



Temperatura superficial del puente vehicular en la avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga

Ruby Natalie Rodríguez Rey^a

Edison Osorio Bustamante,^b

Resumen

En el transcurso del desarrollo urbano, el progreso en las construcciones civiles ha mejorado paulatinamente con el pasar de los años. Estas son diseñadas para mantener una resistencia específica según su propósito y uso, lo que permite determinar su periodo de vida o utilidad, considerando los diferentes factores atmosféricos; uno de ellos es la radiación solar, sea la transferencia de energía hacia la estructura y la irradiación, o a través de emisiones luminosas imperceptibles a la vista. Estos factores causan deformaciones producidas por el desgaste incitado por la abrasión a causa del cambio térmico sobre la superficie de cada tablero. Por ello, este trabajo analizó el efecto de la carga térmica en el puente en estudio, puesto que factores atmosféricos influyen en la fatiga de la estructura.

Palabras clave: temperatura superficial; radiación; salud estructural; cámara térmica; adaptación al cambio climático.

Abstract

In the course of urban development, the progress in civil constructions has gradually improved, over the years. These are designed to maintain a specific resistance according to their purpose and use, therefore, it allows determining their period of life or usefulness, considering the different atmospheric factors, one of them is solar radiation, which is fundamental as energy transfer from lightning. Solar towards the structure and irradiation, being light emissions imperceptible to the eye. Consequently, it presents deformations produced by the wear caused by abrasion due to the thermal change on the surface of each board. Therefore, this work analyzed the effect of thermal loading on the bridge under study, since atmospheric factors influence the fatigue of the structure.

Keywords: surface temperature; radiation; structural health; thermal camera; climate change adaptation.

a Programa de Ingeniería Civil, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. rrodriguez536@uan.edu.co

b Investigador programa de Ingeniería Civil, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. e.osorio@uan.edu.co

Introducción

Las construcciones civiles han permitido el progreso social y económico de cada población alrededor del mundo. Los puentes están diseñados para superar limitaciones y unir poblaciones que están a una considerable distancia, apresurando las actividades cotidianas de todos los habitantes en todo el mundo, promoviendo la comercialización entre países y comunidades, para la sostenibilidad económica que se va obteniendo con mayor eficacia[1]. Estos, a su vez, proporcionan a la sociedad una mejora en la movilidad, para transeúntes y vehículos públicos o particulares.

Sin embargo, los puentes se encuentran expuestos a agentes provenientes del cambio cli-

mático que pueden causar fallas estructurales a largo plazo en diferentes secciones, tales como se evidencia en la Figura 1.

En ese sentido, la variación en la energía debido a la transferencia de calor del sol hacia la estructura aumenta la temperatura de la misma, donde se disipa calor en la superficie de la infraestructura, produciendo la expansión y contracción del material de manera longitudinal, provocando modificaciones en la resistencia del material, induciendo agrietamientos y fisuras [2].

Por ello, para este trabajo se pretende analizar el efecto de carga térmica en el puente en estudio, debido a que se presentan factores que influyen a la fatiga de los elementos que conforman la estructura [3].



Fig. 1. Fisuras generadas por fatiga del material de las losas de concreto.

Se pretende analizar puntualmente la transferencia de energía, que puede variar en dos periodos de tiempo diferentes del mismo año, teniendo en cuenta los factores generados por el medio ambiente, tales como la radiación, vien-

to y cambios de temperaturas en el sitio en el que se encuentra la estructura, promoviendo su mantenimiento para conservar de salud estructural [4].

Materiales y metodología

La zona de estudio fue el puente vehicular curvo ubicado en la Avenida Jorge Gaitán Cortés con

Avenida Quiroga, ilustrado en la Figura 2, en donde se encuentran dos cuadros, uno de color turquesa que define la salida por la carrera 33 y otro de color fucsia el cual resalta la salida por la calle 36 sur.

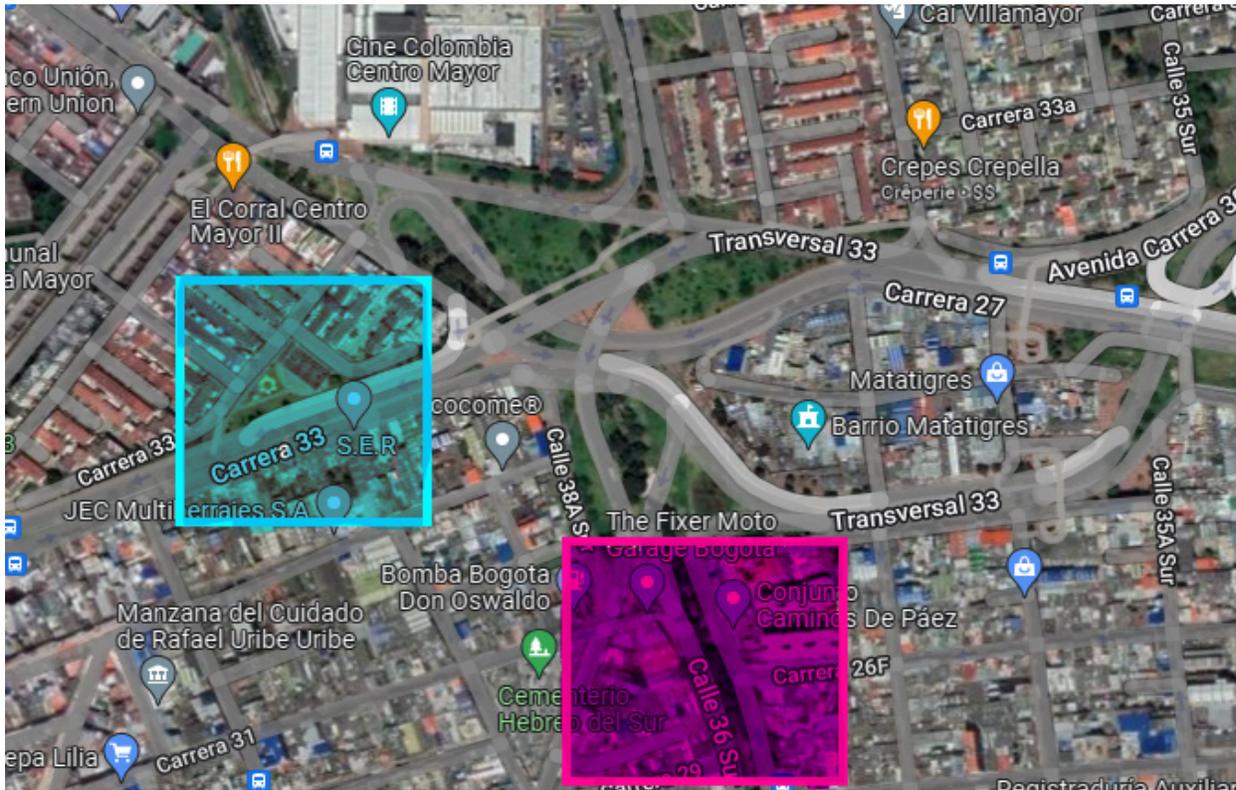


Fig. 2. Ubicación satelital del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, curvo costado sur y norte, en la localidad de Rafael Uribe. [5]

También se hizo un registro fotográfico del puente vehicular. En la Figuras 3 encontramos fotografías tomadas en la calle 36 sur en la parte superior de éste y en las Figuras 5 y 6 de la parte inferior del puente.

Para este proyecto se empleó una cámara de imagen térmica para teléfonos móviles FLIR ONE propiedad de la Universidad Antonio Nariño (Figura 7) para realizar la recolección de información en dos periodos de tiempo diferentes durante el

año 2021: el primer periodo a considerar va desde el 24/03/2021 al 16/04/2021, siendo 24 días en los que se efectuó la compilación de las fotografías que se utilizaron para este documento y estudio. Posteriormente se analizó un segundo periodo desde el 02/11/2021 hasta el 24/11/2021, donde, de la misma forma, se obtuvo el registro fotográfico requerido. Las imágenes se tomaron en el puente vehicular en la mañana entre las 4 y las 8 am, también de la misma forma en la tarde y al medio día.



Fig. 3. (a) y (b). Parte superior del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, saliendo por la calle 36 sur.



Fig. 4. (a) y (b). Parte inferior del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, saliendo por la calle 36 sur.

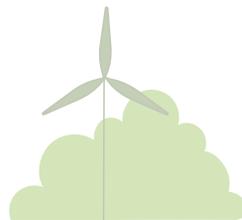




Fig. 5. Modelo de cámara térmica FLIR ONE Pro. [6].

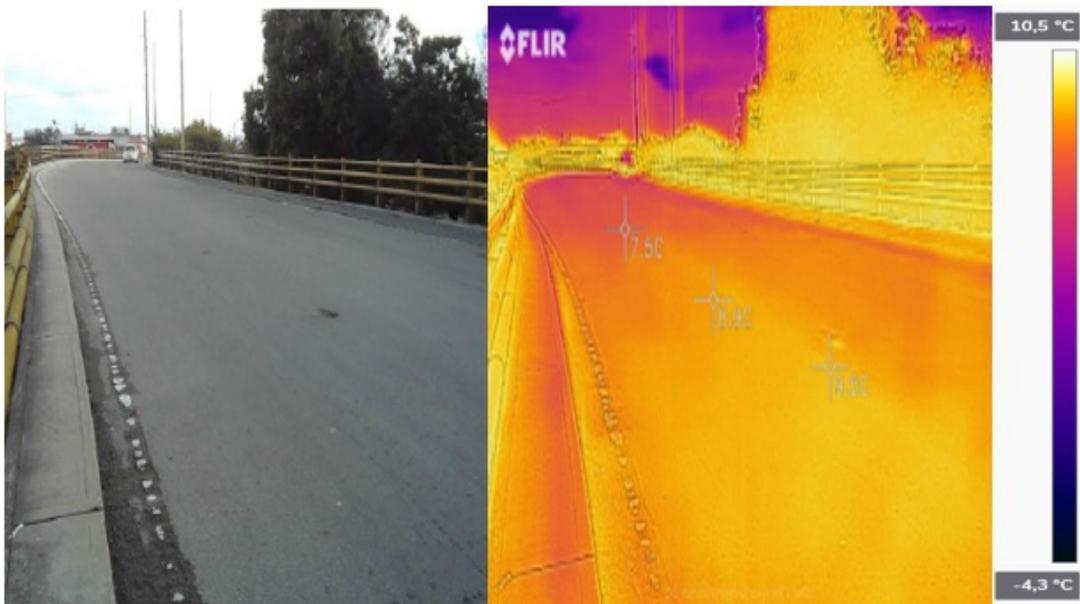


Fig. 6. Fotografías tomadas con la cámara térmica el 26 de marzo del año 2021, con doble vista. **Nota.** En esta figura se puede visualizar una fotografía térmica y una fotografía normal captadas por el mismo equipo.

Para poder analizar la información obtenida en las dos épocas, se consultaron bases de datos de diferentes fuentes, como en la página web *The Weather Company* (2014, 2022), en la opción historial del tiempo en la estación Aeropuerto Internacional El Dorado en Bogotá; de aquí se obtuvieron datos de temperatura en grados Celsius, punto de rocío, porcentaje de humedad, velocidad del viento en unidades de km/h, presión en hPa y precipitación en metros. De la misma manera, se recolectaron datos de radiación obtenidos en la página de *Giovanni Nasa* [8], después de visitar el canal GES DISC de la NASA (Ciencias de la Tierra Goddard y Centro de Servicios de Información y Datos), donde se tomaron datos climáticos en línea de la temperatura media en la estación Aeropuerto Internacional El Dorado en Bogotá, Colombia.

Se deben considerar las Ecuaciones (1-4) para calcular las temperaturas ideales de las partes superior e inferior del puente, y la Ec. (5) para encontrar el equilibrio de energías. Las ecuaciones fueron adaptadas de [9].

Energía por radiación solar (E_s):

$$E_s = a \cdot \text{radiación solar} \tag{1}$$

Energía por convección (E_{cov}):

$$E_{cov} = hA \cdot (T_I - T_A) \tag{2}$$

Energía por irradiación (E_i):

$$E_i = \epsilon \sigma A \cdot (T_I^4 - T_A^4) \tag{3}$$

Energía por conducción (E_{cd})

$$E_{cd} = \frac{T_3 - T_1}{\left(\frac{Lc}{kc \cdot A}\right) + \left(\frac{La}{ka \cdot A}\right)} \tag{4}$$

Equilibrio de energías:

$$E_s + E_{cov} + E_i + E_{cd} = 0 \tag{5}$$

Resultados y discusión

Se evidenciaron variaciones del cambio climático que pueden afectar la estructura en estudio. Para poder definir estos cambios climáticos y poder plantear una predicción ideal que evite la fatiga de la estructura, se realizaron salidas de campo a la zona, ubicada en la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, en la localidad de Rafael Uribe Uribe, en la ciudad de Bogotá, desde el 26 de marzo al 16 de abril del año 2021 a la parte superior, y a la parte inferior del el 28 de marzo al 14 de abril del año 2021, en estación seca; del 2 de noviembre al 24 de noviembre del año 2021, en la parte superior e inferior, en temporada de lluvias, donde se obtuvieron datos térmicos por medio del método de monitoreo basado en la visión siendo un monitoreo no destructivo y sin contacto directo, por medio de fotografías térmicas, que permite recolectar datos con resultados térmicos. A continuación se relacionan los datos que se tomaron por medio de las fotografías térmicas en cada punto y superficie (Figuras 9 y 10), identificando los puntos con mayor y menor temperatura en cualquiera de los dos costados, bien sea en la calle 36 sur o en la carrera 33.

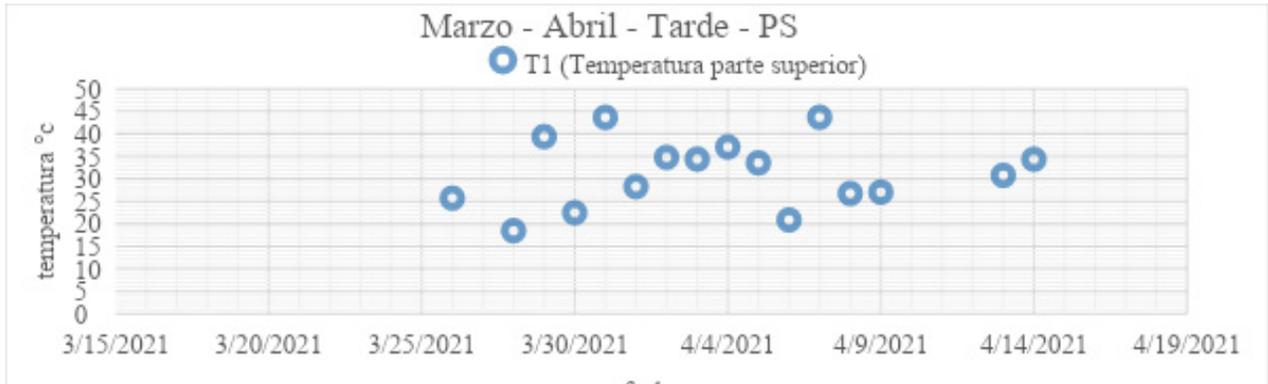


Fig. 7. Promedio de temperaturas en la parte superior del puente, entre las 12:00 m y la 1:00 pm, del 26 de marzo al 16 de abril del año 2021.

La temperatura máxima registrada en la parte superior fue de 43.67 °C en la calle 36 sur (Figura 7), mientras que la temperatura máxima

registrada en la parte inferior fue de 41.33 °C en la carrera 33 (Figura 8).

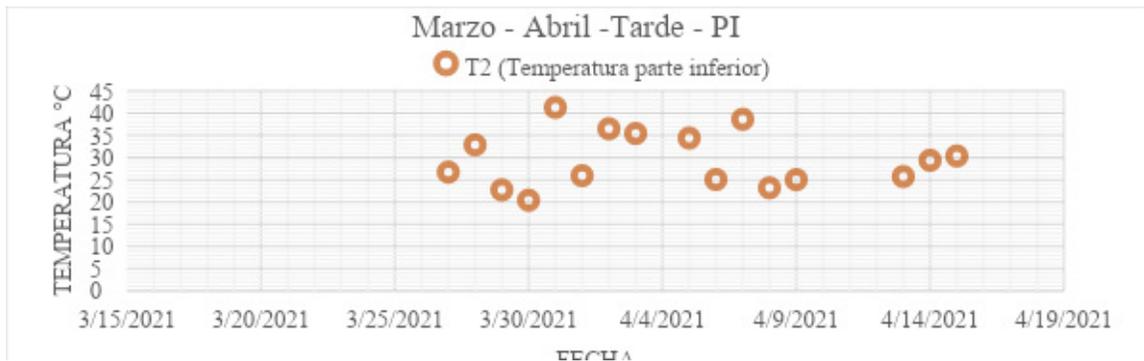


Figura 8. Promedio de temperaturas en la parte inferior del puente, entre las 12:00 m y la 1:00 pm, del 26 de marzo al 16 de abril del año 2021.

Por otro lado, el análisis de la temperatura en horas de la mañana se puede revisar en las figuras 9 y 10, para las partes superior e inferior respectivamente. La mayor temperatura registrada

fue de 22.33 °C, en la carrera 33 en la parte superior, mientras que en la parte inferior se obtuvo un valor de 22.03 °C en la calle 36 sur.

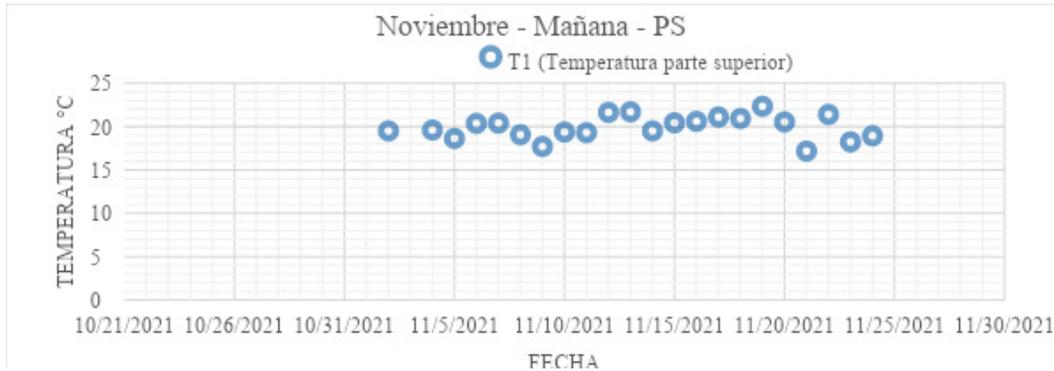


Fig. 9. Promedio de temperaturas en la parte superior entre las 6:00 am y 7:00 am, del 02 de noviembre al 24 de noviembre del año 2021.

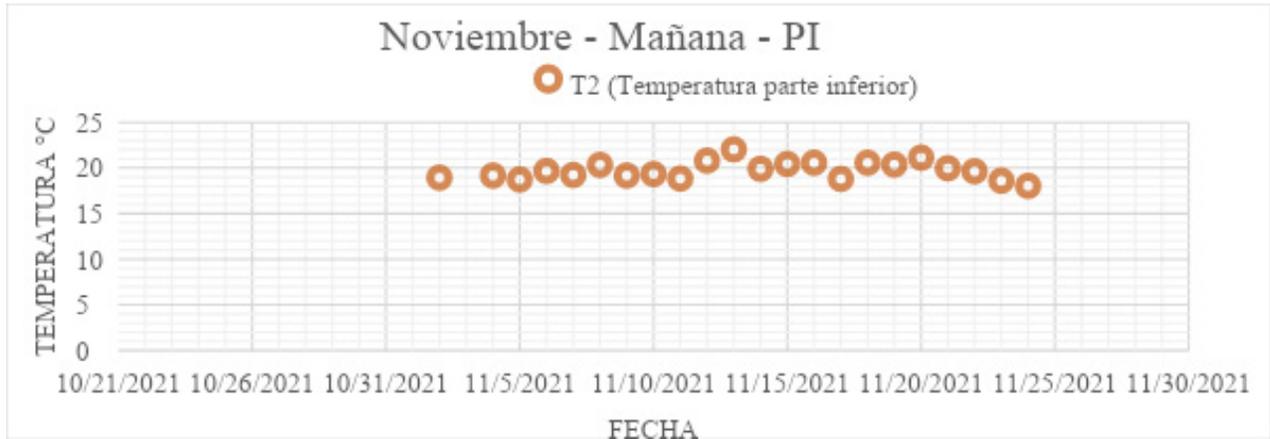


Fig. 10. Promedio de temperaturas en la parte inferior entre las 6:00 am y 7:00 am, del 2 de noviembre al 24 de noviembre del año 2021.

Se recolectaron datos en fuentes de información confiables que proporcionaron datos atmosféricos para definir analíticamente la temperatura ideal; para ello se descargaron los datos de temperatura en °C, punto de rocío en °C, porcentaje de humedad, velocidad del viento en m/s y km/s, presión en hPa y precipitación

en mm; en la Figura 11 podemos encontrar una de las tres gráficas que relaciona la recolección de datos en los meses de marzo, abril y noviembre. De la misma forma se descargaron los datos de radiación en w/m^2 , que definen el flujo de onda corta en estos mismos meses, como, por ejemplo, se encuentra en la Figura 12.

Temperatura superficial del puente vehicular en la avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga

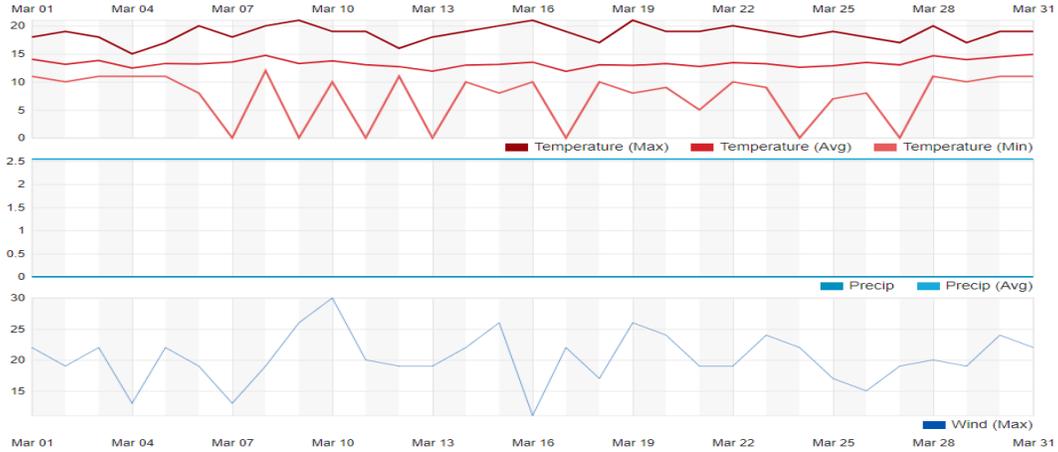
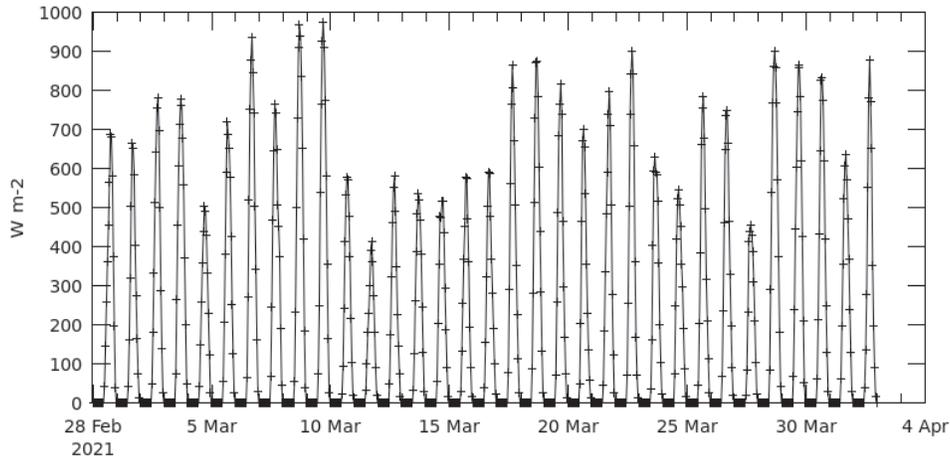


Fig. 11. Datos atmosféricos recopilados por Weather History del mes de marzo. [7]

Time Series, Area-Averaged of Surface incoming shortwave flux, time average hourly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2T1NXRAD v5.12.4] W m-2 over 2021-02-28 00Z - 2021-04-01 23Z, Region 74.3555W, 4.4907N, 73.3447W, 5.1498N



- The user-selected region was defined by 74.3555W, 4.4907N, 73.3447W, 5.1498N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 73.75W, 4.5N, 73.75W, 5N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

Figura 12. Serie temporal del área promediada del flujo de onda corta en la superficie en el mes de marzo. [8]

Para el mes de marzo, por ejemplo, se evidenciaron grandes fluctuaciones de temperatura y una diferencia entre la parte superior (asfalto)

(Figura 11) y la parte inferior del puente (concreto) (Figura 12).

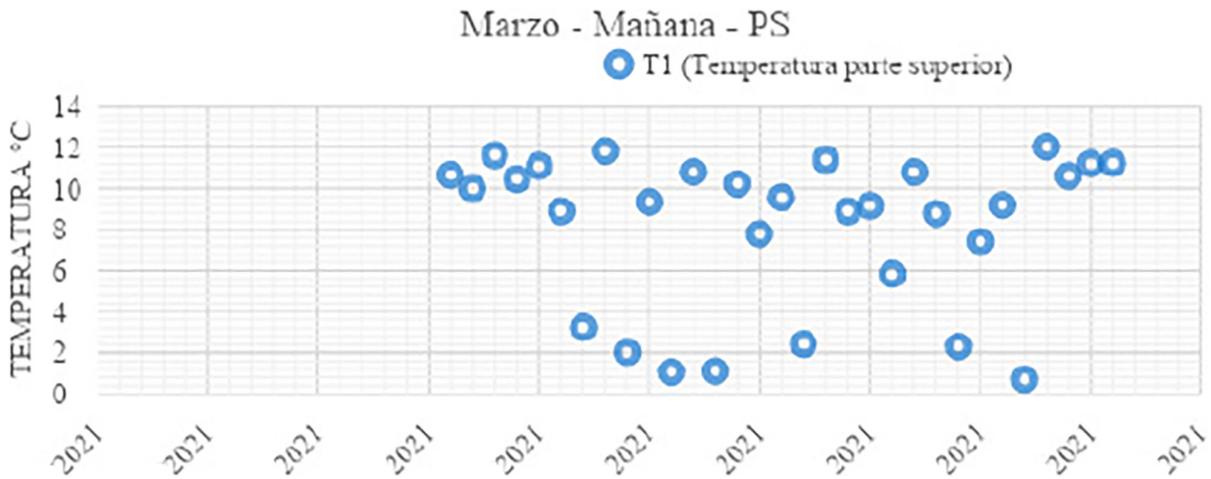


Fig. 13. Temperatura superficial por la mañana en la parte superior en el mes de marzo.

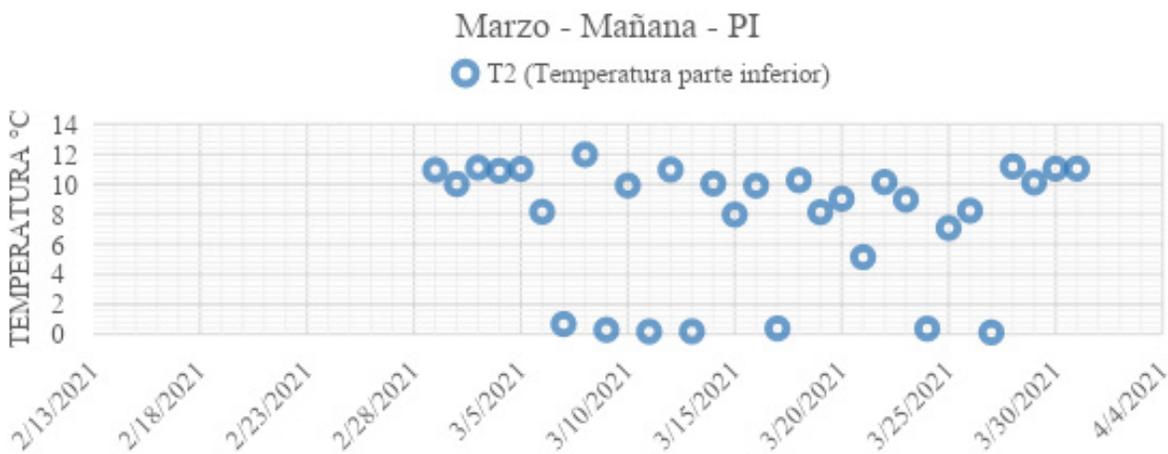


Fig. 14. Temperatura superficial por la mañana en la parte inferior en el mes de marzo.

Con esta información es posible hallar la energía solar, energía por convección, energía por irradiación y energía por conducción. Contando con el valor de estas energías se puede determinar que la sumatoria de sus energías sea igual a cero, y de esta manera encontrar el equilibrio y las temperaturas ideales para garantizar un buen diseño o mantenimiento de la estructura.

Para poder obtener este resultado se deben aplicar las ecuaciones 1-4, las cuales permiten calcular

las temperaturas ideales de la parte superior y de la parte inferior del puente; esto durante los tres meses en los que se recolectaron los datos (tanto en la mañana como en la tarde), para posteriormente encontrar el equilibrio de energías definida en la ecuación 5 y establecer el equilibrio ideal del sistema térmico encontrando las diferencias entre los datos analíticos en comparación con los datos tomados en campo, según su punto de referencia. Los datos determinados se describen a continuación:

Mañana

- En el punto de la calle 36 sur, en la mañana, se relaciona el porcentaje de error promedio entre el 41 % y 76 % en los meses marzo- abril.
- En el punto de la carrera 33, en la mañana, se relaciona el porcentaje de error promedio entre el 65 % y 43 % en los meses marzo- abril.
- En el punto de la calle 36 sur, en la mañana, se relaciona el porcentaje de error promedio entre el 58 % y 72 % en el mes de noviembre.
- En el punto de la calle 36 sur, en la mañana, se relaciona el porcentaje de error promedio entre el 60 % y 69 % en el mes de noviembre.

Tarde:

- En el punto de la calle 36 sur, en la tarde, se relaciona el porcentaje de error promedio entre el 34 % y 72 % en los meses marzo- abril.
- En el punto de la carrera 33, en la tarde, se relaciona el porcentaje de error promedio entre el 26 % y 72 % en los meses marzo- abril.
- En el punto de la calle 36 sur, en la tarde, se relaciona el porcentaje de error promedio entre el 31 % y 66 % en el mes de noviembre.

- En el punto de la calle 36 sur, en la tarde, se relaciona el porcentaje de error promedio entre el 14 % y 65 % en el mes de noviembre.

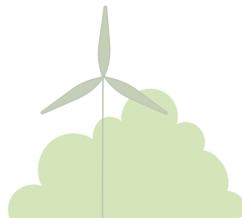
Conclusiones

El monitoreo con cámara térmica de la temperatura superficial permitió mediciones con el método basado en la visión, en el punto de la calle 36 sur en horarios de la tarde. Su porcentaje de error promedio está entre el 34 % y 72 % siendo el más variado en los meses de marzo y abril; igualmente se determinó el porcentaje de error promedio entre el 60 % y 69 %, siendo el más variado en el mes de noviembre en la mañana.

El método de análisis se usó sobre las imágenes térmicas obtenidas a través del aplicativo FLIR TOOLS, que da información suficiente para realizar las debidas comparaciones con los datos de páginas oficiales sobre medidas meteorológicas.

Declaraciones

- Autoría: los autores declaran la originalidad de los resultados presentados y su contribución específica dentro del artículo.
- Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún conflicto de interés para la publicación del artículo.



Referencias

- [1] P. Plasencia-Lozano. Puentes, sociedad e ingeniería, *Inf. la Constr.*, vol. 66, no. 535, julio-septiembre 2014.
- [2] J. Ortega Subirana. “Análisis de la componente uniforme de la temperatura en el diseño de puentes de hormigón”. Tesina de especialización en Matemática Aplicada. Departament de Matemàtica Aplicada III, Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2015. Disponible: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26490/TESINA_ORTEGA_SUBIRANA_JOAN.pdf
- [3] C.S. Wang, J.L. Hu, G.S. Wu & P.J. Zhang. Research progress on thermal effect and temperature-induced fatigue of bridges, in Life-Cycle Civil Engineering: Innovation, Theory and Practice -Proceedings of the 7th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, *IALCCE 2020*, pp. 938-946, 2020.
- [4] S. Borah, A. Al-Habaibeh & R. Kromanis. Measuring Thermal Response of Bridges Using Vision-Based Technologies and LVDTs, *LNCE* vol. 254, 2023.
- [5] Google Maps. Puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga [Online]. Disponible: <https://www.google.com/maps/@4.5885106,-74.1227887,552m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
- [6] FLIR ONE. Series Thermal Imaging Cameras. Teledyne FLIR [Online]. Disponible: <https://www.flir.com.mx/flir-one/>
- [7] Weather. Pronóstico del tiempo mensual para Bogotá de weather.com. [Online]. Disponible: <https://weather.com/es-CO/tiempo/mensual/l/c5e5041a9fba35d25f9dcf5c94a4f35cebaff6cf473c3a510aab6497bd092abf>
- [8] NASA Earth data. Giovanni. The Bridge Between Data and Science [Online]. Disponible: <https://acortar.link/bhoe4U>
- [9] Y.A. Cengel. *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones*, 3a. ed. México: McGraw-Hill, 2007.