



**Evaluación de la temperatura superficial en el puente vehicular Primera de Mayo  
con Avenida Boyacá de la ciudad de Bogotá.**

**Manuel Angel Rodriguez Estrada**

**Juan David Gallo Martinez**

**Codigo: 10481811844**

**Cogido: 10481818097**

**Universidad Antonio Nariño**

**Programa Ingeniería Civil**

**Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental**

**Bogotá, Colombia**

**2022**

**Evaluación de la temperatura superficial en el puente vehicular Primera de Mayo  
con Avenida Boyacá, ubicado en Bogotá, Cundinamarca.**

**Manuel Angel Rodriguez Estrada**

**Juan David Gallo Martinez**

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

**Ingeniero Civil**

Director (a):

Edison Osorio Bustamante

Línea de Investigación:

Temperatura En Puentes De Concreto

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Bogotá, Colombia

2022

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

El trabajo de grado titulado Evaluación de la temperatura superficial en el puente vehicular Primera de Mayo con Avenida Boyacá de la ciudad de Bogotá, Cumple con los requisitos para optar Al título de Ingeniero Civil.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Bogotá D.c. 17 de noviembre de 2022.

## DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación es dedicado a todo el esfuerzo proyectado y mantenido a lo largo del trabajo, en mención y nombre de los autores, dedicamos los resultados a nuestras familias acompañantes en el proceso de formación.

## AGRADECIMIENTOS

En base al esfuerzo de las partes implicadas, se agradece a la Universidad por la formación prestada y reflejada en cada uno de los apéndices técnicos que comprende, de igual forma agradecemos al tutor del presente proyecto de investigación por su arduo esfuerzo y dedicación mantenido a lo largo de la línea de investigación.

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	14
2.	Objetivos .....	15
	2.1.    Objetivo General.....	15
	2.2.    Objetivos específicos .....	15
3.	Marco Teórico.....	16
	3.1.1. Puentes en concreto.....	17
	3.1.2. Puentes de viga cajón.....	19
	3.1.3. Puentes de vigas de placas soldadas .....	21
	3.1.4. Arcos.....	23
	3.1.5. Atirantado .....	24
	3.2.    Relación con la temperatura.....	26
	3.2.1. Conducción.....	27
	3.2.2. Convección .....	28
	3.2.3. Radiación .....	29
	3.3.    Cargas térmicas en los puentes .....	30
	3.4.    NORMA CPP-14 .....	33
	3.5.    Patologías generadas por deterioro .....	34
	3.5.1. Originadas por el estado plástico.....	35
	3.5.2. Por endurecimiento.....	36
	3.6.    Generadas por cargas que originan esfuerzos .....	37

4.	Estado del conocimiento .....	40
5.	Metodología .....	43
5.1.	Etapa de Monitoreo .....	45
5.1.	Modelo transitorio de balance térmico .....	47
5.2.	Datos ambientales y propiedades térmicas de los materiales.....	49
6.	Resultados .....	54
6.1.	Datos Registrados .....	54
6.2.	Temperaturas en tiempo de abril.....	54
6.3.	Temperatura medidas en julio.....	59
6.3.1.	Resultados de los análisis del modelo.....	63
6.4.	Comparación las mediciones de temperatura con los obtenidos con los análisis	
	66	
7.	Conclusiones .....	79
8.	Referencias Bibliográficas .....	81

## Tabla de Figuras.

Figura 1 .....	16
Figura 2 .....	19
Figura 3 .....	20
Figura 4 .....	22
Figura 5 .....	23
Figura 6 .....	24
Figura 7 .....	25
Figura 8 .....	26
Figura 9 .....	30
Figura 10 .....	31
Figura 11 .....	32
Figura 12 .....	34
Figura 13 .....	35
Figura 14 .....	37
Figura 15 .....	38
Figura 16 .....	38
Figura 17 .....	39
Figura 18 .....	41
Figura 19 .....	43
Figura 20 .....	44
Figura 21 .....	45
Figura 22 .....	46

Figura 23 .....	47
Figura 24 .....	48
Figura 25 .....	49
Figura 26 .....	50
Figura 27 .....	50
Figura 28 .....	51
Figura 29 .....	51
Figura 30 .....	52
Figura 31 .....	57
Figura 32 .....	58
Figura 33 .....	62
Figura 34 .....	62
Figura 35 .....	65
Figura 36 .....	65
Figura 37 .....	66
Figura 38 .....	67
Figura 39 .....	68
Figura 40 .....	69
Figura 41 .....	72
Figura 42 .....	73
Figura 43 .....	74
Figura 44 .....	75

**Lista de tabla**

Tabla 1.....	34
Tabla 2.....	40
Tabla 3.....	52
Tabla 4.....	53
Tabla 5.....	53
Tabla 6.....	55
Tabla 7.....	56
Tabla 8.....	60
Tabla 9.....	61
Tabla 10.....	63
Tabla 11.....	64
Tabla 12.....	64
Tabla 13.....	70
Tabla 14.....	71
Tabla 15.....	76
Tabla 16.....	77

## RESUMEN

Los puentes están sometidas a cargas de temperatura por la acción climática. Sin embargo, para Colombia faltan estudios propios para cuantificar los valores de diseño de cargas por temperatura en los puentes. En consecuencia, en este trabajo se plantea como objetivo el monitoreo de la temperatura superficial de un puente de concreto y se realiza sobre el puente vehicular de la Primera de Mayo con Avenida Boyacá en Bogotá. El monitoreo se efectúa midiendo las temperaturas con cámara térmica en horas del amanecer y del mediodía, durante 15 días en dos épocas del año. Se presentan los datos de temperatura superficial en la parte superior e inferior del tablero, aportando valores para futuros análisis y calibración de modelos. Además, se realiza un modelo transitorio de balance térmico mediante el método de diferencias finitas con datos ambientales horarios. Los resultados se comparan con las mediciones y se concluye que el modelo puede ser una herramienta para reproducir el fenómeno térmico para futuros análisis.

Palabras clave: Cargas térmicas, diferencias finitas, efectos térmicos, cámara térmica

## ABSTRACT

Bridges are subjected to temperature loads due to climatic action. However, Colombia lacks its own studies to quantify the design values of temperature loads on bridges. Consequently, in this work the objective is to monitor the surface temperature of a concrete bridge and it is carried out on the vehicular bridge of the First of May with Boyacá Avenue in Bogotá. Monitoring is carried out by measuring temperatures with a thermal camera at dawn and midday, for 15 days in two seasons of the year. Surface temperature data is presented at the top and bottom of the dashboard, providing values for future analysis and model calibration. In addition, a transient thermal balance model is performed using the finite difference method with hourly environmental data. The results are compared with the measurements, and it is concluded that the model can be a tool to reproduce the thermal phenomenon for future analyses.

**Keywords:** Thermal loads, finite differences, thermal effects, thermal camera.

## 1. Introducción

Los puentes son infraestructuras que permite salvar obstáculos en vías urbanas y carreteras, recordante trayectos tiempos de transporte. Los puentes se ven sometidos a distintas cargas durante su periodo de servicio, su propio peso, cargas vivas y cargas ambientales entre otras. Entre las cargas ambientales, los puentes están bajo los efectos de los cambios de temperatura. La Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14 (*MinTransporte*, 2014) especifica valores de diseño, pero deja los mismo de la (AASHTO, 2016), los cuales corresponden para el territorio norteamericano. El CCP14 argumenta la falta de estudios específicos para Colombia.

Las cargas térmicas dependen las variables climáticas del sitio, así como de las propiedades térmicas de los materiales. Este problema se puede resolver mediante modelos de análisis de transferencia de calor, pero se requiere validación con mediciones sobre las estructuras. La instrumentación de los puentes es prácticamente nula en nuestro país.

Por lo tanto, se planteó la pregunta; ¿Cuál es la temperatura superficial que presenta el puente vehicular localizado en la avenida Primera de Mayo con avenida Boyacá, (Bogotá D, C) por cargas externas?

En consecuencia, en este trabajo se desarrolló un monitoreo mediante mediciones con cámara térmica y se realizaron análisis con un modelo transitorio del balance térmico con datos ambientales horarios. Este trabajo es parte de la línea de investigación del Semillero de Infraestructura Sostenible de la Universidad Antonio Nariño.

## **2. Objetivos**

### **2.1.Objetivo General**

Evaluar la temperatura superficial en el puente ubicado en la intersección entre la Avenida Primera de Mayo y Avenida Boyacá mediante el monitoreo de cámara térmica, posteriormente un análisis con un modelo transitorio de tableros.

### **2.2.Objetivos específicos**

- Realizar un monitoreo diario de temperatura para el puente ubicado sobre la Avenida Primera de Mayo con Avenida Boyacá, empleando cámara térmica.
- Elaborar un análisis mediante un modelo de diferencias finitas en estado transitorio.
- Comparar los valores de las mediciones con las modelaciones.

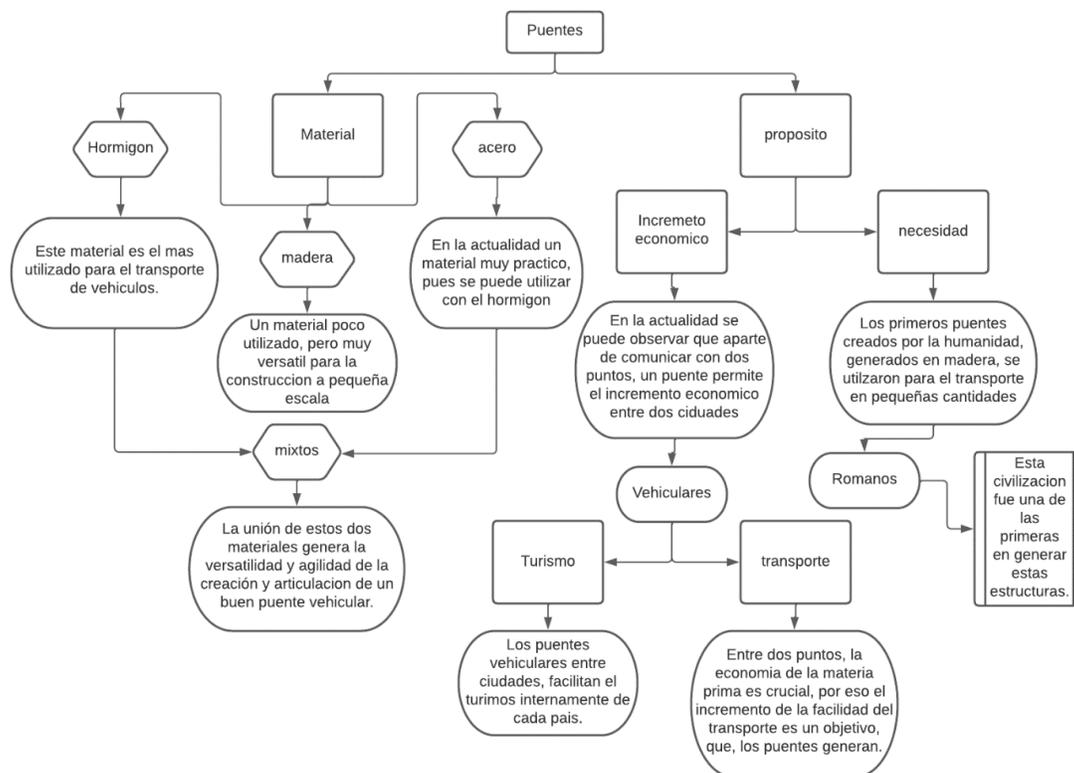
### 3. Marco Teórico

Hay muchos tipos de puentes que son típicos de la arquitectura actual. Su funcionalidad depende directamente de la longitud de luz que comprenda la estructura. Sin embargo, la aplicabilidad de los rangos de luz más comunes a menudo se superpone considerablemente, por lo que varios tipos de puentes suelen ser factibles en la mayoría de los rangos de luz (Zihong et al., 2010).

Como se aprecia en la figura 1, se catalogan las estructuras vehiculares según su material y el propósito que debe realizar cada uno independientemente de su vida útil.

**Figura 1**

*Puentes y su clasificación.*



Nota. Tipo y material utilizado en puentes. Tomado de (J. Liu et al., 2010).

### 3.1.1. Puentes en concreto

Los puentes en concreto actualmente han sido de gran revolución, pues su utilización en las zonas urbanas y rurales para la conectividad y solución de problemas, se ha vuelto más pragmático y eficaz su construcción, pues, la construcción de estas estructuras genera un mejor desarrollo económico y vial (dependiendo del caso); estas construcciones en concreto, que mayormente se conocen como puentes en concreto reforzado (Lei et al., 2011).

Los componente o partes que puede comprender un puente de concreto se categorizan en el mundo de la ingeniería civil como; las super estructuras, que estas, comprenden el tablero el cual, es una losa (de diferentes materiales) que descansa sobre las estructuras de los laterales que estas son las encargadas de redireccionar las cargas que puede llegar a soportar el puente. El componente faltante, es nombrado como la sub estructura, este, considerado por dos consideraciones estructurales, una denominada estribo (elemento crucial en la estructura pues es el más considerado en cuanto a términos de resistencia) y los pilares (los cuales son apoyos intermedios constituidos en el puente) (Qi & Yang, 2020).

Las categorizaciones de los puentes se pueden distribuir según su construcción o funcionalidad estructural, a continuación, se distribuyen en tres específicos según su funcionalidad estructural:

- **Losa maciza:** este tipo de puentes, se utiliza mayormente en distancias no muy largas, pues, este tipo de puentes son utilizados con el fin de volver a generar el uso de longevos estribos, este tipo de puentes son mayormente generados en materiales como el hormigón prees forzado y hormigón armado, (la diferencia

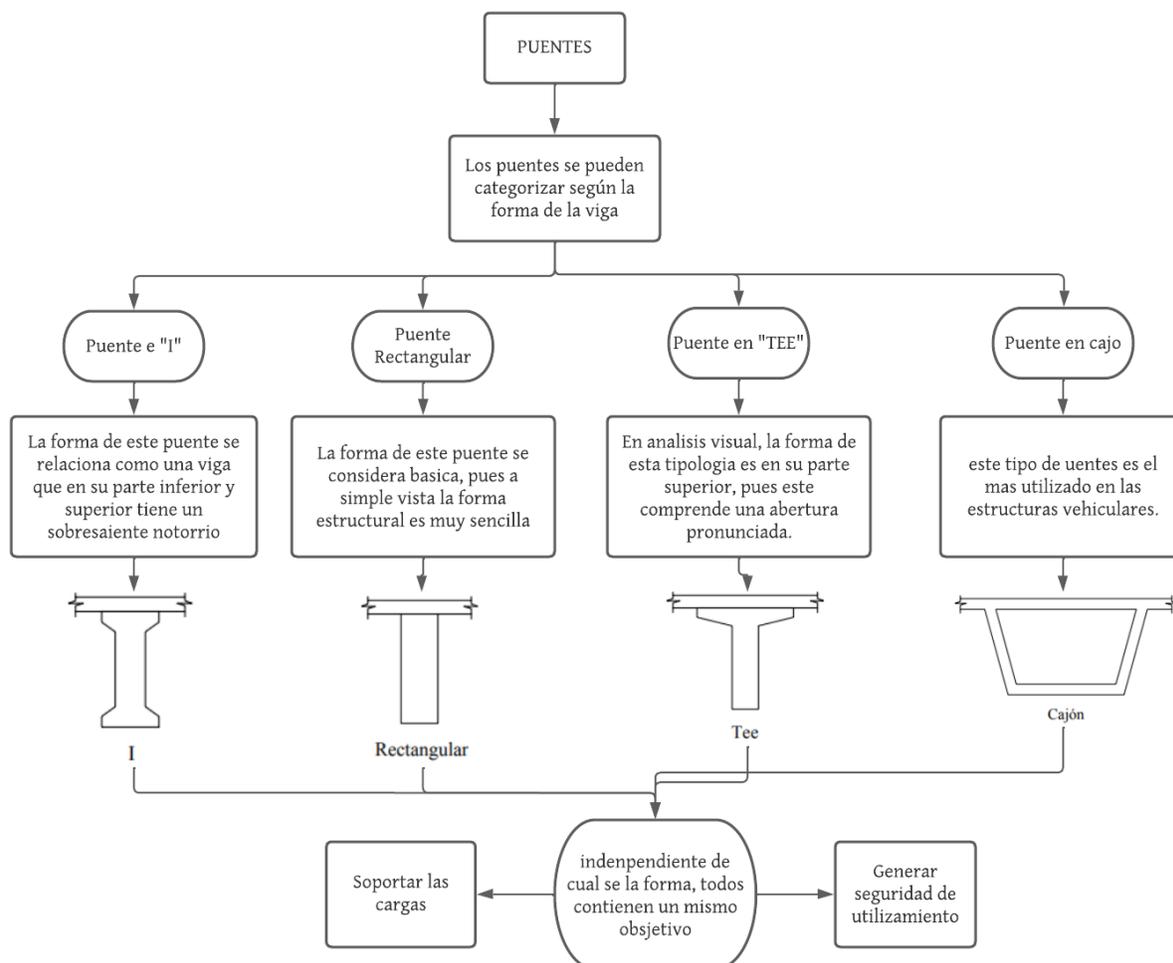
que estos pueden conllevar se basara en la forma estructural de sus diseños y función (Xiaomeng & Wenzhong, 2011).

- **Losa y viga:** comparado con el tipo de puente anterior, este por otro componente, se diferencia en la longitud, pues este puede llegar a comprender más largo de luz, comprendiendo casi el doble de la tipología de puente pasado, la comparación más notoria analizada, se estructura en su forma de distribuir las cargas, que, concernientemente, las cargas que son ejercidas se redistribuyen sobre todo el tablero, el cual, se encuentra apoyado sobre los estribos laterales, transmitiendo así, las cargas al suelo (H. Liu, 2020).
- **Puentes continuos:** este tipo de puente se puede sub categorizar, debido a que se comprende diferentes tipos de vigas como; de celosía, alma llena (estructura metálica o en acero) o vigas y viguetas de hormigón (Wu & Wu, 2011).

Los puentes (ver la figura 2) también se pueden categorizar según su construcción, esto, haciendo alusión al tipo de diseño que se acomode mejor a la funcionalidad del puente:

**Figura 2**

*Diagrama categorización de viga en puentes.*



Nota. Puentes según su estructura. Elaborado por el estudiante.

### 3.1.2. Puentes de viga cajón

Los puentes viga cajón, se caracterizan porque la forma es confinada; técnicamente se comprende de tres particularidades, una losa superior, un alma y una losa inferior. Estas anteriormente enunciadas, se realizan en acero o en concreto, pues su proceso constructivo

variará dependiendo del diseño y la utilidad del puente, actualmente los puentes vigas cajón son considerados prácticos y resistentes para grandes distancias (AASHTO, 2016).

Los materiales del puente, están principalmente basados en el concreto y en el acero, el acero, por un lado se considera un material versátil que ayuda a resistir las cargas una vez se funde el concreto en los armados de los puentes (cabe resaltar que es dependiendo del diseño de puente); por otro lado, la composición del concreto según por norma CPP-14, lo ideal es manejar alrededor de un 70% al 75% del volumen para el concreto en agregados, estos agregados pueden ser tanto gruesos como finos (Li et al., 2009) .

El puente (ver Figura 3) al presente caso de estudio para el análisis de resultados, se considera un puente viga cajón, ubicado en la Avenida primera de mayo con Avenida Boyacá. Es un puente vehicular que conectando las zonas norte y sur de la ciudad.

### Figura 3

Puente vehicular Avenida Primera de mayo



Nota. El puente vehicular para el caso de estudio. (*Google Maps*, 2022).

### **3.1.3. Puentes de vigas de placas soldadas**

Las vigas de losa soldada son el tipo más popular de estructura de acero. Hasta la década de 1970, muchos diseños de puentes usaban dos vigas de cubierta, vigas de piso transversales igualmente espaciadas y largueros longitudinales, continuas en las vigas de piso o enmarcadas en el alma de las vigas de piso. Sin embargo, a medida que las vigas soldadas se convierten en el método de fabricación predominante y se producen grietas en las vigas debido a un detalle de fatiga deficiente, la criticidad de la fractura es una preocupación para muchas instituciones.

El ala superior y mayor, parte del alma de la viga, la cual, se extiende por encima de la parte superior de la plataforma. Por lo general, se proporcionan almohadillas para las rodillas en cada ubicación de la vigueta del piso, para sostener el ala superior de la vigueta. Hay varias razones por las que los puentes de vigas no se utilizan comúnmente; en estructuras de carreteras. Las estructuras de dos vigas producidas por este sistema generalmente se consideran críticas para la fractura, lo que significa que la falla de una de las vigas principales puede conducir directamente a la falla de todo el puente (Roger L. Brockenbrough & The late Frederick S. Merritt, 2020).

Esto requeriría agregar acero adicional en el ala superior de la viga debido a la resistencia reducida debido a la longitud sin apoyo. Los diseños de vigas de cubierta generalmente se optimizan para tramos de más de 125 pies si se puede determinar que el espacio entre vigas es de entre 11 y 14 pies. Esto minimiza el número de almas de la viga y el peso unitario total del acero. Los ahorros de costos derivados del número óptimo de vigas generalmente compensan cualquier aumento de costos debido a una plataforma más gruesa. En algunos casos, para luces de menos

de 125 pies, las viguetas más estrechas o el espaciado de las viguetas pueden resultar más económicas. Además, algunas agencias aún limitan el espacio entre viguetas al rango de 8 a 9 pies que era común hace años, aunque actualmente no hay ninguna razón económica para hacerlo para luces más largas (Roger L. Brockenbrough & The late Frederick S. Merritt, 2020).

Como se aprecia en la Figura 4, los puentes peatonales implementados en la capital del país en Colombia se consideran de viga soldada. Su estructura la hace eficiente y eficaz, estas estructuras revolucionaron el tiempo de construcción de senderos peatonales, pues, convenientemente, su instalación es bastante práctica.

#### **Figura 4**

*Puente en viga soldada Puente peatonal*



Nota. Puente peatonal en acero. Tomado por el estudiante.

### 3.1.4. Arcos

Los arcos soportan cargas con una combinación de acción de viga y fuerza axial o empuje. Toma de referencia varias formas básicas. Un arco verdadero pasa la componente horizontal de cada reacción directamente a Contrafuertes, también resiste reacciones verticales. La costilla del arco soporta empuje y momento. Los arcos anudados aumentan la aplicabilidad del arco al agregar un lazo como miembro de tensión entre los extremos del segmento.

En un arco atirantado (ver Figura 5), el empuje lo lleva el tirante, pero el momento es Dividido en arco y arco, proporcional a la rigidez de ambos miembros. Los arcos pueden tener refuerzos o costillas sólidas. Los arcos de costillas sólidas se utilizan a menudo para estructuras más cortas. Los arcos cableados tienden a ser económicamente viables a medida que aumentan las longitudes de luz 1000 pies (Fu & Wang, 2014).

#### Figura 5

*Puente de arco*



Nota. Estructura en acero forma de arco. Tomado por estudiante.

### 3.1.5. Atirantado

Los puentes atirantados utilizan cables de acero de alta resistencia como componentes estructurales principales. Los cables están inclinados desde la torre de soporte hasta la viga perimetral al nivel de la cubierta o por debajo de esta. Estos puentes suelen ser estructuras icónicas con excelentes características estéticas, caracterizadas por superestructuras muy esbeltas y torres altísimas.

Por lo general, las torres son muy altas y la altura está determinada por la longitud del tramo (ver figura 6). La pendiente del tirante más largo determina la altura mínima de la torre. El ángulo del cable más plano no debe ser inferior a unos 22 grados con respecto al horizontal. Por debajo de 22 grados, el cable es ineficiente para soportar el componente de carga vertical y aplica una compresión muy alta de fuerza en la viga de borde (Roger L. Brockenbrough & The late Frederick S. Merritt, 2020a)

#### Figura 6

*Puente atirantado*

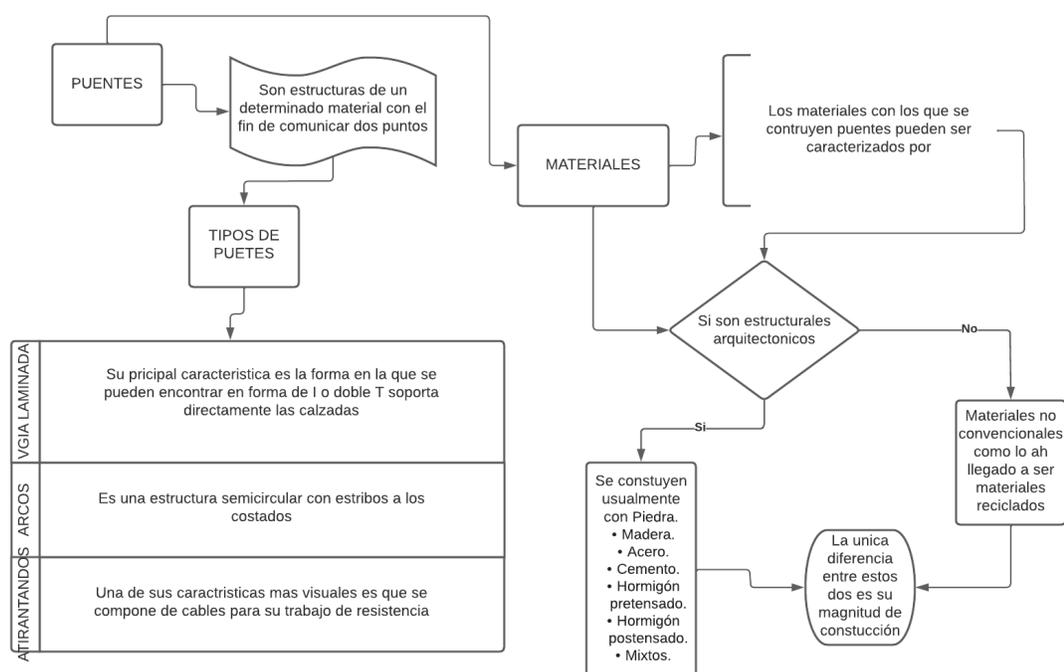


Nota. Puente antiguo atirantado. Tomado de (Invias, 2020)

En los puentes atirantados se emplea una amplia variedad de configuraciones de torres. en los Estados Unidos y en todo el mundo. La torre H tiene dos patas que se elevan verticalmente por encima del borde. Los puentes y los cables no están en el camino. Los puntales suelen tener una parte media y una elevación desde la torre, pero por debajo del nivel del ancla de apoyo. Las torres tienen una apariencia más funcional que otras formas (Xu et al., 2009).

## Figura 7

Tipología de puentes.



Nota. Flujograma de clasificación de los puentes. Elaborado por el estudiante.

### 3.2. Relación con la temperatura

Según (Goldstein et al., 1998) La temperatura es una propiedad termodinámica que se define para un sistema en equilibrio. Incluso para los sistemas que no están en equilibrio, como en los medios donde hay gradientes de temperatura, a menudo se supone que la temperatura dada por las mediciones locales puede ayudar a determinar las propiedades termodinámicas locales asumiendo un equilibrio local. Conocidas como cargas vivas en estructuras vehiculares, se consideran cargas ambientales, las cuales son fuerzas provocadas por cambios en la temperatura ambiente.

La evaluación de la temperatura de la parte superficial del elemento aborda directamente la trasmisión de calor y los cambios térmicos en diferentes momentos del día debido a los factores ambientales a los que está expuesta la estructura. Se identificaron tres mecanismos de acuerdo con (Browne, 2020). En la Figura 8 se observa un resumen para entender la transferencia de calor.

#### Figura 8

Mecanismos de transferencia de calor.



Nota. La transferencia de calor. Sacado de (Ye et al., 2011).

Con respecto a (Carta, 2021) se ha pensado que la conducción puede ocurrir dentro de un cuerpo o entre dos cuerpos en contacto; la convección, a su vez, depende del transporte de materia. El fluido viaja de una región del espacio a otra, y la radiación, principalmente a través de ondas electromagnéticas, como la luz solar, rodea el cuerpo.

### 3.2.1. Conducción

De acuerdo con (Browne, 2020), la conducción es causada por la actividad molecular que al frotarse entre sí registra un flujo de cargas eléctricas desde las partículas con mayor energía hacia las partículas con menor energía. Esto sucede cuando hay diferencia de temperatura entre las dos partes del medio conductor, lo que permite que el flujo de calor se establezca desde abajo. Ahora bien, para los sólidos, en el caso de los metales la conducción se puede atribuir a la oscilación o movimiento de electrones independientes.

Debido a la ley de conducción de calor de Fourier, se puede cuantificar el proceso de transferencia de calor y la energía transferida por unidad de tiempo, que es una relación proporcional entre el flujo de calor y el gradiente de temperatura, y su ecuación es:

$$H = \frac{Vq}{vt} \quad (1)$$

$$H = \frac{dQ}{dt} = -k \frac{dT}{dx}$$

Donde:

$$\frac{dQ}{dT} = \text{calor transferido en el tiempo}$$

$K = \text{conductividad termica}$

$$\frac{dT}{dX} = \text{gradiente de temperatura}$$

El signo negativo nos indica que la conducción de calor es en la dirección decreciente de la temperatura.

### 3.2.2. Convección

Según (Browne, 2020) existen mecanismos que surgen del movimiento o circulación de moléculas dentro del medio, ocurre de dos maneras: una es a través de un proceso de difusión, donde, la energía viene dada por el movimiento aleatorio de las moléculas, la segunda se debe al movimiento fluido total.

Esta transferencia ocurre en líquidos y gases porque en estos estados los átomos y moléculas pueden moverse libremente en el medio y entenderse entre sí, mientras que el mecanismo de transferencia de calor en fluidos surge de la interacción de medios fríos y calientes en diferentes estados, considerando la convección en constante movimiento, puede ser descrito por la ley de enfriamiento de Newton, que modela la velocidad a la que se produce dicha transferencia, que a su vez es proporcional a la diferencia de temperatura. Es necesario considerar un modelo de transferencia de calor por un mecanismo convectivo llamado enfriamiento newtoniano. Determinar la siguiente ecuación:

$$H = hA(TA - T) \quad (2)$$

Donde:

h= Coeficiente de convección en W (m<sup>2</sup>.K)

A= Superficie que proporciona calor TA

TA= Temperatura de la superficie 25

T= Temperatura del fluido.

### 3.2.3. Radiación

En este mecanismo, la energía se libera del medio material a través del vacío simplemente porque su temperatura está por encima de cero Kelvin, que está presente en los sólidos, como líquidos y gases. La emisión de energía se produce directamente desde la fuente en todas las direcciones. Esto se debe a la transformación electrónica de los átomos, y su transporte se realiza a través del electromagnetismo, efecto denominado radiación. Electromagnetic («American National Standard Data Format for Radiation Detectors Used for Homeland Security - Redline», 2020).

Ahora el puente se irradia en la región superior, debido a la exposición constante al sol, esta transferencia está representada por la ecuación desarrollada por Planck, que menciona la longitud de onda de la radiación como relacionado con la energía de los fotones emitidos y absorbidos por la materia (Browne, 2020).

Para calcular la radiación se emplea la siguiente ecuación:

$$E = hC \quad (3)$$

Donde:

$h$ = Constante de Planck, su valor es  $6.63 \times 10^{-34}$

$\lambda$  = Longitud de onda

$C$ = Velocidad de la luz igual a  $299.792 \text{ km/s}$

En toda estructura que se construye, se debe tener en cuenta después de un tiempo de uso, aquellas afectaciones por causas terceras o directas que la afectan, una vez observado que la estructura sí ha sido afectada, se deben determinar qué tan crítico es el estado. Las patologías (como es llamado técnicamente los problemas que presentan en alguna estructura) deben ser identificadas y cuantificadas en niveles de riesgo, puesto que el nivel de este dependerá de que

tan vulnerable se encuentre la estructura (Roger L. Brockenbrough & The late Frederick S. Merritt, 2020).

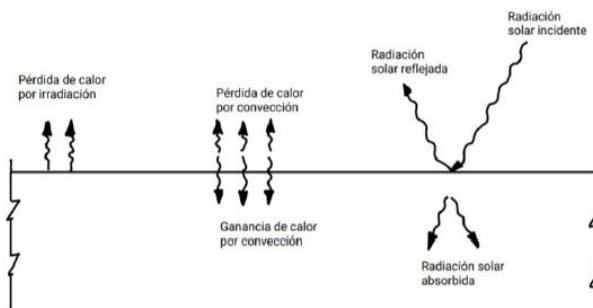
### 3.3. Cargas térmicas en los puentes

Las superestructuras, como lo son el caso de los puentes, que están expuestos a varios fenómenos naturales externos, pueden llegar a sufrir efectos térmicos y, directamente de este problema, efectos mecánicos que afecten a la estructura. Estos problemas que se plantean son considerados técnicamente como cargas vivas o cargas muertas, que estructuralmente son consideradas en todo redimensionamiento y ejecución de alguna obra.

Las cargas térmicas, las cuales, afectan directamente a la super estructura; afectaciones las cuales son categorizadas como expansiones y contracciones del acero dentro del concreto, estos cambios de volumen que se generan dentro de la estructura, no se tienen en cuenta, debido a que no se tienen presentes en su prediseño, estos cambios bruscos generados son debido a los esfuerzos de flexión que tiene que soportar la estructura, todo debido a las expansiones y contracciones (Tao, 2009).

#### Figura 9

*Afectaciones climáticas y los problemas generados*

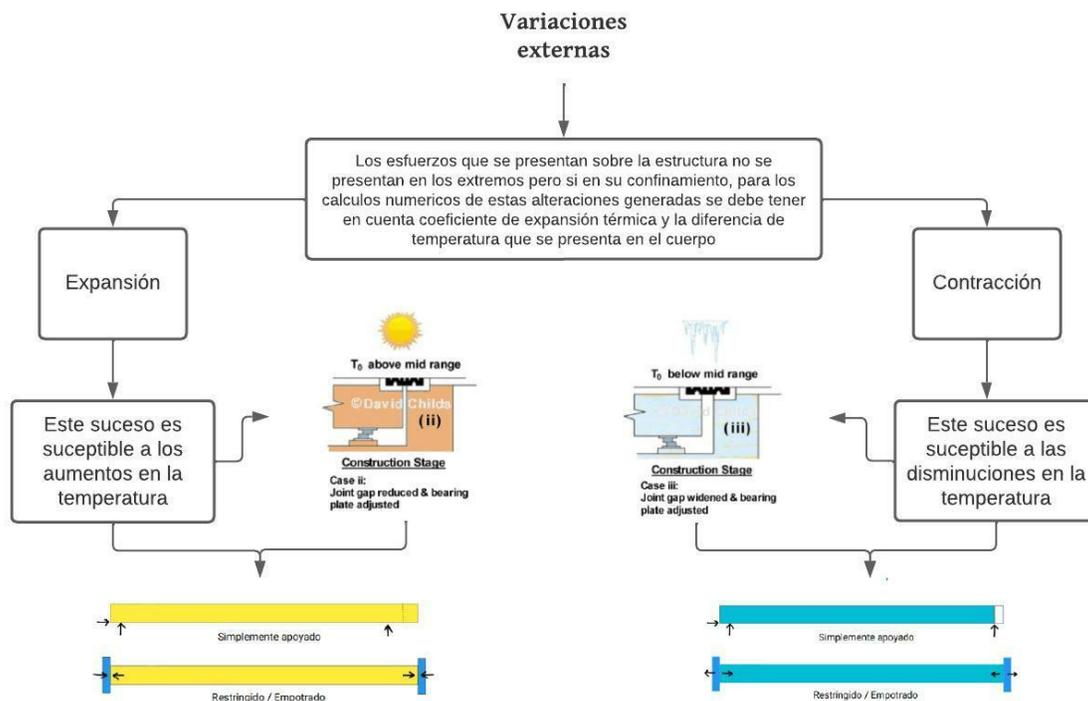


Nota. Afectaciones climáticas para los puentes. Sacado de AGhali et al., (2012).

Las expansiones y contracciones que se generan sobre las estructuras están ligadas a las variaciones en el clima. Las expansiones están directamente proporcionadas a los aumentos en los de la temperatura, mientras que, en las contracciones, la disminución de la temperatura genera una compresión sobre la zona, se debe considerar que las estructuras cuentan con una temperatura inicial, en aquellos momentos la superestructura no cuenta con las expansiones anteriormente descritas (Ding et al., 2010). El comportamiento mecánico que se emplean para las superestructuras sobre los cambios o variaciones por las afectaciones climáticas se expresan de la siguiente forma (ver Figura 11).

**Figura 10**

Alteraciones térmicas

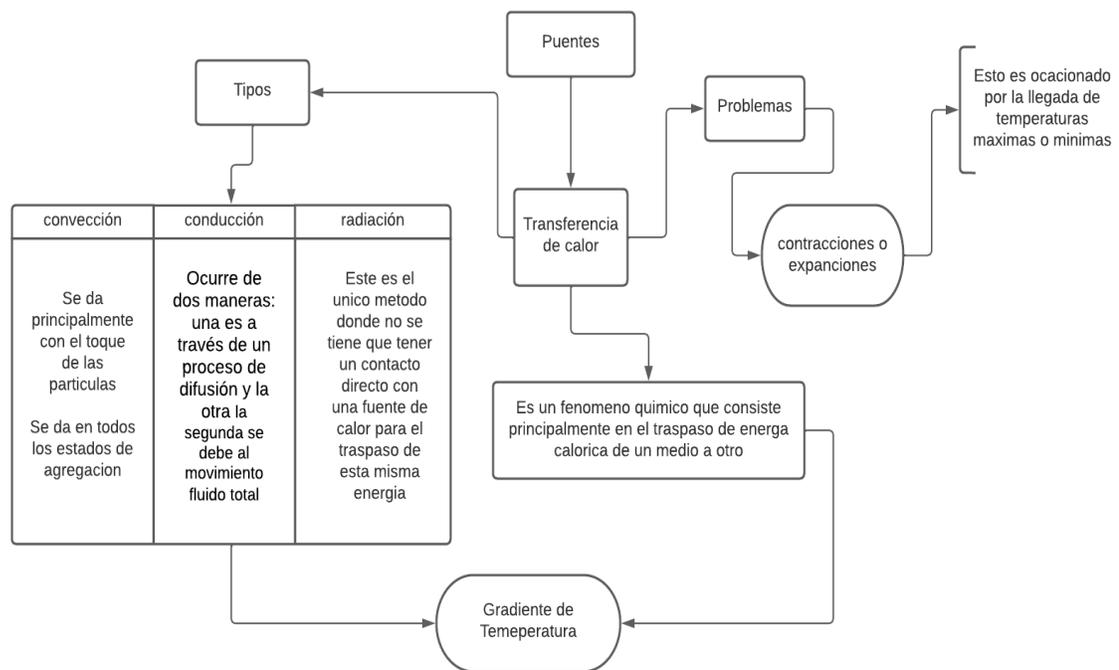


Nota. Afectaciones mecánicas en puentes. Elaborado por el estudiante.

Las contracciones y expansiones que se presentan sobre las estructuras por las alteraciones térmicas por el clima afectan estructuralmente a la misma, generando así, agrietamientos y/o fisuras.

### Figura 11

*Gradiente térmico.*



Nota. Gradientes térmicos. Elaborado por el estudiante.

### 3.4. NORMA CPP-14

La norma CPP-14 da parametrización que especifica paso a paso y los requisitos que se deben tomar en cuenta al momento de construir un puente en concreto u hormigón, toman en cuentas las cargas vivas como las cargas muertas, aquellas cargas que se debe tomar en cuenta para el redimensionamiento, diseño y creación de los puentes en Colombia.

Para la presente norma, regionalizada y adaptada de estudios americanos, especifica en su gran mayoría los parámetros constructivos y de diseños que se deben emplear para la construcción o elaboración de las estructuras vehiculares, siendo una norma adaptada de otra, no se cuenta con una información lo suficientemente completa para predecir todos los factores influyentes que puedan generar que la estructura cumpla a cabalidad todos los parámetros que se deben tener en cuenta (MinTransporte et al., 2014).

Uno de los factores no parametrizados completamente sobre el diseño de puente, son las variaciones ambientales que se efectúan sobre la misa, aunque se han desarrollado estudios para la determinación de todas las afectaciones que tienen estos factores, la Norma CPP-14 no la comprende completamente (Oraza, 2011).

Para la transferencia de calor en estructuras se tiene en cuenta unas tablas que arroja la norma en índice 3.12.2.1 en el intervalo de temperatura para el procedimiento A. (MinTransporte et al., 2014).

El cual se especifican los intervalos que deben tenerse en cuenta los límites superiores o inferiores para tener en cuenta los cálculos de deformaciones térmicas.

**Tabla 1***Temperaturas según Norma.*

CLIMA	Acero o Aluminio	Concreto	Madera
Moderado	-18° a 49°C (0° a 120°F)	-12° a 27°C (10° a 80°F)	-12° a 24°C (10° a 75°F)
Frio	-35° a 49°C (-30 a 120°F)	-18° a 27°C (0° a 80°F)	-18 a 24°C (0° a 75°F)

Nota. Intervalos de temperatura para puentes según norma. Tomado de (MinTransporte et al., 2014).

### 3.5. Patologías generadas por deterioro

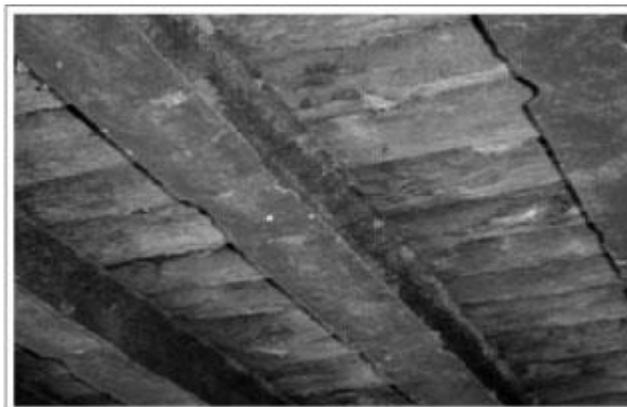
Este tipo de patología (ver figura 12) se ve más reflejada a lo largo del tiempo de vida que pueda llegar a tener una estructura, aquellos factores externos que ocasionan fisuras o grietas. Aquellos factores como lo es el calor y la humedad generan erosión en algunas partes del cuerpo de la obra.

Humedad: Es una de las dolencias más comunes en los edificios y está considerada como una de las más importantes. Afecta directamente al nivel de salubridad y habitabilidad de la estructura. Algunas de las condiciones que se pueden observar debido a la humedad son:

- Humedad producida por capilaridad o filtración a través del subsuelo. El agua que sube trata de llegar al exterior durante la transpiración para lograr un equilibrio de humedad entre el suelo y el medio ambiente.
- Humedades localizadas. Debido a la deformación térmica hay humedad localizada en el suelo.

**Figura 12**

*Patología generada por deterioro.*



Nota. Fallas por estado plástico. Tomado de (Mascia & Sartorti, 2011).

### **3.5.1. Originadas por el estado plástico**

Las grietas por retracción hidráulica antes del fraguado final, también conocidas como grietas por retracción plástica, se encuentran generalmente en losas y losas de piso, y generalmente aparecen temporalmente después de que la luz del agua desaparece en la superficie del concreto, generalmente de profundidad considerable, y no siguen el mismo patrón o simetría.

Generalmente este tipo de grietas son generadas en ambientes cálidos, por lo que ocasiona que el agua de la mezcla se evapore más rápido que del tiempo de fraguado (Díaz Barreiro, Patricia, 2014) .

Algunas de las características del estado plástico es que la abertura de las grietas son 2 cm a 4 cm y pueden llegar a atravesar toda la losa, una peculiaridad de este tipo de grietas es que rodean los agregados del concreto y no los fracturan. En la figura 13, los desgastes que se presentan usualmente son por variaciones en los estados de la materia, por eso en la imagen se presentan fallas por el estado plástico.

**Figura 13**

*Patología generada por deterioro en losa.*



Nota. Estado plástico del concreto. Tomado de (Chile.cubica, 2017)

### **3.5.2. Por endurecimiento**

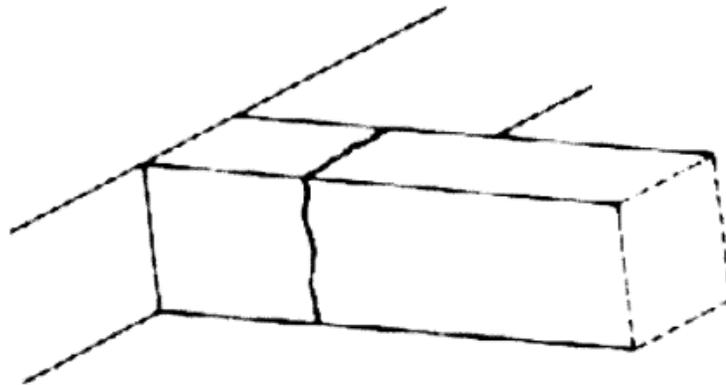
Para este tipo de falla que se genera en el hormigón, el agua también juega un papel fundamental debido a que en el momento de vertimiento del hormigón, para el llenado de los encofrados o de las bases de la estructura, se pierde el agua en el momento de fraguado, pero el agua toma el papel importante debido a que por las condiciones normales del ambiente, el agua debe de evaporarse en una cierta cantidad de tiempo es motivo para que se contraiga paulatinamente a medida que se endurece y a esta retracción hidráulica se le conoce como contracción por secado (Mascia & Sartorti, 2011).

La contracción que se genera en la estructura por este tipo de fisuras es más impactante que la expansión debido a que un secado con grandes cantidades de agua en sus fisuras equivale a unos cambios de volúmenes más importantes y difíciles de prevenir. En los puentes este tipo de fisuras se pueden evidenciar en las vigas o las losas, en vigas se evidencia más en tramos

medianamente largos mientras que en las los son grietas transversales que recorren de extremo a extremo.

#### **Figura 14**

*Fisura ocasionada en viga longitudinal.*



Nota las vigas que presentan fallas se deben más que todo al exceso de carga que estas resisten, por lo que en la imagen se ve la falla transversal en una viga. sacada de (Mascia & Sartorti, 2011)

### **3.6. Generadas por cargas que originan esfuerzos**

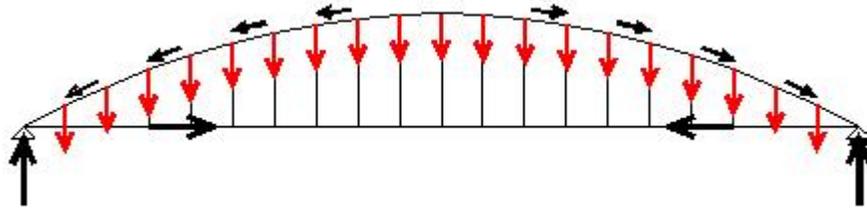
Por fisura miento, las grietas mayormente aparecen por fallos en cálculos o fallos en los diseños estructurales que se tenían previstos para la elaboración de la estructura. Pero esto se toma en cuenta por el primer factor nombrado anteriormente, pero también uno de los que se toma en cuenta para esta ocurrencia de fisuras son la utilización de materiales de mala calidad, los malos diseños o la mala implementación de los materiales generan deformaciones (Heng & Huarui, 2018).

En la Figura 15, se presentan la distribución de las cargas muertas que deben soportar las estructuras, afirmando así; si el diseño del puente no se encuentra bien estructurado y planteado,

las cargas vivas que se ejerzan sobre el puente (teniendo en cuenta también otros parámetros que pueda influir para la fisura miento por cargas) la estructura colapsaría (Mascia & Sartorti, 2011).

### Figura 15

*Cargas en los puentes.*



Nota. Distribución de las cargas muertas y esfuerzos. Adpatado de (Madhukumar et al., 2022).

Las fallas por esfuerzos que se presentan sobre las estructuras pueden ser asimilados a la mala ejecución que se tuvo para la construcción de esta. En la figura 16 se presenta el colapso de la estructura por la utilización de malos materiales.

### Figura 16

*Fisuras ocasionadas por cargas en puentes.*

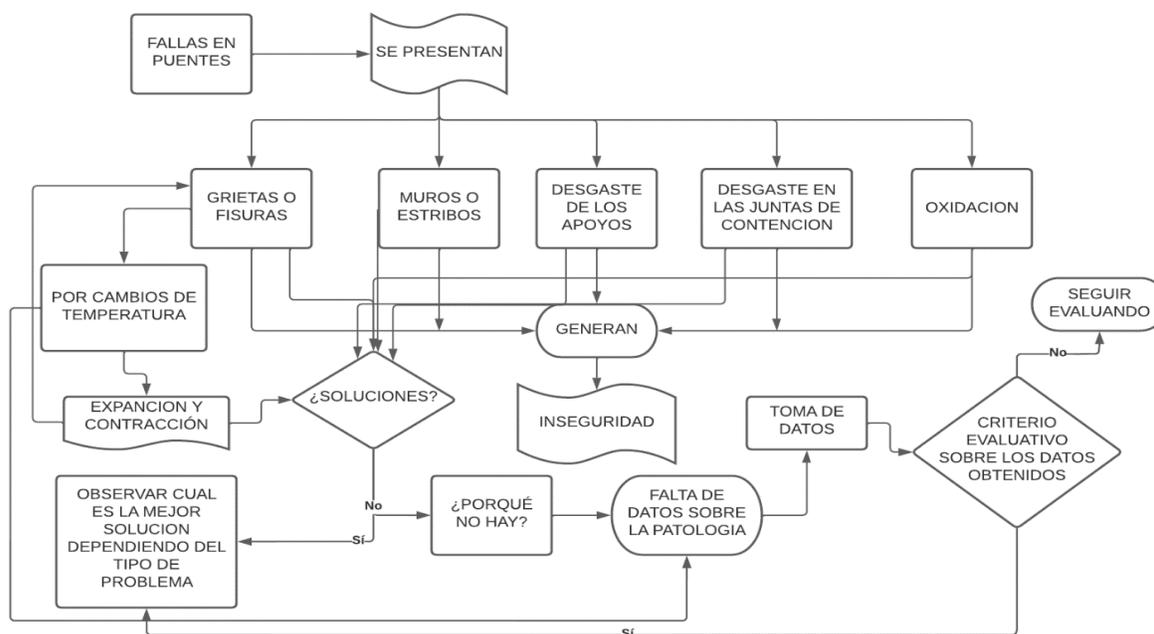


Nota. Fallas cóncavas en puentes. Tomado de (Rodríguez, 2020).

Las fallas en los puentes se pueden presentar por diversos factores, En la figura 17 se presentan las fallas y los análisis realizados por el tipo de material y forma de la estructura.

**Figura 17**

*Fallas y análisis*



Nota. Tipos de fallas en los puentes. Elaborado por el estudiante.

#### 4. Estado del conocimiento

Los últimos casos de estudio que se han venido presentado frente a las alteraciones climáticas incidentes sobre estructuras se evidencian que tanto autores como universidades han trabajado de la mano para el desarrollo práctico y tecnológico en instancias de obtener información sobre los presentes fenómenos. La información que se presenta de las cargas en los últimos años ha tomado gran fuerza debido a los trabajos de campo que se desarrollan (Vargas Duran, 2021).

En base a lo anterior, se realizó una consulta en la plataforma de Scopus utilizando palabras claves como Thermal Loads (cargas térmicas), radiation (radiación), convection on bridges (convección en puentes) y Thermal Effects (efectos térmicos). En la tabla 2 se presentan las temáticas y los artículos publicados filtrados y encontrados desde el año 2004. En la figura 18 se observa la cronología de las publicaciones y el aumento de interés científico frente a la última década.

**Tabla 2**

*Autores y accesibilidad a los documentos metodológicos.*

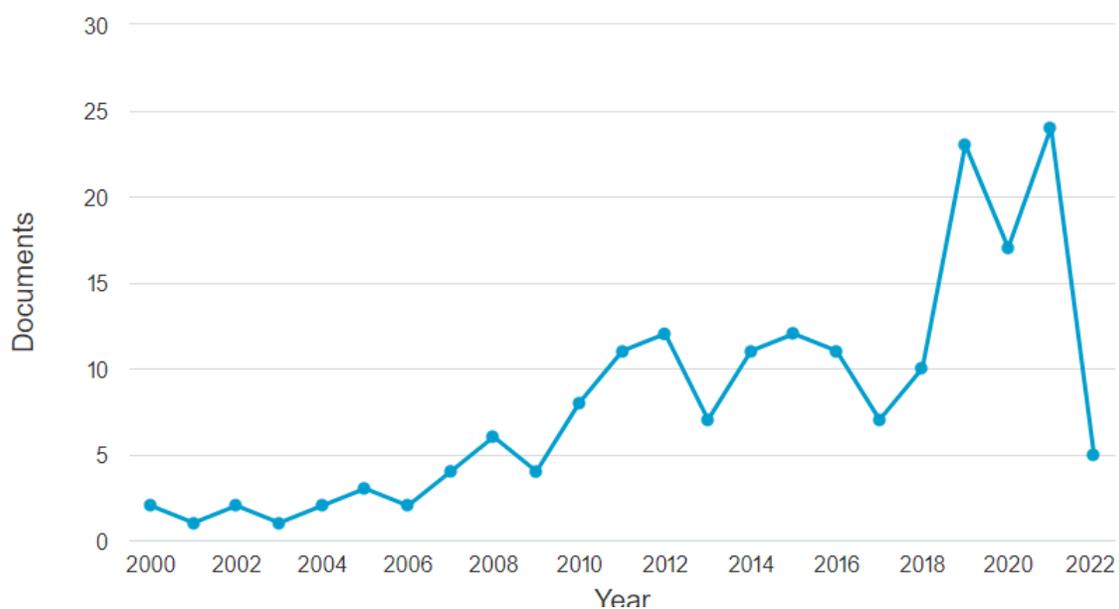
Método	Cita	Accesible
Efectos térmicos en estructuras vehiculares, hechas en material de hormigón.	● (Zeng et al., 2022)	Accesible
	● (X. Wang et al., 2020)	Accesible
	● (Jensen et al., 1998)	Accesible
	● (Meng et al., 2021)	
	● (Y. Wang et al., 2021)	
	● (Y. Liu et al., 2020)	
	● (Xu et al., 2020)	
	● (Numan et al., 2020)	Accesible
	● (J. Liu et al., 2020)	Accesible
	● (Zhang & Xiao, 2020)	Accesible

		Accesible Accesible Accesible Accesible
<b>Otros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (Browne, 2020)</li> <li>● (Ngeljaratan &amp; Moustafa, 2020)</li> <li>● (Sheng et al., 2020)</li> <li>● (Pushpalatha &amp; Gangadharan, 2020)</li> <li>● (Zhang &amp; Xiao, 2020)</li> <li>● (Yang et al., 2020)</li> <li>● (Ballesteros Avellaneda, 2022)</li> <li>● (J. Liu et al., 2010)</li> <li>● (Krkoška &amp; Moravčík, 2015)</li> <li>● (Wu &amp; Wu, 2011)</li> <li>● (Tao, 2009)</li> </ul>	Accesible Accesible  Accesible Accesible  Accesible Accesible Accesible  Accesible Accesible Accesible

**Figura 18**

*Documentos publicados por la plataforma a lo largo del año.*

Documents by year



Nota. Debido a la gran demanda de artículos se observan las crecientes de artículos buscados en el programa de Scopus. Sacado de (*Scopus - Document search*, 2018)

Las cargas térmicas, estudiadas en diferentes documentos, nos dan la guía de los problemas técnicos que se presentan sobre las estructuras vehiculares, (Krkoška & Moravčík, 2015) afirman sobre un estudio realizado en Europa, la importancia que se debe tener al momento de plantear un diseño, puesto que los gradientes térmicos generados por afectaciones ambientales, pueden considerarse como negativos o positivos, generando agrietamientos debido a la radiación y cambios abruptos en las temperaturas, con más agentes externos a tener en cuenta.

Estas variaciones enunciadas anteriormente, se pueden producir internamente como externamente a ella, sobre todo, el caso de estudio se dio sobre los principales apoyos y esfuerzos de equilibrio.

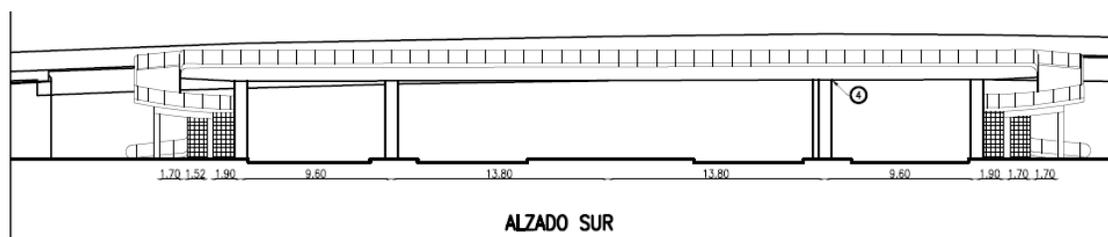
En los últimos casos de estudios donde se han determinado las variaciones de cargas térmicas sobre el concreto, se pudo determinar que estas afectaciones ambientales, pueden llegarse a considerar como importantes para el diseño, puesto que, se deben reforzar las estructuras longitudinalmente para proyectar un mejor tiempo de uso, para el tiempo de vida que se tenga previsto (Lu et al., 2021).

## 5. Metodología

La estructura en estudio se encuentra localizada en La ciudad de Bogotá, ubicada geográficamente en sus puntos más bajos a una altitud de 25650 msnm. Se monitoreó el Puente vehicular Primera de Mayo con Avenida Boyacá (ver figura 19)., El puente se identifica con el número 24154170 y 24119246 del (Inventario y servicio de los puentes de Bogotá, 2021). En la Figura 20 se presentan los planos de la cimentación. En la Figura 21, las dimensiones de la losa y viga cajón.

### Figura 19

Vista delantera del alzado sur del puente.



Nota. El plano alusivo, genera la idea de cómo es estructuralmente. Sacado de IDU (2013).

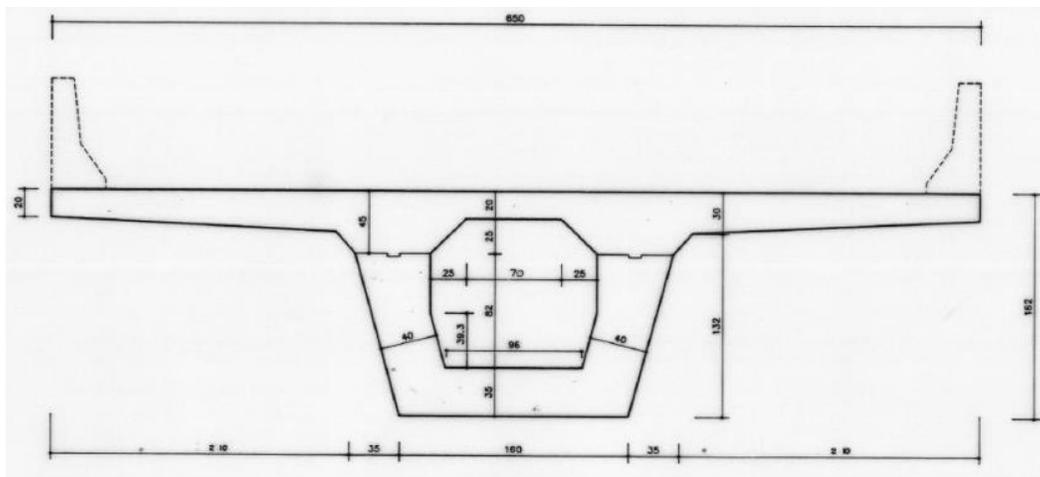
La estructura vehicular en la que se analizaran y desarrollaran los estudios y muestreos de la información, se localiza en la Avenida primera de mayo con Avenida Boyacá. Ubicado en un sector al suroccidente de la capital la zona ha sido considerada de vital estudio, pues, se han observado en periodos de tiempo anteriores, el deterioro que la estructura comprende, por ende, se ha optado por la estructura para la evaluación de las cargas térmicas que allí influyen.

Como se puede apreciar en la figura 20, en base al Instituto de Desarrollo urbano, se muestra las especificaciones del puente enunciado en el párrafo anterior, cabe resaltar que los



## Figura 21

Corte transversal del puente Avenida Primera de Mayo con Avenida Boyacá sentido Sur-Norte.



Nota. Plano sección viga cajón del puente. Tomado de (CASTILLO JIMÉNEZ & ROJAS MARIACA, 2021).

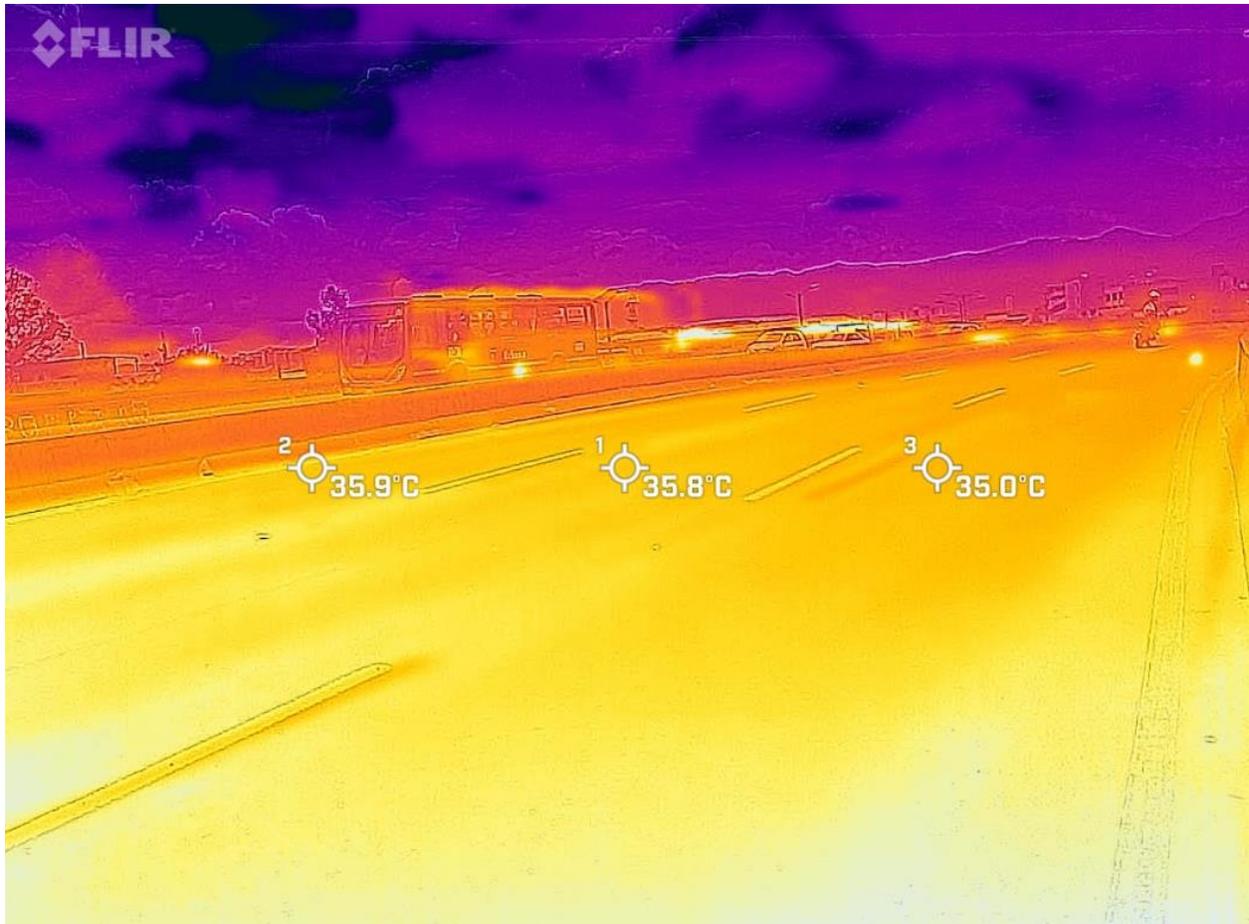
### 5.1. Etapa de Monitoreo

El monitoreo se realizó en dos temporadas, la primera en época de lluvias (abril) y la segunda para verano (Julio), según clima de Bogotá. El monitoreo se ejecutará mediante una cámara térmica proporcionada por la Universidad Antonio Nariño, la cual cuenta con el modelo FLIR ONE PRO y modelo FLIR. El monitoreo se pretende realizar mediante un registro fotográfico diario entre las 5:30 y 7:00 de la mañana y 12:00 y 15:30 de la tarde, siendo estos horarios donde se presentan los puntos de temperatura más bajos y altos; se tomaron datos durante 15 días para cada período. En el registro fotográfico se captaron puntos de interés alrededor de la estructura vial tales como, (vigas principales, pilares y parte superficial del puente). Para la extracción de mediciones se empleó el software (Thermal Studio, 2018), un software de termografía diseñado

específicamente para proporcionar de manera fácil las actualizaciones de la cámara Termográfica y crear informes de inspecciones.

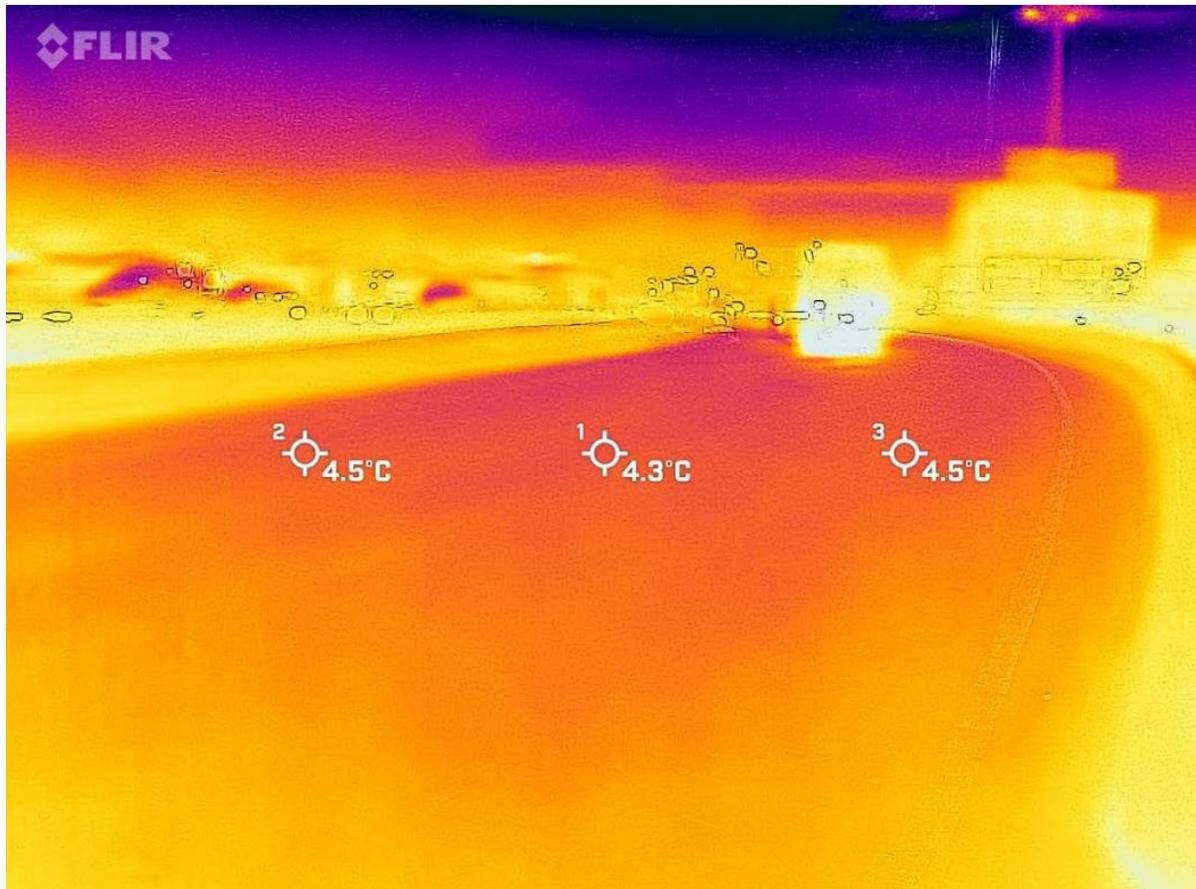
## Figura 22

*Parte superior del puente abril-tarde valores máximos*



**Figura 23**

*Parte superior del puente-mañana valores mínimos*



### **5.1. Modelo transitorio de balance térmico**

Los análisis se realizan mediante un modelo transitorio de balance térmico que se resuelve con el método de diferencias finitas, y el cual se planteó con base en la propuesta de Yunus A. & Afshin J.,2014). El nodo superior corresponde al balance térmico en condición de frontera donde con los mecanismos de convección, radiación solar, irradiación y conducción, como se presenta en la ecuación (4). Los nodos el balance corresponde al mecanismo de la conducción, ecuación (5). El nodo inferior, condición de frontera con los mecanismos de

convección, irradiación y conducción (ver ecuación (6)). El modelo se implementó en una hoja de cálculo y se validó con el ejemplo 5-6, almacenamiento de energía solar en los muros Trombe, propuesto (Yunus A. & Afshin J.,2014).

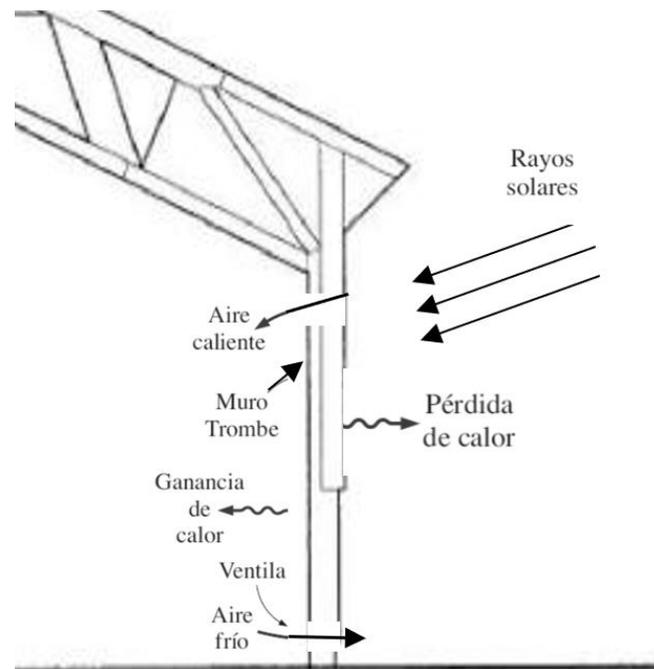
$$T_0^{i+1} = \frac{2n(T_\infty^i - T_0^i) + \Delta x}{k} + \frac{2kq^i \tau \Delta x}{k} + 2\tau(T_1^i - T_0^i) + \frac{2\varepsilon\sigma(T_0^{i4} - T_\infty^{i4})\tau \Delta x}{k} + T_0^i \quad (4)$$

$$T_n^{i+1} = \tau(T_{n-1}^i + T_{n+1}^i) + (1 - 2\tau)T_n^i \quad (5)$$

$$T_n^{i+1} = \frac{2h(T_\infty^i - T_n^i)}{k} + 2\tau(T_{n-\infty}^i - T_n^i) + \frac{2\varepsilon\sigma(T_n^{i4} - T_\infty^{i4})\tau \Delta x}{k} + T_n^i \quad (6)$$

## Figura 24

*Ejemplo modelo transitorio*

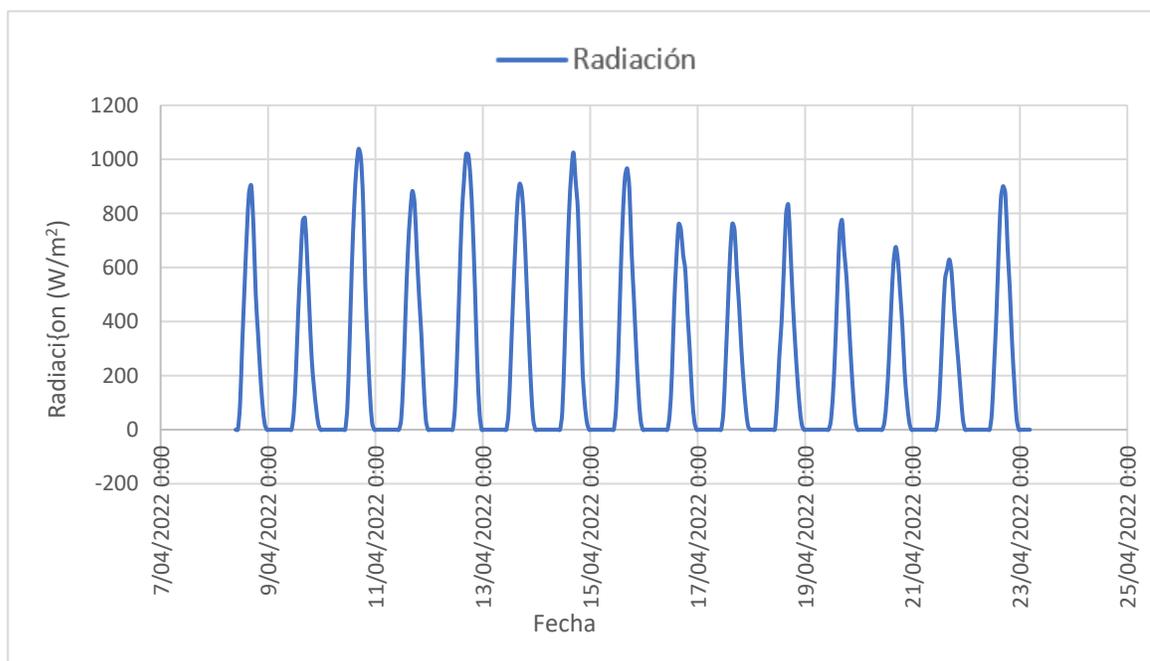


## 5.2. Datos ambientales y propiedades térmicas de los materiales.

Para los análisis se obtuvieron datos ambientales horarios, de velocidad de tiempo, temperatura y radiación, del IDEAM (IDEAM, 2018) NASA (Giovanni, 2018) y Weather Underground (Weather Underground, 2018). En la Figura 25 a la Figura 27 se presenta los datos para el periodo de abril, y de la Figura 28 a la 30 los datos para el periodo de julio. Las propiedades térmicas de los materiales usados en la modelación se presentan en la Tabla 3 para el asfalto y la Tabla 5 para concreto, cuyos valores medios son propuestos por (Bernal, 2016).

### Figura 25

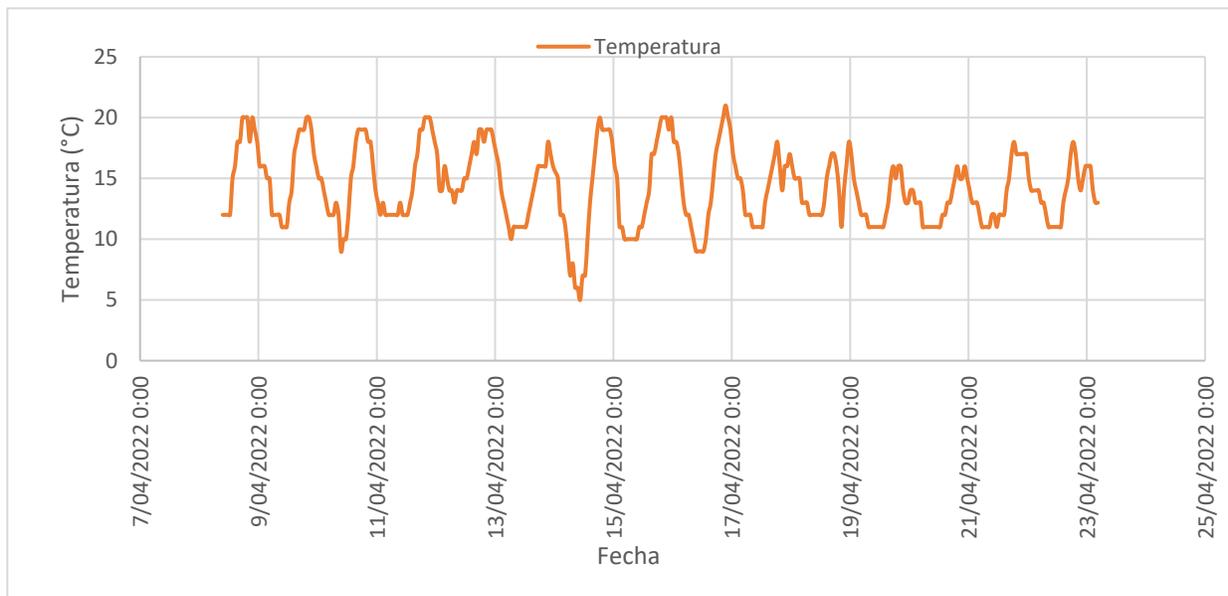
*Radiación para el periodo 8 de abril a 30 de abril*



Fuente. Elaboración propia, datos de (Giovanni, 2018)

**Figura 26**

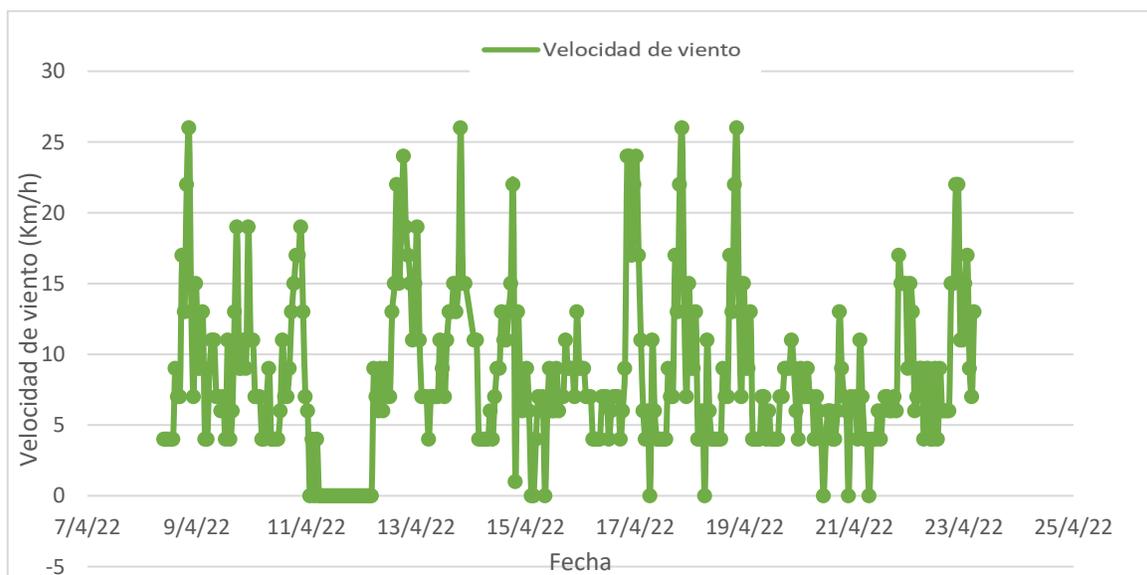
Temperatura para el periodo 8 de abril a 30 de abril



Fuente. Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2018).

**Figura 27**

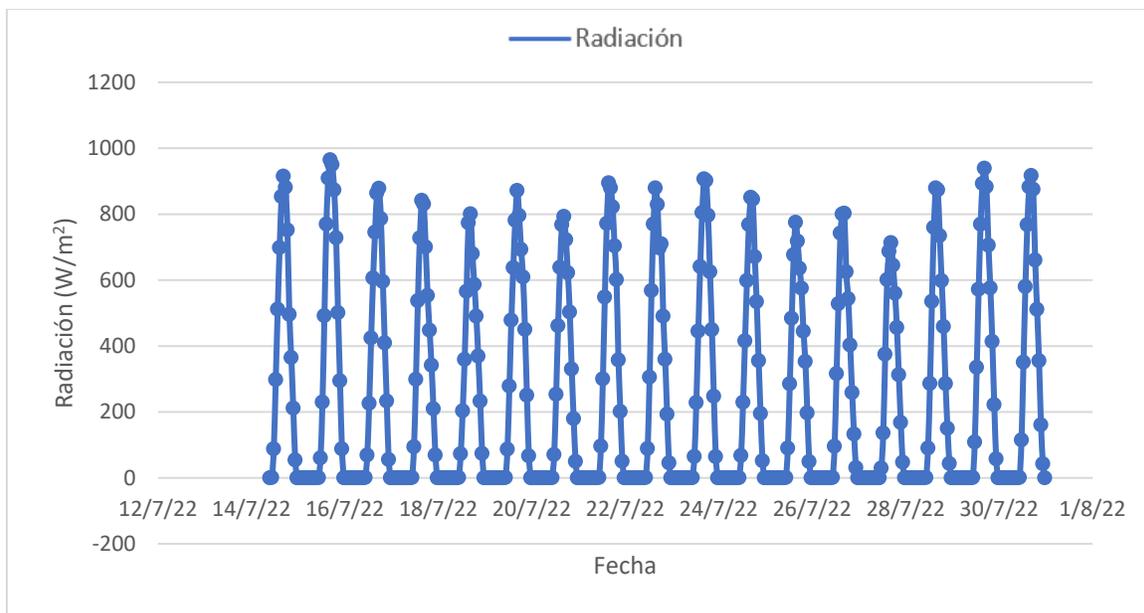
Velocidad de viento para el periodo 8 de abril a 30 de abril



Fuente. Elaboración propia, datos de (Weather Underground, 2018).

**Figura 28**

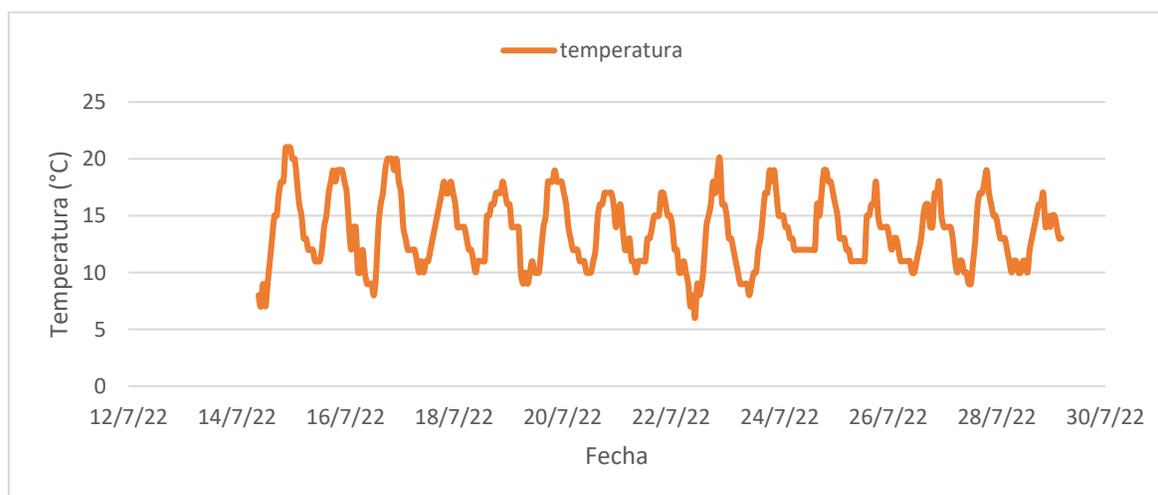
*Radiación para el periodo 14 de julio a 30 de julio*



Fuente. Elaboración propia, datos de (Giovanni, 2018).

**Figura 29**

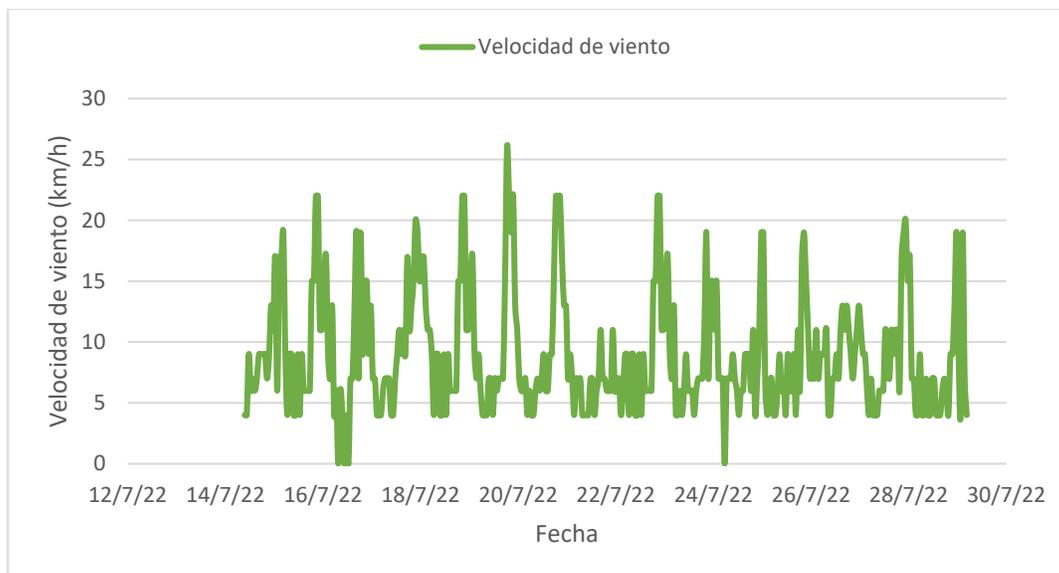
*Temperatura para el periodo 14 de julio a 30 de julio*



Fuente. Elaboración propia, datos de (IDEAM, 2018).

**Figura 30**

*Velocidad de viento para el periodo 14 de julio a 30 de julio*



Fuente. Elaboración propia, datos de (Weather Underground, 2018).

**Tabla 3**

*Propiedades térmicas y geométricas de la capa asfáltica*

Propiedad	Valor
Conductividad térmica del asfalto	1 (W/m°C)
Calor específico del asfalto	920 (J/kg°C)
Coefficiente de absorción de radiación	0.9
Densidad del asfalto	2100 (kg/m <sup>3</sup> )
Espesor	0.05 (m)

**Tabla 4***Propiedades térmicas y geométricas de la placa de concreto*

Propiedad	Valor
Conductividad térmica del concreto	2 (W/m°C)
Calor específico del concreto	900 (J/kg°C)
Coefficiente de emisividad del concreto	0.9
Densidad del concreto	2400 (kg/m <sup>3</sup> )
Espesor	0.2 (m)

**Tabla 5***Referencias ambientales Puente vehicular Av. primera de Mayo con Boyacá*

Referencia	Valor
Hora de alba	5:00 am
Horas de Radiación Solar por día	13(h)
Hora máxima de radiación solar	12:00 m
Hora de atardecer	18:00 pm
Hora de temperatura Máxima	13:00 pm
Hora de temperatura mínima	5:00 am

## **6. Resultados**

### **6.1. Datos Registrados**

Como resultado del monitoreo se tiene datos de temperatura de placa en el puente Av. Primera de Mayo con Boyacá, Bogotá, en dos intervalos de tiempo, el primero el 6 de abril de 2022 y el 22 de abril de 2022, del 14 de julio de 2022 y del 28 de julio de 2022.

### **6.2. Temperaturas en tiempo de abril**

Las mediciones de temperatura en el mes de abril se presentan de la Tabla 6 a la Tabla 7. Adicionalmente, de la Figuras 30 a la Figura 31 se representan las mismas. En la Figura 30 se presenta el informe para de la medición con menor temperatura y en la Figura 31 el informe para la mayor temperatura.

**Tabla 6**

*Temperatura en placa superior e inferior en la mañana puente Av. Primera de Mayo con Boyacá medidas en abril*

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>
8/04/2022	5:20	12,00	6,4
9/04/2022	5:20	14,64	13,8
10/04/2022	5:40	13,95	15,3
11/04/2022	5:30	15,35	12,4
12/04/2022	5:10	16,64	12,9
13/04/2022	5:25	14,87	9,1
14/04/2022	5:05	11,36	8,5
15/04/2022	5:20	14,05	11,9
16/04/2022	5:20	14,34	11,6
17/04/2022	5:25	14,70	8,8
18/04/2022	5:05	14,81	4,9
19/04/2022	5:30	13,89	10,8
20/04/2022	5:40	13,84	14
21/04/2022	5:10	14,15	7,2
22/04/2022	5:40	14,10	14,9
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>
8/04/2022	5:25	12,00	15,1
9/04/2022	5:25	15,69	16,2
10/04/2022	5:45	14,96	16,4
11/04/2022	5:35	16,33	15,7
12/04/2022	5:20	17,47	18
13/04/2022	5:30	16,12	16,1
14/04/2022	5:10	12,94	18,2
15/04/2022	5:30	15,18	17
16/04/2022	5:30	15,81	14,9
17/04/2022	5:30	15,78	17,1
18/04/2022	5:15	15,61	15
19/04/2022	5:35	14,77	16,4
20/04/2022	5:45	14,63	16,2
21/04/2022	5:15	14,87	14,9
22/04/2022	5:45	14,92	17,5

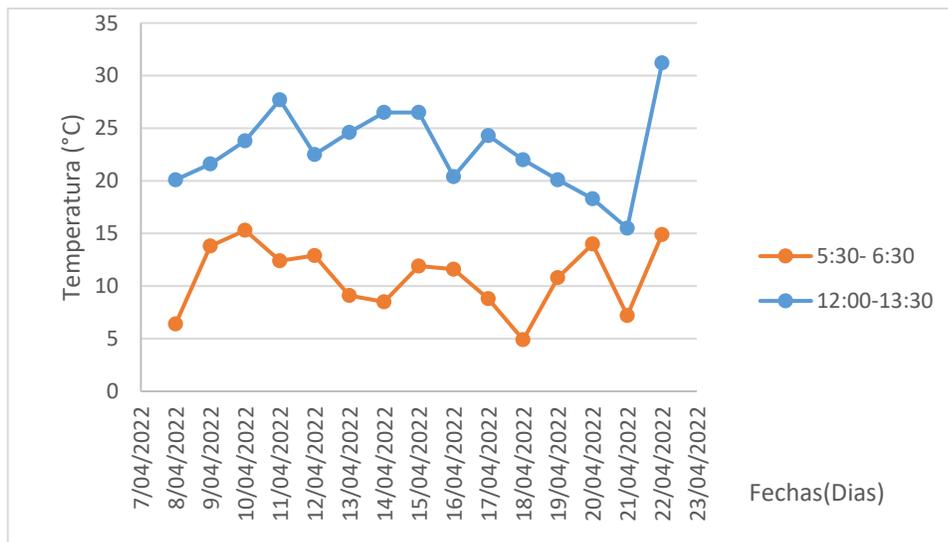
**Tabla 7**

*Temperatura en placa superior e inferior en la tarde puente Av. Primera de Mayo con Boyacá medidas en abril*

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>
8/04/2022	12:00	49,56	20,1
9/04/2022	11:40	46,08	21,6
10/04/2022	12:15	56,64	23,8
11/04/2022	12:05	49,96	27,7
12/04/2022	12:00	52,70	22,5
13/04/2022	12:05	47,92	24,6
14/04/2022	12:00	51,58	26,5
15/04/2022	11:55	53,23	26,5
16/04/2022	12:05	44,57	20,4
17/04/2022	12:20	42,74	24,3
18/04/2022	12:15	45,82	22
19/04/2022	12:05	43,50	20,1
20/04/2022	12:25	39,18	18,3
21/04/2022	12:30	40,41	15,5
22/04/2022	12:00	50,03	31,2
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>
8/04/2022	12:05	16,69	20,4
9/04/2022	11:50	18,02	18,3
10/04/2022	12:20	18,76	21,5
11/04/2022	12:10	17,71	20,1
12/04/2022	12:05	18,88	19,1
13/04/2022	12:10	16,66	22,2
14/04/2022	12:05	15,93	22
15/04/2022	12:00	17,34	21,5
16/04/2022	12:10	16,38	17,6
17/04/2022	12:25	17,32	22,9
18/04/2022	12:20	17,44	20,9
19/04/2022	12:10	15,49	19,7
20/04/2022	12:30	14,94	18,5
21/04/2022	12:35	16,36	16,6
22/04/2022	12:05	16,06	21,6

**Figura 31**

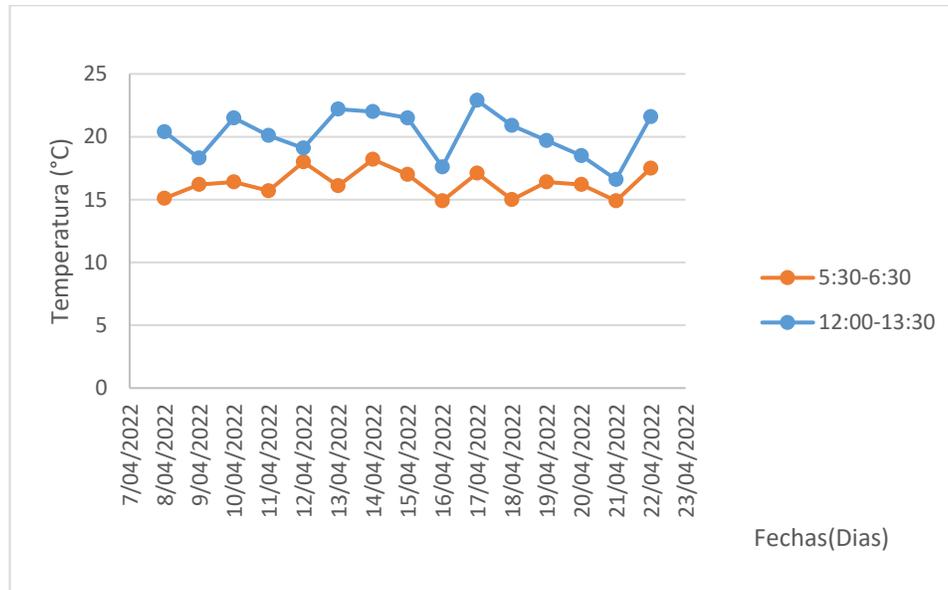
*Mediciones de temperatura en abril de la parte superior del puente para el alba y hora cenital.*



*Nota.* Se presenta grafica de temperatura media del voladizo de parte superior del puente en hora alba y cenital. Elaboración propia.

**Figura 32**

mediciones de temperatura en abril de la parte inferior del puente para el alba y hora *cenital*



*Nota.* Se presenta grafica de temperatura media del voladizo de parte inferior del puente en hora alba y cenital. Elaboración propia.

### **6.3. Temperatura medidas en julio**

Las mediciones de temperatura en el mes de julio se presentan de la Tabla 8 a la Tabla 9. Adicionalmente, de la Figuras 32 a la Figura 33 se representa las mismas. En la Figura 32 se presenta el informe para de la medición con menor temperatura y en la Figura 33 el informe para la mayor temperatura.

**Tabla 8**

*Temperatura en placa superior e inferior en la mañana puente Av. Primera de Mayo con Boyacá medidas en julio*

FECHA	HORA	CALCULADA	MONITOREADA
14/07/2022	6:20	9,602	6,4
15/07/2022	6:25	15,546	13,8
16/07/2022	6:25	14,750	15,3
17/07/2022	6:20	15,472	12,4
18/07/2022	6:30	15,224	12,9
19/07/2022	6:40	15,400	9,1
20/07/2022	6:20	14,749	8,5
21/07/2022	6:20	15,157	11,9
22/07/2022	6:10	12,517	11,6
23/07/2022	6:35	13,470	8,8
24/07/2022	6:10	15,552	4,9
25/07/2022	6:30	15,914	10,8
26/07/2022	6:05	13,914	14
27/07/2022	6:35	13,352	7,2
28/07/2022	6:25	14,700	14,9
FECHA	HORA	CALCULADA	MONITOREADA
14/07/2022	6:25	8,03	15,1
15/07/2022	6:30	15,63	16,2
16/07/2022	6:30	14,94	16,4
17/07/2022	6:25	15,22	15,7
18/07/2022	6:35	14,77	18
19/07/2022	6:45	14,10	16,1
20/07/2022	6:25	14,86	18,2
21/07/2022	6:25	14,61	17
22/07/2022	6:15	12,98	14,9
23/07/2022	6:25	13,21	17,1
24/07/2022	6:15	15,79	15
25/07/2022	6:35	15,15	16,4
26/07/2022	6:15	13,97	16,2
27/07/2022	6:40	13,77	14,9
28/07/2022	6:30	14,00	17,5

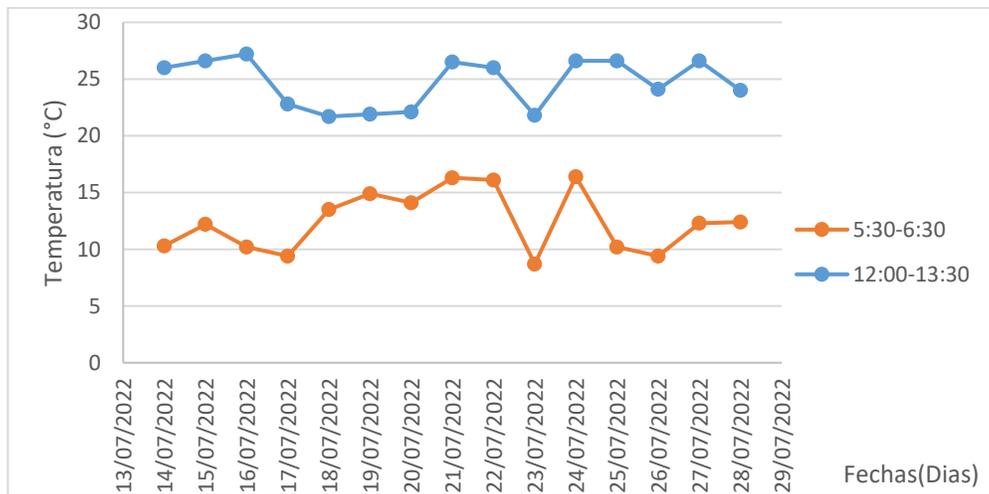
**Tabla 9**

*Temperatura en placa superior e inferior en la tarde puente Av. Primera de Mayo con Boyacá medidas en julio*

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>
14/07/2022	12:25	47,132	20,1
15/07/2022	1:10	54,023	21,6
16/07/2022	12:20	47,861	23,8
17/07/2022	2:00	40,953	27,7
18/07/2022	2:30	39,630	22,5
19/07/2022	12:35	46,586	24,6
20/07/2022	12:35	43,825	26,5
21/07/2022	12:30	48,822	26,5
22/07/2022	2:45	40,090	20,4
23/07/2022	12:35	50,270	24,3
24/07/2022	12:40	47,749	22
25/07/2022	12:30	43,222	20,1
26/07/2022	3:10	34,861	18,3
27/07/2022	12:30	41,651	15,5
28/07/2022	3:40	35,941	31,2
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>
14/07/2022	12:30	12,970	20,4
15/07/2022	1:20	19,238	18,3
16/07/2022	12:25	17,487	21,5
17/07/2022	2:05	19,036	20,1
18/07/2022	2:35	18,948	19,1
19/07/2022	12:40	16,957	22,2
20/07/2022	12:40	16,906	22
21/07/2022	12:35	16,777	21,5
22/07/2022	2:50	19,207	17,6
23/07/2022	12:40	16,174	22,9
24/07/2022	12:45	16,889	20,9
25/07/2022	12:40	17,340	19,7
26/07/2022	3:15	18,844	18,5
27/07/2022	12:40	16,556	16,6
28/07/2022	3:45	20,203	21,6

**Figura 33**

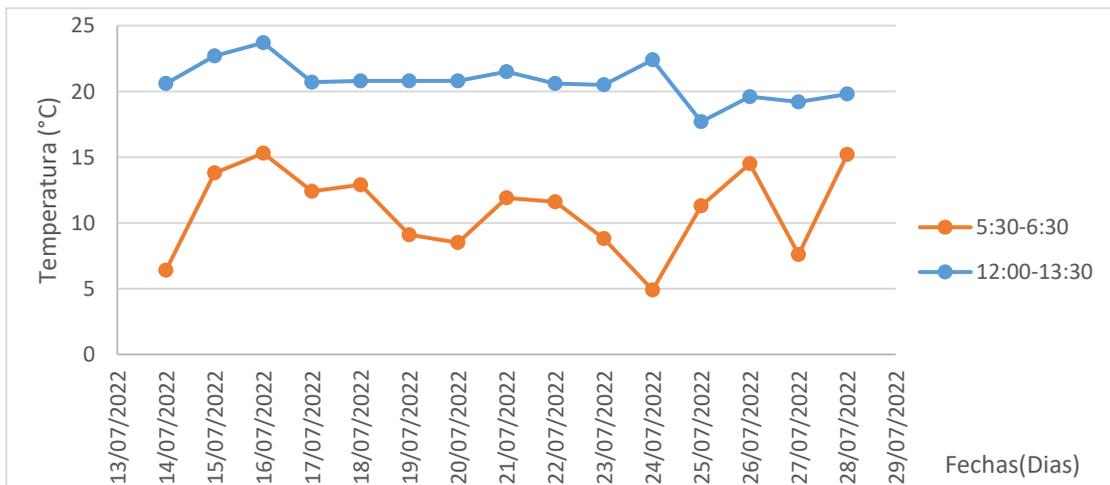
*Mediciones de temperatura en julio de la parte superior del puente para el alba y hora cenital*



*Nota.* Se presenta grafica de temperatura media del voladizo de parte superior del puente en hora alba y cenital. Elaboración propia.

**Figura 34**

*Mediciones de temperatura en julio de la parte inferior del puente para el alba y hora cenital*



*Nota.* Se presenta grafica de temperatura media del voladizo de parte inferior del puente en hora alba y cenital. Elaboración propia.

Una vez obtenidos los datos horarios, se pudo observar que para el periodo de julio en la parte superior e inferior en la mañana del puente se registró un valor máximo de 20.9 °C y un valor mínimo de 8.7°C, y, para la parte superior e inferior tarde se obtuvo un valor máximo de 27.7°C y valor mínimo 17.7°C.

### 6.3.1. Resultados de los análisis del modelo

En la Tabla 10 se presenta los resultados que presenta la (Yunus A. & Afshin J., 2007), en la Tabla 11 se presentan los resultados con el modelo implementado, y en la Tabla 12 el porcentaje de error, lo cual válida que el modelo reproduce la formulación teórica implantada.

**Tabla 10**

Temperatura arrojada por la literatura

Tiempo	i	T0	T1	T2	T3	T4	T5
7-10 am	24	65,3	61,7	61,5	69,7	94,1	142
10-1 pm	48	71,6	74,2	80,4	88,4	91,7	82,4
1- 4 pm	72	73,3	75,9	77,4	76,3	71,2	61,2
4-7 pm	96	71,2	71,9	70,9	67,7	61,7	53
7-10 pm	120	70,3	71,1	74,3	84,2	108,3	153,2
10-1 pm	144	75,4	81,1	89,4	98,2	101	89,7
1-4 pm	168	75,8	80,7	83,5	83	77,4	66,2
4-7 pm	192	73	75,1	72,2	66	66	56,3

Fuente. Adaptado de (Yunus A. & Afshin J., 2007).

**Tabla 11***Temperatura en los nodos según las iteraciones*

Tiempo	i	T0	T1	T2	T3	T4	T5
7-10 am	24	65,3	61,7	61,5	69,7	94,1	142
10-1 pm	48	71,9	74,8	81,3	89,6	93,1	83,6
1- 4 pm	72	73,6	76,5	78,2	77,3	72,2	62
4-7 pm	96	71,5	72,4	71,6	68,4	62,4	53,6
7-10 pm	120	70,7	71,9	75,9	86,8	111,5	156
10-1 pm	144	75,8	81,9	90,7	99,9	102,9	91,3
1-4 pm	168	76,3	81,5	84,7	84,4	78,8	67,3
4-7 pm	192	73,4	75,8	76,1	73,3	67	57,2

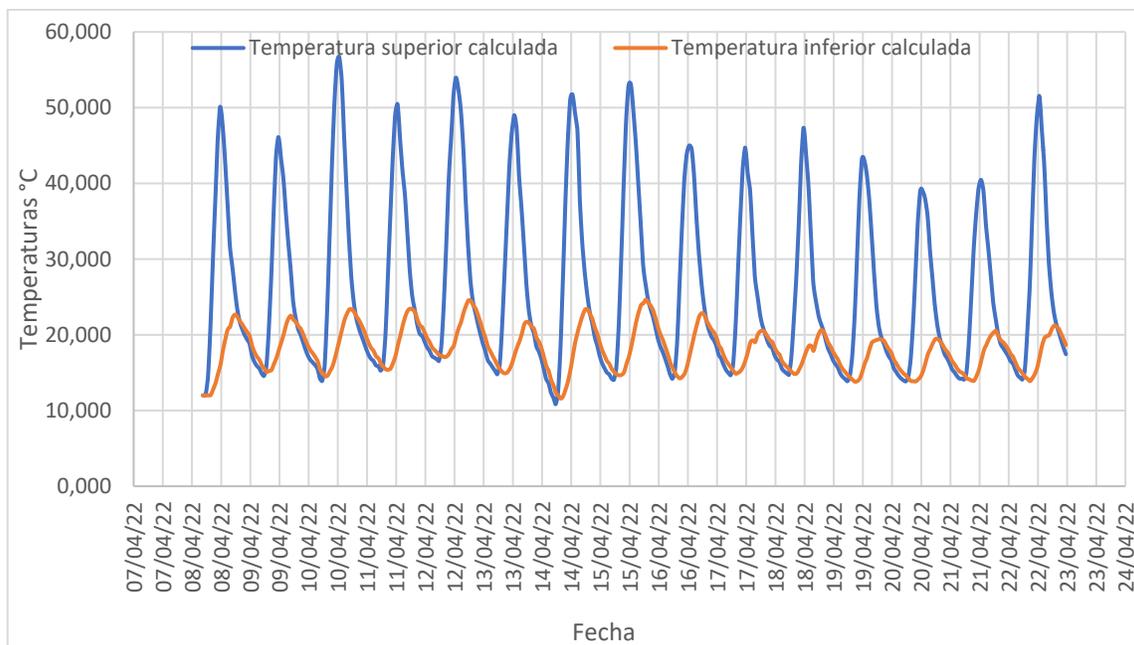
**Tabla 12***Porcentaje de error*

Tiempo	i	T0	T1	T2	T3	T4	T5
7-10 am	24	0	0	0	0	0	0
10-1 pm	48	-0,003	-0,006	-0,009	-0,012	-0,014	-0,012
1- 4 pm	72	-0,003	-0,006	-0,008	-0,01	-0,01	-0,008
4-7 pm	96	-0,003	-0,005	-0,007	-0,007	-0,007	-0,006
7-10 pm	120	-0,004	-0,008	-0,016	-0,026	-0,032	-0,028
10-1 pm	144	-0,004	-0,008	-0,013	-0,017	-0,019	-0,016
1-4 pm	168	-0,005	-0,008	-0,012	-0,014	-0,014	-0,011
4-7 pm	192	-0,004	-0,007	-0,039	-0,073	-0,01	-0,009

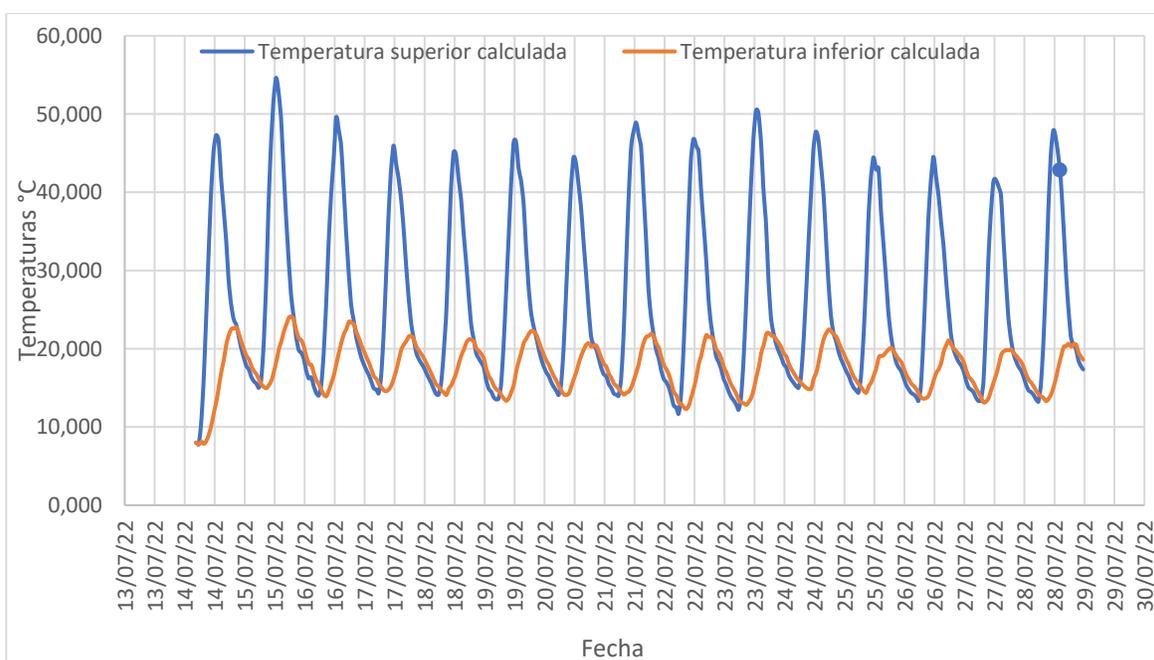
Los resultados de los análisis aplicados al puente en estudio se presentan en la Figura 35 para el periodo de abril, y en la Figura 36 para el periodo de julio. En abril se obtiene una temperatura máxima de 55°C para la parte superior del puente y una temperatura mínima de 10 °C para la parte inferior del puente. Para Julio, se obtiene temperatura máxima de 56°C para la parte superior y para la parte inferior se obtiene una temperatura de 8 °C.

**Figura 35**

*Temperatura parte superior e inferior placa entre el 08 de abril de 2022 y 30 abril de 2020*

**Figura 36**

*Temperatura parte superior e inferior placa entre el 14 de julio de 2022 y 30 julio de 2020*

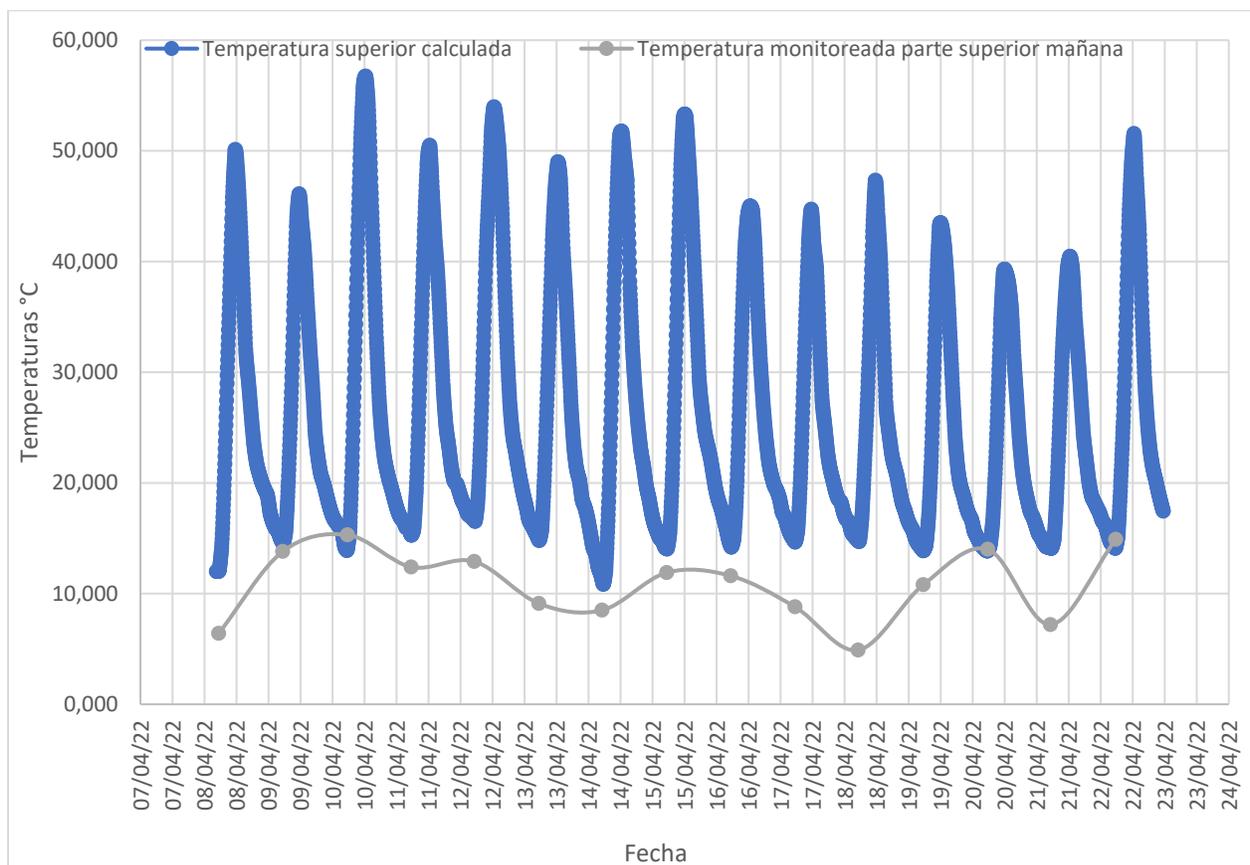


#### 6.4. Comparación las mediciones de temperatura con los obtenidos con los análisis

En la Figura 37 y Figura 38 se presenta la comparación de las mediciones de temperatura con los resultados de los análisis para las mañanas del mes de abril, y en la Figura 38 y Figura 39 se presenta la comparación de las mediciones de temperatura con los resultados de los análisis para la tarde del mes de abril.

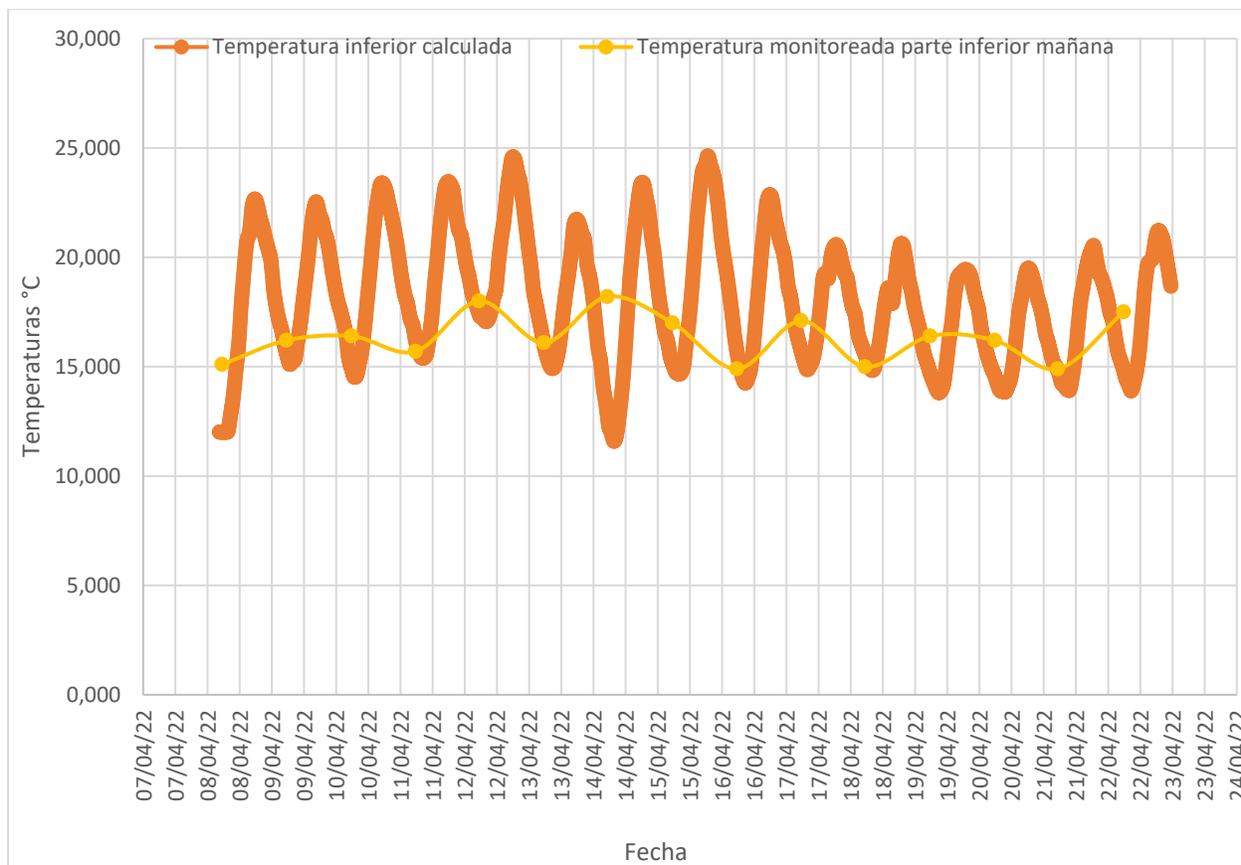
**Figura 37**

*Datos modelados para la parte superior en la mañana periodo de abril*



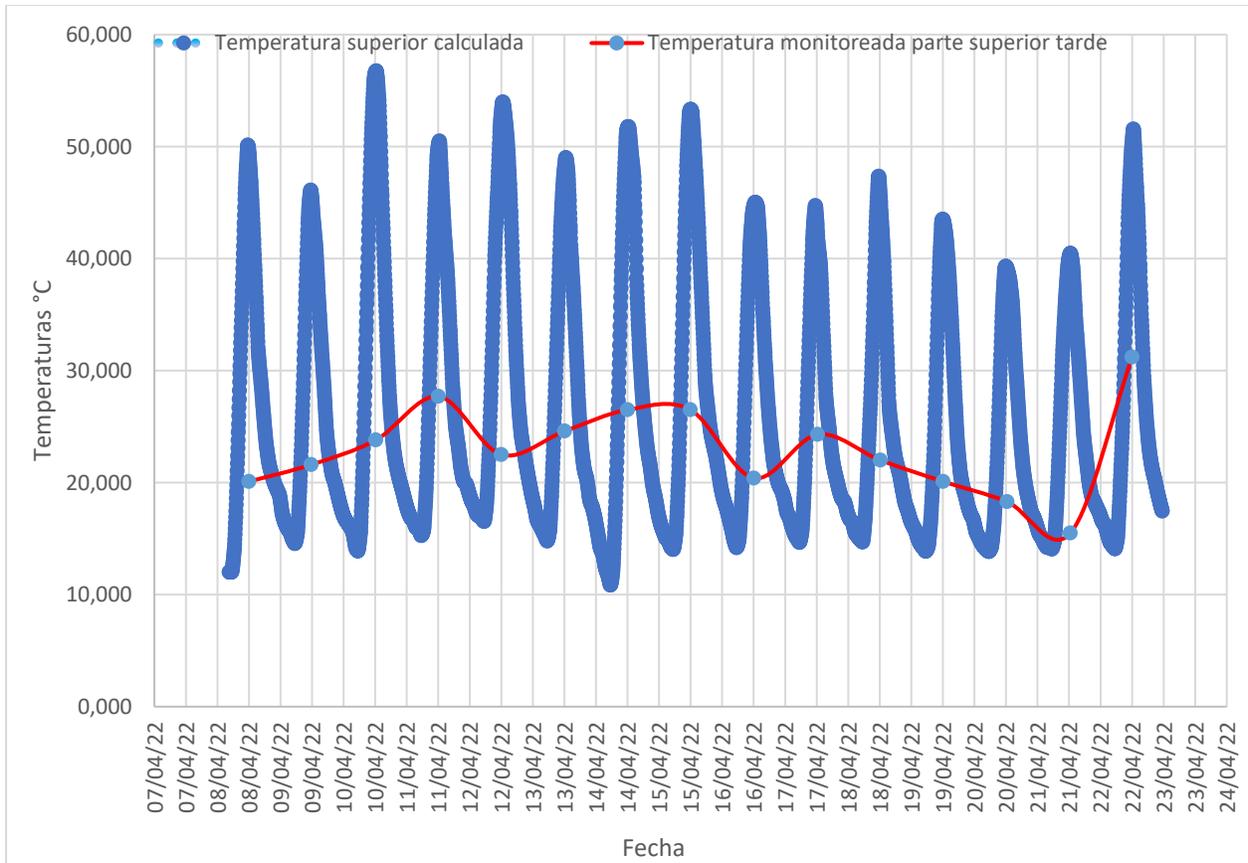
**Figura 38**

*Datos modelados para la parte inferior en la mañana periodo de abril*



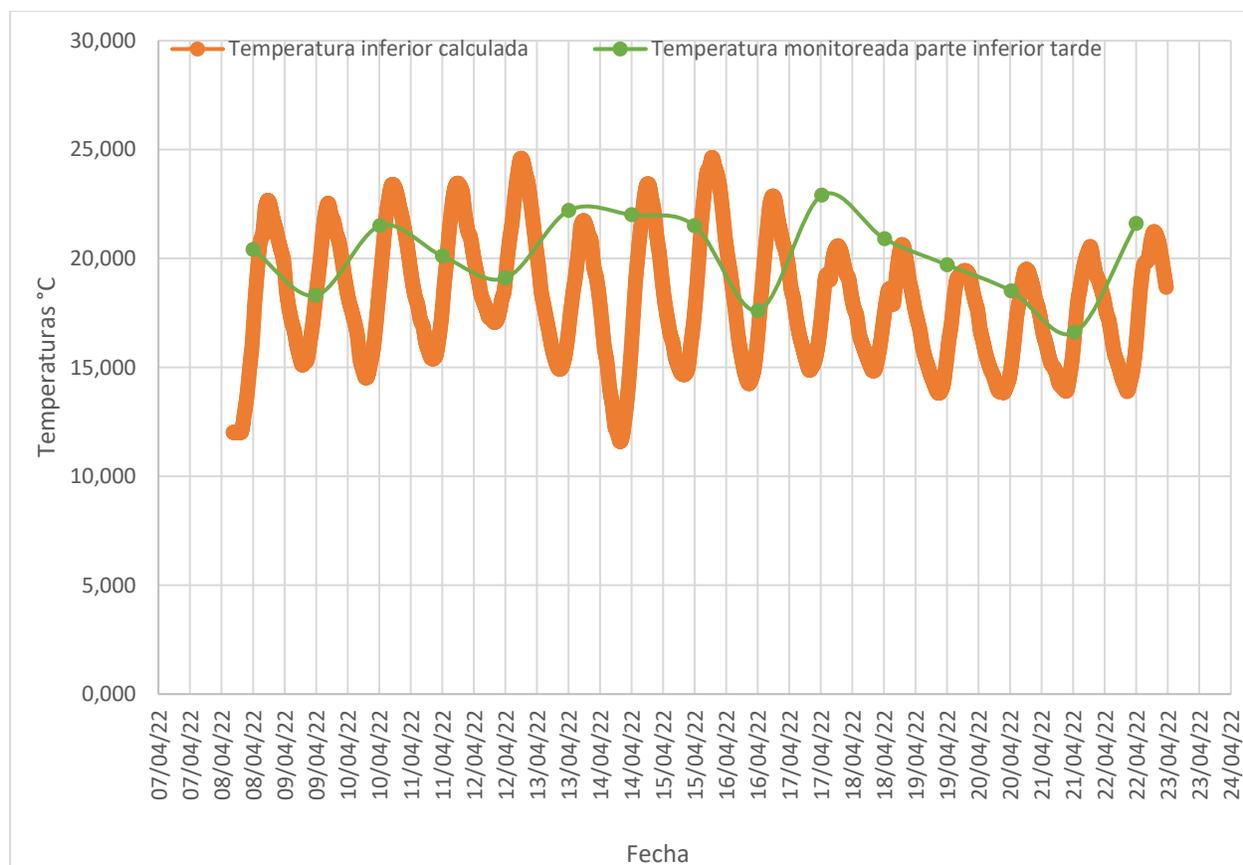
**Figura 39**

*Datos modelados para la parte superior en la tarde periodo de abril*



**Figura 40**

*Datos modelados para la parte inferior en la tarde periodo de abril*



En comparación de los valores obtenidos en campo y los valores del modelo, para el periodo de la mañana se presentó un valor máximo de error de 66.91% para el día 18 de abril sobre la zona superior del puente y un valor mínimo de 1.13% presentado el día 20 de abril (ver tabla 13), y, para la parte inferior mañana se presentó un valor máximo de error de 40.64% para el día 14 de abril y un valor mínimo de 0.18% para el día 21 de abril.

Para el periodo de la tarde, el mes de abril registro un porcentaje de error máximo en la parte superior de 61.64% para el día 21 de abril y mínimo de 37.64% para el 22 de abril (ver

tabla 14). Para la parte inferior tarde se registró un valor máximo de 38.10% para el día 14 de abril y mínimo de 1.47% para el día 22 de abril.

**Tabla 13**

*Porcentaje de error modelación periodo de abril superior-inferior mañana*

<b>SUP MAÑANA</b>				
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>	<b>%ERROR</b>
8/04/2022	5:20	12,00	6,4	46,69
9/04/2022	5:20	14,64	13,8	5,71
10/04/2022	5:40	13,95	15,3	9,71
11/04/2022	5:30	15,35	12,4	19,21
12/04/2022	5:10	16,64	12,9	22,50
13/04/2022	5:25	14,87	9,1	38,79
14/04/2022	5:05	11,36	8,5	25,21
15/04/2022	5:20	14,05	11,9	15,31
16/04/2022	5:20	14,34	11,6	19,13
17/04/2022	5:25	14,70	8,8	40,15
18/04/2022	5:05	14,81	4,9	66,91
19/04/2022	5:30	13,89	10,8	22,26
20/04/2022	5:40	13,84	14	1,13
21/04/2022	5:10	14,15	7,2	49,10
22/04/2022	5:40	14,10	14,9	5,65
<b>INF MAÑANA</b>				
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>	<b>%ERROR</b>
8/04/2022	5:25	12,00	15,1	25,83
9/04/2022	5:25	15,69	16,2	3,23
10/04/2022	5:45	14,96	16,4	9,60
11/04/2022	5:35	16,33	15,7	3,85
12/04/2022	5:20	17,47	18	3,05
13/04/2022	5:30	16,12	16,1	0,12
14/04/2022	5:10	12,94	18,2	40,64
15/04/2022	5:30	15,18	17	11,99
16/04/2022	5:30	15,81	14,9	5,76
17/04/2022	5:30	15,78	17,1	8,37
18/04/2022	5:15	15,61	15	3,91
19/04/2022	5:35	14,77	16,4	11,06
20/04/2022	5:45	14,63	16,2	10,72
21/04/2022	5:15	14,87	14,9	0,18
22/04/2022	5:45	14,92	17,5	17,32

**Tabla 14**

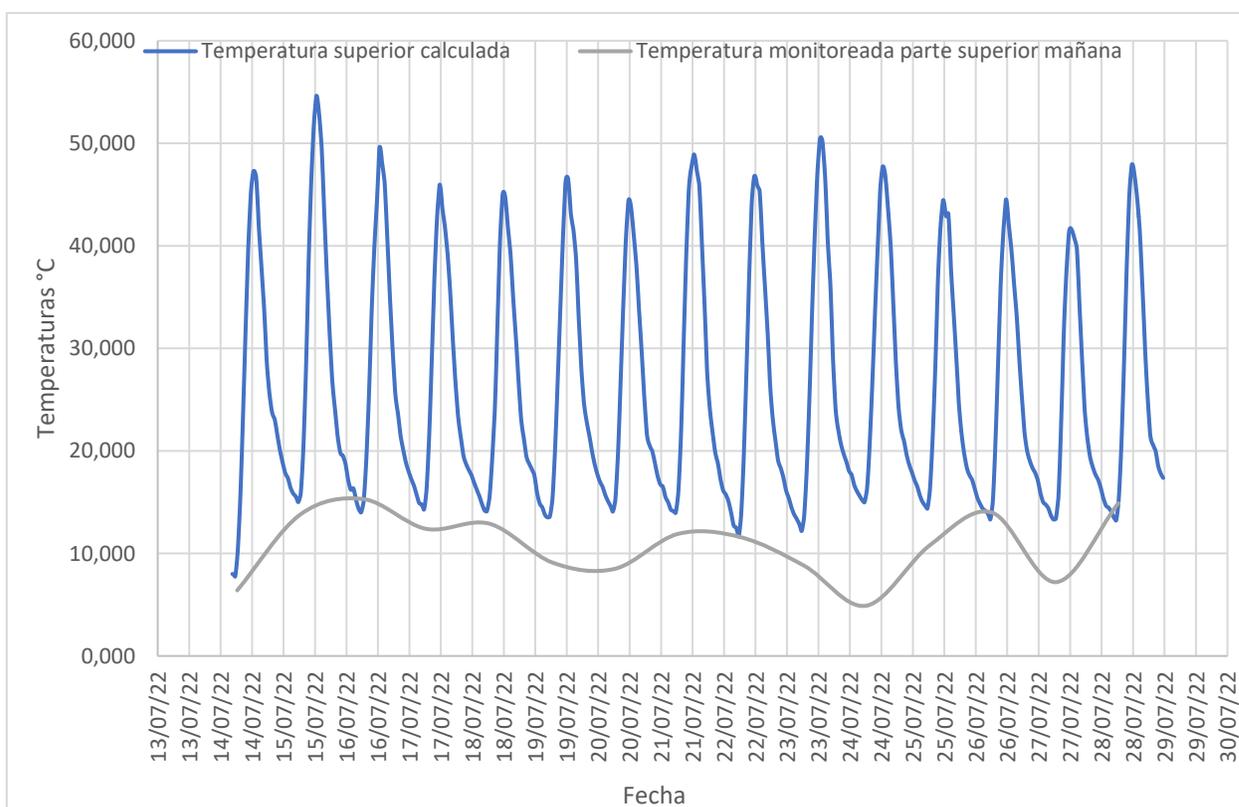
*Porcentaje de error modelación periodo de abril superior-inferior tarde*

<b>SUP TARDE</b>				
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>	<b>%ERROR</b>
8/04/2022	12:00	49,56	20,1	59,45
9/04/2022	11:40	46,08	21,6	53,13
10/04/2022	12:15	56,64	23,8	57,98
11/04/2022	12:05	49,96	27,7	44,56
12/04/2022	12:00	52,70	22,5	57,31
13/04/2022	12:05	47,92	24,6	48,67
14/04/2022	12:00	51,58	26,5	48,63
15/04/2022	11:55	53,23	26,5	50,21
16/04/2022	12:05	44,57	20,4	54,23
17/04/2022	12:20	42,74	24,3	43,14
18/04/2022	12:15	45,82	22	51,99
19/04/2022	12:05	43,50	20,1	53,79
20/04/2022	12:25	39,18	18,3	53,29
21/04/2022	12:30	40,41	15,5	61,64
22/04/2022	12:00	50,03	31,2	37,64
<b>INF TARDE</b>				
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>	<b>%ERROR</b>
8/04/2022	12:05	16,69	20,4	22,21
9/04/2022	11:50	18,02	18,3	1,58
10/04/2022	12:20	18,76	21,5	14,59
11/04/2022	12:10	17,71	20,1	13,52
12/04/2022	12:05	18,88	19,1	1,17
13/04/2022	12:10	16,66	22,2	33,28
14/04/2022	12:05	15,93	22	38,10
15/04/2022	12:00	17,34	21,5	23,97
16/04/2022	12:10	16,38	17,6	7,42
17/04/2022	12:25	17,32	22,9	32,20
18/04/2022	12:20	17,44	20,9	19,86
19/04/2022	12:10	15,49	19,7	27,18
20/04/2022	12:30	14,94	18,5	23,79
21/04/2022	12:35	16,36	16,6	1,47
22/04/2022	12:05	16,06	21,6	34,48

En la Figura 41 y Figura 42 se presenta la comparación de las mediciones de temperatura con los resultados de los análisis para las mañanas del mes de julio, y en la Figura 43 y Figura 44 se presenta la comparación de las mediciones de temperatura con los resultados de los análisis para la tarde del mes de julio.

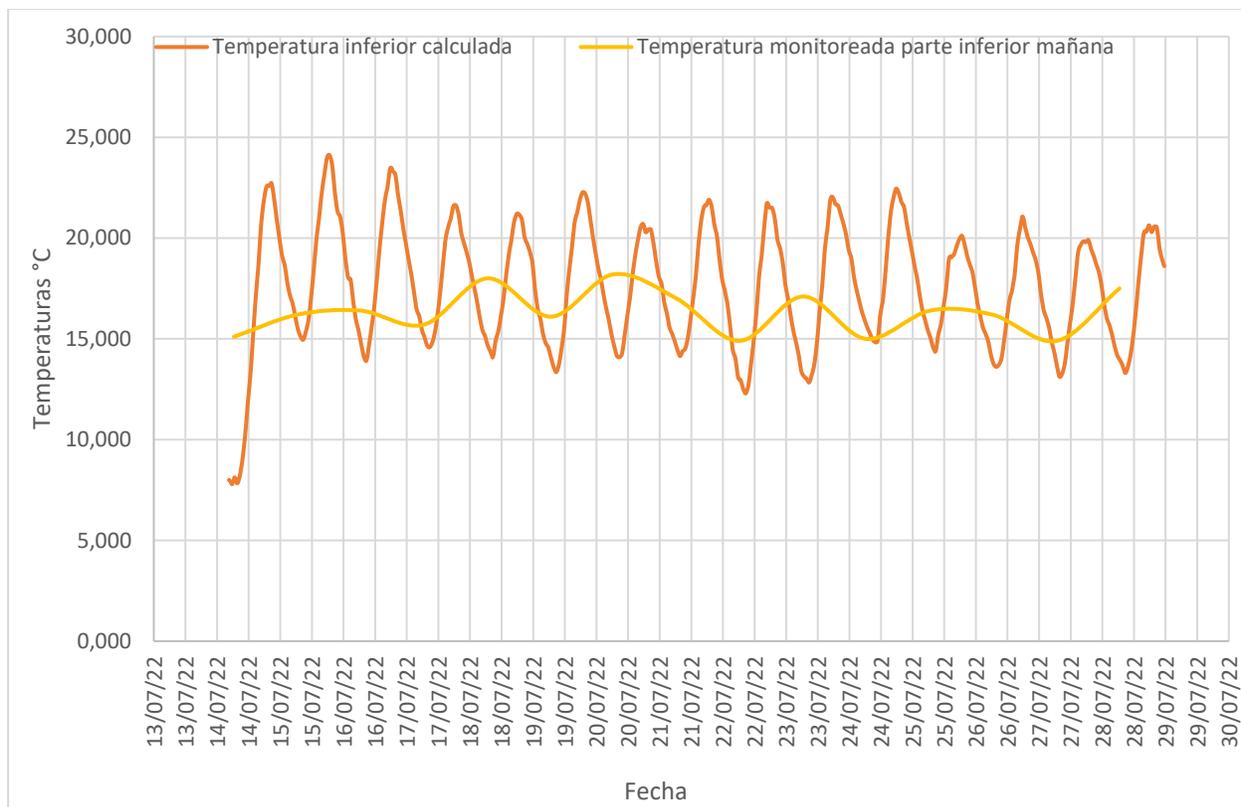
### Figura 41

*Datos modelados para la parte superior en la mañana periodo de julio*



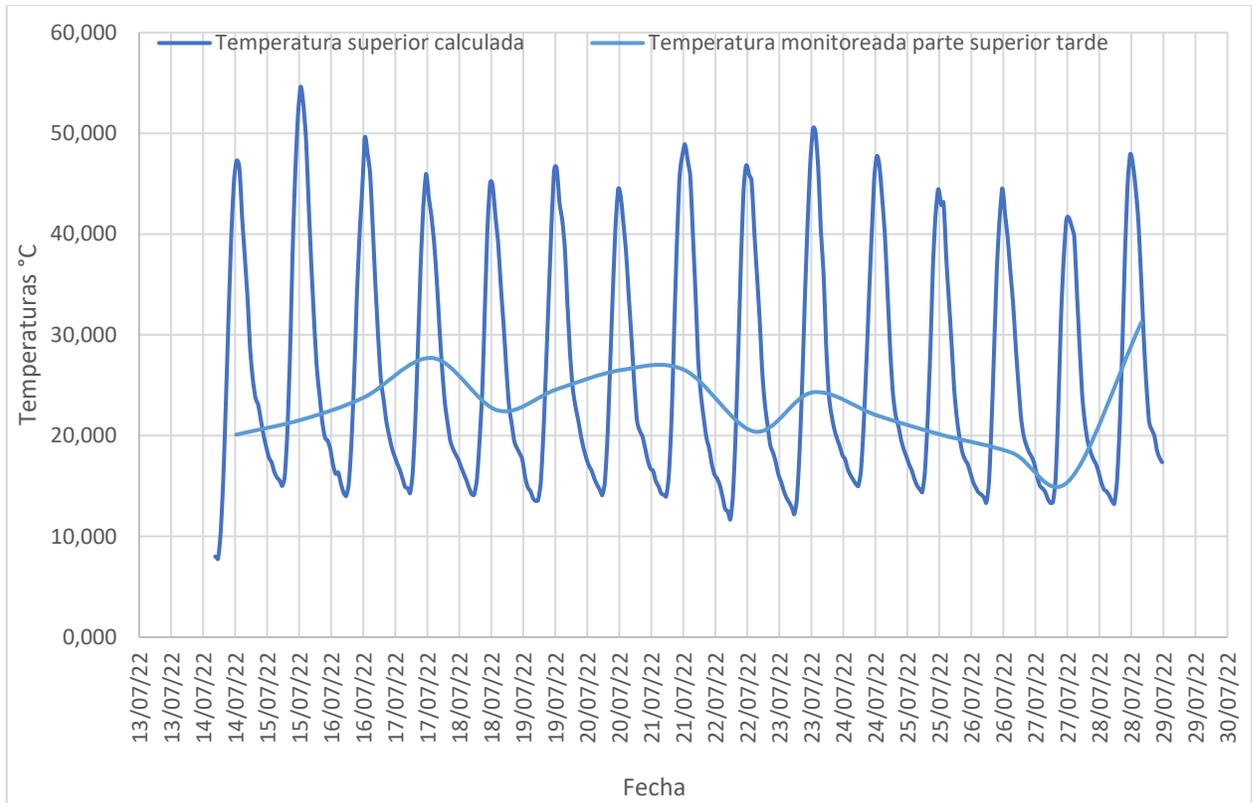
**Figura 42**

*Datos modelados para la parte inferior en la mañana periodo de julio*



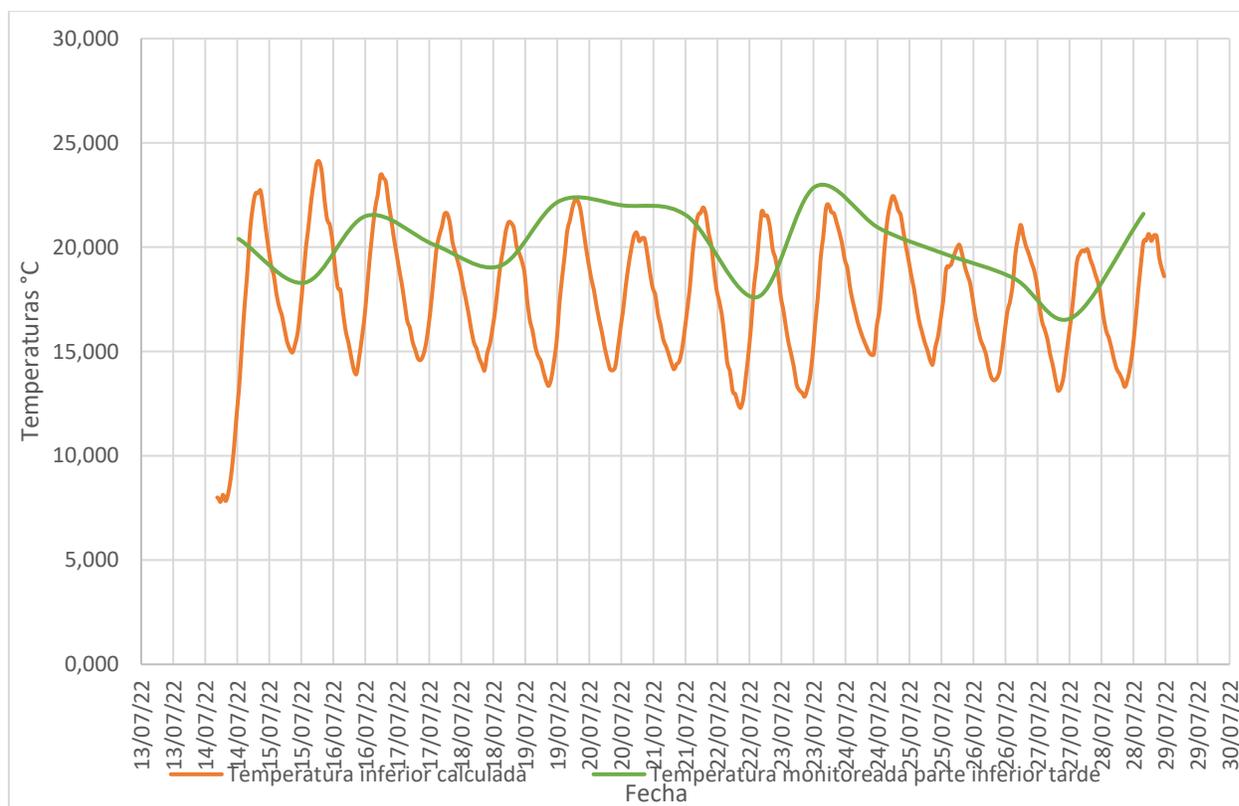
**Figura 43**

*Datos modelados para la parte superior en la tarde periodo de julio*



**Figura 44**

*Datos modelados para la parte inferior en la tarde periodo de julio*



En comparación de los valores obtenidos en campo y los valores del modelo, para el periodo de la mañana en la parte superior se presentó un valor máximo de 68.49% para el día 24 de julio y un valor mínimo de 1.36% presentado el día 28 de julio (ver tabla 15), para la zona inferior en el periodo de la mañana se presentaron valores máximos de 87.96% para el día 14 de julio y valores mínimos de 0.62% para el día 26 de julio.

Para el periodo de la tarde en la parte superior se presentaron valores máximos de error de 62.79% para el día 27 de julio y mínimos de 13.19% para el día 28 de julio (ver tabla 16), para la parte inferior se presentaron valores máximos de 57.29% para el día 14 de julio y mínimos de 0.26% para el día 27 de julio.

**Tabla 15***Porcentaje de error modelación periodo de julio superior-inferior mañana*

<b>SUPERIOR MAÑANA</b>				
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>	<b>%ERROR</b>
14/07/2022	6:20	9,602	6,4	33,34
15/07/2022	6:25	15,546	13,8	11,23
16/07/2022	6:25	14,750	15,3	3,73
17/07/2022	6:20	15,472	12,4	19,86
18/07/2022	6:30	15,224	12,9	15,27
19/07/2022	6:40	15,400	9,1	40,91
20/07/2022	6:20	14,749	8,5	42,37
21/07/2022	6:20	15,157	11,9	21,49
22/07/2022	6:10	12,517	11,6	7,33
23/07/2022	6:35	13,470	8,8	34,67
24/07/2022	6:10	15,552	4,9	68,49
25/07/2022	6:30	15,914	10,8	32,14
26/07/2022	6:05	13,914	14	0,62
27/07/2022	6:35	13,352	7,2	46,08
28/07/2022	6:25	14,700	14,9	1,36
<b>INFERIOR MAÑANA</b>				
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>	<b>%ERROR</b>
14/07/2022	6:25	8,03	15,1	87,96
15/07/2022	6:30	15,63	16,2	3,66
16/07/2022	6:30	14,94	16,4	9,77
17/07/2022	6:25	15,22	15,7	3,16
18/07/2022	6:35	14,77	18	21,89
19/07/2022	6:45	14,10	16,1	14,17
20/07/2022	6:25	14,86	18,2	22,51
21/07/2022	6:25	14,61	17	16,33
22/07/2022	6:15	12,98	14,9	14,76
23/07/2022	6:25	13,21	17,1	29,40
24/07/2022	6:15	15,79	15	4,98
25/07/2022	6:35	15,15	16,4	8,24
26/07/2022	6:15	13,97	16,2	15,93
27/07/2022	6:40	13,77	14,9	8,17
28/07/2022	6:30	14,00	17,5	25,01

**Tabla 16***Porcentaje de error modelación periodo de julio superior-inferior tarde*

<b>SUPERIOR TARDE</b>				
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>	<b>%ERROR</b>
14/07/2022	12:25	47,132	20,1	57,35
15/07/2022	1:10	54,023	21,6	60,02
16/07/2022	12:20	47,861	23,8	50,27
17/07/2022	2:00	40,953	27,7	32,36
18/07/2022	2:30	39,630	22,5	43,23
19/07/2022	12:35	46,586	24,6	47,19
20/07/2022	12:35	43,825	26,5	39,53
21/07/2022	12:30	48,822	26,5	45,72
22/07/2022	2:45	40,090	20,4	49,11
23/07/2022	12:35	50,270	24,3	51,66
24/07/2022	12:40	47,749	22	53,93
25/07/2022	12:30	43,222	20,1	53,50
26/07/2022	3:10	34,861	18,3	47,51
27/07/2022	12:30	41,651	15,5	62,79
28/07/2022	3:40	35,941	31,2	13,19
<b>INFERIOR TARDE</b>				
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CALCULADA</b>	<b>MONITOREADA</b>	<b>%ERROR</b>
14/07/2022	12:30	12,970	20,4	57,29
15/07/2022	1:20	19,238	18,3	4,88
16/07/2022	12:25	17,487	21,5	22,95
17/07/2022	2:05	19,036	20,1	5,59
18/07/2022	2:35	18,948	19,1	0,80
19/07/2022	12:40	16,957	22,2	30,92
20/07/2022	12:40	16,906	22	30,13
21/07/2022	12:35	16,777	21,5	28,15
22/07/2022	2:50	19,207	17,6	8,37
23/07/2022	12:40	16,174	22,9	41,58
24/07/2022	12:45	16,889	20,9	23,75
25/07/2022	12:40	17,340	19,7	13,61
26/07/2022	3:15	18,844	18,5	1,83
27/07/2022	12:40	16,556	16,6	0,26
28/07/2022	3:45	20,203	21,6	6,92

Para los dos meses estudiados, presentados en el proyecto de investigación, se tuvieron grandes consideraciones, entre ellas los porcentajes de error comparando los datos obtenidos in situ y valores arrojados por el modelo, con los valores guía, se evidenció presencia de grandes intervalos entre los mismos, las zonas en las que se presentaron menores porcentajes de error para los dos meses estudios fueron en las inferiores tarde, pues presentaban en su mayoría, menores valores numéricos.

Las zonas en las que se presentaron los mayores porcentajes de error fueron en la parte superior, para el periodo de la tarde, indiferentemente del mes de la toma y respectiva comparación (valores in situ y modelados), se evidenció un intervalo de porcentajes, entre 40% y 60%. Estas alteraciones presentadas se pueden llegar a deber por el modelo planteado o por las variables obtenidas en campo, pues se debe considerar los errores humanos y los errores tecnológicos.

## 7. Conclusiones

Los resultados del análisis se consideran cualitativamente acercados en puntos específicos, se observa que el modelo no presentaba porcentajes de error mayores al 2%, pero si se observaron porcentajes de error abismales; teniendo presente esto, se considera que en próximos trabajos realicen el ajuste al modelo y presenten más monitoreos para que dicho modelo se acerque a la veracidad.

Los porcentajes tan elevados de error que se evidenciaron en la parte superior del periodo mañana para los dos meses estudiados se pueden adjudicar a los problemas que el modelo mismo puede contemplar, esto, debido a que el modelo considera la variable del tiempo ( $\Delta t$ ) como limitante a resultados acertados, pues, el modelo de diferencias finitas para los estados transitorios de la energía no considera intervalos de tiempo tan cortos.

El algoritmo desarrollado es capaz de simular la distribución de calor unidimensional a través del tablero del puente, para lo cual toma en cuenta las propiedades térmicas y geométricas de la capa asfáltica y la losa de concreto. El modelo se basa en datos de temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento, con variables de entrada para el desarrollo de interacciones térmicas dentro de la estructura. El problema se resuelve usando el método de diferencias finitas, y ejecutándose su programación en Excel.

Los hallazgos sugieren que los métodos utilizados pueden considerarse verídicos para estudios posteriores; sin embargo, las discrepancias encontradas en los respectivos análisis pueden atribuirse a errores de medición de campo, errores de modelado y al hecho de que los modelos son simples pero imprecisos.

Para el día 14 de abril en la toma de datos in situ, se obtuvieron datos de temperatura para la parte superior en el periodo de la tarde de valor  $26.5^{\circ}\text{C}$ , y, transversalmente el día 21 de abril se presentaron datos mínimos obtenidos de  $15.5^{\circ}\text{C}$ . Para el periodo de la tarde sobre la parte inferior del puente el día 13 de abril se obtuvieron temperaturas máximas de  $22.2^{\circ}\text{C}$  y mínimos de  $16.6^{\circ}\text{C}$  el día 21 de abril de 2022.

Como resultado del monitoreo in situ del mes de julio se presenta en la parte superior del puente en hora alba una temperatura mayor a  $27.7^{\circ}\text{C}$  el día 17 de julio y una temperatura mínima por encima a  $15.5^{\circ}\text{C}$  evidenciada el día 27 de julio, de la misma forma en la parte inferior del puente en hora de medio día se evidencio una temperatura mayor a  $22.2^{\circ}\text{C}$  el día 19 de julio, y una temperatura mínima por encima de los  $16.6^{\circ}\text{C}$  para el día 27 de julio.

## 8. Referencias Bibliográficas

American Association of State Highway and Transportation Officials AASTHO-98

Jiménez, L. F. C., & Mariaca, E. L. R. (2021). *ESTUDIO DE PATOLOGÍA DEL PUENTE VEHICULAR DE LA AV. 1º DE MAYO CON AV. BOYACÁ EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. 01, 104.

AASHTO, 2016. (2016). *Knovel—AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, U.S. Customary Units with 2015 and 2016 Interim Revisions (7th Edition)*.  
<https://app.knovel.com/kn/resources/kpAASHTO6E/toc>

American National Standard Data Format for Radiation Detectors Used for Homeland Security—Redline. (2020). *ANSI N42.42-2020 (Revision of ANSI N42.42-2012) - Redline*, 1-311.

Chile.cubica. (2017). *Patologías en Construcción*. chilecubica.  
<http://www.chilecubica.com/patologías/>

Díaz Barreiro, Patricia. (2014). *Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia*.  
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12694>

Ding, K., Hu, P., & Xia, D. (2010). Research on Type Selection of Highway Bridge Composite Expansion and Contraction Installation. *2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2010.5660383>

Gayco, S. A. (1994). *Planos de diseño*.  
<http://webidu.idu.gov.co/jspui/handle/123456789/76908>

*Google Maps*. (2022). Google Maps. [https://www.google.com/maps/@4.6188565,-74.1400352,3a,75y,118.45h,84.62t/data=!3m7!1e1!3m5!1s6XTAIJ2pPVCEkIKtXnv4kA!2e0!6shttps:%2F%2Fstreetviewpixels-pa.googleapis.com%2Fv1%2Fthumbnail%3Fpanoid%3D6XTAIJ2pPVCEkIKtXnv4kA%26cb\\_client%3Dmaps\\_sv.tactile.gps%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D199.06444%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i16384!8i8192](https://www.google.com/maps/@4.6188565,-74.1400352,3a,75y,118.45h,84.62t/data=!3m7!1e1!3m5!1s6XTAIJ2pPVCEkIKtXnv4kA!2e0!6shttps:%2F%2Fstreetviewpixels-pa.googleapis.com%2Fv1%2Fthumbnail%3Fpanoid%3D6XTAIJ2pPVCEkIKtXnv4kA%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D199.06444%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i16384!8i8192)

Heng, L., & Huarui, G. (2018). Analysis of Longitudinal Cracking for Hollow-core Slab Bridges. *2018 3rd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, 68-73. <https://doi.org/10.1109/ICITE.2018.8492703>

IDEAM. (2018). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Invias. (2020). *A partir de hoy, Gobierno Nacional pone en funcionamiento el Puente Hisgaura en Santander*. <https://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/3655-a-partir-de-hoy-gobierno-nacional-pone-en-funcionamiento-el-puente-hisgaura-en-santander>

Jensen, F. B. H., Takada, E., Nakazawa, M., Kakuta, T., & Yamamoto, S. (1998). Consequences of radiation effects on pure-silica-core optical fibers used for Raman-scattering-based temperature measurements. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 45(1), 50-58. <https://doi.org/10.1109/23.659554>

Lei, X., Jiang, H., Ji, B., & Cheng, S. (2011). Research in effective temperature difference of concrete box girder bridge. *2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE)*, 2494-2497. <https://doi.org/10.1109/ICETCE.2011.5774692>

Li, F., Wu, P., Sun, J., & Wu, X.-Q. (2009). Application of 3D Finite Element Software in Web Cracking Analysis of Concrete Box-Girder Bridge. *2009 Second International Conference on Information and Computing Science*, 4, 205-208. <https://doi.org/10.1109/ICIC.2009.362>

Liu, H. (2020). Sensitivity of Seismic Response of the Steel-Concrete Plate Composite Beam Bridge with Transverse Supported Steel Beams to Design Parameters. *2020 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)*, 205-209. <https://doi.org/10.1109/ICITBS49701.2020.00050>

Liu, J., Qu, W., & Pi, Y.-L. (2010). Longitudinal vibration analysis of floating-type railway cable-stayed bridge subjected to train braking. *2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, 2806-2809. <https://doi.org/10.1109/MACE.2010.5536462>

Madhukumar, M., Sebastian, A., Liang, X., Jamil, M., & Shabbir, M. N. S. K. (2022). Regression Model-Based Short-Term Load Forecasting for University Campus Load. *IEEE Access*, 10, 8891-8905. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3144206>

*MinTransporte*. (2014). Norma colombiana de diseño de puentes. <https://es.slideshare.net/josedavidtoboramos/ccp14-norma-colombiana-de-diseo-de-puentes>

NASA Ocean Biology Processing Group. (2015). *OCTS Level 3 Mapped Photosynthetically Available Radiation Data Version 2014* [Data set]. NASA Ocean Biology DAAC. <https://doi.org/10.5067/ADEOS-I/OCTS/L3M/PAR/2014>

Qi, J., & Yang, H.-C. (2020). Improving Precast Truss Reinforced Laminated Concrete Slab System. *2020 IEEE 2nd International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)*, 64-67.  
<https://doi.org/10.1109/ICACEH51803.2020.9366259>

*Scopus—Document search.* (2018). <https://www-scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/search/form.uri?display=basic#basic>

Tao, Z. (2009). Thermal Behavior of Composite Girder Bridges. *2009 Second International Conference on Information and Computing Science*, 4, 327-330.  
<https://doi.org/10.1109/ICIC.2009.393>

Thermal Studio. (2018). *Paquete Thermal Studio | Teledyne FLIR.*  
<https://www.flir.com.mx/products/flir-thermal-studio-suite?vertical=condition+monitoring&segment=solutions>

Weather Underground. (2018). *Local Weather Forecast, News and Conditions | Weather Underground.* <https://www.wunderground.com/>

Wu, L., & Wu, D. (2011). Experiment study on vehicle-bridge dynamics characteristic of a new thin-walled girder bridge. *2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE)*, 4984-4987. <https://doi.org/10.1109/ICETCE.2011.5776458>

Xiaomeng, H., & Wenzhong, Z. (2011). Experiment and analysis on temperature distribution of prestressed concrete beams and slabs. *2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, 3156-3159.  
<https://doi.org/10.1109/CECNET.2011.5769127>

Xu, Y., Zou, C., Chen, W., Liang, P., & Ren, G. (2009). Research on Construction Techniques for System Transformation of Self-Anchored Suspension and Cable-Stayed Combination System Bridge. *2009 International Conference on Engineering Computation*, 151-154. <https://doi.org/10.1109/ICEC.2009.44>

Ye, H., Gielen, A. W. J., vanZeijl, H. W., Werkhoven, R. J., & Zhang, G. Q. (2011). Numerical modeling of thermal performance: Natural convection and radiation of solid state lighting. *2011 12th Intl. Conf. on Thermal, Mechanical & Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems*, 1/6-6/6. <https://doi.org/10.1109/ESIME.2011.5765845>

Zihong, Y., Jiliang, G., Yuanfu, L., & Min, F. (2010). Study on Bayesian network model for evaluation of large-type bridges. *2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering*, 418-421. <https://doi.org/10.1109/ICIME.2010.5477599>

Instituto de Desarrollo Urbano IDU, Repositorio Institucional IDU Intersección Av. Boyacá por primera de mayo;, «Intersección Av. Boyacá por primera de mayo, proyecto 1994,» Repositorio Institucional IDU, Bogotá, 1994.

Browne, M. E. (2020). Temperature, Heat, and Heat Transfer. En *Schaum's Outline of Physics for Engineering and Science* (4th edition.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260453836/chapter/chapter17>

Cachay, Z., Fortunato, J., & Zelada, I. S. (s. f.). DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES PEATONALES SOBRE LA AUTOPISTA PIMENTEL-CHICLAYO APROBACIÓN DE LA TESIS. 198.

Carta, G. (2021). Heat and Mass Transfer for Chemical Engineers: Principles and Applications (First edition.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781264266678>

Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14. (s. f.). Recuperado 27 de marzo de 2022, de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>

Scopus—Document details—Thermal Effect for Steel Box Maglev Guideway on Vehicle-Bridge Coupled Vibration Response. (s. f.). Recuperado 27 de marzo de 2022, de <https://ezproxy.uan.edu.co:2063/record/display.uri?eid=2-s2.0-85118379689&origin=resultslist&sort=plf->

Numan, H. A., Salman, H. K., Abbas, A. N., Obed, A. H., & Özakça, M. (2020). Suggestion models of temperature differentials for the composite box girder bridge. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 870(1), 012068. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/870/1/012068>

Roger L. Brockenbrough, P. E., F. ASCE, & The late Frederick S. Merritt, P. E. (2020a). CABLE-STAYED BRIDGE ANALYSIS. En Structural Steel Designer's Handbook, Sixth Edition (6th edition.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260440799/toc-chapter/chapter14/section/section34>

AGhali, RFavre, & MELbadry. (2012). *Concrete Structures: Stresses and Deformations, Third Edition.*

Instituto de desarrollo urbano, Mantenimiento del puente vehicular de la Av. 1° de mayo por Boyacá

; «Mantenimiento del puente vehicular de la Av. 1° de mayo por Boyacá,» Instituto de desarrollo urbano, Boletín de prensa 2013, Bogotá, 2013.

Ballesteros Avellaneda, C. A. (2022). Análisis numérico de los gradientes térmicos por cargas de temperatura en puentes de concreto reforzado (1.ª ed.). Duitama Colombia: PDF. Recuperado de [chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6735/1/2022\\_CamiloBallesteros.pdf](http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6735/1/2022_CamiloBallesteros.pdf)

Yunus A., C., & Afshin J., G. (2014). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications*. McGraw-Hill Professional .

MinTransporte, Invias, & AIS. (2014). Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14.

NumPy. (n.d.). Retrieved May 24, 2022, from <https://numpy.org/>

Oraza, S. A. (2011). Hablamos de cambio climatico. Fundación BBVA.

pandas - Python Data Analysis Library. (n.d.). Retrieved May 24, 2022, from [https://pandas.pydata.org/getting\\_started.html](https://pandas.pydata.org/getting_started.html)

Inventario y servicio de los puentes de Bogotá (1.ª ed.). (2021). (1.ª ed.). Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). Recuperado de <https://idu.maps.arcgis.com/apps/dashboards/eae74f19b3c44edfbee656148ec206f9>

CASTILLO JIMÉNEZ, L. F., & ROJAS MARIACA, E. L. (2021). ESTUDIO DE PATOLOGÍA DEL PUENTE VEHICULAR DE LA AV. 1° DE MAYO CON AV. BOYACÁ (1.ª ed., p. 50). BOGOTÁ: PDF. Recuperado de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26366/1/506491%20CASTILLO%20\\_%20506497%20ROJAS%20ESTUDIO%20DE%20PATOLOG%3%8DA%20DEL%20PUENTE%20VEHICULAR%20DE%20LA%20AV.%201%20C%20BA%20DE%20MAYO.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26366/1/506491%20CASTILLO%20_%20506497%20ROJAS%20ESTUDIO%20DE%20PATOLOG%3%8DA%20DEL%20PUENTE%20VEHICULAR%20DE%20LA%20AV.%201%20C%20BA%20DE%20MAYO.pdf)

**ANEXO A**