



**TEMPERATURA SUPERFICIAL PUENTE VEHICULAR EN LA AVENIDA
JORGE GAITÁN CORTÉS CON AVENIDA QUIROGA**

Ruby Natalie Rodríguez Rey

10481414286

Universidad Antonio Nariño

Programa ingeniería civil

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Bogotá, Colombia

2022

puente vehicular

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

Ruby Natalie Rodríguez Rey

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniera civil

Director (a):

Ingeniero Edison Osorio Bustamante

Universidad Antonio Nariño

Programa ingeniería civil

Facultad de ingeniería civil y ambiental

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
temperatura superficial, puede vehicular en la avenida Jorge Gaitán Cortés con
Avenida Quiroga, cumple con los requisitos para optar
al título de ingeniera civil.

Firma del tutor

Firma del primer jurado

Firma del segundo jurado

RESUMEN

En el transcurso del desarrollo urbano, el progreso en las construcciones civiles ha mejorado paulatinamente, con el pasar de los años. Estos son diseñados para mantener una resistencia específica según su propósito y uso, por lo tanto, permite determinar su periodo de vida o utilidad, considerando los diferentes factores atmosféricos, uno de ellos es la radiación solar, sea fundamentando como transferencia de energía de los rayos solares hacia la estructura y la irradiación, siendo emisiones luminosas imperceptibles a la vista. Por consiguiente, presenta deformaciones producidas por el desgaste incitado por la abrasión a causa del cambio térmico sobre la superficie de cada tablero. Se analizaron de datos in situ tomados en dos periodos de tiempo, desde el 24/03/2021 al 16/04/2021 y del 02/11/2021 al 24/11/2021, en el puente vehicular en la avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, de acuerdo a la transmisión de calor específicamente en sus losas en acero reforzado.

PALABRAS CLAVE: Deformaciones, radiación, cambio térmico, transferencia e irradiación.

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 to determine their period of life or usefulness, considering the different atmospheric factors, one of them is solar radiation, based on the transfer of energy 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. In situ data taken in two periods of time were analyzed, from 03/24/2021 to 04/16/2021 and from 11/02/2021 to 11/24/2021, on the vehicular bridge on Jorge Gaitán Cortés avenue. with Avenida Quiroga, according to the heat transmission specifically in its reinforced steel slabs.

KEYWORDS: deformations, radiation, thermal change, transference, and irradiation.

puente vehicular

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVOS	17
GENERALES	17
ESPECÍFICOS	17
MARCO TEÓRICO	18
ANTECEDENTES	28
NORMATIVIDAD	32
ESTADO DEL CONOCIMIENTO	32
MODELACIÓN	38
COMPONENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR	41
EFECTOS TÉRMICOS	42
METODOLOGÍA	43
ZONA DE ESTUDIO	43
REGISTRO FOTOGRÁFICO PUNTOS DE ANÁLISIS	45
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	48
PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	49
RECOPIACIÓN DE DATOS SATELITALES	52
ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
COMPARACIÓN DE DATOS	86
CONCLUSIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	94

puente vehicular

FIGURAS

FIGURA 1:	13
FIGURA 2	19
FIGURA 3	20
FIGURA 4	22
FIGURA 5	25
FIGURA 6	25
FIGURA 7	26
FIGURA 8	27
FIGURA 9	28
FIGURA 10	29
FIGURA 11	30
FIGURA 12:	33
FIGURA 13	34
FIGURA 14	35
FIGURA 15	36
FIGURA 16	43
FIGURA 17	44
FIGURA 18	44
FIGURA 19	45
FIGURA 20	46
FIGURA 21	47
FIGURA 22	47
FIGURA 23	48
FIGURA 24	50
FIGURA 25	53
FIGURA 26	53
FIGURA 27	58
FIGURA 28	61
FIGURA 29	62
FIGURA 30	63
FIGURA 31	63

puente vehicular

FIGURA 32	64
FIGURA 33	65
FIGURA 34	65
FIGURA 35	66
FIGURA 36	67
<i>FIGURA 37</i>	67
FIGURA 38	68
FIGURA 39	68
FIGURA 40	69
FIGURA 41	70
FIGURA 42	71
FIGURA 43	71
FIGURA 44	73
FIGURA 45	74
FIGURA 46	75
FIGURA 47	76
FIGURA 48	76
FIGURA 49	77
FIGURA 50	78
FIGURA 51	79
FIGURA 52:	79
FIGURA 53:	80
FIGURA 54:	81
FIGURA 55:	81
FIGURA 56:	82
FIGURA 57:	83
FIGURA 58:	83
FIGURA 59:	84
FIGURA 60:	85
FIGURA 61:	85
FIGURA 62:	86
FIGURA 63:	87

puente vehicular

FIGURA 64:	87
FIGURA 65:	88
FIGURA 66:	88
FIGURA 67:	89
FIGURA 68:	90
FIGURA 69:	90

puente vehicular

TABLAS

TABLA 1	24
TABLA 2:	31
TABLA 3:	37
TABLA 4	51
TABLA 5:	54
TABLA 6:	60
TABLA 7:	61

puente vehicular

ECUACIONES

ECUACIÓN 1:	21
ECUACIÓN 2:	22
ECUACIÓN 3:	23
ECUACIÓN 4:	58
ECUACIÓN 5:	58
ECUACIÓN 6:	59
ECUACIÓN 7:	59
ECUACIÓN 8:	59

puente vehicular

INTRODUCCIÓN

Las construcciones civiles han sido necesarias desde el comienzo de los tiempos, permitiendo así el progreso social y económico de cada población alrededor del mundo, cumpliendo con normas técnicas colombianas, garantizando un correcto desempeño en el diseño y ejecución de esta. Para este trabajo se pretende analizar el efecto de carga térmica en el puente en estudio, proponiendo parámetros de diseño y mantenimiento, debido a que se presentan factores que influyen a la fatiga de los elementos que conforman la estructura.

Los puentes están diseñados para superar limitaciones y unir poblaciones 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 (Plasencia-Lozano, 2014). Estos a su vez proporcionan a la sociedad una mejora en la movilidad, para transeúntes y vehículos públicos o particulares. Sin embargo, esta edificación se encuentra expuesta a agentes provenientes del cambio climático que pueden causar fallas estructurales a largo plazo en diferentes secciones, tales como se evidencia en la

Figura 1.

puente vehicular

Figura 1:

Grietas transversales en las losas de concreto



Nota: Fisuras generadas por fatiga del material de las losas de concreto. Adaptado de (Elaboración propia).

En el siguiente documento, se pretende analizar cómo 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, viento y cambios de temperaturas en el sitio en el que se encuentra la estructura, promoviendo su mantenimiento para conservar de salud estructural.

puente vehicular

puente vehicular

JUSTIFICACIÓN

Uno de los temas más relevantes en el mercado laboral del país, es la planificación, diseño, liderazgo, implementación y mantenimiento, de sistemas de gestión civil y ambiental, para un ingeniero es indispensable conocer la ejecución del proyecto para brindar soluciones efectivas. Por ende, las patologías que se presentan en estructuras que manifiestan posibles fallas estructurales, son producidas por fatigas a largo plazo, convirtiéndose en un reto para los profesionales de la construcción y cuidado ambiental, (Congreso de energía sostenible, 2014).

Las singularidades de cambio de temperatura que se pueden presentar en la zona depende de su ubicación geográfica y condiciones climatológicas de cada país, en caso de Colombia la mayoría del territorio se considera tropical, sin embargo, en Bogotá pueden presentar temperaturas entre 10 a 14 °C aproximadamente en promedio, según él (Congreso de energía sostenible, 2014). Al implementar parámetros regidos por las normas técnicas colombianas, tales como el código colombiano de diseño sismo resistente para puentes (CCP-14), se encuentra con las recientes actualizaciones que se realizó al código colombiano de diseño sísmico de puentes (CCDSP 95). Una y las más importantes actualizaciones realizando el diseño de factores de carga y el uso de filosofía de diseño de acuerdo a la permisibilidad del esfuerzo admisible, considerado a su vez los cambios de dimensionamiento provocados por cambios climáticos a largo del tiempo, determinado por intervalos de temperaturas superficial (M.A.Salgado-Gálvez, 2016).

Para esta propuesta de investigación se pretende generar por medio de un análisis de información los datos exactos e idóneos para la temperatura superficial. De la estructura

puente vehicular

en estudio, en dos periodos de tiempo en diferentes horarios, una en la mañana y otra al medio día, descubriendo los datos idealizados son el cumplimiento con los factores de sostenibilidad, los cuales con social, económico y ambiental.

punte vehicular

OBJETIVOS

Generales

Evaluar la temperatura superficial en el puente vehicular ubicado en el barrio Mata Tigres, en la ciudad de Bogotá, en la localidad Rafael Uribe, considerando las mediciones de temperatura superficial, con respecto a dos periodos de tiempo al inicio y fin del año 2021, para su comparación y análisis.

Específicos

- ✓ Elaborar una modelación numérica del problema de transferencia en estado estacionario con base en los datos meteorológicos.
- ✓ Comparar las mediciones de las temperaturas obtenidas en la toma de datos por medio de las fotos térmicas con la cámara Flix One Pro y los datos recolectados de entidades responsables del medio ambiente con los resultados del análisis, para determinar en qué espacio de tiempo se presenta mayor variación de temperatura.

puente vehicular

MARCO TEÓRICO

Las condiciones inestables de un viaducto pueden crear malestar e inseguridad en los usuarios, debido a que es complicado reubicarlos, por su tamaño y material con el que fue creado, sin embargo, este permite que los residentes de cada sector, se puedan trasladar de un lugar a otro con mayor seguridad y en menos tiempo, no obstante este tiene como propósito sobrepasar obstáculos para interconectar dos extremos facilitando la movilidad en lugares urbanos y rurales, este se puede encontrar expuesto a varios factores ambientales que provocan alteraciones como fisuras y agrietamientos, ya que, se compone de hormigón armado, su mantenimiento y precios de transporte pueden variar si este llegara a faltar o a presentar algún problema a lo largo de su vida útil, los gobiernos locales serían los primeros en tomar acción para evitar dichas afectaciones (Mascia & Sartorti, 2011).

Así mismo, es importante recordar que es una edificación cimentada con pilotes y conformada por columnas, permite la transferencia de cargas al suelo, previniendo cualquier tipo de afectación por cargas, sin embargo, si se encuentra expuesto a la transferencia de energía superficial en cada losa puede llegar a presentar inconvenientes en el futuro. En **Figura 2**, encontraremos la orientación del cambio climático, en donde se presenta este como un sistema de adaptación y mitigación, por parte de los factores que se muestran actualmente en la naturaleza, provocando emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero que alteran el clima promoviendo la alteración de cada uno de sus componentes, promoviendo afectaciones a las estructuras construidas en cada ciudad del mundo, por lo tanto, se genera un impacto en la naturaleza, la sociedad y su economía.

puente vehicular

Figura 2

Diagrama orientado al cambio climatológico



Nota: El Esquema representa la orientación que se presenta en el cambio climático alrededor del mundo. Adaptado de (Lab, n.d.).

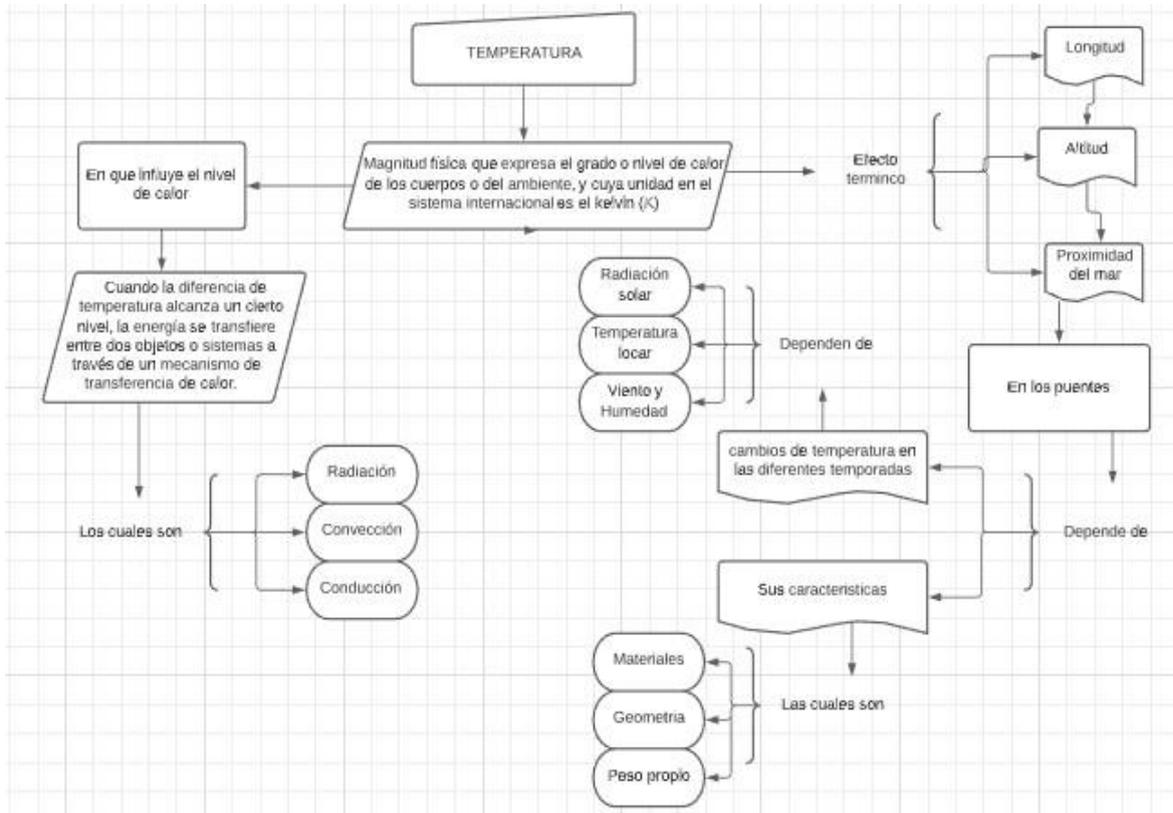
Es importante tener en cuenta los conceptos básicos para poder comprender qué tipo de afectaciones se presenta en una estructura que se encuentra exteriorizada:

En primer lugar, podemos describir la temperatura como una magnitud que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, cuya unidad en el sistema internacional o nacional, se define dependiendo de la nomenclatura, se manejan las unidades; en la **Figura 3**, encontramos el desglose de las características que conforman este término para poder describir su significado con mejor claridad.

puente vehicular

Figura 3

Mapa conceptual ramas de la temperatura



Nota: Diagrama representativo de temperatura y sus diferentes componentes. Fuente: Autores.

Entonces podemos indicar que la temperatura media de cada losa que conforma el puente, se describe como un agente térmico que genera una variación en la energía, debido a la transferencia de calor del sol hacia la estructura, lo que causa aumento de temperatura, donde se disipa calor al medio ambiente y por ende en la superficie de la infraestructura, esto produce la expansión y contracción del material longitudinalmente, provocando modificaciones en la resistencia del material induciendo agrietamientos y fisuras (Hormigón, 2015), es por ello, que se define esta magnitud física con la siguiente métrica representada en la **Ecuación 1**.

puente vehicular

Ecuación 1:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15 \quad (1)$$

Donde

- ✓ T(K): Temperatura en función de grados Kelvin.
- ✓ T(^{\circ}C): Temperatura en función de grados Celsius.
- ✓ \blacktriangle T(K): Cambio de temperatura en función de grados kelvin
- ✓ \blacktriangle T(^{\circ}C): Cambio de temperatura en función de grados Celsius

Para comprender mejor lo que implica la ecuación anterior, necesitamos entender conceptos como:

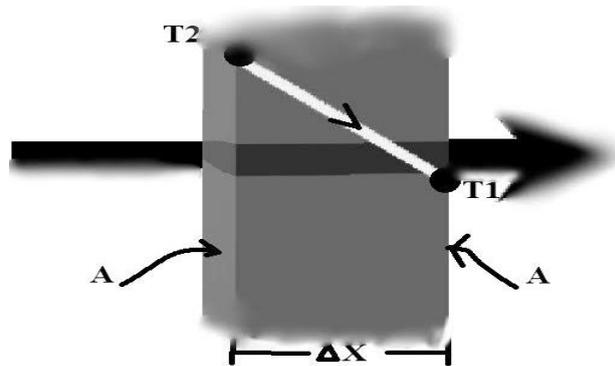
La radiación, ya que esta no requiere ningún medio de transmisión, sino que se transfiere por ondas electromagnéticas con una energía térmica irradiando calor a la velocidad de la luz (300.000 km/s), además esta genera uno de los impactos ambientales más graves para el planeta y los humanos, sin embargo, no se evidencia la afectación directa que puede provocar inmediatamente a cualquier objeto que se esté afectado por este fenómeno (Solar, n.d.)

La transmisión energética de un sistema a otro lo podemos interpretar como la conducción de calor por convección durante el cambio recíproco de calor entre la superficie exterior de cada placa de concreto y el medio, este tiene lugar en forma de gránulos de grosor indeterminado, como lo podemos ver en la **Figura 4**.

puente vehicular

Figura 4

Conducción de calor (Q) provocada por la energía térmica ($T1$ a $T2$) a través de una pared plana y grande de espesor (Δx) con respecto a el área (A).



Nota: Ilustración representativa del comportamiento de la conducción de calor en una pared de concreto. Adaptado de (ÇENGEL, 2007).

Por lo tanto, podemos representarlo cualitativamente en la Ecuación 2

de la siguiente manera:

Ecuación 2:

$$Q_{cond} = k * A * \frac{T1 - T2}{\Delta x} = -k * A * \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$

Donde;

- ✓ (Q_{cond}) razón de conducción del calor,
- ✓ área,
- ✓ (k) conductividad térmica del material,
- ✓ (ΔT) Cambio de temperatura,
- ✓ (Δx) Cambio de espesor (ÇENGEL, 2007).

puente vehicular

Por otra parte, para que se genere la entrega energética entre la estructura y su superficie, se debe tener factores a su alrededor mediante el traspaso de calor, atribuyendo a dos mecanismos importantes; el primero de ellos es la radiación e irradiación solar, esta viaja por el medio ambiente y es absorbida en la estructura, en otras palabras, es definida como la cantidad de energía calórica encontrada en la infraestructura impregnada superficialmente permitiendo dilatación en el material de la losa, por el contrario, en la noche se pierde energía debido a que los rayos solares no están realizando ninguna transferencia energética y por ende provoca contracción en el concreto de cada placa que conforma la estructura; el segundo es la convección calórica definida como el método de traspaso de energía entre la superficie sólida de un sistema en movimiento y la capa de aire sobre esta, determinado la transferencia de calor por convección a la estructura, cuanto mayor sea la velocidad de movimiento, más rápida será la transferencia a la superficie de la infraestructura, por lo tanto, la convección es directamente proporcional a la diferencia de temperatura definida mediante la siguiente

Ecuación 3.

Ecuación 3:

$$Q_{conv} = h * A * (T_s - T_{\infty}) \quad (3)$$

Donde;

- ✓ Q_{conv} : Transferencia de calor por convección
- ✓ h: Coeficiente constante de convección en la superficie
- ✓ A: Área de la superficie expuesta
- ✓ T_s : Temperatura superficial
- ✓ T_{∞} : Temperatura del medio ambiente (ÇENGEL, 2007).

puente vehicular

Y, por último, pero no menos importante, la conducción calórica, es el traspaso de energía de una molécula a otra de mayor carga a menor, permitiendo que todas sus moléculas tengan una cantidad de energía equilibrada (MIRAMBELL ARRIZABALAGA & AGUADO, 1987), así mismo encontramos los valores de coeficiente de transferencia en la Tabla 1.

Tabla 1

Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	ht W/m
Convección libre de gases	2 – 25
Convección libre de líquidos	10 – 1000
Convección forzada de gases	25 – 250
Convección forzada de líquidos	50 – 20000
Ebullición y condensación	2500 – 100000

Nota: Esta tabla representa los valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección, sus rangos y unidades. Adaptado de (ÇENGEL, 2007, pág. 52).

En la **Tabla 1** se relacionan los coeficientes de orden por magnitud de transmisión por convección en algunos escenarios, los cuales son necesarios para determinar cualquier análisis estructural, además, en la **Figura 5**, podemos encontrar la correlación que tienes las relaciones de una red de resistencia térmica por convección de calor hacia el tablero y desde la pared, junto con la que va a través de ella siendo directamente proporcionales (MIRAMBELL ARRIZABALAGA & AGUADO, 1987), de igual manera se encuentra ilustrado en la **Figura 6** la transferencia de calor de una

puente vehicular

superficie que se encuentra a altas temperaturas hacia el medio ambiente por convección (ÇENGEL, 2007).

Figura 5

Red de resistencia térmica.



Nota: Red de resistencia térmica. Adaptado de (Zamrodah, 2016).

Figura 6

Transferencia de calor por convección



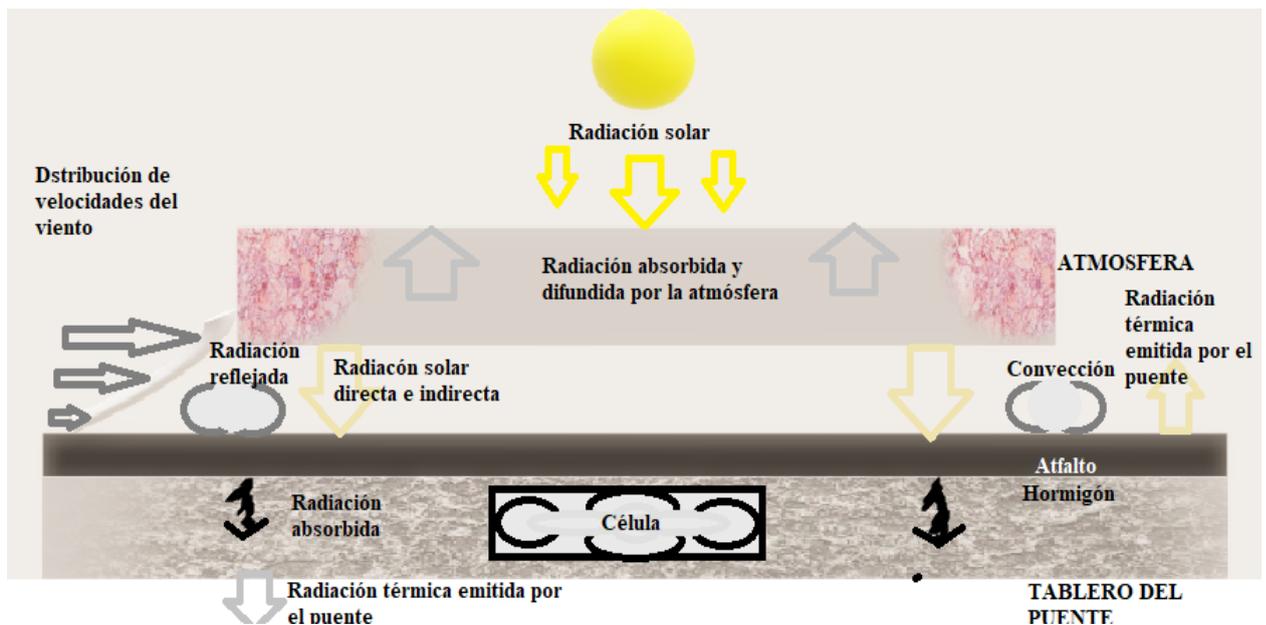
Nota: Transferencia de calor de una superficie que se encuentra a altas temperaturas hacia el medio ambiente por convección. Adaptado de (ÇENGEL, 2007).

puente vehicular

A continuación, en la **Figura 7**, se encuentra como es el mecanismo que hemos mencionado anteriormente, en el cual se presentan las razones de la convección de calor hacia la pared, siendo igual a la conducción de calor a través de la pared y por ende la razón de convección de calor desde la pared es semejante, con el fin de demostrar el mecanismo principal de la transferencia de calor en un puente de concreto reforzado.

Figura 7

Mecanismos principales de transferencia de calor en puentes de hormigón. Condiciones de contorno particulares.



Nota: En la imagen se muestran los mecanismos principales de transferencia de calor en puentes de hormigón. Adaptado de (MIRAMBELL ARRIZABALAGA & AGUADO, 1987).

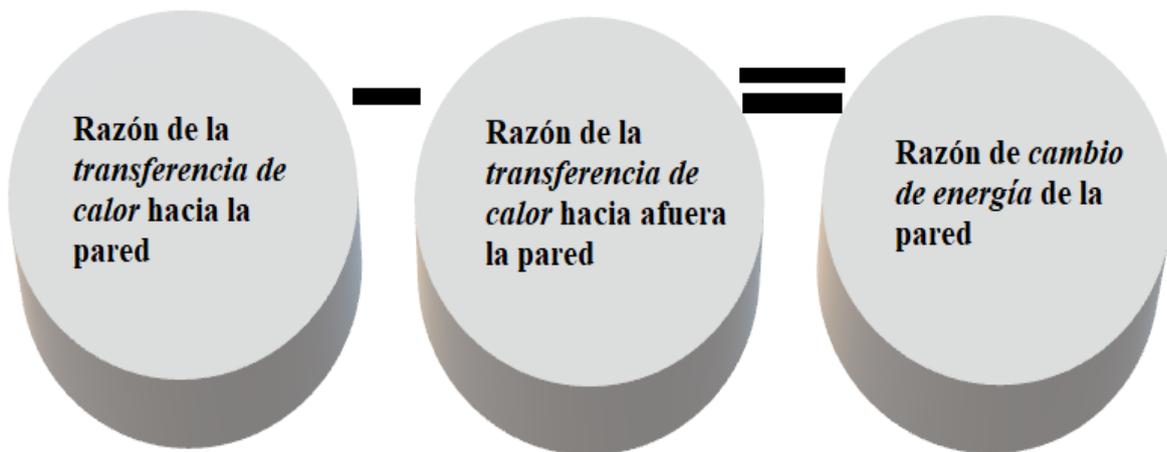
Dentro de este orden de ideas podemos confirmar que en la **Figura 8**, se define la diferencia de razón de la transferencia de calor hacia la losa de concreto, con respecto a la de transferencia de calor hacia la misma, produce el cambio de la energía en la losa

puente vehicular

produciendo cambios en ella y permitiendo los cambios de temperatura en cada tablero a lo largo del puente (Zamrodah, 2016).

Figura 8

Balance de calor



Nota: La figura anterior define el balance de calor, primera ley de la termodinámica.

Adoptado de (Zamrodah, 2016).

Esto se demuestra analíticamente de la siguiente manera, demostrando el concepto de resistencia térmica de cada losa de concreto, donde está depende de su forma y geometría, con respecto a las condiciones térmicas en la que se encuentra el medio ambiente (Zamrodah, 2016), para poder medir el alrededor de distribución de temperatura superficial las cuales constituyen con el análisis en un dispositivo del equipo de medidas, permitiendo la conversión de magnitudes física con una medida infrarroja de onda de largo alcance, proporcional al dimensionamiento de la energía calórica que examina el dispositivo, este se desarrolla por medio de termografías figurando la distribución de la energía en la superficie y realizando un termo grama con el cual podemos realizar evaluaciones de los datos.

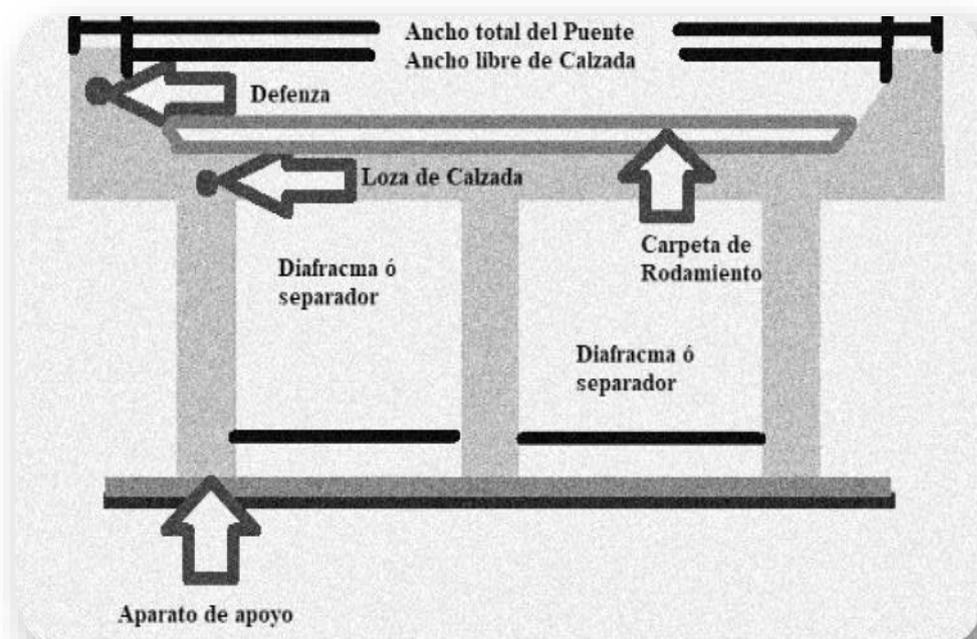
puede vehicular

Antecedentes

Los componentes que conforman un puente son la suma de varias losas de hormigón reforzado o pre-reforzado con acero, especialmente para dichas construcciones, con diferentes secciones, las cuales cumplen con una función en específico, como lo podemos ver en la **Figura 9**, de la misma manera, se componen de la losa de la calzada, las vigas principales y secundarias, separadores y orillas y cercados (Pinto & Torres, 2015).

Figura 9

Sección transversal de un puente



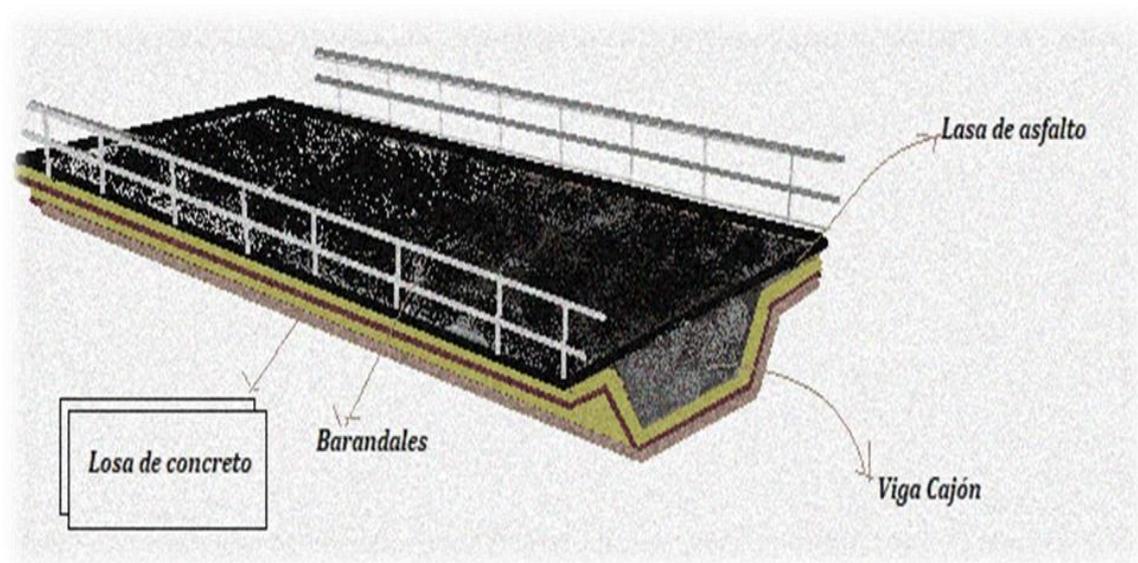
Nota: Sección perpendicular de un puente. Adaptado a (Pinto & Torres, 2015).

puente vehicular

Así mismo, podemos identificar en la **Figura 10**, como se encuentra conformado este tablero de hormigón armado, por separadores extremos, sus vigas, y sus losas (Pinto & Torres, 2015).

Figura 10

Parte superior de un puente con viga cajón.



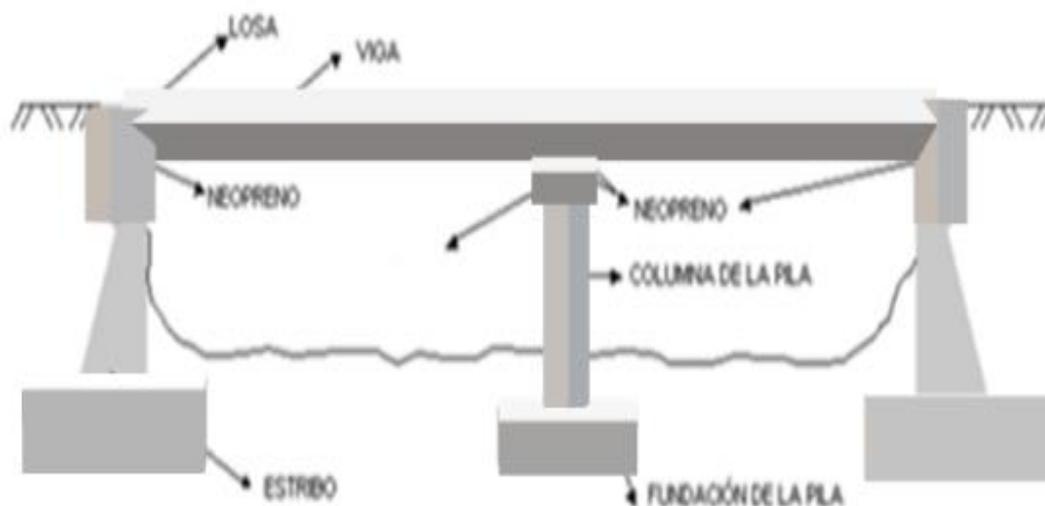
Nota: Ilustración de la parte superior de un puente donde se encuentra el tablero en hormigón armado y la losa de asfalto. Adaptado de (Pinto & Torres, 2015).

De acuerdo con lo anterior, se tiene en cuenta el tipo de estructuras y su transferencia de cargas transmitidas al suelo, bien sean vivas y muertas, conservando un buen funcionamiento, junto con los factores de impacto ambiental que pueden llegar a ocasionar alguna afectación a sus componentes provocando el deterioro de este y su vida útil, como se encuentra en la **Figura 11**

puede vehicular

Figura 11

Componentes estructurales de un puente



Nota: En la ilustración anterior encontramos los componentes estructurales de un puente. Adoptado de (Pinto & Torres, 2015).

En otro caso, según el eurocódigo 1, nos establece unos parámetros importantes que se deben de tener en cuenta, se pueden presentar algunas afectaciones provocadas debido a que si están muy cercanas deben aumentar su altura dos veces y su probabilidad de afectación es mayor por las corrientes de aire que transitan en diferentes sentidos, provocando el aumento de fallas y deteriorando estructural, para evitar que esto suceda se debe comprender y considerar las presiones de viento en el exterior e interior, en la siguiente **Tabla 2**, encontramos los parámetros para la determinación de las acciones del viento (Breinlinger et al., 2011).

puente vehicular

Tabla 2:*Parámetros que determinan las acciones del viento en una estructura*

PARÁMETRO ASUNTO
presión máxima de velocidad q_p
velocidad básica del viento v_b
altura de referencia z_e
categoría de terreno
velocidad picó característica presión q_p
Intensidad de turbulencia I_v
velocidad media del viento v_m
coeficiente de orografía $c_o(z)$
coeficiente de rugosidad $c_r(z)$
PRESIONES DEL VIENTO, P. PARA REVESTIMIENTOS, FIJACIONES Y ESTRUCTURAS Y SUS PARTES
coeficiente de presión exterior c_{pe}
coeficiente de presión interna c_{pi}
coeficiente de presión neta c_p, net
presión del viento exterior: $w_e = q_p c_{pe}$
presión de viento interna: $w_i = q_p c_{pi}$
FUERZAS DEL VIENTO EN ESTRUCTURAS, P. PARA LOS EFECTOS GENERALES DEL VIENTO
factor estructural: $C_s C_d$
fuerza del viento F_w calculada a partir de los coeficientes de fuerza
fuerza del viento F_w calculada a partir de los coeficientes de presión

Nota: Esta tabla define los diferentes parámetros que determinan las acciones del viento en una estructura, presiones del viento y efectos generales del viento. Adaptado de (Breinlinger et al., 2011).

puente vehicular

Normatividad

En países de América del sur, central y norte, el diseño de cualquier estructura necesita cumplir con alguna normativa vigente, una de ellas es la asociación americana de oficiales de carreteras estables y transporte (AASHTO), esta proporciona especificaciones para cada proyecto velando por desempeñar un bosquejo de los diferentes factores de carga que puede estar sometida dicha edificación y tensiones admisibles poniendo en juicio la resistencia que soporta (PHI de LRFD), donde se da una estimación de cada constituyente que afecta la estructura que se encuentra en evaluación de transferencias de cargas y la metodología en donde se incorporan las soluciones proporcionadas por la experiencia de la ingeniería (Kuo et al., 2002).

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

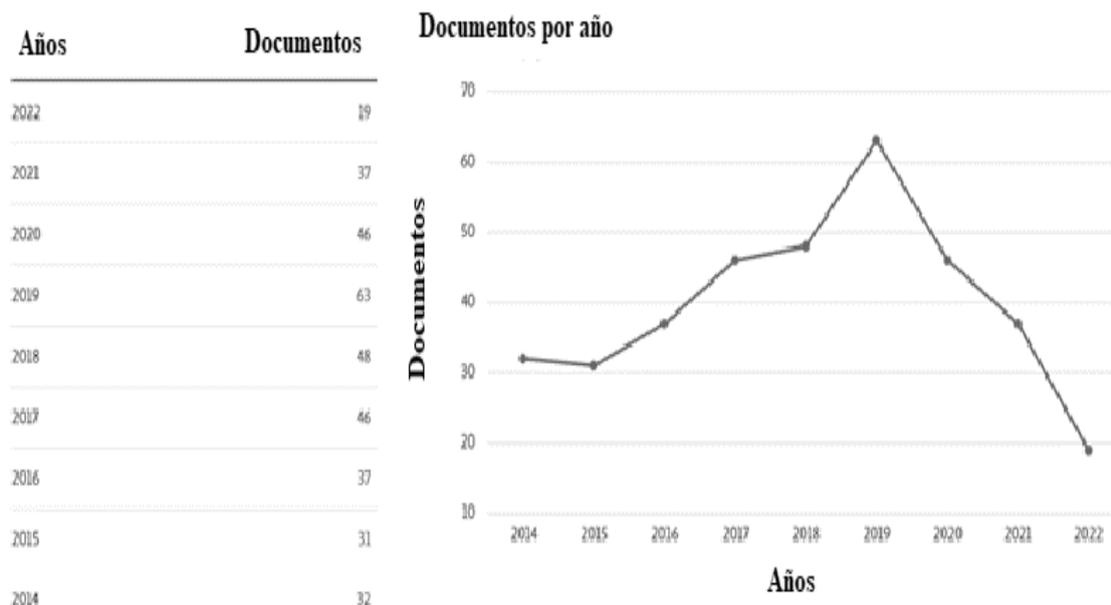
Esta sección se permite contextualizar la información determinando y analizando la variación de temperatura con respecto a las cargas térmicas superficiales, en cada tablero de hormigón. Para esto se consultó la base de datos SCOPUS con información crucial para el presente trabajo, en la que encuentra por medio de los siguientes parámetros de búsqueda

KEY (thermal AND energy OR temperature, AND bridge, OR viaduct, AND load , OR movement OR displacement OR action OR effect OR absorption), estas palabras clave permiten determinar la cantidad de documentos que se encuentran relacionados con este mismo paradigma que se cuestiona en los últimos 9 años como se demuestra gráficamente en la **Figura 12**, en donde se relacionan 359 reportes (Scopus, 2022):

puente vehicular

Figura 12:

Análisis de cantidad de documentos por año según base de datos Scopus.



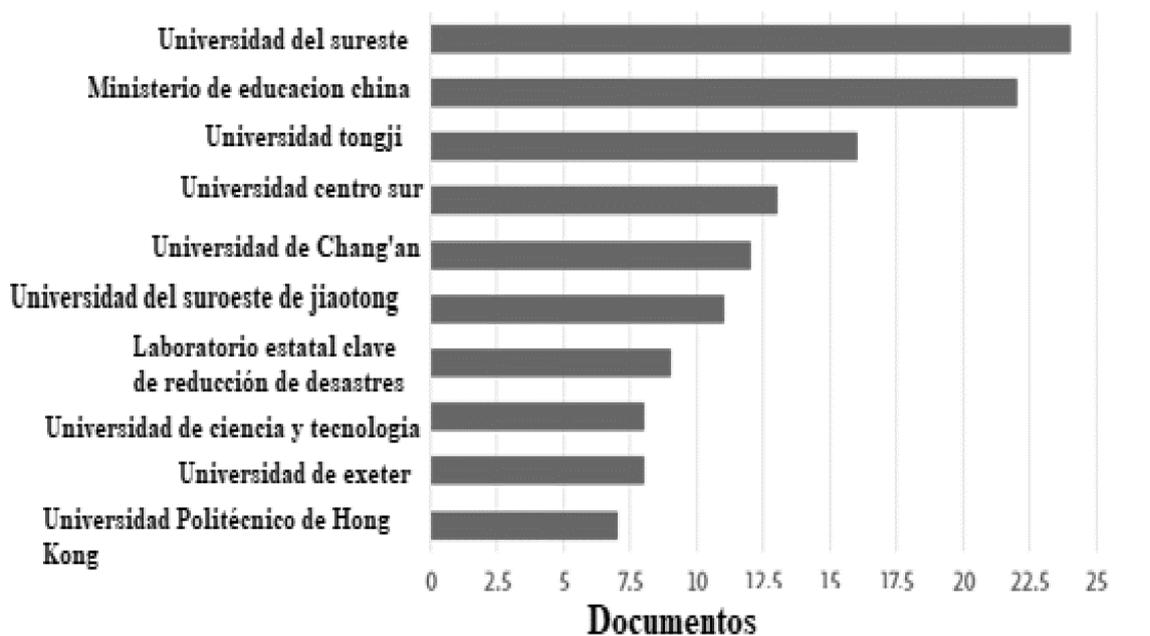
Nota: cantidad de documentos por año según base de datos Scopus. Adoptado de (Scopus, 2022).

La búsqueda anterior permitió determinar que, en el año 2019, se generó el mayor reporte de informes relacionados con este tema, en esta consideración se aplicó sobre la base de cada parámetro de búsqueda:

- ✓ Energía térmica o temperatura.
- ✓ Puente o viaducto.
- ✓ Carga o movimiento o desplazamiento o acción o efecto o absorción.

Además, se racionan diferentes fuentes de información que realizaron estudios afines, como se demuestra en la **Figura 13** (Scopus, 2022):

puente vehicular

Figura 13*Cantidad de documentos por institución según base de datos*

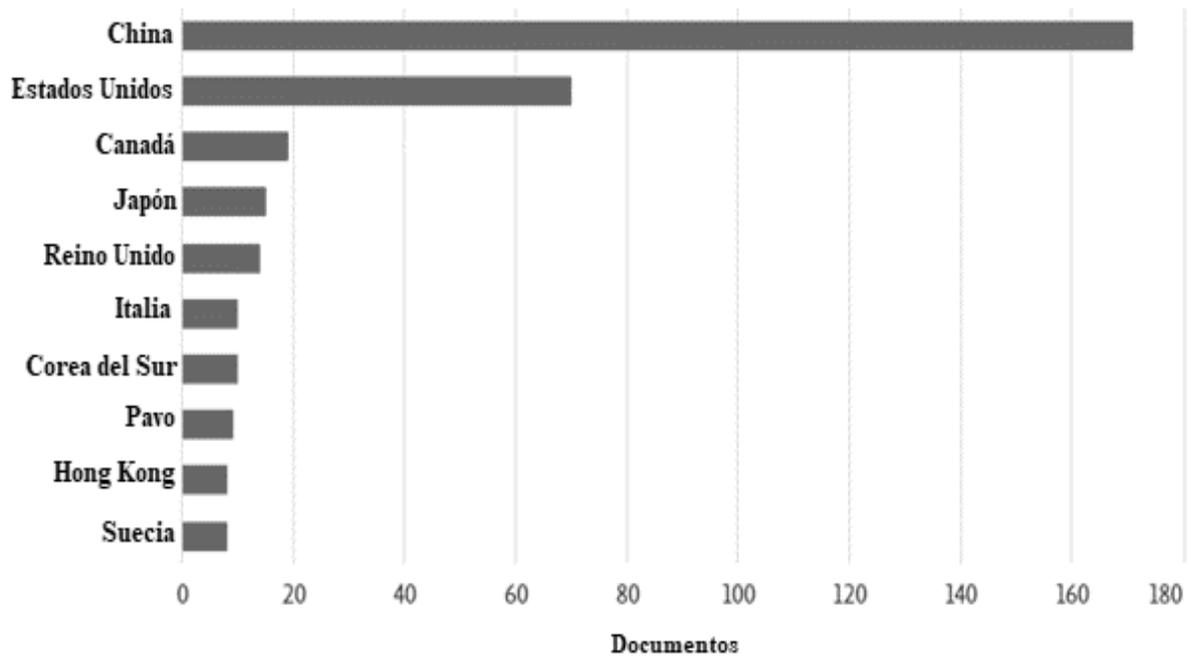
Nota: Anteriormente, visualizamos la cantidad de documentos por institución según base de datos Scopus. Adaptado de (Scopus, 2022).

En la tabla estadística presentada en la **Figura 13**, se evidencia que la Universidad del Sureste, establecida en el distrito de Campeche, en México, ha reportado en este periodo de tiempo la mayor cantidad de documentos concernientes al mismo tema, sin embargo, la mayor cantidad de estudios documentados por país o territorio ha generado más estudios conexos a la evaluación de energías térmicas en estructuras es China, según esta base de datos representada en la **Figura 14** (Scopus, 2022).

puente vehicular

Figura 14

Cantidad de documentos por país o territorio según base de datos



Nota: En el gráfico anterior se evidencia cantidad de documentos por país o territorio según base de datos Scopus. Adaptado de (Scopus, 2022).

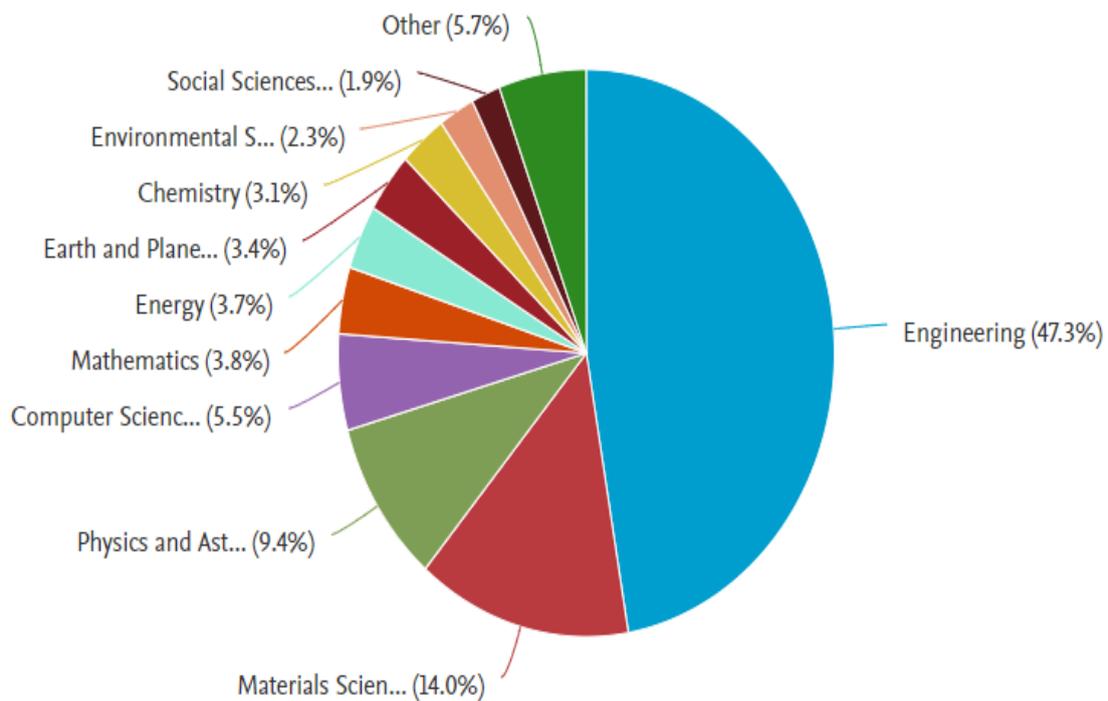
En la búsqueda de estas ilustraciones, se relacionan diferentes áreas descritas y cuantificadas en la **Figura 15**, donde se demuestra la cantidad de documentos relacionados en el área de publicación definida por la base de información Scopus, podemos resaltar que la rama de conocimientos más destacada en la búsqueda son artículos referentes a temas de ingeniería, aplicando los factores que se requieren para este trabajo.

puente vehicular

Adicionalmente, podemos descubrir los diferentes métodos que se encuentran relacionados en las diferentes referencias, que se encuentra citados, los documentos en la búsqueda obteniendo dicha documentación requerida, que tienen conocimientos coherentes con el tema de investigación de este proyecto visualizados en la **Tabla 3**, dividida en las diferentes técnicas de modelación, mediciones respectó a estudios térmicos en infraestructuras, contemplando efectos y evaluaciones al gradiente térmico.

Figura 15

Valores de cantidad de documentos por país o territorio según base de datos



Nota: La ilustración anterior define la cantidad de documentos por país o territorio según base de datos Scopus. Adaptado de (Scopus, 2022).

puente vehicular

Tabla 3:*Métodos y documentos relacionados*

Método	Nombre del documento	Cita
Modelación	Algoritmo de diagnóstico térmico de edificios históricos presentado para el ejemplo de una casa adosada en Lviv	(Orlik-Koźdoń, 2020)
Modelación	Evaluación continua de la condición de un puente con viga cajón basada en un sistema de monitoreo de salud estructural: un estudio de caso	(Chen, 2020)
Modelación	Métodos de simulación térmica para todo clima para puentes de levitación magnética de concreto basados en datos de monitoreo estructural y meteorológico	(Wang, 2021)
Modelación	Efecto del hormigón encajonado en el gradiente de temperatura de la sección de viga cajón de alma de acero corrugado	(Lu, 2021)
Modelación	Predicción del gradiente de temperatura vertical en una viga cajón de hormigón considerando diferentes ubicaciones en China	(Sheng, 2022)
Modelación	Medición de la respuesta térmica de puentes utilizando tecnologías basadas en visión y LVDT	(Borah, 2022)
Modelación	Calibración del Factor de Carga de Gradiente de Temperatura para el Diseño de Estado Límite de Servicio de Puentes de Losa sobre Viga de Concreto	(Elshoura, 2022)
Componentes de transferencia de calor	Análisis experimental del gradiente térmico en puentes viga cajón de hormigón y efectos del aislamiento de poliuretano en la reducción de cargas térmicas	(Raeesi, 2022)

puente vehicular

Componentes de transferencia de calor	Gradientes de temperatura y distribución de tensiones en puentes de vigas cajón de hormigón durante la pavimentación de mezcla asfáltica en caliente	(Él, 2021)
Componentes de transferencia de calor	Efectos estructurales del gradiente de temperatura en un puente de vigas continuas de hormigón pretensado: análisis y medidas de campo	(Hossain, 2020)
Componentes de transferencia de calor	Estudio a largo plazo sobre el efecto de la temperatura en la acción compuesta y la variación del eje neutro en losa sobre puentes de vigas	(Algoi, 2020)
Efectos térmicos	Perfiles de temperatura del puente revisados: análisis térmicos basados en datos meteorológicos recientes de Nevada	(Lawson, 2020)
Efectos térmicos	Evaluación de la precisión de las metodologías predictivas de flujo de calor del puente térmico	(Theodosiou, 2021)
Efectos térmicos	Avances en la investigación sobre el efecto térmico y la fatiga inducida por la temperatura de los puentes	(Wang, 2020)
Efectos térmicos	Análisis de temperatura de una viga cajón de acero considerando el campo de viento real	(Huang, 2021)

Nota: La tabla anterior define los documentos relacionados de la base de datos.

Adaptado de (Scopus, 2022).

Modelación

Como se ha expresado anteriormente, existen varios métodos para obtener un resultado basándonos en la variación de datos, para obtener una modelación o efecto, mecanismo o estudio investigativo, donde es necesario, realizar una indagación cuantitativa o cualitativa basándose en la recolección de información para lograr

puente vehicular

resolver la problemática establecida en cada planteamiento. Como se ha afirmado anteriormente, el objetivo de este estudio es obtener los fundamentos para concluir en que influye la variación del cambio climático, que se presenta en una infraestructura, en especial los viaductos que se encuentran expuestos a estos factores todo el tiempo a diferentes horarios en el transcurso del día.

En el trabajo (Borah, 2022), se generó una medición para garantizar la salud estructural y con ello la seguridad de los usuarios, de acuerdo a la variación térmica en la que se encuentra diariamente expuesta y que puede evidenciarse a medida que transcurre el tiempo, para este estudio se tomaron unos datos en referencia a la utilización de dos métodos de medición:

- ✓ Monitoreo basado en la visión (VBM).
- ✓ Transformadores diferenciales variables lineales (LVDT).

En el cual permitió realizar la comparación atestiguando la exactitud por medio de un análisis logarítmico, obteniendo los resultados térmicos que pueden ayudar a mejorar paulatinamente con el transcurso del tiempo el mantenimiento de cualquier edificación, en especial los viaductos o puentes elevados, sin embargo, para (Elshoura, 2022), se utilizó el método de confiabilidad de primer orden determinando los diferentes puntos escalonados que representan un riesgo, debido a que este cambio climático provocando esfuerzos que a su vez generan deformaciones del material de cada elemento estructural, promoviendo problemáticas futuras. Algo semejante, se realizó en el trabajo (Lu, 2021), en el cual se analizan los efectos del gradiente de temperatura en el alma del puente, donde se colocaron varios sensores idealizados para adquirir

puente vehicular

información de cada parámetro climático diferente, como el viento, cambio de temperatura y radiación.

Por otra parte, en China, según el documento (Sheng, 2022), se realizó una modelación, por medio de una simulación de la transición del cambio climático en una viga cajón de diferentes puentes, en distintos estados de ese país. El modelo que se utilizó es llamado método de elementos finitos, permitiendo así el cálculo de parámetros atmosféricos, proyectando antecedentes correctivos para encontrar el modelo más adecuado, e idóneo para la correlación coherente de los datos tomados y simulados. En ese mismo orden de ideas, para (Wang, 2021) utilizó este método de la misma manera, concluyendo la categoría impuesta por la misma energía absorbida en la estructura, instalando puntos estratégicos de mediciones diarias durante un periodo de tiempo establecido por el expositor.

De igual manera, en el viaducto que atraviesa el río Songhua, se encuentra expuesto a temperaturas muy bajas, donde se utilizaron monitoreo en dos temporadas diferentes con condiciones climáticas distintas en el transcurso de un año, donde se identificaron factores como la diferenciación de unidades térmicas acumuladas en elementos perpendiculares según (Chen, 2020), así mismo, en el artículo (Orlik-Koźdoń, 2020), se expone por medio de un análisis cuantitativo, se determinó que los parámetros físicos influyentes del medio ambiente, tales como el viento, la humedad y la radiación, obteniendo un simulacro de la conducta de los factores térmicos que permitan el mejoramiento del periodo de vida del mismo.

puente vehicular

Componentes de transferencia de calor

En el escrito (Hossain, 2020), se propone un análisis cuantitativo en Luisiana, Estados Unidos, en donde se realiza la comparación de temperaturas en una sección especial, debido a que se consideran componentes importantes para determinar la solución a esta problemática, en donde se verifica la ubicación, condiciones ambientales de la zona y orientación en la que se encuentra la edificación, de igual forma, al recolectar la información experimental tomada en el sitio seleccionado y los antecedentes determinados por la AASHTO, se encuentra que son estables dos datos obtenidos y no provocan falla en el material de las losas, en el puente John James Audubon.

De la misma manera, en otra parte del mundo, en Irán específicamente, se analizan simuladores con relación a la normativa vigente, para (Raeesi, 2022) es importante establecer, según del código de cargas estándar para puentes (ISLB), la utilización en los diseños de viaductos para determinar el gradiente de temperatura vertical en la viga cajón, en consecuencia, con un modelo tridimensional de cada elemento estructural, proponiendo soluciones alternativas para reducir efectos térmicos por medio de aislamiento de poliuretano. Para (Él, 2021) es importante determinar acciones térmicas en la capa asfáltica, el cual es uno de los componentes estructurales que se encuentra en la parte superior del puente, debido a que se encuentra expuesto por los factores climáticos al desgaste o erosión de la capa asfáltica a medida que pasa el tiempo. Para poder determinar los efectos que influyen diariamente en la estructura se realizó un monitoreo diario y análisis de la transferencia de calor, por medio de secciones transversales direccionadas a la losa de concreto para determinar el gradiente de temperatura que provoca dichas afectaciones. Paralelamente (Algoji, 2020), resalta

puente vehicular

las características mecánicas estudiadas para determinar el cambio de la ubicación inicial del eje central del elemento estructural, el cual permanece simultáneamente por cíclicos en un puente.

Efectos térmicos

Es conveniente identificar las afectaciones que se pueden presentar en las estructuras alrededor del mundo, creadas para brindar un servicio y comodidad a cualquier población, con diferentes espacios o conexiones más efectivas, debido a sus componentes o materiales. Los cambios climáticos en los que se encuentran expuestas diariamente provocan insuficiencias en los mantenimientos, ya que solo se tenía en cuenta para su diseño, para (Theodosiou, 2021), es considerable la falta de casos en los que se ha implementado necesidades a nivel adjetivo y de cantidad de afectaciones térmicas, para ello se determinó las evaluaciones de los efectos térmicos realizando cálculos y análisis avanzados con varios enfoques, de la misma manera, para (Huang, 2021), es necesario tener en cuenta todos los factores climáticos en los que se encuentra expuesta la estructura como es el viento, la radiación y el cambio de temperatura del medio ambiente, afectando coeficientes analíticamente importantes para el diseño y mantenimiento de la infraestructura, promoviendo parámetros como el análisis térmico para proyectar temperaturas en los elementos estructurales que conforman un puente.

En Nevada, Estados Unidos, se presenta un fenómeno de factores térmicos mayores a las especificaciones de las normas ISO, ASTM, ASME, CSA, NSF, NFPA y UL, por motivo de sus condiciones climáticas extremas, de acuerdo a los datos diarios reportados en ese país, para (Lawson, 2020), se analizaron mediciones meteorológicas de flujos de calor en Reno y las Vegas, donde se analizó en (Wang, 2020), los cambios térmicos en cualquier mes del año. En el cual se analiza el agotamiento estructural

puente vehicular

provocado por efectos atmosféricos, que determina los detalles de tensión térmica y produce a largo plazo un deterioro de la estructura y figuración de los materiales que lo conforman.

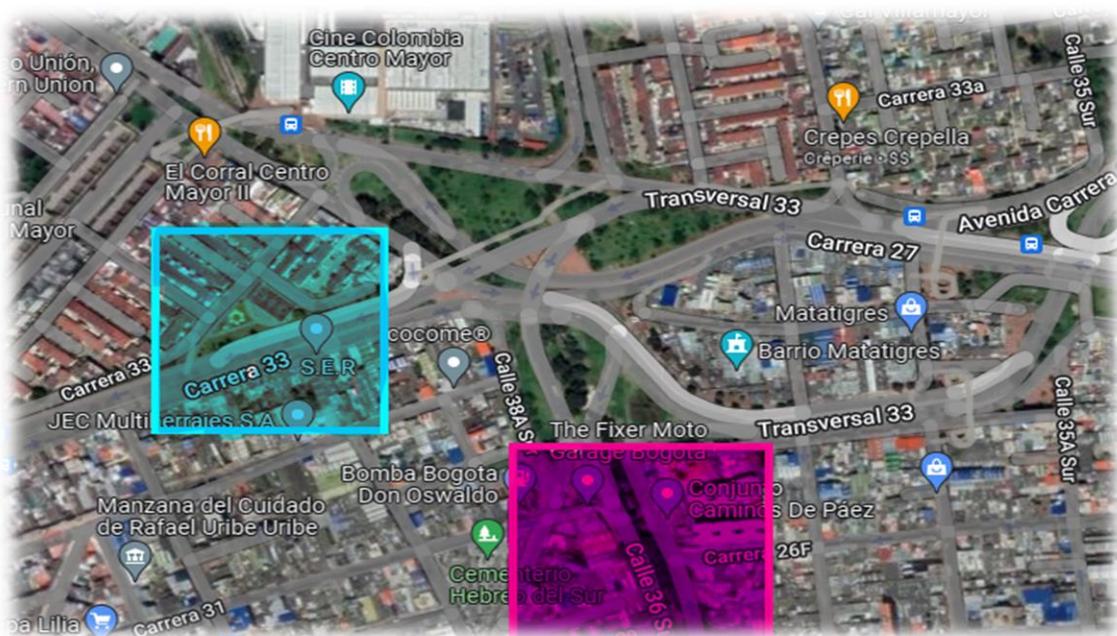
METODOLOGÍA

Zona de estudio

El puente vehicular curvo ubicado en la Avenida Jorge Gaitán Cortes con Avenida Quiroga, ilustrado en la **Figura 16**.

Figura 16

Ubicación satelital del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, curvo costado sur y norte.



Nota: Ilustración satelital tomada desde la fuente de información google maps, del puente vehicular en el barrio mata-tigres, en la localidad de Rafael Uribe. Adaptado de (Google, 2022).

puente vehicular

Su ingreso es por la transversal 33, con dos desvíos, el primero hacia la calle 38ª sur y finalizando en la carrera 33 (Camargo Triana, 2015), como se muestra en la

Figura 17.**Figura 17**

Puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga



Nota: Fotografía tomada al costado derecho del puente vehicular que acaba en la carrera 33. Adaptado de (Elaboración propia).

El segundo pasa por la calle 38 a sur y desemboca en la calle 36 sur en la localidad Rafael Uribe, UPZ Quiroga, de la ciudad de Bogotá (Camargo Triana, 2015), demostrado en la **Figura 18**.

Figura 18

Puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga



puente vehicular

Nota: Fotografía tomada al costado Izquierdo del puente vehicular que acaba en la calle 36 sur. Adaptado de (Elaboración propia).

Registro fotográfico puntos de análisis

Es necesario, especificar que para este análisis se utilizaron dos puntos estratégicos en las dos salidas del viaducto para cada vía. A continuación, en la **Figura 19**, encontramos una muestra de las fotografías tomadas en la calle 36 sur, en la parte superior de este y en la **Figura 20**, en la parte inferior.

Figura 19

Puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortes con Avenida Quiroga



Nota: Parte superior del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, saliendo por la calle 36 sur. Adaptado de (Elaboración propia)

puente vehicular

Figura 20

Puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortes con Avenida Quiroga



Nota: Parte inferior del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, saliendo por la calle 36 sur. Adaptado de (Elaboración propia).

De la misma manera, se ilustra en la **Figura 21**, una muestra del registro fotográfico tomado en la carrera 33, en la parte superior de este y en la **Figura 22**, en la parte inferior, ambas sobre la avenida Jorge Gaitán Cortés con avenida Quiroga, costando de norte - sur en un solo sentido, obteniendo los datos térmicos necesarios para su comparación y contribución al análisis de información, aportando información concreta y concisa al proyecto en curso.

puente vehicular

Figura 21

Puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga



Nota: Parte superior del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, saliendo por la carrera 33. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 22

Puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga



puede vehicular

Nota: Parte inferior del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, saliendo por la carrera 33. Adaptado de (Elaboración propia).

Instrumento de medición

Cámaras de imagen térmica FLIR ONE

Empleado para este proyecto, es un dispositivo de alta resolución, Pro-Series, versátil, con grandes facilidades de manejo y transporte, que se puede conectar a cualquier dispositivo móvil como Smartphone, iOS o Android, y cuenta con adaptador para diferentes entradas según se requiera, ofreciendo características que permiten mejorar la percepción de las imágenes, mostrado en la **Figura 23** y propiedad de la Universidad Antonio Nariño (TELEDYNE FLIR, 2022).

Figura 23

Cámaras de imagen térmica FLIR ONE



Nota: Modelo de cámara térmica FLIR ONE Pro. Tomado de (Flickr, 2022).

punte vehicular

Para este trabajo fue necesario utilizar este dispositivo que nos permite capturar diferentes capas de luz infrarroja en una sola imagen para determinar el efecto de absorción provocado en la superficie de un tablero de concreto, proveniente de una onda electromagnética ultravioleta o visible producida por el sol y determinada por su longitud, transportando energía e implementándola en ese objeto, de esta manera se recolectaron los datos necesarios para este análisis comparativo (José Luis Pérez, 2011).

Procedimiento para la recolección de datos

En primer lugar, se estableció que, para realizar la recolección de datos, es necesario solicitar el instrumento (Cámara térmica Flir One Pro) a la Universidad Antonio Nariño, 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.
- ✓ El segundo estudio va desde el 02/11/2021 hasta el 24/11/2021, donde de la misma forma se obtuvo el registro fotográfico requerido.

Es importante mencionar que para poder ejecutar esta investigación se requirió trasladarse hasta la ubicación del puente con el dispositivo y tomar las imágenes en la mañana entre las 4 am mínimo y máximo hasta las 8 am, después de la misma forma en la tarde al medio día, es decir, que se requirió diariamente durante esos periodos de tiempo de cuatro horas.

Para poder obtener la diferencia de temperatura deseada, fue necesario cumplir con el periodo de tiempo de 22 días aproximadamente para recolectar los datos, este nos

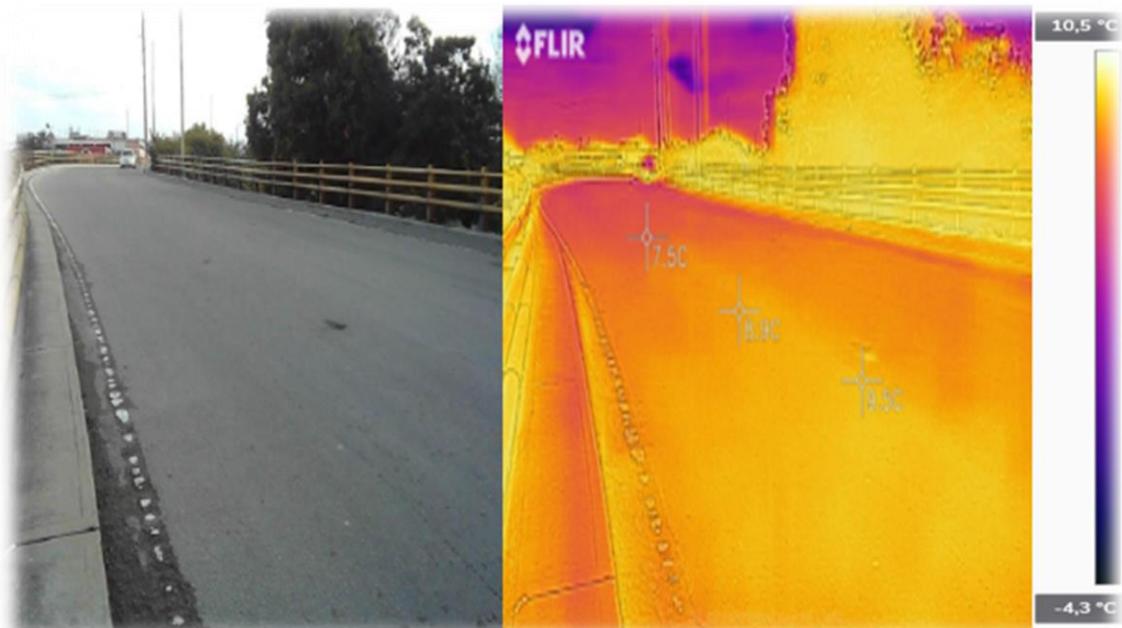
puente vehicular

permitió establecer la comparación entre los dos puntos del puente, en su costado curvo por la carrera 33 y el costado curvo en la calle 36 sur, en dos temporadas diferentes para considerar las equivalencias.

En la **Figura 24** se puede visualizar cada imagen, donde se encuentra como fotografía térmica y fotografía normal.

Figura 24

Fotografía Tomada desde la cámara térmica y con doble visual



Nota: Fotografía Tomada desde la cámara térmica el 26 de marzo del año 2021, obteniendo datos de la variación térmica entre los 10.5°C y -4.3°C, identificando espectros electromagnéticos con doble visual. Adaptado de (Elaboración propia).

A continuación, en la Tabla 6 se describen las características relevantes de la salida diaria a campo, durante esas dos temporadas del año 2021, para la recopilación de datos

punto vehicular

de temperatura, confirmado los diferentes comportamientos del gradiente térmico en la superficie de cada tablero que compone el puente.

Tabla 4

Características a relevantes de la salida a campo

Salida a campo diaria	Fechas inicio	Fechas, Fin	Lugar	Método aplicación	Franja horaria en la mañana	Franja horaria en la tarde
Marzo a abril	2021/03/26 - 2021/03/28	20210414 - 20210416	Puente vehicular en la avenida Jorge Gaitán Cortés con avenida Quiroga	Fotos térmicas	4 am a 7 am	11 am a 2 pm
Noviembre	20211102	20211124	Puente vehicular en la avenida Jorge Gaitán Cortés con avenida Quiroga	Fotos térmicas	4 am a 7 am	11 am a 2 pm

puente vehicular

Nota: Características relevantes de la salida a campo para la recolección de datos por medio de las fotografías térmicas. Adaptado de (Elaboración propia).

Recopilación de datos satelitales

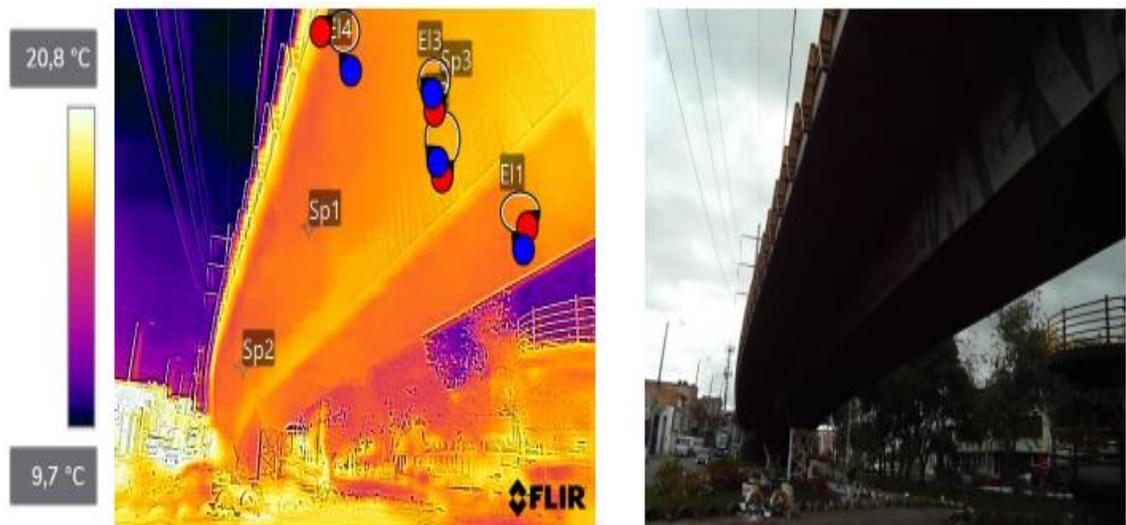
Dentro de este orden de ideas, para poder analizar la información obtenida en las dos épocas, se extrajeron diferentes bases de datos de diferentes fuentes, como en la página web (The weather company, 2014, 2022), en la opción historial del tiempo en la estación aeropuerto internacional el dorado en Bogotá; donde se obtuvieron datos de temperatura en grados Celsius, punto de rocío, porcentaje de humedad, la 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 (Giovanni Nasa, 2022), después de visitar el canal GESDISC (Ciencias de la tierra goddard y centro de servicios de Información y datos) de la NASA y adicionalmente se consultó la página de NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2022), reconocidos como los centros nacionales de información ambiental, donde se tomaron datos climáticos en línea de la temperatura media, en la estación aeropuerto internacional el dorado en Bogotá, Colombia.

Para realizar el análisis para esta investigación, se tomaron varias áreas de forma elíptica como referencia para la adquisición de medidas de temperatura, por medio de cuatro elipses por imagen, las cuales se pueden detallar en la siguiente **Figura 25**.

puente vehicular

Figura 25

Fotografía ejemplo de recolección de datos



Nota: Fotografía, ejemplo de recolección de datos demostrando las elipses en diferentes puntos de referencia.

A partir de ésta, se puede detallar en la siguiente Figura 26, los datos ejemplo para visualizar la representación de los datos que genera el aplicativo FLIR TOOLS, para su análisis

Figura 26

Mediciones ejemplo del aplicativo

Measurements		EI2		EI4	
Sp1	17,1 °C	Max	18,0 °C	Max	17,9 °C
Sp2	17,1 °C	Avg	17,8 °C	Avg	17,3 °C
Sp3	17,6 °C	Min	17,6 °C	Min	17,0 °C
EI1		EI3			
Max	17,6 °C	Max	17,8 °C		
Avg	17,4 °C	Avg	17,6 °C		
Min	17,2 °C	Min	17,5 °C		

puente vehicular

Nota: Mediciones ejemplo del aplicativo donde se evidencia los diferentes puntos y elipses descritas anteriormente.

En lo que se refiere a la idea anterior, se seleccionaron los datos de la elipse número tres, como se demuestra en la **Tabla 5**, mostrando los promedios de temperatura por fecha y periodo.

Tabla 5:

Promedios de temperatura de la elipse número tres

Periodo	Consecutivo/ fecha	Promedio Elipse_E_T
Marzo a abril	20210326T065642	9,3
Marzo a abril	20210328T064450	13,4
Marzo a abril	20210329T052521	14,8
Marzo a abril	20210330T063833	12,2
Marzo a abril	20210331T053457	15,4
Marzo a abril	20210401T070143	13,76666667
Marzo a abril	20210402T065252	16,66666667
Marzo a abril	20210403T064443	16
Marzo a abril	20210404T064951	16,13333333
Marzo a abril	20210405T054001	14,9
Marzo a abril	20210406T064115	14,6
Marzo a abril	20210407T054614	8,33333333
Marzo a abril	20210408T065428	12,43333333
Marzo a abril	20210413T053636	12,13333333

puente vehicular

Marzo a abril	20210414T065316	12,83333333
Marzo a abril	20210415T053810	14,6
Marzo a abril	20210416T063050	14,66666667
Marzo a abril	20210416T063053	14,56666667
Noviembre	20211102_053148	16,83333333
Noviembre	20211104_065053	15,16666667
Noviembre	20211105_054157	10,1
Noviembre	20211106_065004	11,53333333
Noviembre	20211107_065738	14,06666667
Noviembre	20211108_065311	17,53333333
Noviembre	20211109_053852	11,5
Noviembre	20211110_064648	15,46666667
Noviembre	20211111_054154	16,06666667
Noviembre	20211112_064509	16,73333333
Noviembre	20211113_065402	17,56666667
Noviembre	20211114_062335	14,76666667
Noviembre	20211115_061602	9,06666667
Noviembre	20211116_055511	16,13333333
Noviembre	20211117_064552	16,3
Noviembre	20211118_064655	15,4
Noviembre	20211119_063457	13,06666667
Noviembre	20211120_070029	16,2
Noviembre	20211121_065355	18,46666667

puente vehicular

Noviembre	20211122_062256	14,06666667
Noviembre	20211123_054146	17
Noviembre	20211124_065037	17,13333333
Marzo a abril	20210328T062948	14,93333333
Marzo a abril	20210329T052715	18,56666667
Marzo a abril	20210330T064046	15,83333333
Marzo a abril	20210331T053624	17,9
Marzo a abril	20210401T070318	19,1
Marzo a abril	20210402T065430	17,43333333
Marzo a abril	20210403T064611	17,86666667
Marzo a abril	20210404T065139	20,26666667
Marzo a abril	20210405T054130	19,7
Marzo a abril	20210406T064255	20,13333333
Marzo a abril	20210407T054719	16,56666667
Marzo a abril	20210408T065609	20
Marzo a abril	20210413T053752	16,06666667
Marzo a abril	20210414T065453	15,73333333
Noviembre	20211102_053306	18,93333333
Noviembre	20211104_065316	19,16666667
Noviembre	20211105_054329	18,73333333
Noviembre	20211106_065230	19,66666667
Noviembre	20211107_070142	19,23333333
Noviembre	20211108_065457	20,33333333

puente vehicular

Noviembre	20211109_054027	19,16666667
Noviembre	20211110_064845	19,33333333
Noviembre	20211111_054327	18,83333333
Noviembre	20211112_064652	20,8
Noviembre	20211113_065608	22,03333333
Noviembre	20211114_062536	19,9
Noviembre	20211115_061756	20,43333333
Noviembre	20211116_055641	20,56666667
Noviembre	20211117_064735	18,8
Noviembre	20211118_064856	20,56666667
Noviembre	20211119_063659	20,36666667
Noviembre	20211120_070245	21,13333333
Noviembre	20211121_065630	19,96666667
Noviembre	20211122_062451	19,63333333
Noviembre	20211123_054400	18,6
Noviembre	20211124_065216	18,03333333

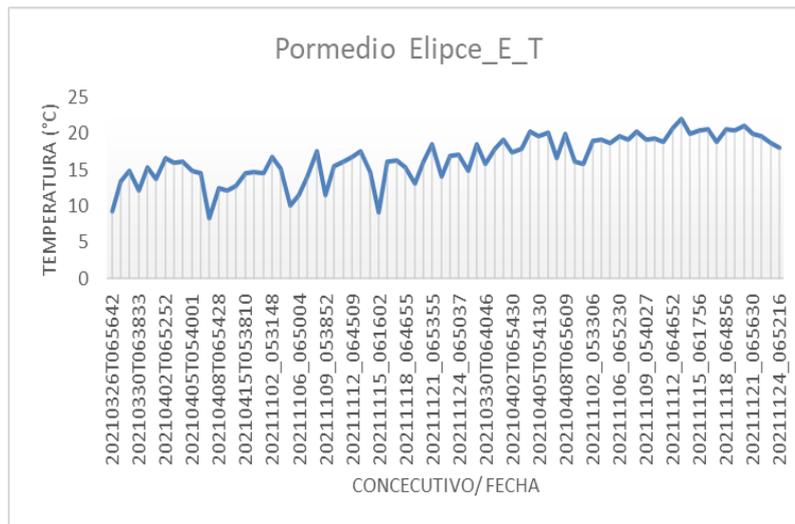
Nota: Promedios de temperatura de la elipse número tres, en el costado del puente vehicular sobre la Avenida Jorge Gaitán Cortes con Avenida Quiroga, saliendo por la calle 26 sur.

De acuerdo, a la información contenida en la **Tabla 5**, se generó la gráfica representada en la **Figura 27**, en donde se reflejan las variaciones térmicas definidas en grados Celsius con respecto a cada temporada.

puente vehicular

Figura 27

Promedios de la elipse número tres, datos de temperatura con respecto a la fecha de la toma de datos.



Nota: Promedios de la elipse número tres, datos de temperatura con respecto al consecutivo definido por la fecha y hora.

Por otra parte, se deben considerar las siguientes Ecuación 4, Ecuación 5, Ecuación 6 y Ecuación 7 relacionadas para calcular las temperaturas ideales de la parte superior y de la parte inferior del puente, para encontrar el equilibrio de energías definida en la Ecuación 8.

Ecuación 4:

Energía por radiación solar (Es)

$$Es = a * radiación solar \quad (4)$$

Ecuación 5:

Energía por convección (Ecov)

puente vehicular

$$E_{cov} = hA * (T1 - TA) \quad (5)$$

Ecuación 6:

Energía por irradiación (Ei)

$$E_i = \epsilon\sigma A * (T1^4 - TA^4) \quad (6)$$

Ecuación 7:

Energía por conducción (Ecd)

$$E_{cd} = \frac{T3-T1}{\left(\frac{Lc}{kcA}\right) + \left(\frac{Ln}{kaA}\right)} \quad (7)$$

Ecuación 8:

Equilibrio de energías

$$E_s + E_{cov} + E_i + E_{cd} = 0 \quad (8)$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de datos se obtuvieron resultados de acuerdo a las variaciones del cambio climático que pueden afectar a 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 unas 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 del año 2021, al 16 de abril del año 2021 de la parte superior y de la parte inferior va del el 28 de marzo del año 2021, al 14 de abril del año 2021, en estación seca y del 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021, en

puente vehicular

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, medida de temperatura superficial en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), en la **Tabla 6**, se encuentra detallado el rango de temperatura media. Cuanto mayor sea el valor, mayor será la temperatura del sitio. Cuanto menor sea el valor, más cercana será la temperatura media de la estación a lo largo de los años (IDEAM, IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018, pág. 5).

Tabla 6:

Rango de anomalías de temperatura media.

<i>Anomalía de temperatura media ($^{\circ}\text{C}$)</i>
-5 A -2
-2 A -1,5
-1,5 A -1
-1 A -0,5
-0,5 A 0,5
0,5 A 1
1 A 1,5
1,5 A 2
2 A 5

Nota: Rangos de anomalías de temperatura media. Adaptado de (IDEAM, IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018).

Los elementos de este puente se componen de materiales como el asfalto y el concreto, por lo cual para poder determinar la temperatura ideal se deben conocer los parámetros de estos materiales para poder realizar la modelación ideal, definidos en la **Tabla 7**.

puente vehicular

Tabla 7:*Características parametrizadas de los materiales*

Material	Parámetros	Unidad	Valor
Asfalto	Densidad	kg/m ³	2400
	Conductividad térmica	W/(m x °C)	2
	Calor específico	J/(kg x °C)	900
	Coeficiente de absorción	sin unidades	0.7
	Coeficiente de emisividad	sin unidades	0.9
	Coeficiente de expansión térmica	°C	0.000008
Concreto	Densidad	kg/m ³	2100
	Conductividad térmica	W/(m x °C)	1
	Calor específico	J/(kg x °C)	920
	Coeficiente de absorción	sin unidades	0.9
	Coeficiente de emisividad	sin unidades	0.9
	Coeficiente de expansión térmica	°C	-

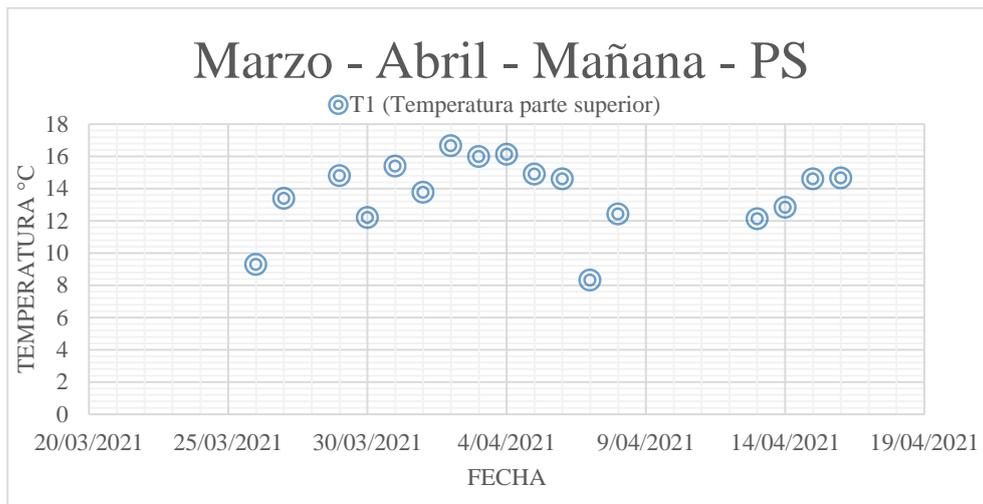
Nota: Propiedades de materiales que conforman los elementos que conforman el puente vehicular en la avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga. Adaptado de (Wayne, 1999).

- ✓ Calle 36 sur (marzo-abril).

A continuación, se define el promedio resultante de la toma de datos diarios en la mañana ilustrada en la **Figura 28** (parte superior) y en la **Figura 29** (parte inferior); y en la tarde visualizada en la **Figura 30** (parte superior) y en la **Figura 31**(parte inferior).

Figura 28*Promedio de temperaturas parte superior en horario de la mañana*

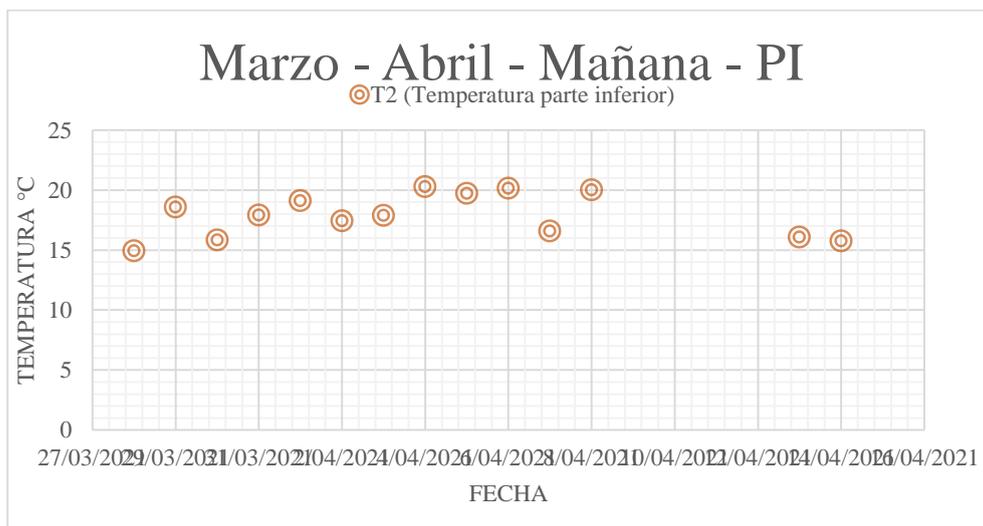
puente vehicular



Nota: Promedio de temperaturas en horario de la mañana entre las 6:00 am y 7:00 am, desde el 26 de marzo del año 2021, al 16 de abril del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 29

Promedio de temperaturas parte inferior en horario de la mañana

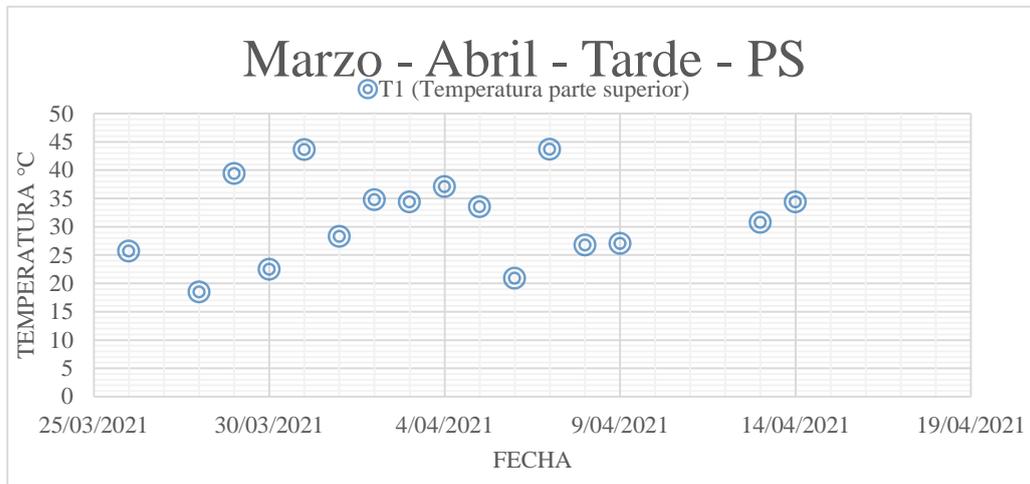


Nota: Promedio de temperaturas en horario de la mañana entre las 6:00 am y 7:00 am, desde el 28 de marzo del año 2021, al 14 de abril del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

puente vehicular

Figura 30

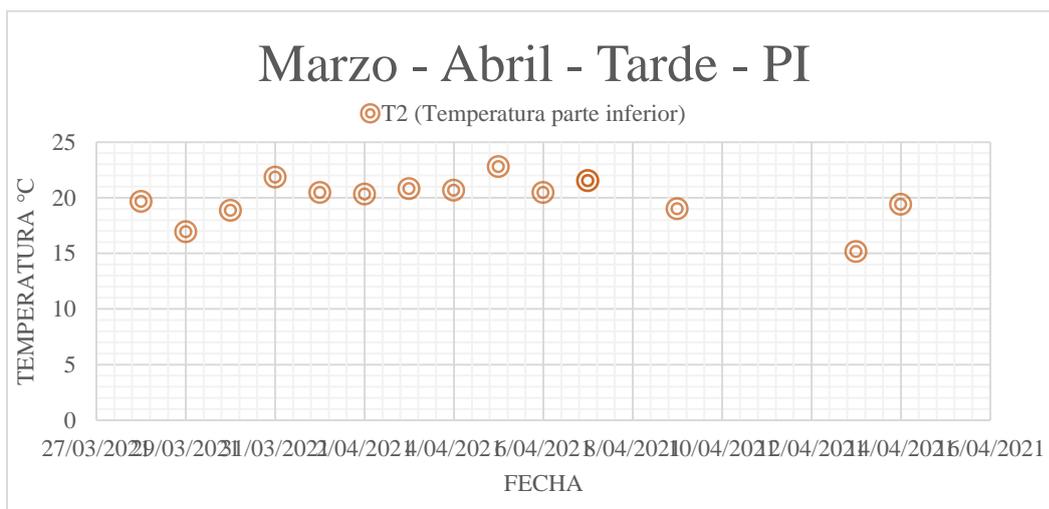
Promedio de temperaturas parte superior en horario de la tarde



Nota: Promedio de temperaturas en horario de la tarde entre las 12:00 pm 1:00 pm, desde el 26 de marzo del año 2021, al 16 de abril del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 31

Promedio de temperaturas parte inferior en horario de la tarde



puente vehicular

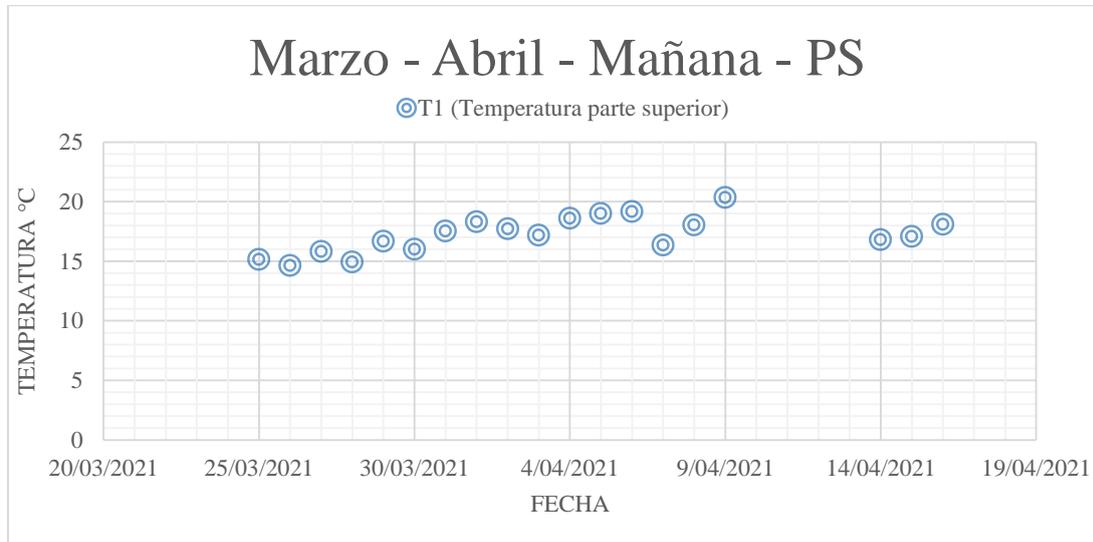
Nota: Promedio de temperaturas en horario de la tarde entre las 12:00 pm y 1:00 pm, desde el 28 de marzo del año 2021, al 14 de abril del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

✓ Carrera 33 (Marzo-Abril)

A continuación, se define el promedio resultante de la toma de datos diarios en la mañana ilustrada en la **Figura 32** (parte superior) y en la **Figura 33** (parte inferior); y en la tarde visualizada en la **Figura 34** (parte superior) y en la **Figura 35** (parte inferior).

Figura 32

Promedio de temperaturas parte superior en horario de la mañana

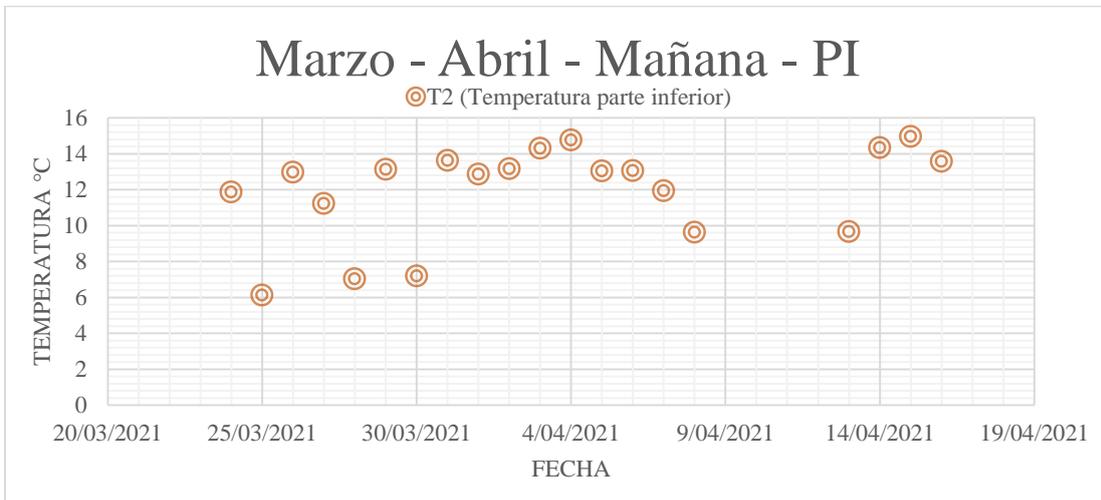


Nota: Promedio de temperaturas en horario de la mañana entre las 6:00 am y 7:00 am, desde el 26 de marzo del año 2021, al 16 de abril del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

puente vehicular

Figura 33

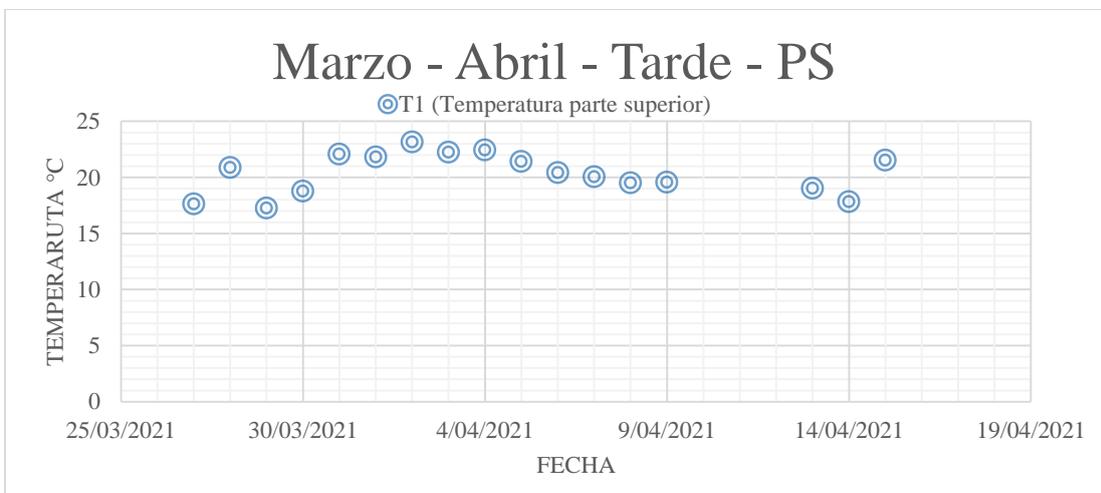
Promedio de temperaturas parte inferior en horario de la mañana



Nota: Promedio de temperaturas en horario de la mañana entre las 6:00 am y 7:00 am, desde el 28 de marzo del año 2021, al 14 de abril del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 34

Promedio de temperaturas parte superior en horario de la tarde

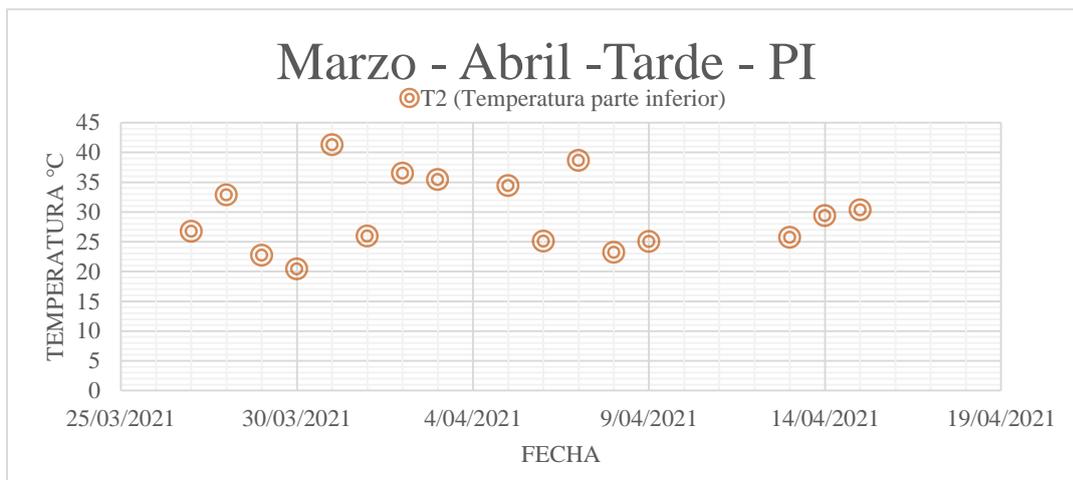


puente vehicular

Nota: Promedio de temperaturas en horario de la tarde entre las 12:00 pm y 1:00 pm, desde el 26 de marzo del año 2021, al 16 de abril del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 35

Promedio de temperaturas parte inferior en horario de la tarde



Nota: Promedio de temperaturas en horario de la tarde entre las 12:00 pm y 1:00 pm, desde el 28 de marzo del año 2021, al 14 de abril del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

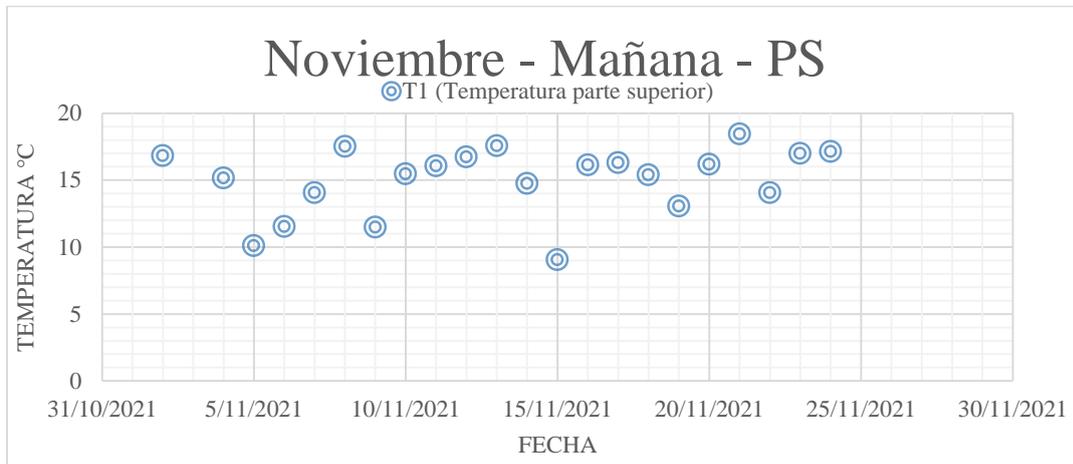
✓ Calle 36 sur (noviembre)

A continuación, se define el promedio resultante de la toma de datos diarios en la mañana ilustrada en la **Figura 36** (parte superior) y en la **Figura 37** (parte inferior); y en la tarde visualizada en la **Figura 38** (parte superior) y en la **Figura 39** (parte inferior).

puente vehicular

Figura 36

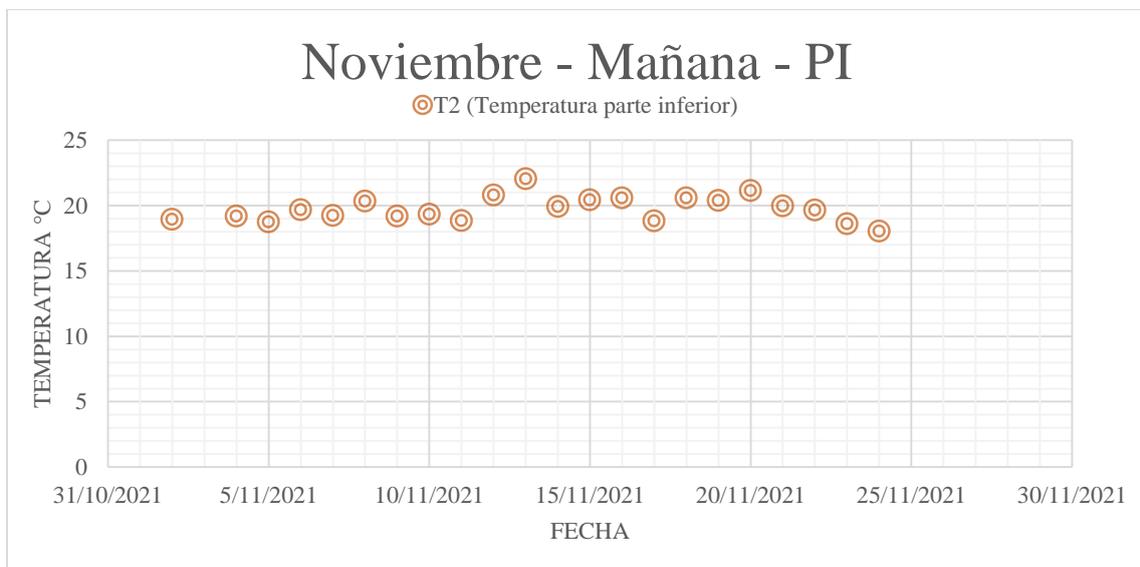
Promedio de temperaturas parte superior en horario de la mañana



Nota: Promedio de temperaturas en horario de la mañana entre las 6:00 am y 7:00 am, desde el 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 37

Promedio de temperaturas parte inferior en horario de la mañana

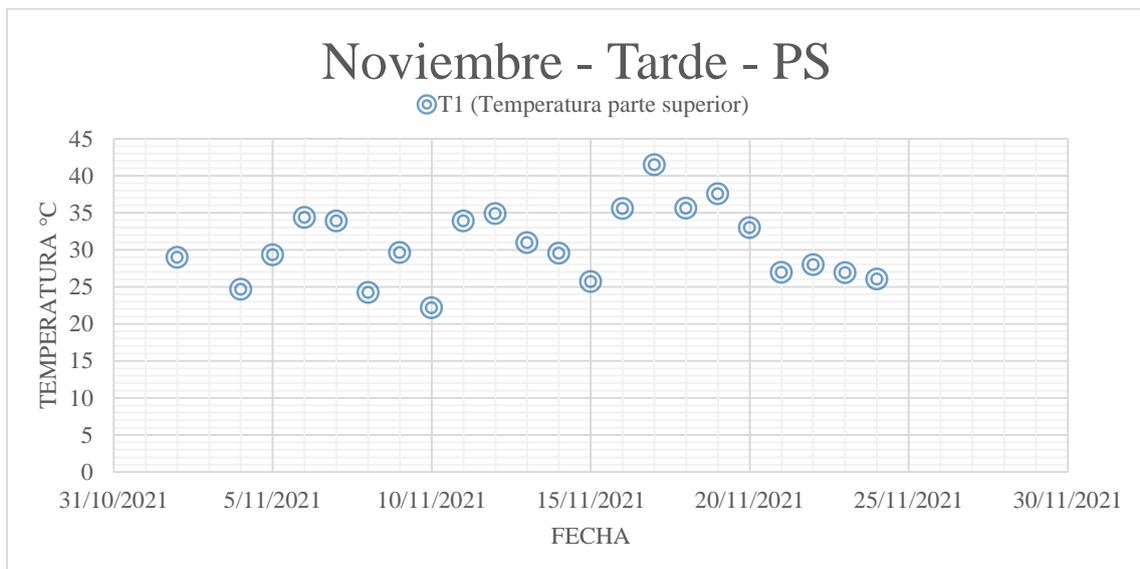


puente vehicular

Nota: Promedio de temperaturas en horario de la mañana entre las 6:00 am y 7:00 am, desde el 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 38

Promedio de temperaturas parte superior en horario de la tarde

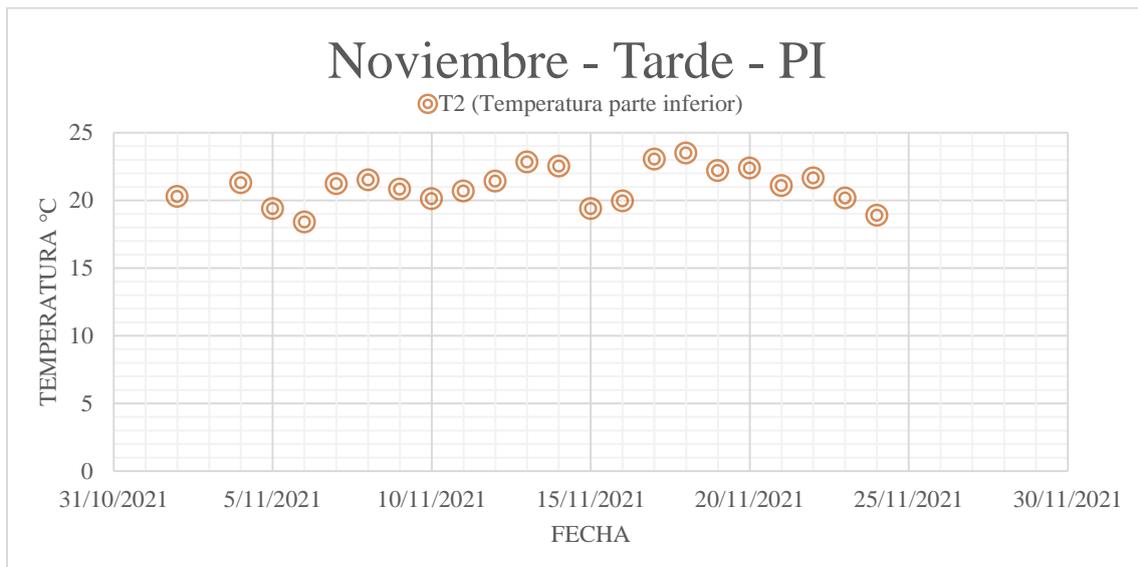


Nota: Promedio de temperaturas en horario de la tarde entre las 12:00 pm a 1:00 pm, desde el 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 39

Promedio de temperaturas parte inferior en horario de la tarde

puente vehicular



Nota: Promedio de temperaturas en horario de la tarde entre las 12:00 pm y 1:00 pm, desde el 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

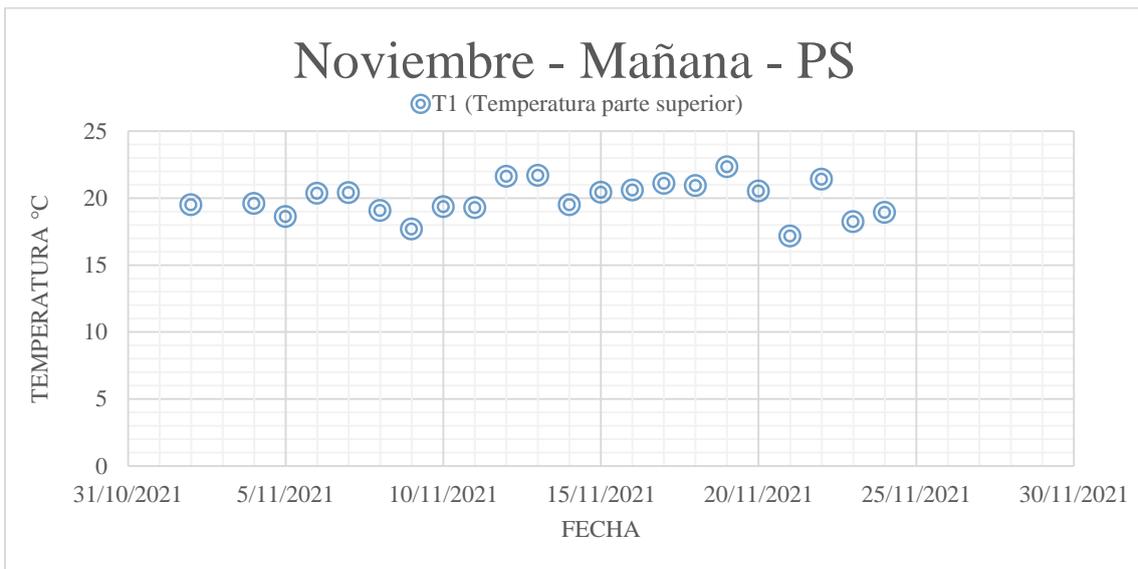
✓ Carrera 33 (noviembre)

A continuación, se define el promedio resultante de la toma de datos diarios en la mañana ilustrada en la **Figura 40** (parte superior) y en la **Figura 41** (parte inferior); y en la tarde visualizada en la **Figura 42** (parte superior) y en la **Figura 43** (parte inferior).

Figura 40

Promedio de temperaturas parte superior en horario de la mañana

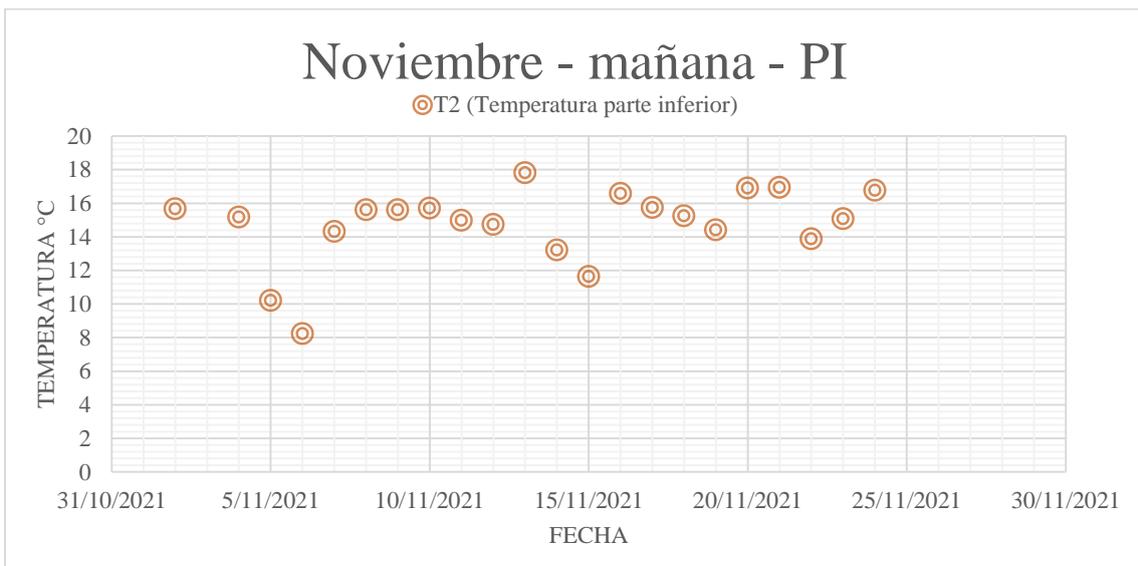
puente vehicular



Nota: Promedio de temperaturas en horario de la mañana entre las 6:00 am y 7:00 am, desde el 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 41

Promedio de temperaturas parte inferior en horario de la mañana

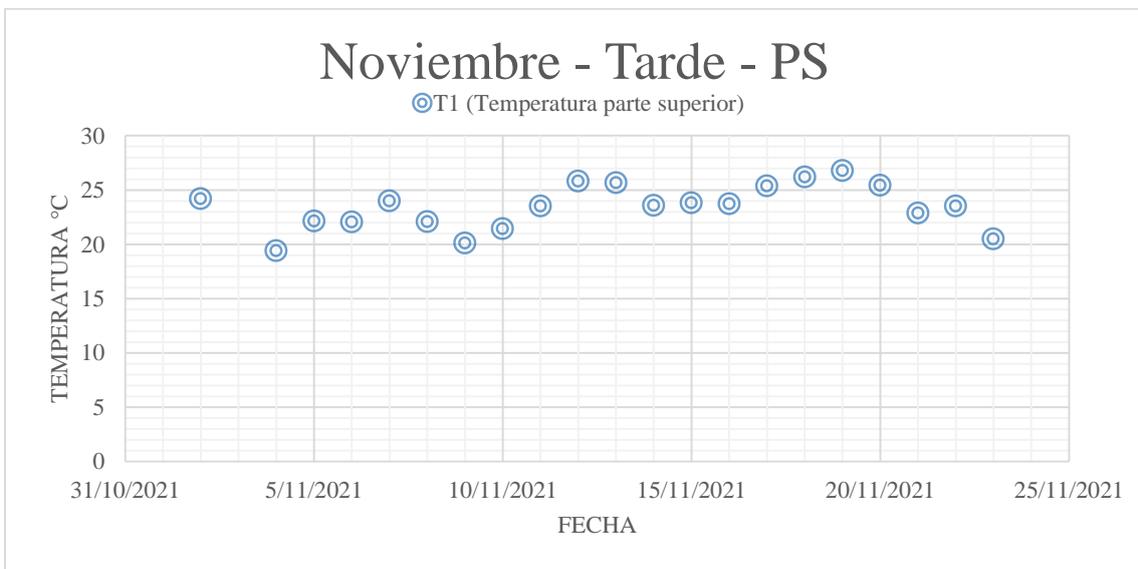


puente vehicular

Nota: Promedio de temperaturas en horario de la mañana entre las 6:00 am y 7:00 am, desde el 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 42

Promedio de temperaturas parte superior en horario de la tarde

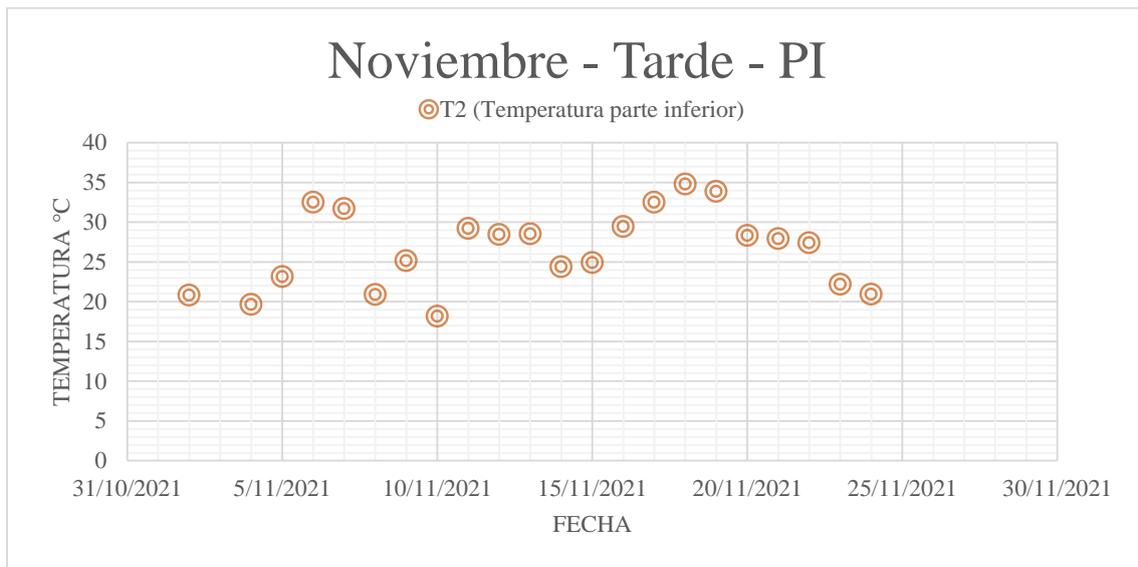


Nota: Promedio de temperaturas en horario de la tarde entre las 12:00 pm y 1:00 pm, desde el 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

Figura 43

Promedio de temperaturas parte inferior en horario de la tarde

puente vehicular



Nota: Promedio de temperaturas en horario de la tarde entre las 12:00 pm y 1:00 pm, desde el 02 de noviembre del año 2021, al 24 de noviembre del año 2021. Adaptado de (Elaboración propia).

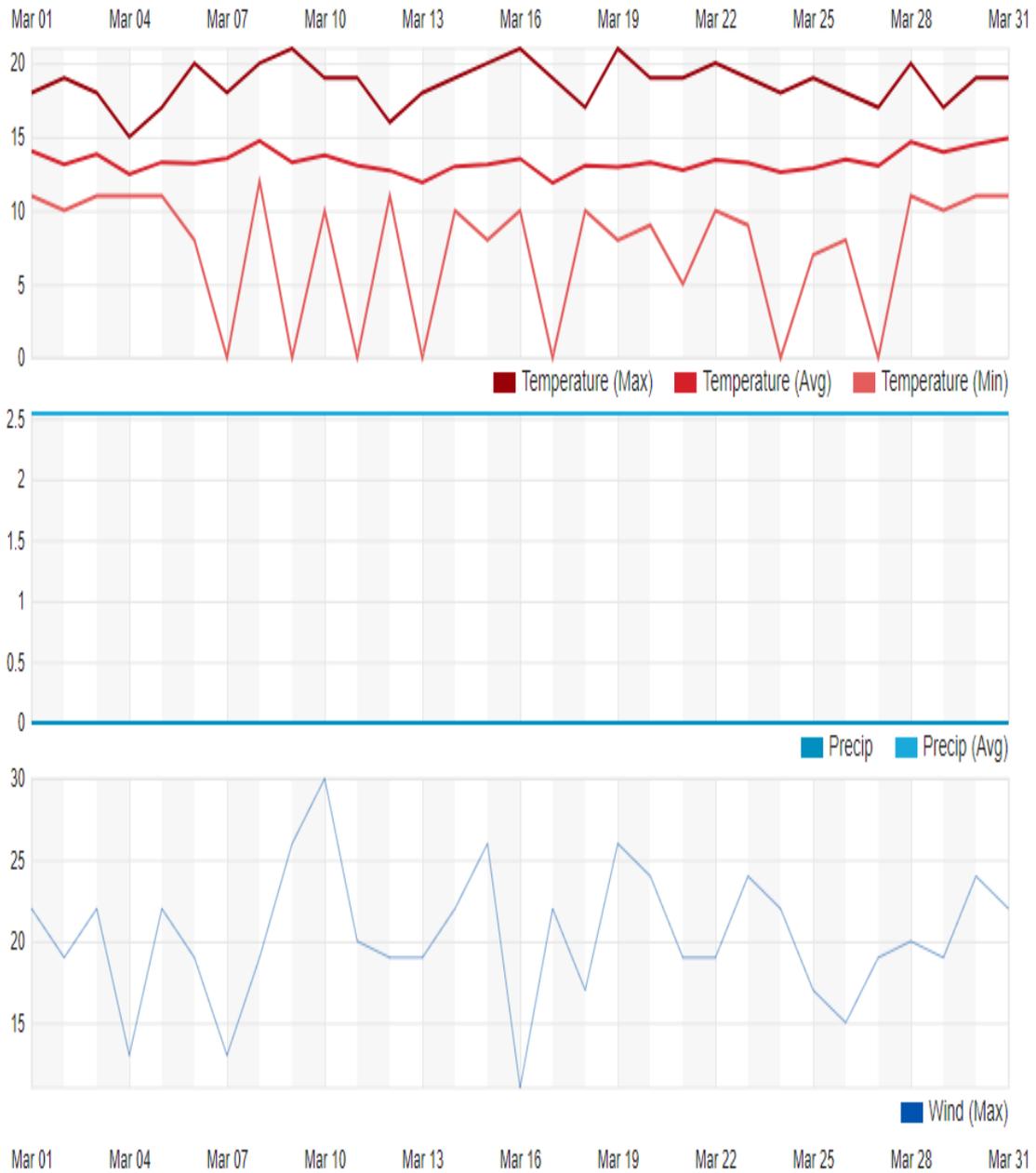
En el cual se obtuvieron como datos experimentales, recolectados en campo, para demostrar el comportamiento del cambio de temperatura en el puente vehicular en estudio.

Para poder definir la temperatura ideal superficial superior en los tableros de asfalto y los tableros de concreto, 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 44**, se encuentra gráficamente las relaciones de estos datos en el mes de marzo, en la **Figura 45**, del mes de abril y en la **Figura 46**, en el mes de noviembre.

puente vehicular

Figura 44

Datos de Weather History del mes de marzo

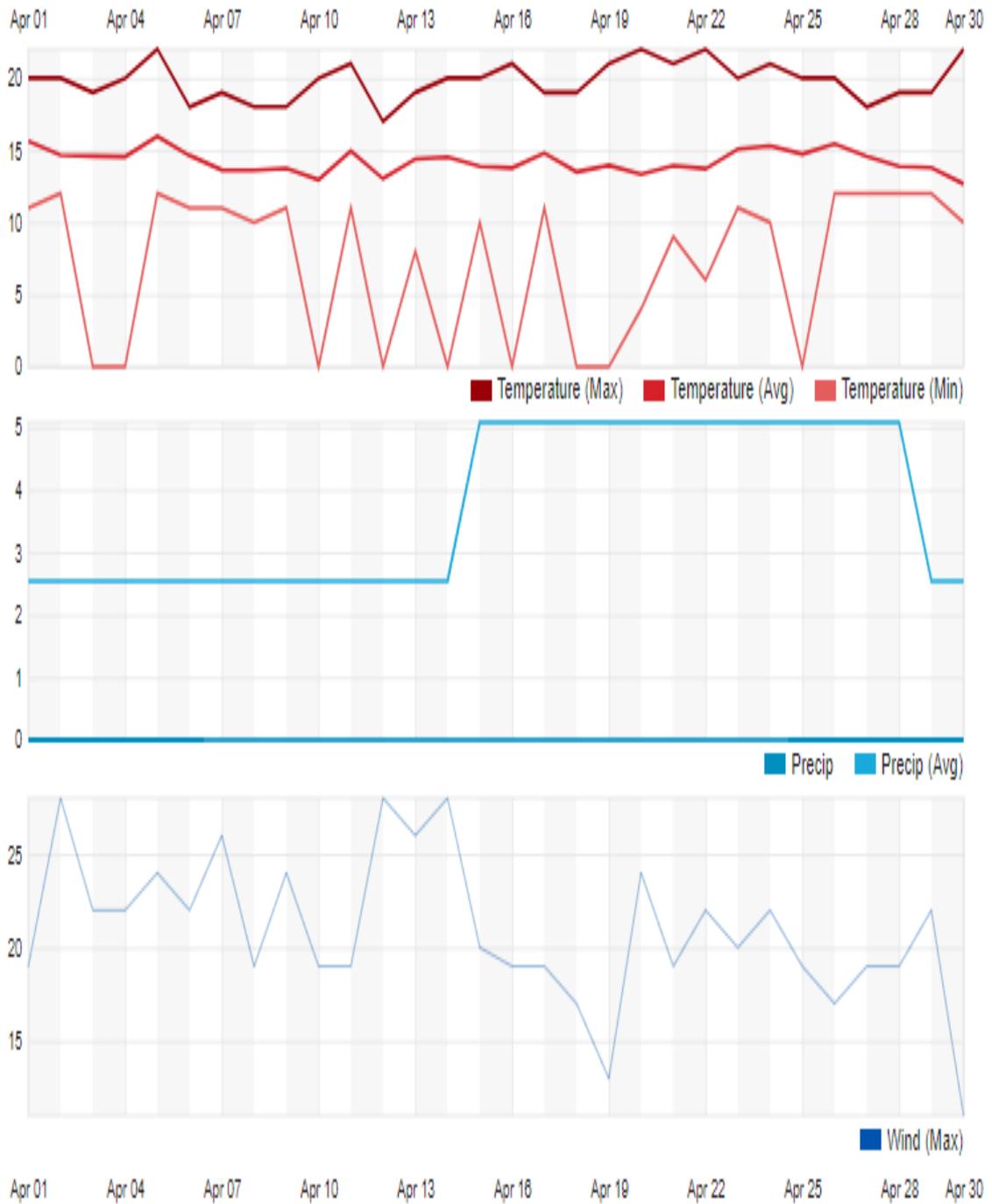


Nota: Datos atmosféricos recopilados por Weather History del mes de marzo. Adaptado de (The weather company, 2014, 2022).

puente vehicular

Figura 45

Datos de Weather History del mes de abril

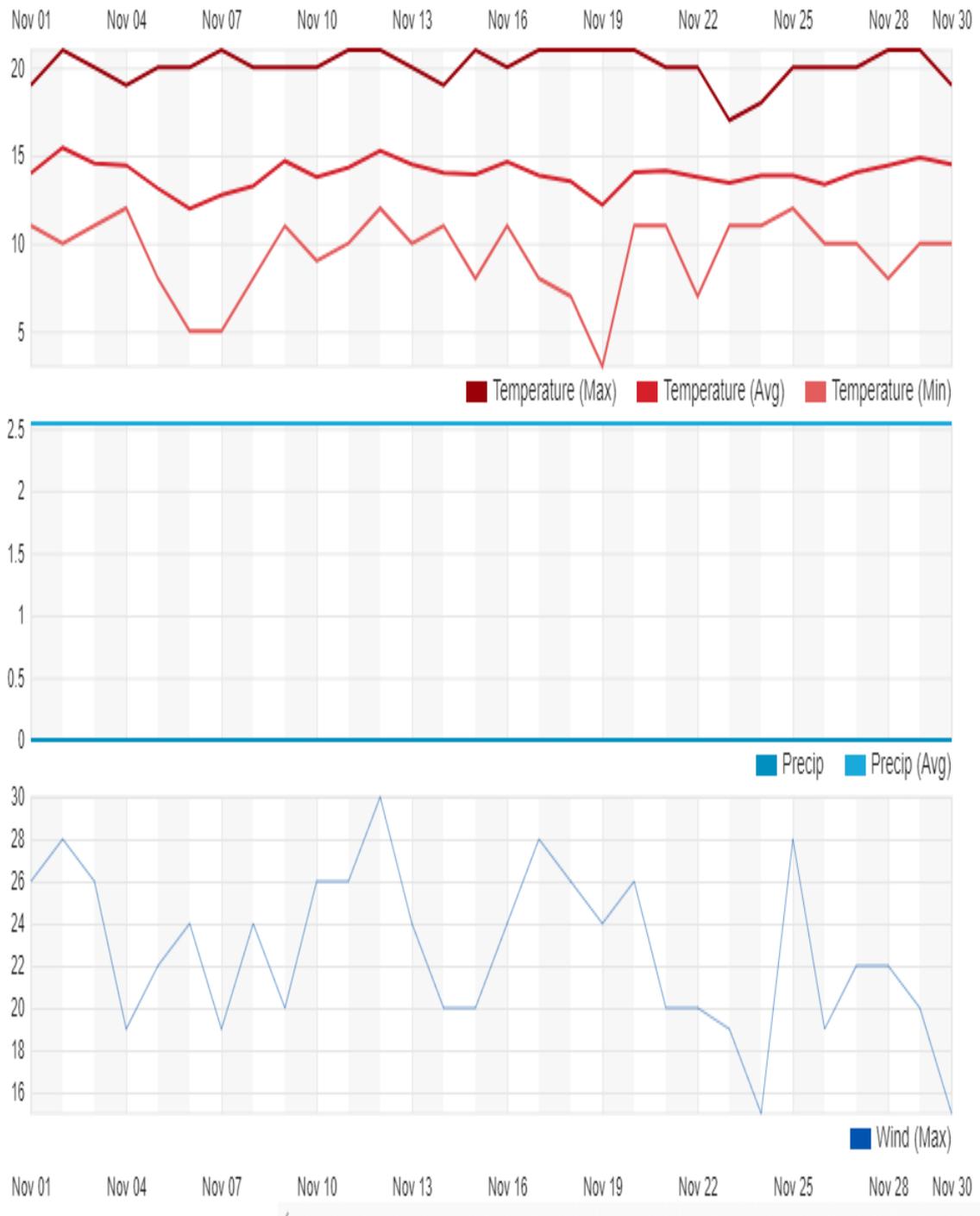


Nota: Datos atmosféricos recopilados por Weather History del mes de abril. Adaptado de (The weather company, 2014, 2022).

puente vehicular

Figura 46

Datos de Weather History del mes de noviembre



Nota: Datos atmosféricos recopilados por Weather History del mes de noviembre.

Adaptado de (The weather company, 2014, 2022).

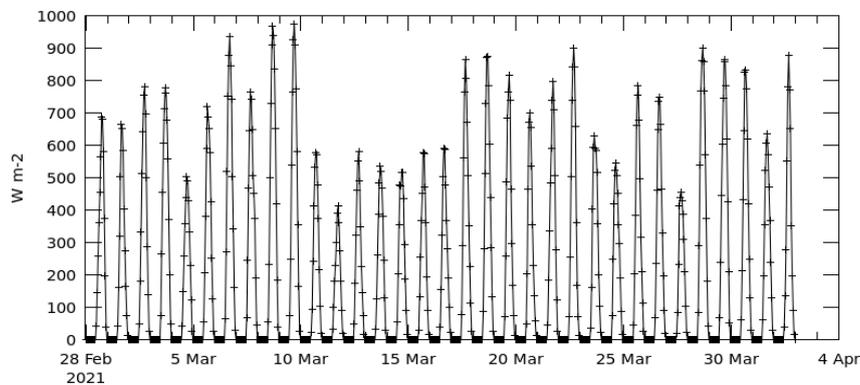
puente vehicular

De la misma forma se descargaron los datos de radiación en w/m^2 , que define el flujo de onda corta en estos mismos meses, obteniendo en la **Figura 47**, los datos del mes de marzo, en la **Figura 48**, los datos del mes de abril y en la **Figura 49**, los datos del mes de noviembre.

Figura 47

Flujo de onda corta en el mes de marzo

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



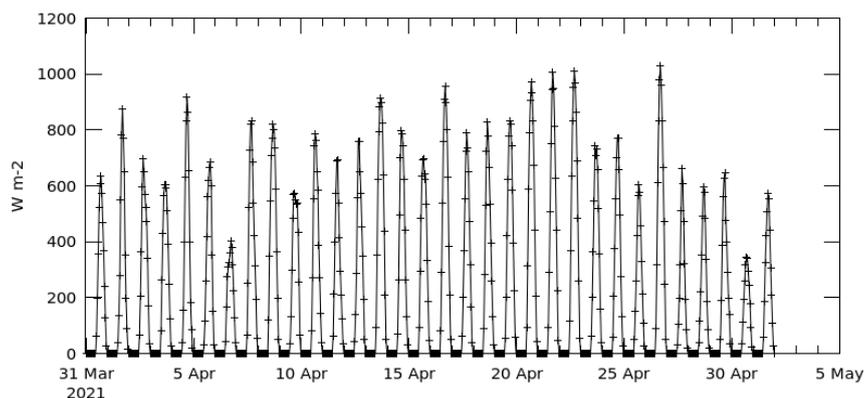
- The user-selected region was defined by 74.3555W, 4.4907N, 73.3447W, 5.1498N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 73.75W, 4.5N, 73.75W, 5N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization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

Nota: Serie temporal, área promediada del flujo de onda corta en la superficie en el mes de marzo. Adaptado de (Giovanni Nasa, 2022).

Figura 48

Flujo de onda corta en el mes de abril

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 2021-03-31 00Z - 2021-05-01 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.

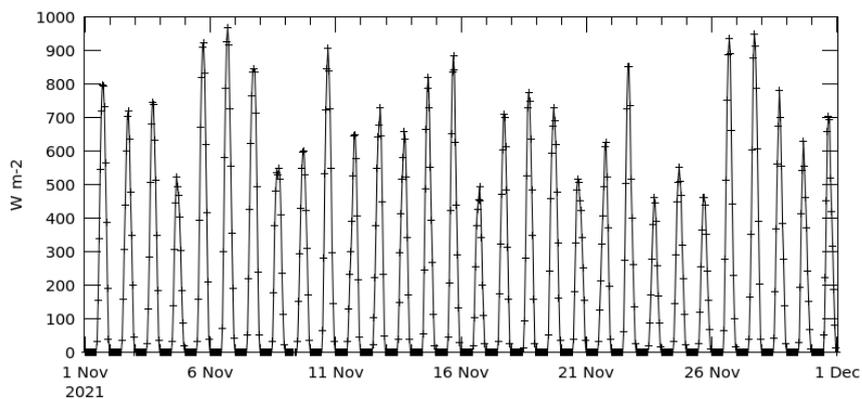
puente vehicular

Nota: Serie temporal, área promediada del flujo de onda corta en la superficie en el mes de abril. Adaptado de (Giovanni Nasa, 2022).

Figura 49

.Flujo de onda corta en el mes de noviembre

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 2021-11-01 00Z - 2021-11-30 23Z, Region 74.13W, 4.6N, 74.11W, 4.61N



- The user-selected region was defined by 74.13W, 4.6N, 74.11W, 4.61N. The data grid also limits the analyzable region to the this point: 74.375W, 4.5N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

Nota: Serie temporal, área promediada del flujo de onda corta en la superficie en el mes de noviembre. Adaptado de (Giovanni Nasa, 2022).

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 siguientes ecuaciones, **Ecuación (4)**, **Ecuación (5)**, **Ecuación (6)** y **Ecuación (7)**, las cuales permiten obtener 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

puente vehicular

la tarde), para posteriormente encontrar el equilibrio de energías definida en la

Ecuación (8).

La temperatura superficial en la placa superior del tablero (Asfalto) está definida como T1 y la Temperatura superficial en la placa inferior del tablero (Concreto) está definida como T2.

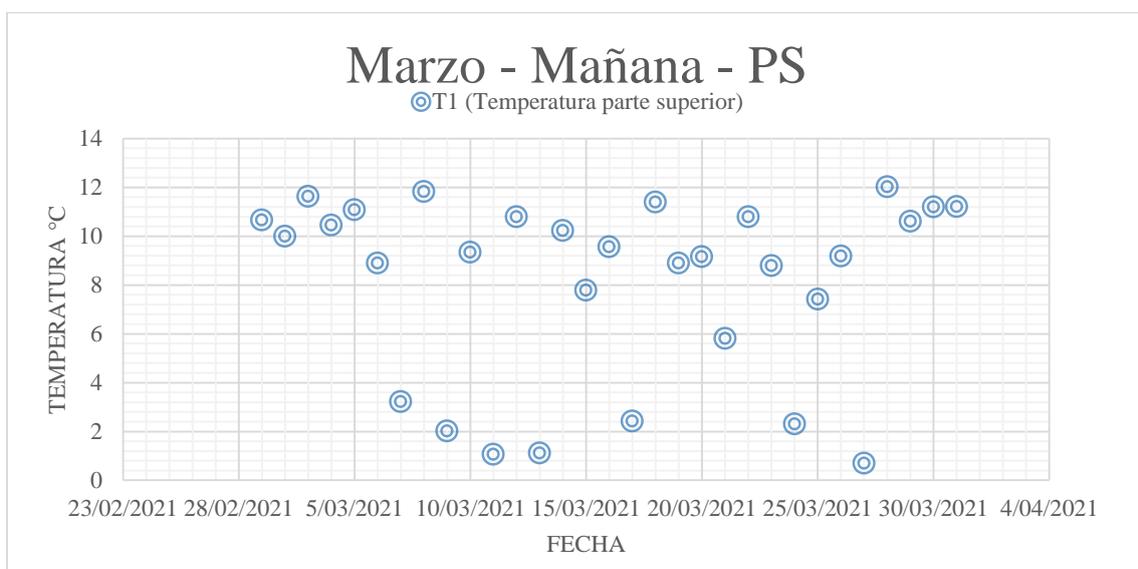
Las siguientes graficas son producto de la aplicación de las ecuaciones anteriores para cada mes.

✓ Marzo

Se determina la temperatura superficial por la mañana en la parte superior en la **Figura 50** y **Figura 51**, la temperatura superficial por la tarde en la parte superior en la **Figura 52** y **Figura 53**.

Figura 50

Temperatura superficial en el mes de marzo en la mañana, parte superior.



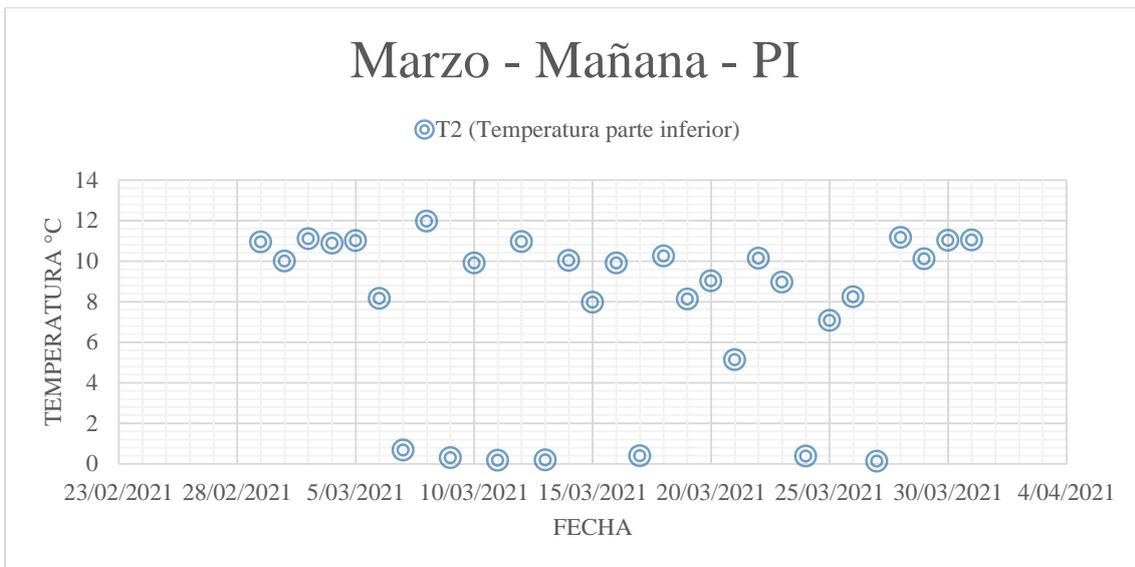
puente vehicular

Nota: Temperatura superficial por la mañana en la parte superior en el mes de marzo.

Adaptado de Elaboración propia.

Figura 51

Temperatura superficial en el mes de marzo en la mañana, parte inferior.



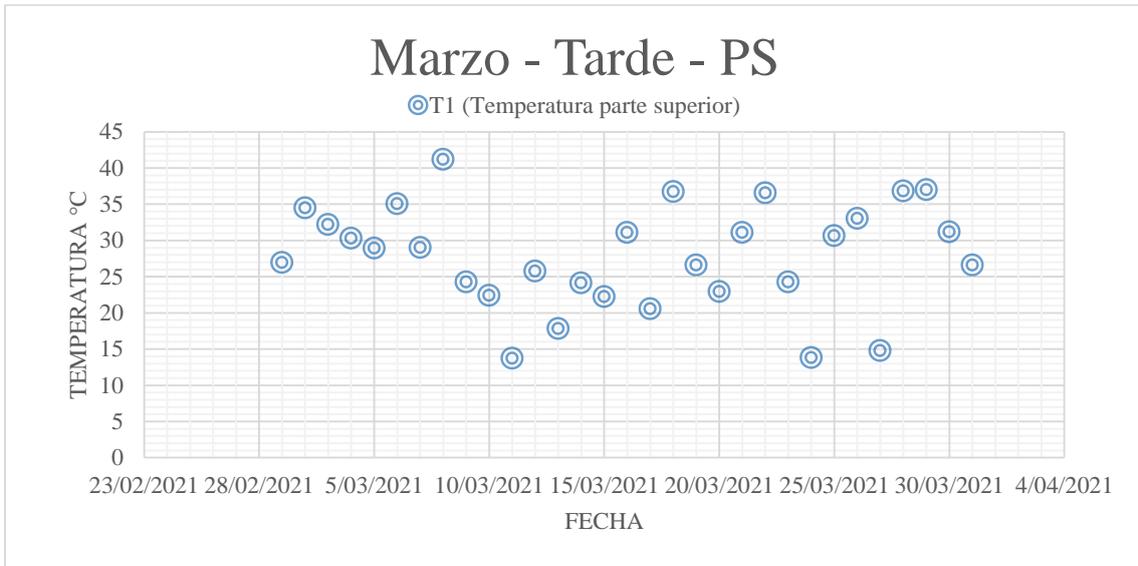
Nota: Temperatura superficial por la mañana en la parte inferior en el mes de marzo.

Adaptado de Elaboración propia.

Figura 52:

Temperatura superficial en el mes de marzo en la tarde, parte superior.

puente vehicular

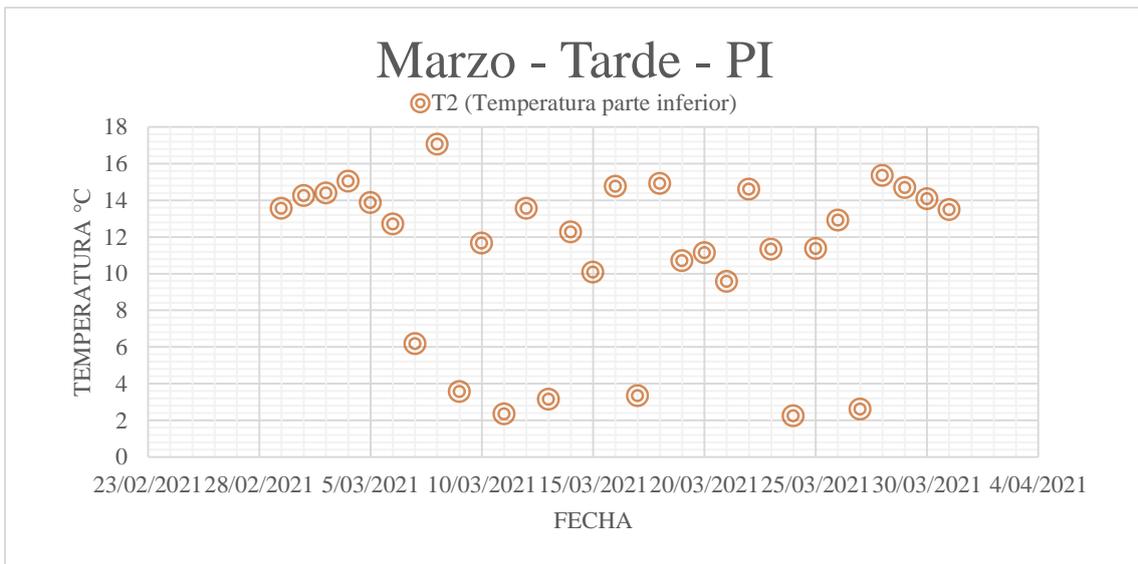


Nota: Temperatura superficial por la tarde en la parte superior en el mes de marzo.

Adaptado de Elaboración propia.

Figura 53:

Temperatura superficial en el mes de marzo en la tarde, parte inferior.



Nota: Temperatura superficial por la tarde en la parte inferior en el mes de marzo.

Adaptado de Elaboración propia.

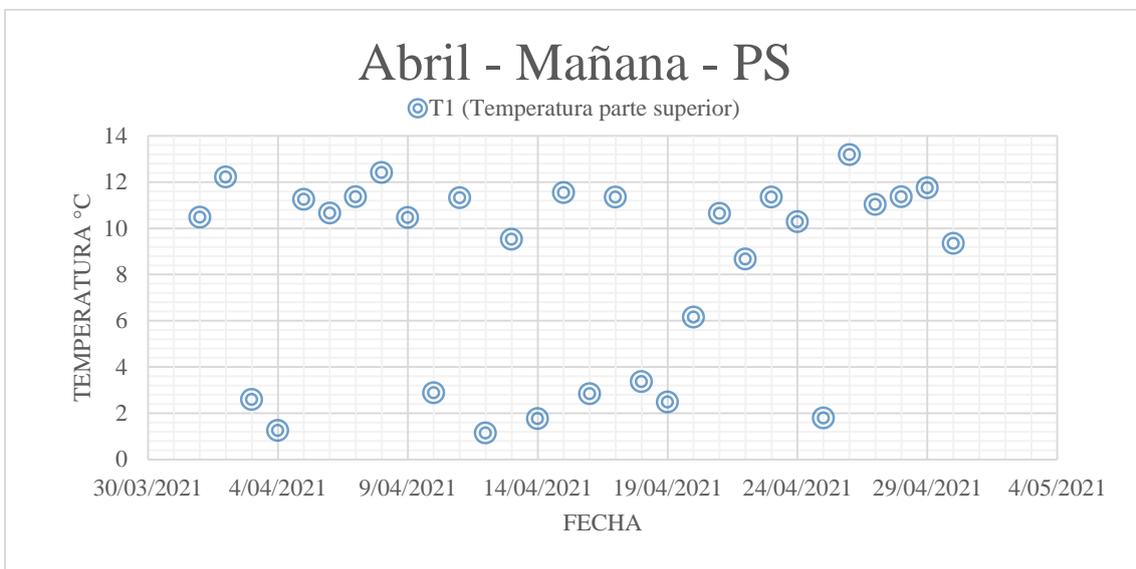
puente vehicular

✓ Abril

Se determina la temperatura superficial por la mañana en la parte superior en la **Figura 54** y **Figura 55**, la temperatura superficial por la tarde en la parte superior en la **Figura 56** y **Figura 57**.

Figura 54:

Temperatura superficial en el mes de abril en la mañana, parte superior.



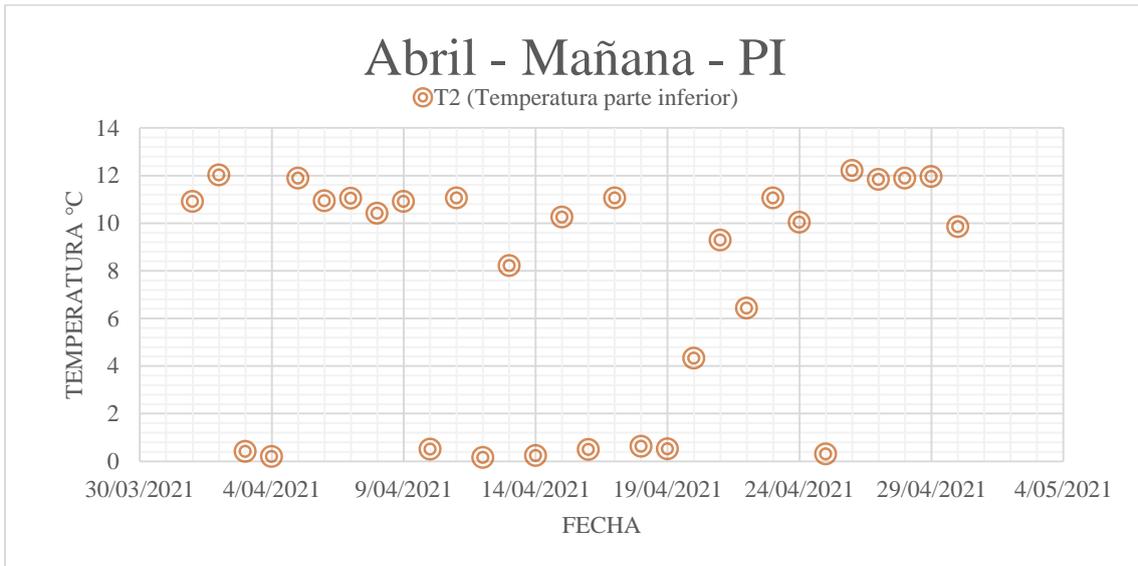
Nota: Temperatura superficial por la mañana en la parte superior en el mes de abril.

Adaptado de Elaboración propia.

Figura 55:

Temperatura superficial en el mes de abril en la mañana, parte inferior.

puente vehicular

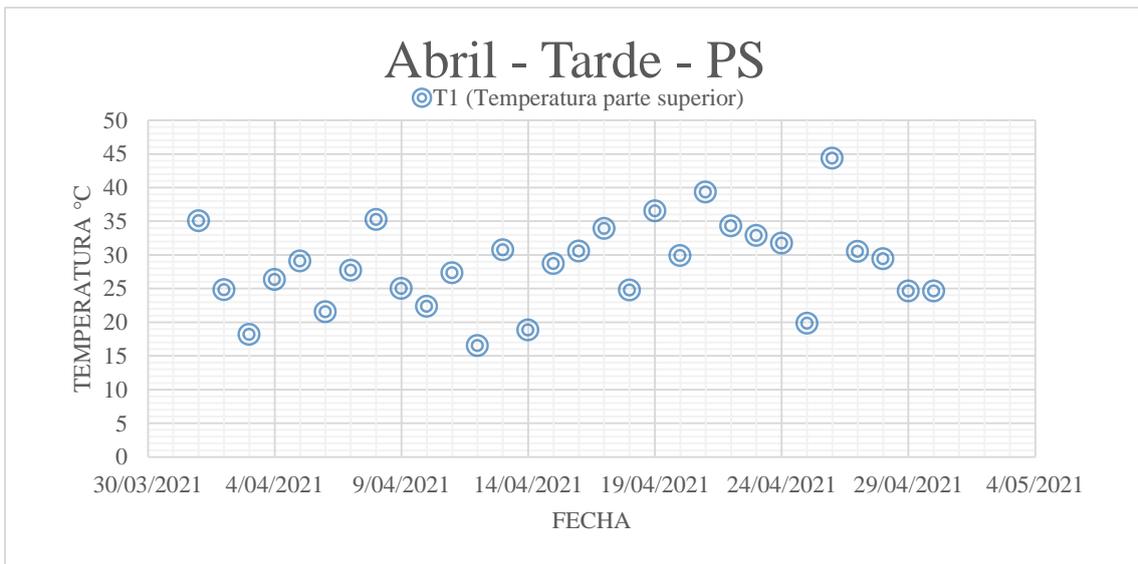


Nota: Temperatura superficial por la mañana en la parte inferior en el mes de abril.

Adaptado de Elaboración propia.

Figura 56:

Temperatura superficial en el mes de abril en la tarde, parte superior.



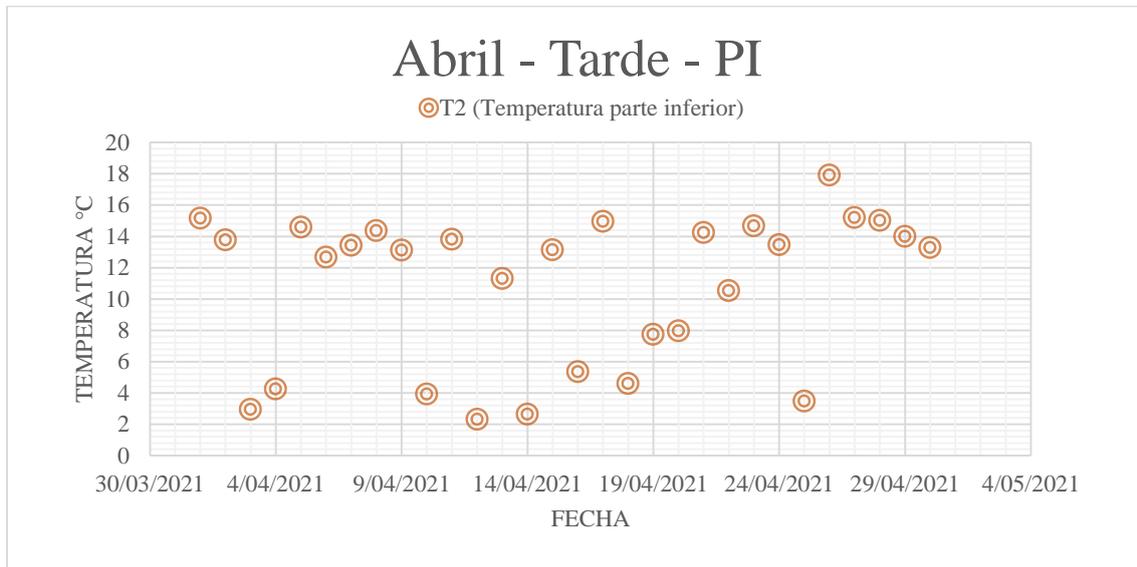
Nota: Temperatura superficial por la tarde en la parte superior en el mes de abril.

Adaptado de Elaboración propia.

puente vehicular

Figura 57:

Temperatura superficial en el mes de abril en la tarde, parte inferior.



Nota: Temperatura superficial por la tarde en la parte inferior en el mes de abril.

Adaptado de Elaboración propia.

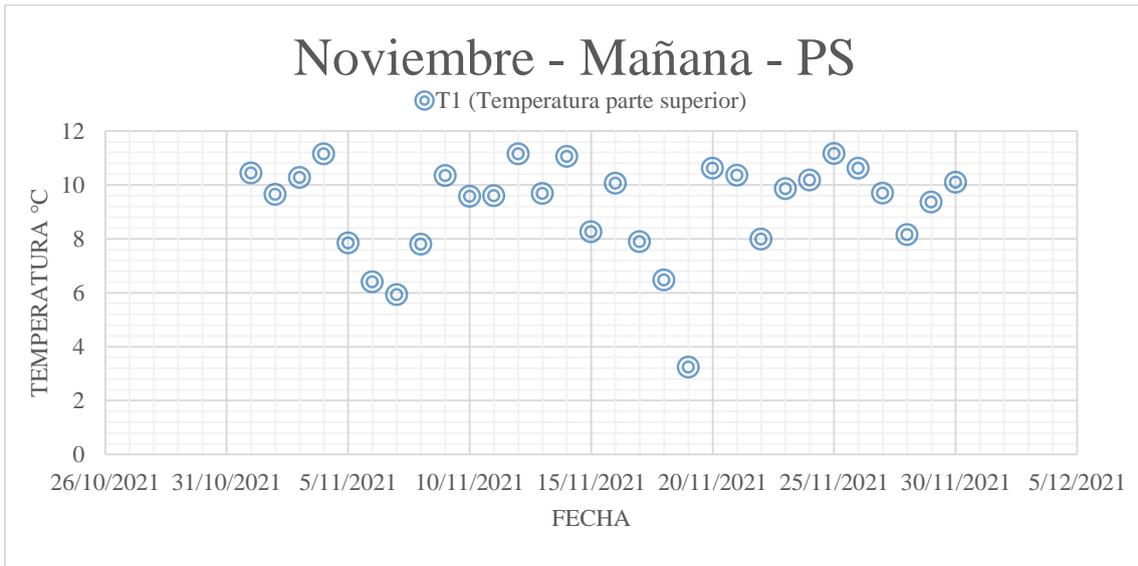
✓ Noviembre

Se determina la temperatura superficial por la mañana en la parte superior en la **Figura 58** y **Figura 59**, la temperatura superficial por la tarde en la parte superior en la **Figura 60** y **Figura 61**.

Figura 58:

Temperatura superficial en el mes de noviembre en la mañana, parte superior.

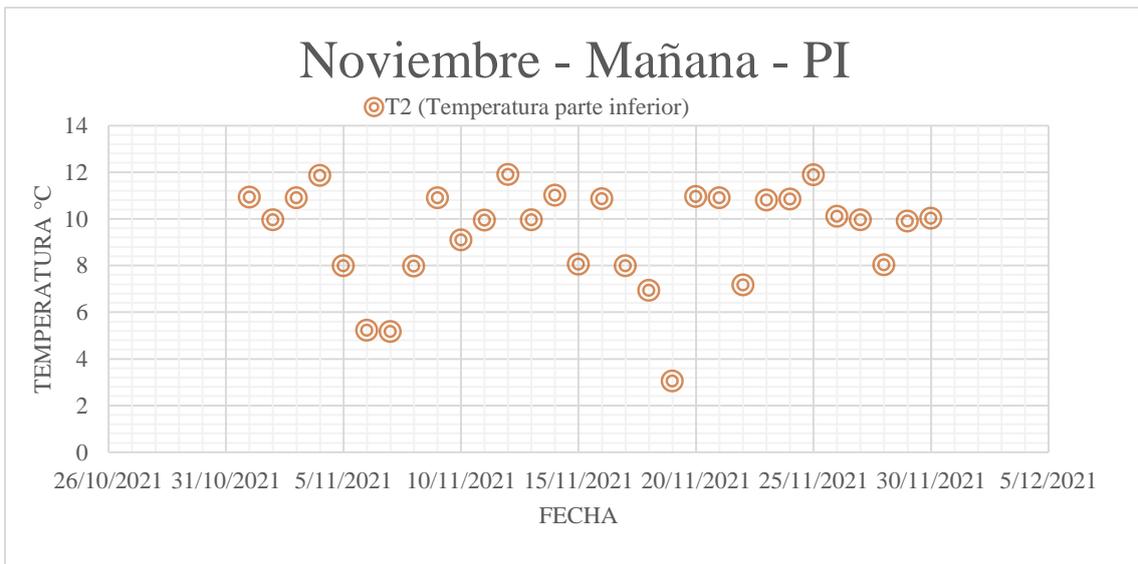
puente vehicular



Nota: Temperatura superficial por la mañana en la parte superior en el mes de noviembre. Adaptado de Elaboración propia.

Figura 59:

Temperatura superficial en el mes de noviembre en la mañana, parte inferior.

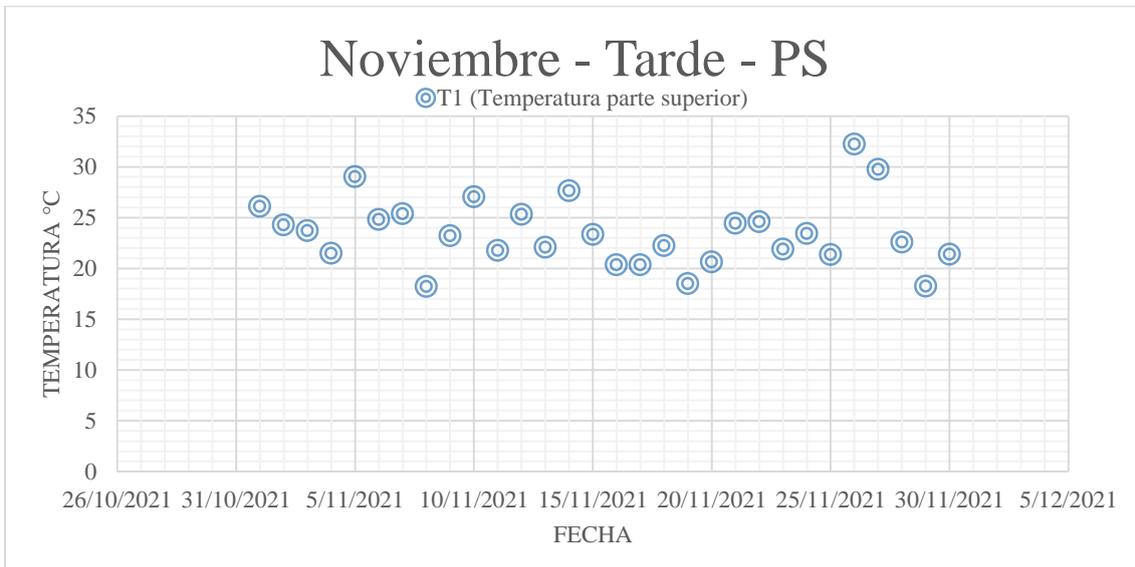


Nota: Temperatura superficial por la mañana en la parte inferior en el mes de noviembre. Adaptado de Elaboración propia.

puente vehicular

Figura 60:

Temperatura superficial en el mes de noviembre en la tarde, parte superior.

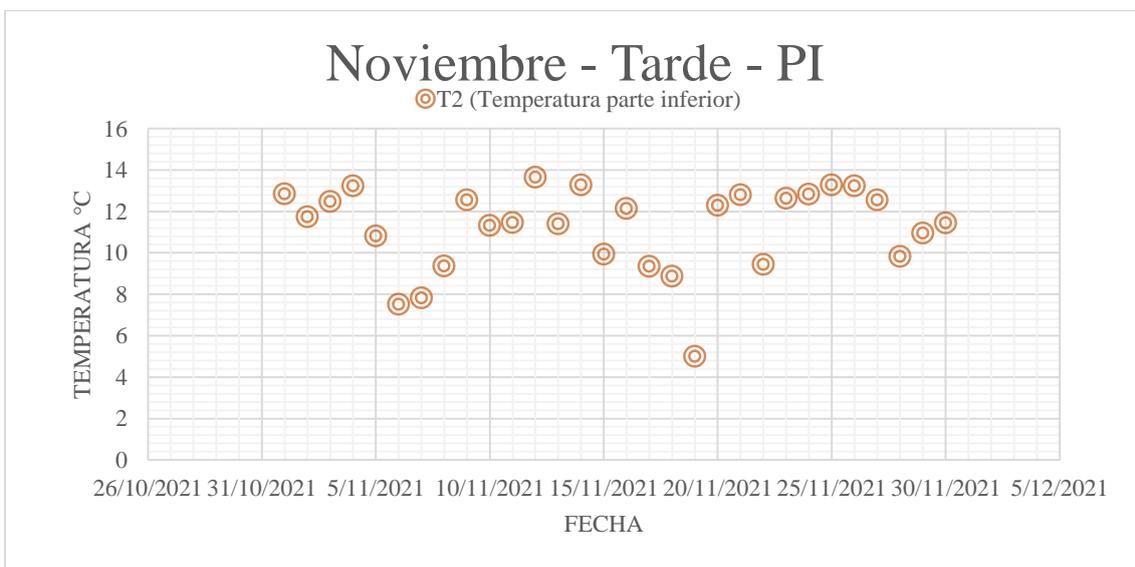


Nota: Temperatura superficial por la tarde en la parte superior en el mes de noviembre.

Adaptado de Elaboración propia.

Figura 61:

Temperatura superficial en el mes de noviembre en la tarde, parte inferior.



puente vehicular

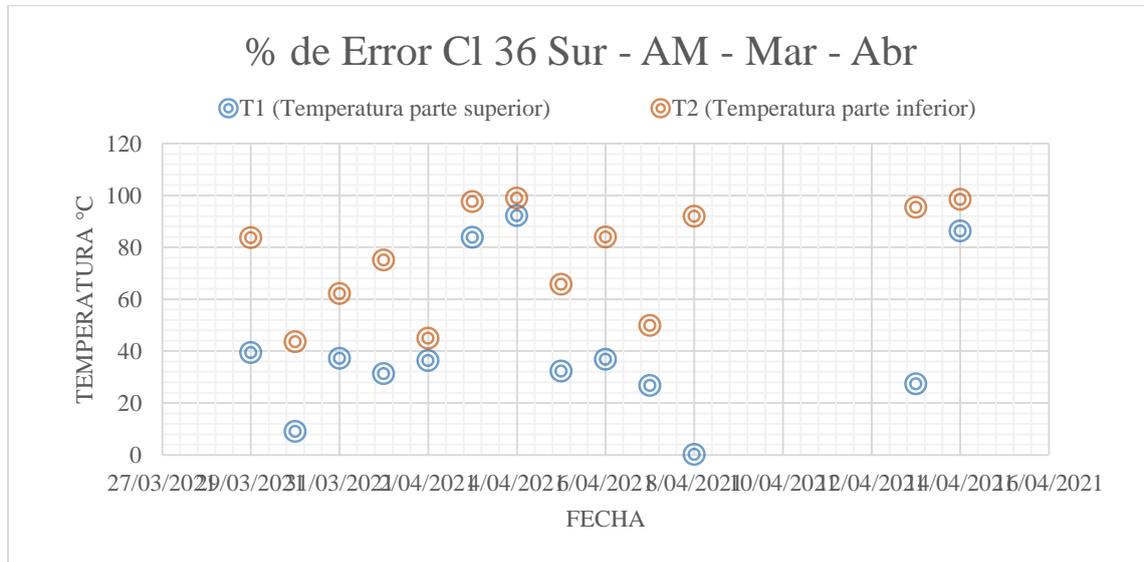
Nota: Temperatura superficial por la mañana en la parte inferior en el mes de noviembre. Adaptado de Elaboración propia.

Comparación de datos

En resumen, se genera la comparación entre estas temperaturas tomadas en cada punto, tanto en la calle 36 sur como en la carrera 33, para determinar a las temperaturas idealizadas obteniendo el indicador de precisión que tiene la medida de temperatura concluidas.

Figura 62:

Porcentaje de error absoluto del punto en la calle 36 sur (Mañana)

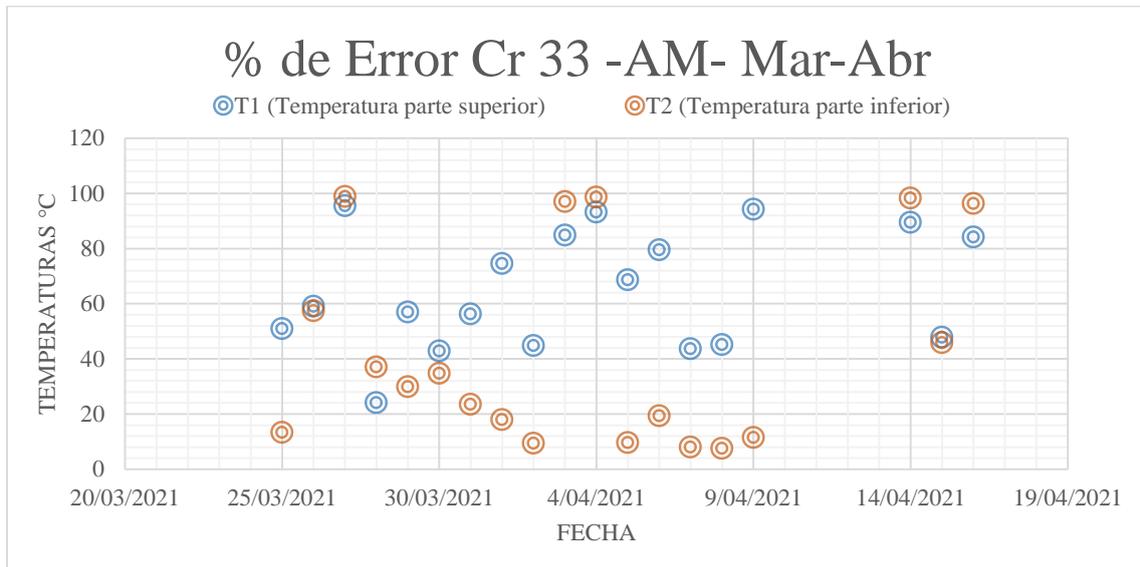


Nota: Porcentaje de error absoluto en la mañana en la calle 36 sur, en comparación con los datos aceptados del sistema térmico (Marzo – Abril).

puente vehicular

Figura 63:

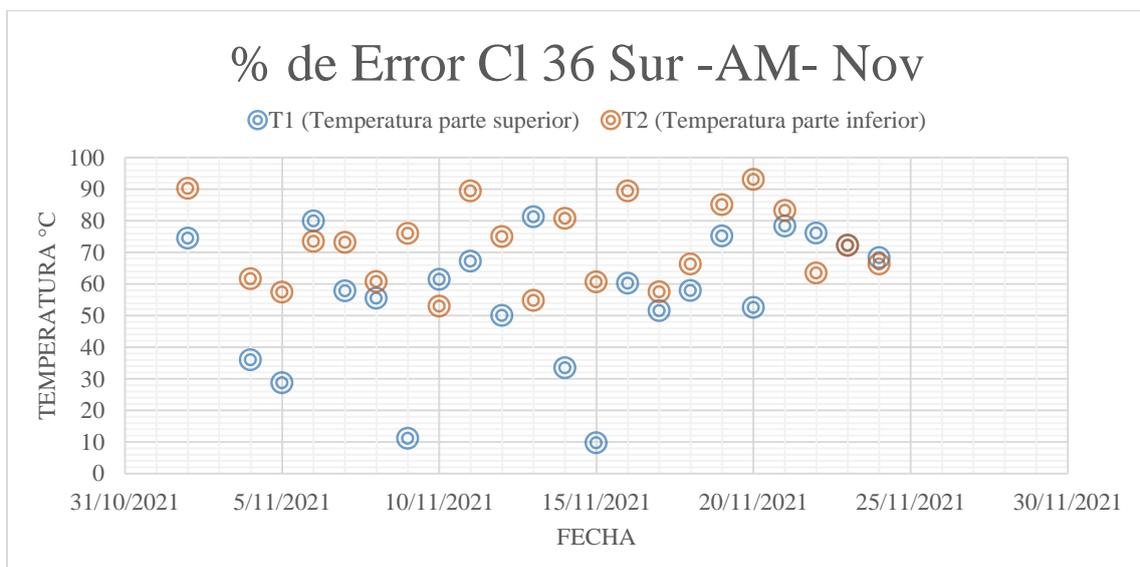
Porcentaje de error absoluto del punto en la carrera 33(Mañana)



Nota: Porcentaje de error absoluto en la mañana en la carrera 33, en comparación con los datos aceptados del sistema térmico (Marzo – Abril).

Figura 64:

Porcentaje de error absoluto del punto en la calle 36 sur (Mañana)

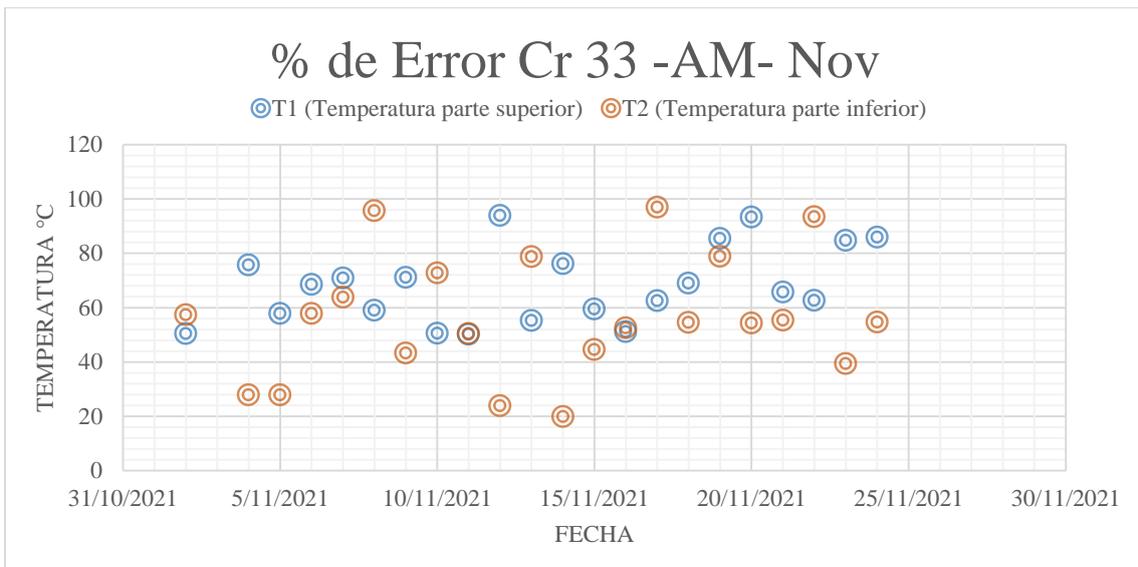


puente vehicular

Nota: Porcentaje de error absoluto en la mañana en la calle 36 sur, en comparación con los datos aceptados del sistema térmico (Noviembre).

Figura 65:

Porcentaje de error absoluto del punto en la carrera 33 (Mañana).

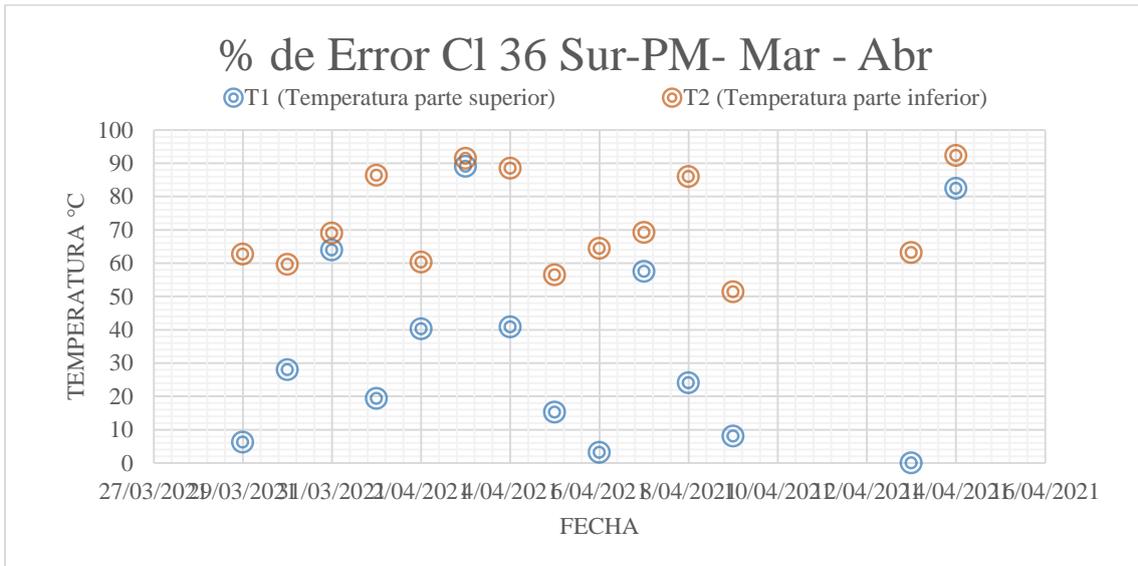


Nota: Porcentaje de error absoluto en la mañana en la carrera 33, en comparación con los datos aceptados del sistema térmico (Noviembre).

Figura 66:

Porcentaje de error absoluto del punto en la calle 36 sur (Tarde)

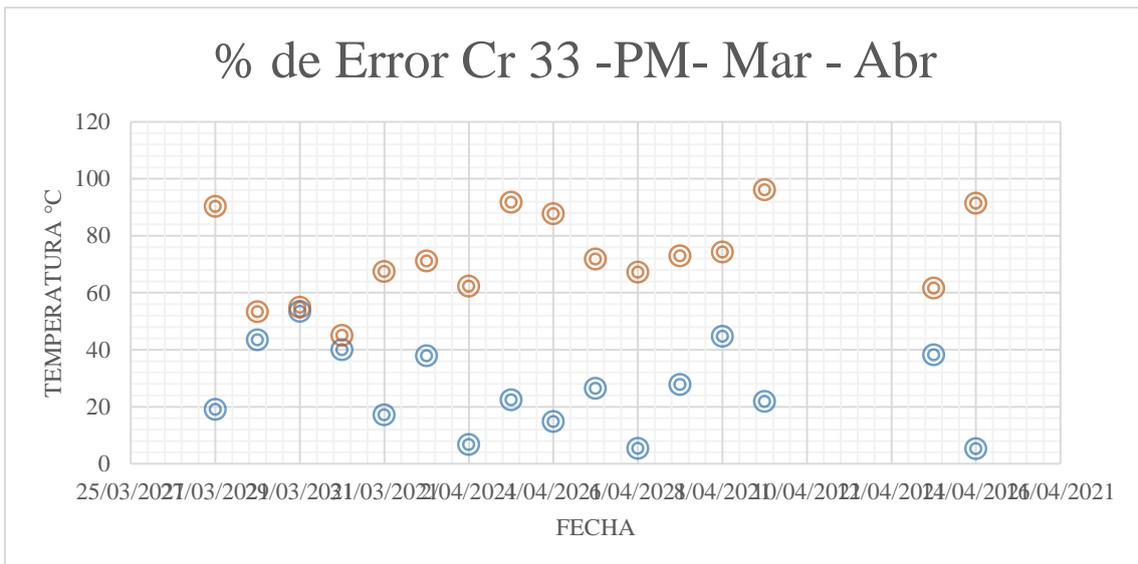
puente vehicular



Nota: Porcentaje de error absoluto en la tarde en la calle 36 sur, en comparación con los datos aceptados del sistema térmico (Marzo - Abril).

Figura 67:

Porcentaje de error absoluto del punto en la carrera 33 (Tarde)

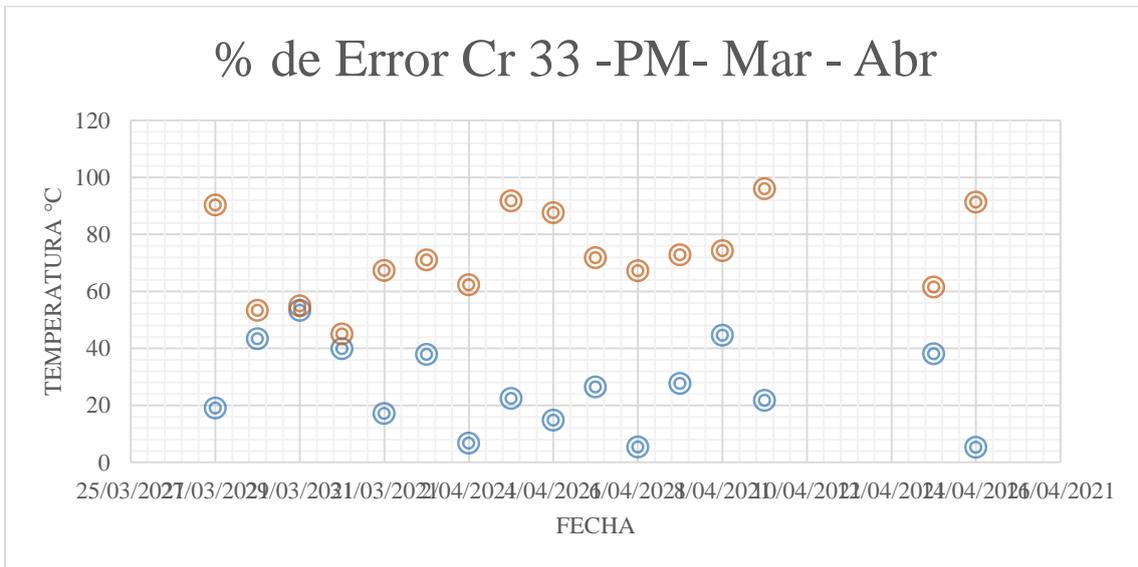


Nota: Porcentaje de error absoluto en la tarde en la carrera 33, en comparación con los datos aceptados del sistema térmico (Marzo - Abril).

puente vehicular

Figura 68:

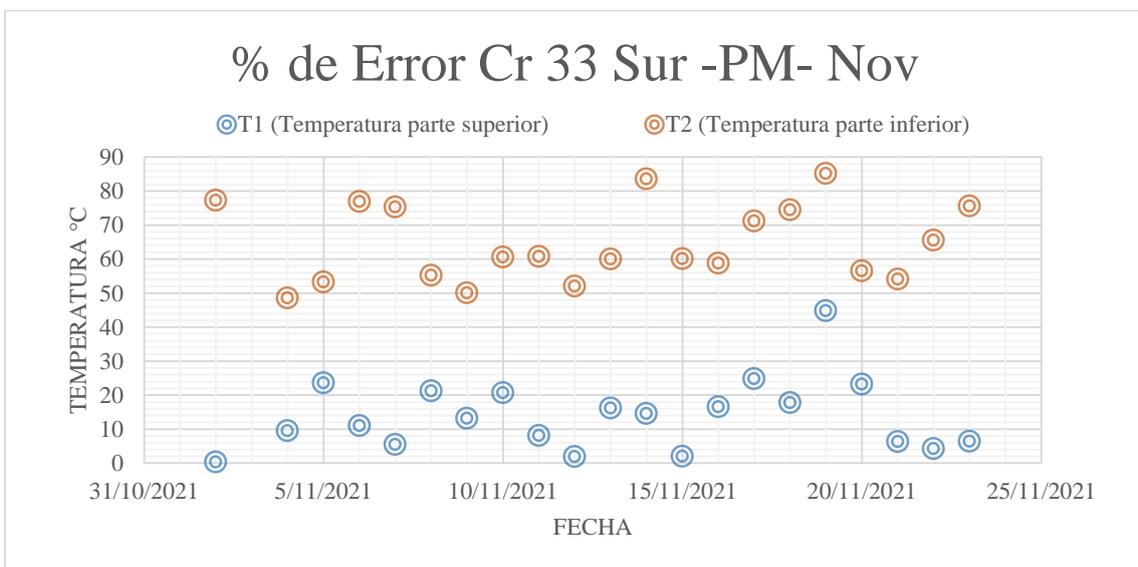
Porcentaje de error absoluto del punto en la calle 36 sur (Tarde)



Nota: Porcentaje de error absoluto en la tarde en la calle 36 sur, en comparación con los datos aceptados del sistema térmico (Noviembre).

Figura 69:

Porcentaje de error absoluto del punto en la carrera 33 (Tarde).



puente vehicular

Nota: Porcentaje de error absoluto en la tarde en la carrera 33, en comparación con los datos aceptados del sistema térmico (Noviembre).

Así pues, se realizó el análisis de datos porcentuales, para encontrar las temperaturas ideales, determinadas por medio de las ecuaciones de energía, tales como la *Ecuación 4*, *Ecuación 5*, *Ecuación 6*, *Ecuación 7*, *Ecuación 8*, para 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.

Mañana

1. En el punto de la calle 36 sur, en la mañana, se relaciona el porcentaje de error promediadamente entre el 41% y 76% en la **Figura 62**, en el mes de marzo abril.
2. En el punto de la carrera 33, en la mañana, se relaciona el porcentaje de error promediadamente entre el 65% y 43% en la **Figura 63**, en el mes de marzo abril.
3. En el punto de la calle 36 sur, en la mañana, se relaciona el porcentaje de error promediadamente entre el 58% y 72% en la **Figura 64**, en el mes de noviembre.
4. En el punto de la calle 36 sur, en la mañana, se relaciona el porcentaje de error promediadamente entre el 69% y 60% en la **Figura 65**, en el mes de noviembre.

Tarde:

1. En el punto de la calle 36 sur, en la tarde, se relaciona el porcentaje de error promediadamente entre el 34% y 72% en la **Figura 66**, en el mes de marzo abril.
2. En el punto de la carrera 33, en la tarde, se relaciona el porcentaje de error promediadamente entre el 26% y 72% en la **Figura 67**, en el mes de marzo abril.

puente vehicular

3. En el punto de la calle 36 sur, en la tarde, se relaciona el porcentaje de error promediadamente entre el 31% y 66% en la **Figura 68**, en el mes de noviembre.
4. En el punto de la calle 36 sur, en la tarde, se relaciona el porcentaje de error promediadamente entre el 14% y 65% en la **Figura 69**, en el mes de noviembre.

CONCLUSIONES

- ✓ Se realiza un monitoreo con la cámara térmica de la temperatura superficial en el puente vehicular en la avenida Jorge Gaitán Cortés con Avenida Quiroga, obteniendo las mediciones con el método basado en la visión, en el punto de la calle 36 sur en horarios de la tarde, se porcentaje de error promediadamente entre el 34% y 72% siendo el más variado en el mas de marzo y abril, de igual se determino , se porcentaje de error promediadamente entre el 69% y 60% siendo el más variado en el mas de noviembre en la mañana.
- ✓ Relacionar información veraz de estudios alrededor del mundo, en base a monitoreo basado en la visión, para conservar la salud estructural del puente en estudio y otras metodologías aplicables con diferentes tecnologías.
- ✓ El método de análisis se usó sobre las imágenes térmicas obtenidas a través del aplicativo FLIR TOOLS, brinda información suficiente para realizar las debidas comparaciones con los datos de páginas oficiales sobre medidas meteorológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Breinlinger, F., Kunz, C., Loche, K., Niemann, H. J., Novák, B., Ruckebrod, C., & Schwind, W. (2011). Eurocode 1 - Actions on structures. *Bauingenieur*, 86(JULY-AUGUST), 315–326. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_51754

Hormigón, P. D. E. (2015). ANÁLISIS DE LA COMPONENTE UNIFORME DE LA TEMPERATURA EN EL DISEÑO NORMATIVO DE PUENTES DE HORMIGÓN.

Kuo, C. L., McVay, M. C., & Birgisson, B. (2002). Calibration of load and resistance factor design: Resistance factors for drilled shaft design. *Transportation Research Record*, 1808, 108–111. <https://doi.org/10.3141/1808-12>

Mascia, N. T., & Sartorti, A. L. (2011). Identification and analysis of pathologies in bridges of urban and rural roads Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 26, 5–24. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v26n1/art01.pdf>

MIRAMBELL ARRIZABALAGA, E., & AGUADO, A. (1987). Modelo de obtención de distribuciones de temperaturas y de tensiones longitudinales autoequilibradas en puentes de hormigón. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 3(2), 205–230.

Pinto, A., & Torres, R. (2015). Incidencia de la norma AASHTO LRFD bridge design specifications en el análisis y diseño de tableros de puentes de concreto reforzado Impact of AASHTO LRFD bridge design specifications on analysis and design of reinforced concrete bridge decks. *Revista Ciencia e*

puente vehicular

Ingeniería. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 36(3), 131–140.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550629002>

Plasencia-Lozano, P. (2014). Puentes, sociedad e ingeniería. *Informes de La Construcción*, 66(535). <https://doi.org/10.3989/ic.13.041>

Solar, R. (n.d.). Radiación solar.

Zamrodah, Y. (2016). TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA un enfoque práctico 3 Edición. 15(2), 1–23.

Lab, E. (n.d.). INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.

Camargo Triana, W. F. (marzo de 2015). inventario de puentes. Obtenido de inventario de puentes:

file:///F:/universidad/SEMINARIO%20PROYECTO%20DE%20GRADO/boletin_puentes_2015_.pdf

Google. (15 de Septiembre de 2022). Google Maps. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/@4.5885106,-74.1227887,372m/data=!3m1!1e3>

TELEDYNE FLIR. (15 de 09 de 2022). Obtenido de TELEDYNE FLIR: <https://www.flir.com.mx/flir-one/>

Flickr. (16 de 09 de 2022). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/149561324@N03/24712670408>

Giovanni Nasa. (2022). Giovanni. Obtenido de Giovanni: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=2021-01-01T00:00:00Z&endtime=2021-02-28T23:59:59Z&bbox=-74.1577,4.0649,-73.8721,4.4385>

puente vehicular

Borah, S. ,.-H. (4 al 7 de Julio de 2022). Measuring Thermal Response of Bridges Using Vision-Based Technologies and LVDTs. *Scopus*, Pages 496 - 505. Obtenido de Scopus.

Elshoura, A. ,. (2022). Calibración del Factor de Carga de Gradiente de Temperatura para el Diseño de Estado Límite de Servicio de Puentes de Losa sobre Viga de Concreto. *Scopus*, Volumen 27, Número 11.

José Luis Pérez, R. M. (2011). *ESPECTROSCOPIAS INFRARROJA Y RAMAN*. México.

Picó, E. C. (2008). *INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA BIM*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Raeesi, F. ,. (2022). Análisis experimental del gradiente térmico en puentes viga cajón de hormigón y efectos del aislamiento de poliuretano en la reducción de cargas térmicas, Ingeniería Estructural y Mecánica. *Scopus*, 83 (5) , págs. 645-654.

Scopus, A. s.-B. (2022). *Scopus base de datos*. Obtenido de Scopus base de datos:

<https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sid=2222c599dd4b592099fef7638234727b&origin=resultlist&src=s&s=KEY%28thermal+AND+energy+OR+temperature%2c+AND+bridge+OR+viaduct%2c+AND+load+OR+movement+OR+absorption+OR+displacement+OR+action+OR+effect%29&sort=plf>

Sheng, X. ,. (2022). Predicción del gradiente de temperatura vertical en una viga cajón de hormigón considerando diferentes ubicaciones en China, Casos de Estudio en Materiales de Construcción. *Scopus*, 16 ,e01026.

puente vehicular

Wang, A. ., (2021). Métodos de simulación térmica para todo clima para puentes de levitación magnética de concreto basados en datos de monitoreo estructural y meteorológico, *Sensores. Scopus*, 21 (17) , 5789.

Lu, Y. ., (2021). Estudio de la radiación solar y el efecto térmico extremo en puentes cajón de hormigón, *Ciencias Aplicadas (Suiza). Scopus*, 11 (14) , 6332.

Hossain, T. ., (2020). Efectos estructurales del gradiente de temperatura en un puente de vigas continuas de hormigón pretensado: análisis y medidas de campo. *Scopus, Ingeniería de Estructuras e Infraestructuras*, 16 (11) , págs. 1539-1550.

Wang, C. ., (2020). Avances en la investigación sobre el efecto térmico y la fatiga inducida por la temperatura de los puentes. *Scopus, Ingeniería civil del ciclo de vida: innovación, teoría y práctica - Actas del 7.º Simposio internacional sobre ingeniería civil del ciclo de vida, IALCCE 2020*, págs. 938-946.

Chen, C. ., (2020). Evaluación continua de la condición de un puente con viga cajón basada en un sistema de monitoreo de salud estructural: un estudio de caso. *Scopus, Actas - Conferencia Internacional 2020 sobre Transporte Inteligente, Big Data y Smart City, ICITBS 2020*, págs. 734-740.

Lawson, L. ., (2020). Perfiles de temperatura del puente revisados: análisis térmicos basados en datos meteorológicos recientes de Nevada. *Scopus, Revista de ingeniería de puentes*, 25 (1) , 04019111.

puente vehicular

Orlik-Koźdoń, B. ,.-Z.-C. (2020). Algoritmo de diagnóstico térmico de edificios históricos presentado para el ejemplo de una casa adosada en Lviv. *Scopus,Energías*, 13 (20) ,5374.

Salguero Tuirán, C. A. (2017). Análisis comparativo para el diseño de tres puentes continuos en diferentes partes de la geografía nacional, diseñados usando el código CCDSP-95 y la norma vigente CCP-14. . *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*.

IDEAM. (2018). *IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambiental: (IDEAM, 2018)

M.A.Salgado-Gálvez. (2016). Evaluación probabilista de la amenaza sísmica de Colombia con fines de actualización de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14. *Scopus, Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, Pages 230-239.

punte vehicular