24	50	546
Aluminio pulido	0.05	0.95	40	31
Acero oxidado	0.79	0.21	55	566

Finalmente, los datos térmicos son transmitidos vía LoRa con alcances de hasta 10 km y procesados en Python mediante técnicas de triangulación y mapeo térmico, permitiendo detectar y clasificar superficies con alta emisión infrarroja para aplicaciones de monitoreo ambiental y análisis térmico urbano.

V. CONCLUSIONES

El sistema hexacóptero desarrollado permitió integrar sensores ambientales, sensores infrarrojos y comunicación LoRa para la adquisición y transmisión de datos térmicos y atmosféricos en tiempo real.

Los resultados obtenidos evidenciaron que materiales como el asfalto y el concreto presentan alta emisividad térmica y bajo albedo, favoreciendo la acumulación de calor, mientras que materiales reflectivos muestran menores niveles de emisión térmica.

La implementación de múltiples sensores térmicos y técnicas de procesamiento de datos permitió identificar y clasificar superficies según su comportamiento térmico, demostrando la viabilidad del sistema para aplicaciones de monitoreo ambiental.

Finalmente, la plataforma propuesta constituye una herramienta útil para el análisis de radiación térmica, estudios de albedo y evaluación de fenómenos asociados al calentamiento urbano y al cambio climático.

REFERENCIAS

[1] R. Alfredo-Cruz, L. Quintero-Ortiz, C. Galán-Pinilla y E. Espinosa-García, “Evaluación de técnicas no destructivas en elementos de concreto para puentes,” *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 24, no. 40, pp. 83–96, 2015.

[2] P. Iturbide, V. Stern, R. Righini y R. Aristegui, “Evaluación del albedo en la estación solarimétrica de Luján, suelo característico de la Pampa Húmeda,” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 24, pp. 222–231, 2020.

[3] Subdirección de Termómetros de Radiación, Metrología Física, *Guía para la calibración de termómetros de radiación*. Bogotá, Colombia, 2022.

[4] P. Mondragón Cortez, *Espectroscopia de infrarrojo para todos*. CIATEJ, Guadalajara, México, 2017.

[5] D. Pastor, J. Olea, E. García y R. García, “Detectores de infrarrojos basados en silicio,” Universidad Complutense de Madrid, s. f.

[6] P. Ponce Peña et al., *Espectroscopia de infrarrojo: Análisis e interpretación de compuestos*, 1ª ed. Universidad Juárez del Estado de Durango, 2023.

[7] K. M. Tuğrul, *Drone Technologies and Applications*. IntechOpen, 2023.

[8] A. S. Huete, *Diseño y fabricación de un prototipo de dron*, TFG, Universitat Politècnica de València, 2023.

[9] J. Zapata Blandón y J. A. Sepúlveda Arbeláez, *Diseño de un dron para carga útil de 0.5 kg*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2016.

[10] P. Parui, “Study of the motion of a paper helicopter,” TU Dresden, 2018.

[11] E. M. Hernández, *Cámaras termográficas (IR térmico)*. Universidad de La Laguna, 2020.

[12] Hikvision, *Thermal Cameras eBook*, 2020.

[13] X. P. V. Maldague, *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. Wiley, 2001.

[14] M. Vollmer y K. P. Möllmann, *Infrared Thermal Imaging*, 2nd ed. Wiley-VCH, 2017.

[15] EngineeringToolBox, “Coeficientes de emisividad de materiales comunes: guía de datos y referencia,” disponible en: <https://www.engineeringtoolbox.com>

acumulación de calor urbano, mientras que materiales reflectivos como aluminio pulido poseen bajo nivel de emisión térmica. Para el caso del diseño del dron a 6 hélices, se muestra en la figura (7) un modelo constructivo:

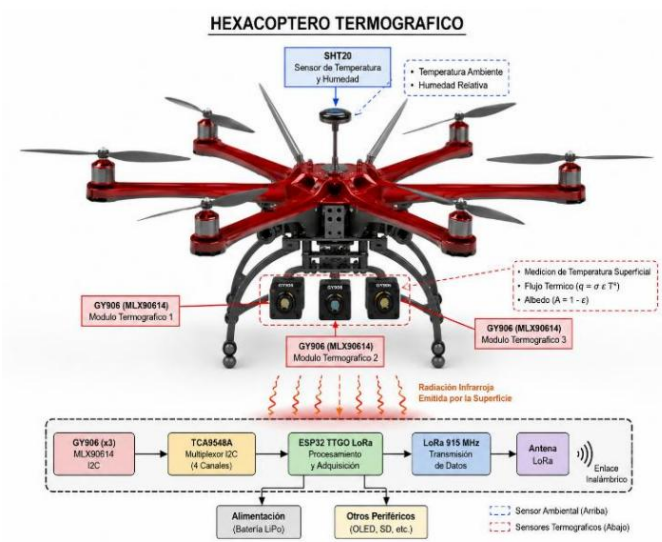


Fig. 7. Estructura del sistema hexacóptero para la medición de albedo y radiación térmica. Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial.

Se muestra en la siguiente tabla una serie de parámetros de transmisión de Albedo para diferentes materiales

Tabla II

Datos de emisión térmica del dron hexacóptero

Material	Emisividad ϵ	Albedo A	Temp. $^{\circ}\text{C}$	Flujo térmico q (W/m^2)
Asfalto	0.95	0.05	60	661
concreto	0.94	0.06	45	551
Agua	0.96	0.04	30	459
Vegetación	0.98	0.02	28	447
Arena	0.76	0.24	50	546
Aluminio pulido	0.05	0.95	40	31
Acero oxidado	0.79	0.21	55	566

Finalmente, los datos térmicos son transmitidos vía LoRa con alcances de hasta 10 km y procesados en Python mediante técnicas de triangulación y mapeo térmico, permitiendo detectar y clasificar superficies con alta emisión infrarroja para aplicaciones de monitoreo ambiental y análisis térmico urbano.

V. CONCLUSIONES

El sistema hexacóptero desarrollado permitió integrar sensores ambientales, sensores infrarrojos y comunicación LoRa para la adquisición y transmisión de datos térmicos y atmosféricos en tiempo real.

Los resultados obtenidos evidenciaron que materiales como el asfalto y el concreto presentan alta emisividad térmica y bajo albedo, favoreciendo la acumulación de calor, mientras que materiales reflectivos muestran menores niveles de emisión térmica.

La implementación de múltiples sensores térmicos y técnicas de procesamiento de datos permitió identificar y clasificar superficies según su comportamiento térmico, demostrando la viabilidad del sistema para aplicaciones de monitoreo ambiental.

Finalmente, la plataforma propuesta constituye una herramienta útil para el análisis de radiación térmica, estudios de albedo y evaluación de fenómenos asociados al calentamiento urbano y al cambio climático.

REFERENCIAS

[1] R. Alfredo-Cruz, L. Quintero-Ortiz, C. Galán-Pinilla y E. Espinosa-García, “Evaluación de técnicas no destructivas en elementos de concreto para puentes,” *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 24, no. 40, pp. 83–96, 2015.

[2] P. Iturbide, V. Stern, R. Righini y R. Aristegui, “Evaluación del albedo en la estación solarimétrica de Luján, suelo característico de la Pampa Húmeda,” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 24, pp. 222–231, 2020.

[3] Subdirección de Termómetros de Radiación, Metrología Física, *Guía para la calibración de termómetros de radiación*. Bogotá, Colombia, 2022.

[4] P. Mondragón Cortez, *Espectroscopia de infrarrojo para todos*. CIATEJ, Guadalajara, México, 2017.

[5] D. Pastor, J. Olea, E. García y R. García, “Detectores de infrarrojos basados en silicio,” Universidad Complutense de Madrid, s. f.

[6] P. Ponce Peña et al., *Espectroscopia de infrarrojo: Análisis e interpretación de compuestos*, 1ª ed. Universidad Juárez del Estado de Durango, 2023.

[7] K. M. Tuğrul, *Drone Technologies and Applications*. IntechOpen, 2023.

[8] A. S. Huete, *Diseño y fabricación de un prototipo de dron*, TFG, Universitat Politècnica de València, 2023.

[9] J. Zapata Blandón y J. A. Sepúlveda Arbeláez, *Diseño de un dron para carga útil de 0.5 kg*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2016.

[10] P. Parui, “Study of the motion of a paper helicopter,” TU Dresden, 2018.

[11] E. M. Hernández, *Cámaras termográficas (IR térmico)*. Universidad de La Laguna, 2020.

[12] Hikvision, *Thermal Cameras eBook*, 2020.

[13] X. P. V. Maldague, *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. Wiley, 2001.

[14] M. Vollmer y K. P. Möllmann, *Infrared Thermal Imaging*, 2nd ed. Wiley-VCH, 2017.

[15] EngineeringToolBox, “Coeficientes de emisividad de materiales comunes: guía de datos y referencia,” disponible en: <https://www.engineeringtoolbox.com>