

Temperatura superficial in situ en el puente vehicular de la Avenida
Américas con Avenida Boyacá (Bogotá) y en el puente Intercambiador vial
el Tizón (Neiva)

Laura Alejandra Patarroyo Querales & Hernán David Meneses Real.

Universidad Antonio Nariño
Ingeniera Civil
Bogotá D.C
2020

Temperatura superficial in situ en el puente vehicular de la Avenida
Américas con Avenida Boyacá (Bogotá) y en el puente Intercambiador vial
el Tizón (Neiva)

Laura Alejandra Patarroyo Querales
&
Hernán David Meneses Real.

Proyecto de investigación presentado como requisito para optar por el título
de:
INGENIERIA CIVIL

Director (es):
Edison Osorio Bustamante, Dr.

Universidad Antonio Nariño
Ingeniera Civil
Bogotá D.C
2020

Nota de aceptación

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

Bogotá D.C Mayo del 2020

Tabla de Contenidos

RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVO	14
MARCO TEÓRICO.....	15
1.1 Puentes	15
1.1.1 Importancia:	15
1.1.2 Tipos:	15
1.1.3 Materiales:.....	21
1.1.4 Normativa	25
1.2 Cargas térmicas.....	29
1.2.1 Transferencia de calor.....	29
1.2.2 Conducción	29
1.2.3 Convección	31
1.2.4 Radiación	33
1.2.5 Mecanismos	35
1.3 Efectos de temperatura en puentes.....	35
ESTADO DEL CONOCIMIENTO	37
1.4 Enfoque al estado del conocimiento	41
1.4.1 Monitoreo de temperatura.....	41
1.4.2 Carga de temperatura	41
1.4.3 Gradiente de temperatura.....	43
METODOLOGIA.....	51
1.5 Paso 1	51
1.5.1 Puente Intercambiador Tizón.....	51
1.5.2 Puente AV. de las Américas con AV. Boyacá.....	53
1.6 Paso 2	55
1.6.1 Puente Tizón	56
1.6.2 Puente Av. De las Américas con Av. Boyacá.....	58
1.7 Paso 3	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
1.8 Toma de datos	67
1.8.1 Informes puente intercambiador Tizón.....	77
1.9 Modelación numérica.....	82
1.9.1 Es: Energía solar w/m^2	83
1.9.2 Ecv: Energía por convección	84
1.9.3 Ei: Energía por irradiación.....	85
1.9.4 Ecd: Energía por conducción.....	85
1.9.5 Equilibrio de energías	86

1.10	Temperatura superficial	87
1.10.1	Puente Tizón en Neiva	88
1.10.2	Puente Av. De las Américas con Av. Boyacá.....	93
1.11	Comparación entre puentes.....	99
CONCLUSIONES		105
ANEXOS		108
LISTA DE REFERENCIAS		109

Lista de tablas

Tabla 1: (Intervalos de temperatura; norma CCP14 sección 3.12.2-1 (CCP-14, 2014))..	26
Tabla 2: (Bases para gradientes de temperatura; norma CCP14 sección 3.12.3-1 (CCP-14, 2014)).....	27
Tabla 3: Valores propios del coeficiente en la transferencia de calor por convección, tabla basada de (Cengel & Ghajar, 2011).....	32
Tabla 4 Propiedades de los materiales. Adaptado de (Wayne, 1999).....	68
Tabla 5: Comparación T1 Y T3 método registro fotográfico. Fuente: Elaboración propia.	99
Tabla 6: Comparación T1 Y T3 método modelación numérica. Fuente: Elaboración propia.	100
Tabla 7: Valores T1 Y T3 Neiva para comparación con norma CCP14. Fuente: Elaboración propia.	102
Tabla 8Valores T1 Y T3 Bogotá para comparación con norma CCP14. Fuente: Elaboración propia.	103

Lista de Figuras

Figura 1: Puente Gateway Tomado por:(Guard, 2009)	16
Figura2: Puente Kennedy Tomada de: (Kennedybrücke - Bonn, NRW, Germany Image, 2017)	17
Figura 3: (Puente Verrazano-Narrows - Megaconstrucciones, Extreme Engineering, 2012)	18
Figura 4: Puente coalbrookdale(Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas: El Diseño Racional en la Ingeniería Geotécnica (I), 2012)	19
Figura 5: (Puente de Forth - EcuRed, 2017)	20
Figura 6: Puente de Armadura Tomado de (Castaño, 1999)	21
Figura 7: (Puente Britannia - Puente RouteYou, 2006)	24
Figura 8: (Gradiente positivo de temperatura vertical en superestructuras de acero y concreto; norma CCP14 sección 3.12.3-1)	27
Figura 9: Conducción de calor a través de una pared	30
Figura 10: Radiación.....	34
Figura 11: Cantidad de documentos por año según la base de datos SCOPUS. Adaptado de (Elsevier B.V, 2020).	38
Figura: 12: Documentos por área del conocimiento. Adaptado de (Elsevier B.V, 2020). 39	39
Figura: 13 Documentos por país o territorio. Adaptado de (Elsevier B.V, 2020).	40
Figura: 14 Documentos por universidades o afiliación.	40
Figura 15 Diseño del sistema de carga de temperatura Adaptado de (Lin, J., Briseghella, B., Xue, J., Tabatabai, H., Huang, F., &Chen, B., 2020).....	43
Figura:16 Documentos por países. Fuente (VOSviewer, 2020)	45
Figura 17 Mapa documentos por países. Fuente (VOSviewer, 2020)	46
Figura: 18 Documentos por autores. Fuente (VOSviewer, 2020)	46
Figura 19 Mapa documentos por autores. Fuente (VOSviewer, 2020)	47
Figura: 20 Documentos por universidades o escuelas. Fuente (VOSviewer, 2020).....	47
Figura 21 Mapa documentos por universidades o escuelas. Fuente (VOSviewer, 2020). 48	48
Figura 22 Mapa palabras clave. Fuente (VOSviewer, 2020).....	49
Figura 23 Palabras clave hoja 1. Fuente (VOSviewer, 2020).....	50
Figura 24 Palabras clave hoja 2. Fuente (VOSviewer, 2020).....	50
Figura 25: Ubicación puente Tizón. Fuente Google Earth,	52
Figura 26: Puente Tizón. Fuente Google Earth	52
Figura 27 Diseño puente Tizón. Fuente: Elaboración propia	53
Figura 28: Ubicación puente AV. Américas. Fuente Google Earth	54
Figura 29: Puente Av. Américas con Av. Boyacá. Fuente Google Earth	54
Figura 30: Plano perfil puente Av. Américas con Av. Boyacá. Extraído de (idu, 2020) . 55	55
Figura 31: Punto de interés Fotografía térmica. Fuente propia	56
Figura 32: Punto de interés Fotografía térmica. Fuente propia	57
Figura 33 Punto de interés Fotografía térmica. Fuente propia.....	57
Figura 34: Puntos de interés toma 1 fotografía térmica. Fuente propia.....	58

Figura 35: Toma 1 fotografía normal. Fuente propia.	58
Figura 36: Puntos de interés toma 2 fotografía térmica. Fuente propia.	59
Figura 37: Toma 2 fotografía normal. Fuente propia.	59
Figura 38: Puntos de interés toma 3 fotografía térmica. Fuente propia.	60
Figura 39: Toma 3 fotografía normal. Fuente propia.	60
Figura 40: Puntos de interés toma 4 fotografía térmica. Fuente propia.	61
Figura 41: Toma 4 fotografía normal. Fuente propia.	61
Figura 42: Graficas Meteorológica de la Ciudad de Neiva Enero Tomado de: (Colombia Weather History Weather Underground, 2020)).....	63
Figura 43: Graficas Meteorológica de la Ciudad de Bogotá Enero Tomado de:(Colombia Weather History Weather Underground, 2020).....	63
Figura 44: Grafica de radiación solar de Neiva realizada en Excel obtenida de la base de datos de (Giovanni, 2020).....	64
Figura 45: Grafica de radiación solar de Bogotá realizada en Excel obtenida de la base de datos de (Giovanni, 2020).....	65
Figura 46: Comparación de datos entre IDEAM y Giovanni. Fuente: Elaboración propia.	66
Figura 47: Comparación de datos entre IDEAM y Giovanni. Fuente elaboración propia.	67
Figura 48: Tablero parte superior del puente. Informe generado en el programa FLIR Tools	69
Figura 49: Puntos de interés parte inferior. Informe generado en el programa FLIR Tools	70
Figura 50: Viga, columna y parte inferior del puente. Informe generado en el programa FLIR Tools.....	71
Figura 51: Perfil del puente viga y columna. Informe generado en el programa FLIR Tools	72
Figura 52: Temperatura superficial en la placa superior durante la mañana y la tarde en el puente Av. Boyacá. Generado en Excel.....	73
Figura 53: Temperatura superficial en el voladizo durante la mañana y la tarde en el puente Av. Boyacá. Generado en Excel.....	74
Figura 54Temperatura superficial en la columna durante la mañana y la tarde en el puente Av. Boyacá. Generado en Excel	74
Figura 55Temperatura superficial en la viga durante la mañana y la tarde en el puente Av. Boyacá. Generado en Excel	75
Figura 56Temperatura superficial en la placa inferior durante la mañana y la tarde en el puente Av. Boyacá. Generado en Excel.....	75
Figura 57: Día mayor temperatura Bogotá. Fuente https://www.wunderground.com/ del Aeropuerto Internacional el Dorado (Bogotá) Colombia	76
Figura 58: Tablero superior del puente. Formato generado en Excel.....	77
Figura59: Viga externa del puente. Formato generado en Excel.....	78
Figura 60: tablero inferior del puente. Formato generado en Excel	78

Figura 61: Temperatura en la placa superficial del puente tizón. Generado en Excel.....	79
Figura 62: Temperatura en la columna del puente tizón .Generado en Excel	80
Figura 63: Temperatura en la viga Exterior del puente tizón. Generado en Excel.....	80
Figura 64: Temperatura en la viga inferior del puente tizón. Generado en Excel	81
Figura 65Día mayor temperatura Neiva. https://www.wunderground.com/ del aeropuerto Benito Salas Neiva (Huila) Colombia.....	82
Figura 66 Equilibrio térmico en el puente. Fuente elaboración propia.....	83
Figura 67: Espesores materiales. Fuente: Elaboración propia	85
Figura 68: Temperatura superficial por la mañana en Neiva. Fuente: Elaboración propia	88
Figura 69Temperatura superficial por la tarde en Neiva. Fuente: Elaboración propia.....	89
Figura 70Comparación temperaturas superficiales superiores por la mañana T1. Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 71Comparación temperaturas superficiales superiores por la tarde T1. Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 72Comparación temperaturas superficiales inferiores por la mañana T3. Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 73Comparación temperaturas superficiales inferiores por la tarde T3. Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 74Temperatura superficial por la mañana en Bogotá. Fuente: Elaboración propia	93
Figura 75Temperatura superficial por la tarde en Bogotá. Fuente: Elaboración propia...	94
Figura 76 Comparación temperaturas superficies superiores T1 por la mañana. Fuente: Elaboración propia.	96
Figura 77Comparación temperaturas superficies superiores T1 por la tarde. Fuente: Elaboración propia.	97
Figura 78 Comparación temperaturas superficies inferiores T3 por la mañana. Fuente: Elaboración propia.	97
Figura 79Comparación temperaturas superficies inferiores T3 por la tarde. Fuente: Elaboración propia.	98
Figura 80 Comparación Norma CCP14 con Neiva. Fuente: Elaboración propia.	103
Figura 81 Comparación Norma CCP14 con Bogotá. Fuente: Elaboración propia.	104

RESUMEN

Actualmente las ciudades como Bogotá y Neiva han tenido un crecimiento vehicular debido al desarrollo poblacional e industrial, donde la infraestructura de los puentes soporta diariamente cargas como el peso de los automóviles, buses, camiones, volquetas, etc., adicionalmente fenómenos naturales como el calor y el agua.

¿Pero cómo se transfiere el calor? Existen tres formas : convección (natural o forzada), conducción y radiación; los puentes por lo general suelen estar sometidos a altas temperaturas por radiación solar diariamente, y a medida del tiempo este fenómeno puede llegar a causar deformaciones en estas estructuras como la contracción o expansión del mismo, por tal motivo cuando se diseña se debe tener en cuenta la transferencia de calor por parte del ingeniero o arquitecto y adicionalmente bajo los parámetros de la normativa, este proyecto de grado pretende mostrar los valores *in situ* de la temperatura superficial del puente Avenida de las Américas con Avenida Boyacá localizado en (Bogotá) , y el puente Intercambiador Tizón localizado en (Neiva) la cual se analiza el comportamiento de la estructura durante la transferencia de calor, y si ha presentado alguna anomalía por el mismo.

Palabras claves: conducción, convección, forzada, radiación, temperatura.

ABSTRACT

Currently cities like Bogota and Neiva have had a vehicle growth due to population and industrial development, where the infrastructure of the bridges supports daily loads such as the weight of cars, buses, trucks, dump trucks, etc., in addition to natural phenomena such as heat and water.

But how is the heat transferred? There are three forms, convection (natural or forced), conduction, and radiation; Bridges are usually subjected to high temperatures due to solar radiation on a daily basis, and as time goes by this phenomenon can cause deformation in these structures such as contraction or expansion of the same, so when designing it, heat transfer must be taken into account by the engineer or architect and additionally under the parameters of the regulations, This degree project aims to show the in situ values of the surface temperature of the Avenida de las Americas bridge with Avenida Boyacá located in (Bogotá), and the Tizón Interchanger bridge located in (Neiva), which analyzes the behavior of the structure during heat transfer, and whether it has presented any anomaly.

Keywords: conduction, convection, forced, radiation, temperature

INTRODUCCIÓN

Los puentes han sido la solución para el crecimiento, transporte y unión de una ciudad a otra, no obstante en ciertas ocasiones entre países. Tal motivo ha llevado a construir estas estructuras en lugares con temperaturas muy altas o bajas, en este trabajo se quiere realizar el estudio de la temperatura superficial de los puentes vehiculares de la Avenida Américas con Avenida Boyacá (Bogotá) y el puente Intercambiador Tizón (Neiva), estos consta en su mayoría de material concreto reforzado, lo que implica analizar diferentes parámetros como los efectos de temperatura en los puentes, la normativa de diseño, las diferentes transferencias de calor, datos meteorológicos como (radiación solar, velocidad del viento, temperatura entre otros) y adicionalmente indagar sobre proyectos realizadas por otras instituciones, entidades, ingenieros etc.. Para así obtener un mejor resultado de este proyecto de investigación in situ.

En Colombia, el diseño y construcción de puentes está regulado por la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14, 2014). En esta, se toman como referente los parámetros y reglamentación suministrada por la American Association of State Highway and Transportation Officials por sus siglas en inglés (AASHTO). Siendo estos unos referentes distantes de la realidad del entorno para un proyecto desarrollado en Colombia. El siguiente análisis busca obtener datos exactos sobre la temperatura superficial de los puentes vehiculares de la Avenida de las Américas con Avenida Boyacá en la ciudad de

Bogotá y del puente vehicular Intercambiador Tizón en la ciudad de Neiva, tomado durante un ciclo de días, en dos distintas horas; comparando así, la exactitud o similitud en aspectos térmicos frente a las situaciones reales y teniendo como referencia el comportamiento verídico de la temperatura, distintos tipos de climas y demás factores que inciden en el diseño de los puentes, según la CCP14 y la AASHTO (Salazar, 2012).

Este trabajo se desarrolla dentro de la línea de investigación de Infraestructura Sostenible y el Semillero Observatorio de Infraestructura Sostenible de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Antonio Nariño.

OBJETIVO

Realizar el análisis a la distribución de temperatura superficial obtenida en el puente vehicular de la Avenida de las Américas con Avenida Boyacá en la ciudad de (Bogotá) y en el puente vehicular Intercambiador Tizón de la ciudad de (Neiva) por medio del monitoreo térmico en campo, utilizando previamente una cámara térmica; comparación de datos in situ y modelación numérica apoyada en ecuaciones.

MARCO TEÓRICO

1.1 Puentes

1.1.1 Importancia:

En el campo de la ingeniería civil, los puentes son infraestructuras elevadas sobre el nivel del suelo, mares, ríos etc... Formado por apoyos y plataformas, con el propósito de circular personas y vehículos de todo tipo, con el fin de unir dos lugares, regiones, ciudades y demás, el diseño de este depende de la calidad de roca o suelo donde se habrá de apoyar. No obstante, se tiene en cuenta su estática y vida útil. Entonces se puede decir que estas estructuras han aportado al desarrollo de las naciones en el ámbito comercial y turístico.

1.1.2 Tipos:

Estos dependen de la topografía del lugar

Puente de viga:

Suelen tener deflexiones en el tablero y una longitud de luces dominante como se muestra en la Figura 1; Estos se pueden clasificar: en (Puente viga de hormigón pretensado)

- **Puente de Gateway (Brisbane 1986, 2010)**



Figura 1: Puente Gateway Tomado por:(Guard, 2009)

Rebautizados como Sir Leo Hielscher Bridges al terminar el segundo puente, constan de tres vanos $162+260+162\text{m}$, con una longitud total de 1927m . los vanos de acceso tienen una luz de 71m y 3.3m de canto, el primer puente realizado por McDonal Wagner y Priddle, y el segundo desarrollado por AECOM y Cardno, la diferencia de este es que su anchura ya no era de 21.93 , sino de 27.5m (Monleón Cremades, 2017)

Se sostiene sobre pilares de hormigón armado con una dimensión de $15,0\text{m}$ de largo y 2.5m de ancho, las cargas de los pilares se transmiten sobre cimientos de 19.5m de largo y $17,6\text{m}$ de ancho y un espesor de 3.2m y se introducen mediante pilotes de un diámetro de 1.8m en el suelo constructivo.(Stahlwerk Annahutte Max Aicher GmbH & Co.KG, n.d.)

(Puente vigas metálicos y mixtos)

Son puentes de armazón metálico, donde abundan los tableros de cajón único. Como se muestra en la Figura2

- **Puente Kennedy (Bonn Beuel, 1949)**



Figura2: Puente Kennedy Tomada de: (Kennedybrücke - Bonn, NRW, Germany Image, 2017)

Consta de tres vanos de 99.22+195.83+99.22m, su armazón longitudinal está formado por cuatro vigas de alma llena separadas 3.85m más unos voladizos laterales de 3.45m, proporcionando un ancho de 18.45m en la actualidad el puente por sus condiciones de estado se amplió a 5m hacia cada lado, se apoya sobre pilastras masivas revestidas de mampostería de granito.(Monleón Cremades, 2017)

Puentes atirantados:

El dimensionamiento de un puente se aborda en distinta etapas:(Monleón Cremades, 2017) primero en la disposición de los vanos y configuración longitudinal del atirantamiento, segundo la configuración espacial del atirantamiento y morfología 3D de las

torres, tercero diseño de tablero, cuarto pre dimensionamiento de los tirantes, quinto diseño de detalle de la sección transversal del tablero, sexto diseño de los anclajes de los tirantes en torres y tableros, séptimo diseño de las subestructuras y por ultimo diseño de los elementos de apoyo del tablero en las subestructuras. (Pilotes) como se muestra en la Figura 3.

- **Puente Verrazano-Narrows**



Figura 3: (Puente Verrazano-Narrows - Megaconstrucciones, Extreme Engineering, 2012)

Puente de arco:

Estas estructuras en la actualidad pueden ser construidas por hormigón, metálicas o mixtas, por lo general su desarrollo es por voladizos sucesivos utilizando tirantes desde torres provisionales, una vez se toca los seriaros se elimina el atirantamiento y las torres, construir sobre el arco las pilas y el tablero, pudiéndose realizar por dovelas prefabricadas o por carro de avance hormigonado “in situ” este método permite la construcción de grandes luces, en comparación a otros métodos un claro ejemplo en la Figura 4(Yepes, 2017)

- **Puente Coalbrookdale**



Figura 4: Puente Coalbrookdale (Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas: El Diseño Racional en la Ingeniería Geotécnica (I), 2012)

Puente cantiléver o voladizos:

Se aplica para tramos muy largos, reciben su nombre de los brazos voladizos que se proyectan desde las pilas. Los brazos también pueden proyectarse hacia las orillas para sustentar los extremos de dos tramos suspendidos como por ejemplo el puente del Forth
Figura 5 (Eddyhrbs, 2010)

- **Puente de Forth**



Figura 5: (Puente de Forth - EcuRed, 2017)

Estos pueden ser de acero, hormigón armado o vigas armadas metálicas, también puentes de armadura de hierro que combina el principio cantiléver con el arco y este puede estar articulado en las pilas.

Puente de armadura:

El modelo general de estos puentes, es armadura en celosía puede ser de tipo Pratt, Warren, De pendolón, Howe, Finko W, arco y cuerda etc.

Un claro diseño de estos puentes se investigó de un artículo de la universidad nacional de Colombia:

Este consta de un puente con tablero metálico de 4.2 m de ancho apoyado sobre vigas transversales en acero de 4.6 m de longitud, separadas cada 3.0 m. Las vigas transversales se apoyan en cada extremo en el cordón inferior de una armadura tipo Pratt con paneles de 3.0 m * 3.0 m y está conformada por elementos de acero calidad A-36 y de sección

tipo W. Para mejorar la estabilidad lateral del puente se colocaron pie de amigos en ángulos cada 3.0 m a ambos lados de la estructura, la armadura se apoyó utilizando en un tramo apoyos de segundo género, restringiendo desplazamientos en las tres direcciones, y el otro apoyo de primer género, permitiendo desplazamiento longitudinal. Véase la Figura 6.(Castaño, 1999)

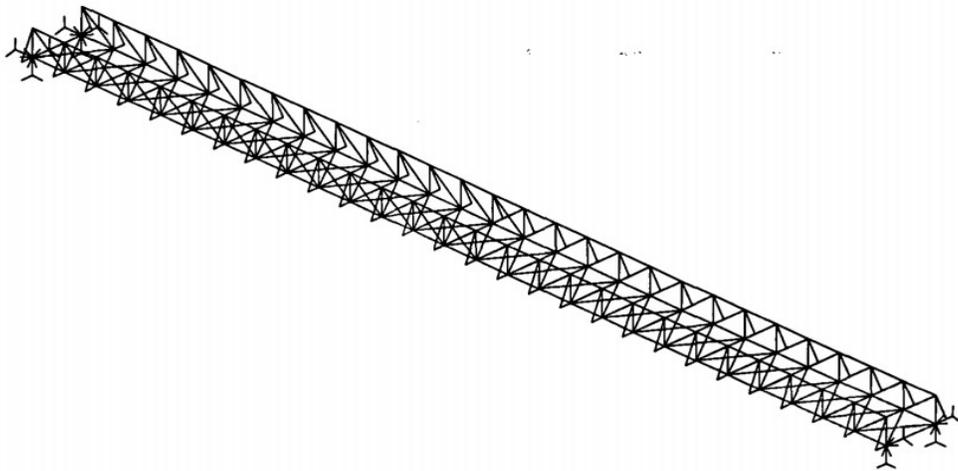


Figura 6: Puente de Armadura Tomado de (Castaño, 1999)

1.1.3 Materiales:

Puentes primitivos: estos se componían de tres elementos; **cuerdas naturales** aplicadas en estructuras colgantes que trabajan a tracción, **madera** para estructuras flexionadas

trabajando a tracción y compresión y piedra para los arcos trabajando a compresión.

(Somenson, 2017)

Puentes de madera: Se utiliza para construcciones rápidas y livianas, su forma era constituida por tramos de vigas longitudinales apoyada sobre pilas conformada por palizadas de pilotes de madera arriostrados.

Paulatinamente estas estructuras fueron remplazadas por estructuras de metal y hormigón y hasta principio del siglo XX se volvió a utilizar la madera donde el ingeniero

E.Freyssinet construyo una cimbra en forma de arco de madera con luz de 186m laminada.(Somenson, 2017)

Puentes de piedra: es un material con elevada resistencia a la compresión y muy poca capacidad para trabajar a tracción, lo que hacía que la luz fuera muy reducida, tal motivo llevo a utilizar la piedra en puentes en forma de arco, pero los arcos primitivos eran de directrices circulares, con un ángulo al centro de 180° denominados arcos de medio punto donde todas sus dovelas son iguales. Se construyeron hasta la segunda mitad del siglo XVIII. No obstante, también se desarrollaron arcos apuntados que tiene una discontinuidad en la clave, constituidos por dos arcos de círculo, el ingeniero Jean R realizo avances en la teoría de los arcos, logro perfeccionar el empuje de los arcos sobre las pilas descimbrando todos los arcos entre estribos a un mismo tiempo, donde las pilas recibían cargas verticales, este logro un ancho de pilas de $1/10$ de la luz en lugar de $1/5$ como los romanos obteniendo arcos de medio punto a arcos segmentales circulares con una abertura menor a 180° o más frecuentemente a arco carpaneles, cuya directriz está

formada por varios arcos de círculo con arcos en disminución desde la clave hacia los arranques. (Somenson, 2017)

Puentes metálicos: Para el siglo XIX con la invención de la maquina a vapor llega la revolución industrial donde desarrollo económico y turístico aumento generando la necesidad de construir puentes de mayor luz.

En Inglaterra se utilizó el hierro fundido con gran contenido de carbono, gran fragilidad y débil resistencia a la tracción. Luego hierro forjado a base de golpes para mejorar su resistencia, más adelante se hace presente el hierro laminado caliente y por último el acero laminado lo que contienen menos carbón y la utilización de nuevos elementos como el níquel, el cromo, el molibdeno etc. Mejorando la resistencia la ductilidad y su tenacidad.(Somenson, 2017). Ejemplos de puentes metálicos es Coalbrookdale en 1779, el puente ferroviario Britannia 1850 observe la Figura 7 al puente Verrazano 1964.

- **Puente Britannia**



Figura 7: (Puente Britannia - Puente / RouteYou, 2006)

Puentes de hormigón:

La piedra y la arena materiales que componen al hormigón, y acero que lo convierten en un materia resistente a la compresión y a la tracción, el hormigón se utilizó en arcos pero rápidamente se generaliza a vigas y pórticos donde tiene forma de peine, secciones abiertas con una losa superior que sirve de calzada y nervios de sección rectangulares que se integran en ella, constituyendo vigas de sección T. (Somenson, 2017)

1.1.4 Normativa

La norma que regula el diseño de puentes en Colombia es la Norma Colombia de Diseño de Puentes CCP14, la cual se divide en 15 secciones, las cuales se encargan de dar el paso a paso desde las características generales de diseño hasta diseño de barreras de sonido; la normativa y las especificaciones técnicas descritas en la norma CCP14 que se utilizan en el diseño de puentes están basadas en la norma AAHSTO LRFD de origen Americano.

Para este proyecto se hará uso de las secciones 3 “CARGAS Y FACTORES DE CARGA” y 5 “ESTRUCRURAS DE CONCRETO” de la norma CCP14 las cuales dan ítems basados en la norma AAHSTO para los efectos causados en los puentes debido a cambios térmicos.

De la sección 3 cargas y factores de carga se tiene que en la sección 3.12 se habla sobre las fuerzas debidas a deformaciones súper-impuestas, haciendo un enfoque en la temperatura uniforme, la cual es un movimiento térmico de un sistema relacionado a un cambio de la temperatura, y se logra deducir usando dos métodos, el primero es un intervalo de temperatura y debe ser como se especifica en la Tabla 1, se usara las diferencia entre límites inferiores y superiores y la temperatura básica de diseño para poder calcular los efectos de deformaciones térmicas.

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 49° 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)

Tabla 1: (Intervalos de temperatura; norma CCP14 sección 3.12.2-1 (CCP-14, 2014))

Para el segundo método el intervalo de temperaturas puede especificarse como la diferencia en la máxima temperatura del proyecto, TMax Design y la temperatura mínima, TMin Design. Así se hacer uso de este procedimiento se debe tener información de mapas de contorno los cuales no están disponibles en Colombia.

La sección 3.12.2.3 Movimientos térmicos de diseño de la norma CCP14 menciona que el intervalo de movimientos térmicos Δt depende de las temperaturas extremas definidas por la tabla 1, este se puede determinar cómo:

$$\Delta t = \alpha L (T_{MAXDISEÑO} - T_{MINDISEÑO})$$

En la cual:

L= Longitud de expansión (mm)

α = Coeficiente de expansión térmica (mm/mm/°C)

El gradiente de temperatura se incluye en varias combinaciones de carga, este se determina según la sección 3.12.3 donde aclara que los valores positivos de temperatura deben tomarse de la tabla 2 y los valores negativos se obtienen multiplicando los valores de la tabla 2 por -0.30 para tableros de concreto a la perspectiva y por -0.20 para tableros con recubrimiento de asfalto.

Zona	T1 ° C	T2 ° C
1	30	7,8
2	25	6,7
3	23	6
4	21	5

Tabla 2: (Bases para gradientes de temperatura; norma CCP14 sección 3.12.3-1 (CCP-14, 2014))

El gradiente de temperatura para superestructuras y tableros son en concreto, puede tomarse de la Figura 8

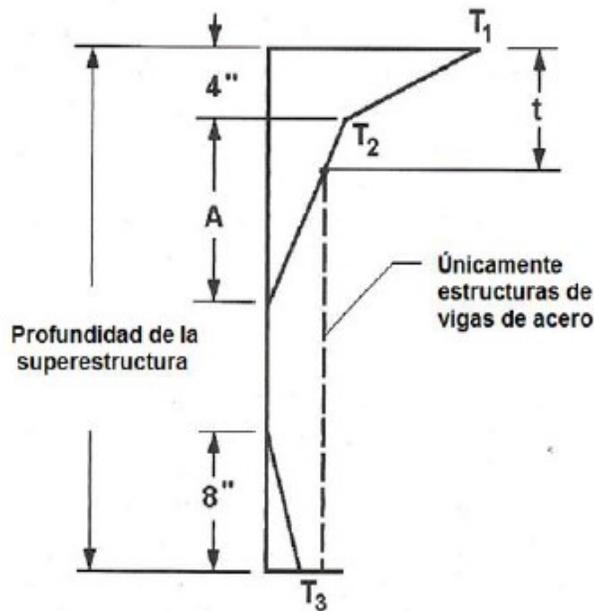


Figura 8: (Gradiente positivo de temperatura vertical en superestructuras de acero y concreto; norma CCP14 sección 3.12.3-1 (CCP-14, 2014)(Bustamante, 2018))

La dimensión A en la Figura 8 debe ser tomada como:

- 300mm: para superestructuras de concreto que tienen 400mm o mucho más de profundidad.
- 100mm menos que la profundidad real: para sección de concreto con menos de 400mm.

El valor de la temperatura T3 se selecciona 0°C mientras no se tengan estudios, pero no debe exceder los 3°C.

Mientras se suponga que el gradiente de temperatura, se puede determinar las tensiones internas y las imperfecciones de las estructuras debido a gradientes de temperatura positivos y negativos.

En la sección 5 estructuras de concreto se podrá resaltar la sección 5.7.3.6.1 que habla de las deformaciones generales, menciona que las juntas y los soportes del tablero deben aprobar los cambios de dimensiones producidos por el flujo plástico, cargas, asentamientos, pre esfuerzos, y cambios térmicos.

En la sección 5.14.2.3.1 Diseño indica que las cargas y condiciones constructivas propias en el diseño y que establecen las dimensiones de las secciones, deflexiones y exigencias de esfuerzo deben indicarse en los documentos contractuales como máximos admisibles, como carga constructiva debe considerarse: T: EFECTOS TERMICOS: sumatoria de los instrumentos debido a la diferenciación uniforme de la temperatura (TU) y a los gradientes de temperatura (TG) grados.

El coeficiente de expansión térmica mencionado en la sección 5.4.2.2 se determina por intermedio de ensayos de laboratorio sobre la mezcla determinada que se usará.

A falta de datos precisos, el coeficiente térmico de expansión puede llegar a ser tomado para:

- Concreto con peso normal: $1.08 \times 10^{-5} / ^\circ C$
- Concreto liviano $1.7 \times 10^{-5} / ^\circ C$

1.2 Cargas térmicas

Conceptos básicos:

Temperatura: Esta se mide en forma calor, y representa la energía contenida en un cuerpo

Calor: Energía que se transfiere de un cuerpo a otro, a causa de la diferencia de temperatura. (Cengel & Ghajar, 2011)

1.2.1 Transferencia de calor

Se genera cuando hay una diferencia de temperatura entre dos medios, y depende del gradiente de temperatura, es decir, la diferencia de temperatura por unidad de longitud, a mayor gradiente de temperatura mayor es la transferida de calor. (Cengel & Ghajar, 2011)

1.2.2 Conducción

Es la propagación de energía en forma de partículas más energéticas de un elemento hacia uno menos energético, debido a las interacciones entre partículas.

En los gases y líquidos la conducción se debe al choque y a la expansión de las moléculas durante su movimiento. y en los sólidos se debe a las vibraciones de las moléculas en una redícula y el transporte de energía por parte de los electrones libre.

La velocidad de la conducción de calor a través de un medio depende de la geometría, espesor y conductividad térmica de cada material, (que es capacidad con la cual la el material conduce calor.)

Eje: Considere una pared plana, con un espesor de $\Delta x = L = 1\text{m}$ y área $A = 1\text{m}^2$, tenga en cuenta que la transferencia de calor será en un estado estacionario como se muestra en la Figura 9, la diferencia de temperatura en el lado izquierdo y derecho de la pared es $\Delta T = T_2 - T_1$. (Cengel & Ghajar, 2011)

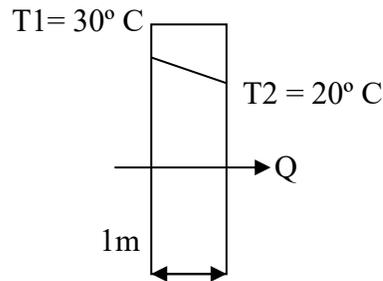


Figura 9: Conducción de calor a través de una pared

$$Q_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \left(\frac{\Delta T}{\Delta x} \right)$$

Dónde:

k = Constante de proporcionalidad de la conductividad térmica del material

Para este ejercicio cobre K= 401W/m*k

Q = 4010W

En el caso de $\Delta x \rightarrow 0$

$$Q_{cond} = -kA \left(\frac{dt}{dx} \right)$$

La ley de la conducción sobre el calor en Honor de J. Fourier, donde dT/dx es el gradiente de temperatura (Cengel & Ghajar, 2011)

1.2.3 Convección

Es la transferencia de energía entre una superficie sólida y el movimiento de un líquido o de un gas, entre mayor sea la velocidad del flujo mayor será la transferencia por convección , (Cengel & Ghajar, 2011)

Se habla de **convención forzada** si el gas o liquido es obligado a fluir sobre la superficie por ejemplo un ventilador, una bomba o el viento; y se dice que es **convención natural** si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje inducidas por la temperatura(Cengel & Ghajar, 2011).

La transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de newton del enfriamiento:

$$Q_{conv} = hAs (Ts - T\infty)$$

Donde

h = es el coeficiente de transferencia de calor en $W/m^2, ^\circ C$ o $Btu/h, ft^2, ^\circ F$

A_s = es el área superficial de la cual tiene lugar la transferencia de calor

T_s = temperatura de la superficie

T_∞ = temperatura del fluido suficientemente alejado de esa superficie

Tipos de convección	h , W/m^2 , $^\circ C$
Convección libre de gases	02-may
Convección libre de líquidos	10-1000
Convección forzada de gases	25-250
Convección forzada de líquidos	50-20000
Ebullición y condensación	2500-100000

Tabla 3: Valores propios del coeficiente en la transferencia de calor por convección, tabla basada de (Cengel & Ghajar, 2011)

Ejemplo:

Un alambre eléctrico de 2m de largo y 0.3cm de diámetro se encuentra en un cuarto a $15^\circ C$, la temperatura superficial del alambre es de $152^\circ C$ en operación estacionaria. La corriente eléctrica que pasa por el alambre, es de 60V y 1.5 A. determine el coeficiente de transferencia de calor por convección entre la superficie exterior del alambre y el aire que se encuentra en el cuarto.? (Cengel & Ghajar, 2011).

$$Q = E_{generado} = VI = (60V)(1.5A) = 90W$$

Área superficial del alambre

$$A_s = \pi DL = \pi(0.003m)(2m) = 0.01885m^2$$

La ley de newton

$$Q_{conv} = hA_s (T_s - T_\infty)$$

$$h = \frac{Q_{con}}{A_s (T_s - T_\infty)} = \frac{90w}{0.01885m^2(152 - 15)^\circ C} = \frac{34.9W}{m^2 \text{ }^\circ C}$$

1.2.4 Radiación

Es la energía que emite un material en forma de ondas electromagnéticas debido a que este se encuentra a una temperatura dada, es la transferencia más rápida a la velocidad de la luz y no sufre pérdida en un vacío(Cengel & Ghajar, 2011).

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica es expresada por la ley de Stefan – Boltzmann, denominada cuerpo Negro. (Metales, madera y rocas)

$$Q_{emitida} = \sigma A_s T_s^4$$

Donde

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \text{ o bien } 0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h. ft}^2 \cdot \text{R}^4$$

La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como:

$$Q_{emitida} = \epsilon \sigma A_s T_s^4$$

Donde

ϵ = es la emisividad de la superficie. Cuyo valor está entre $0 \leq \epsilon \leq 1$

Otra propiedad es la absorptividad comprendida entre $0 \leq \alpha \leq 1$ un cuerpo negro adsorbe todo tipo de radiación emitido sobre él, del mismo modo que es un emisor perfecto.

La razón por la cual la radiación es absorbida en una superficie se haya con la siguiente ecuación: (Cengel & Ghajar, 2011).

$$Q_{\text{absorbida}} = \alpha Q_{\text{incidente}}$$

Suponga una superficie ϵ y área superficial A_s , con una temperatura termodinámica T_s , encerrada por una superficie negra, a una temperatura termodinámica T_{alred} , y separada por un gas la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se da por:

(Cengel & Ghajar, 2011)

$$Q_{\text{rad}} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4)$$

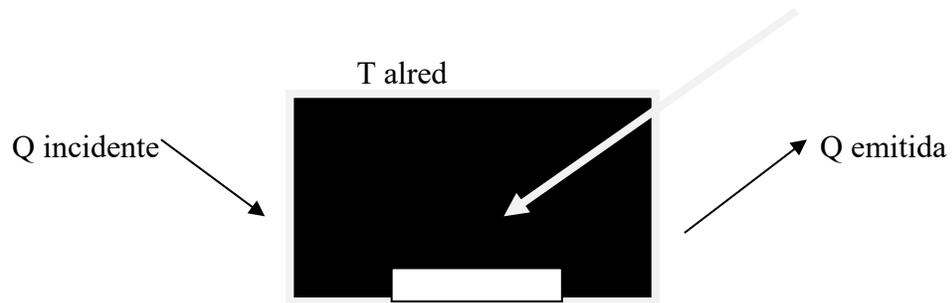


Figura 10: Radiación

1.2.5 Mecanismos

Existen tres mecanismos de calor, estos mecanismos no actúan en un mismo medio, es decir, mientras que los sólidos opacos son afectados por la conducción, los sólidos semitransparentes son afectados por la conducción y la radiación

En un flujo estático se aprecia una transferencia de calor me tipo conducción y radiación, cuando se tiene un flujo dinámico, entonces se tendría transferencia de calor por convección, en el caso de que no exista radiación, la trasferencia de calor que se presenta debe ser o por conducción o por convección pero nunca pueden ser por las dos juntas. De esta misma forma, para la radiación los gases son transparentes, como un vacío, y la conducción y la convención necesitan la presencia de un medio material. (Cengel & Ghajar, 2011)

1.3 Efectos de temperatura en puentes

Se puede decir que existen dos tipos de efectos de carga de temperatura que se van a considerar. El primero es los cambios de temperatura efectivos de un puente que son los causantes de la expansión y la contracción, el segundo efecto es las diferencias de temperatura entre la superficie superior de la plataforma y en diferentes niveles a lo largo de la profundidad de la plataforma, esto hace que la plataforma se distorsione.

Expansión y contracción: Los registros tomados por las estaciones meteorológicas durante el transcurso de los años, son útiles para predecir las temperaturas de diseño máximas y mínimas que la plataforma de un puente puede llegar a experimentar durante su vida útil.

Al convertir las temperaturas máximas y mínimas en temperaturas de puente efectivas T_{max} y T_{min} estas se multiplicarán por el coeficiente de expansión térmica y la longitud de la plataforma para calcular cuánto se puede llegar a expandir o contraer la plataforma del puente debido a los cambios de temperatura uniforme.

La contracción y expansión de la plataforma pueden acomodarse mediante el uso de juntas y cojinetes deslizantes o también se puede restringir el movimiento diseñando la estructura de una forma que resista fuerzas desarrolladas.

Diferencia de temperatura: Existe un gradiente de temperatura no lineal a través de la plataforma, lo que quiere decir que la temperatura varía a diferentes niveles a lo largo de

La profundidad de la plataforma. El perfil del gradiente cambia según el diseño de cubierta, los cuales son:

- Plataforma de acero sobre vigas de acero
- Plataforma de acero sobre vigas de acero o vigas de placa
- Plataforma de concreto en caja de acero, vigas de celosía o viga
- Losa de hormigón o cubierta de hormigón sobre vigas de hormigón o vigas de caja

Cada tipo de cubierta tiene dos perfiles de temperatura:

1. Para calcular los efectos cuando la superficie superior de la plataforma está más caliente que el núcleo de la plataforma (conocida como 'diferencia de temperatura positiva' o 'diferencia de temperatura de calentamiento')
2. Para calcular los efectos cuando la superficie superior de la plataforma es más fría que el núcleo de la plataforma (conocida como 'diferencia de temperatura inversa' o 'diferencia de temperatura de enfriamiento')

La posible solución para llegar a calcular la distribución de tensiones a través de la plataforma en condiciones de diferencia de temperatura es suponer que la plataforma está rígidamente restringida y luego calcular los efectos de eliminar las restricciones teóricas. (Childs, 2020)

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El estado del conocimiento ha sido realizado a través de la base de datos SCOPUS. Una base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas, en esta plataforma se utilizó los siguientes parámetros de búsqueda TITLE (thermal OR temperature*, AND bridge* OR viaduct*, AND load* OR movements* OR loading OR action* OR effect* OR displacement* OR monitoring* OR response*), esto con el fin de filtrar al menor número los artículos presentes en la base de datos.

Al realizar dicha búsqueda SCOPUS arrojó un total de 553 artículos, con el fin de agilizar la búsqueda de información, se optó por hacer uso de la herramienta filtros de búsqueda,

seleccionando únicamente artículos escritos en los últimos 5 años, la base arrojó un total de 195 artículo, esta búsqueda se ve reflejada en la Figura 11:

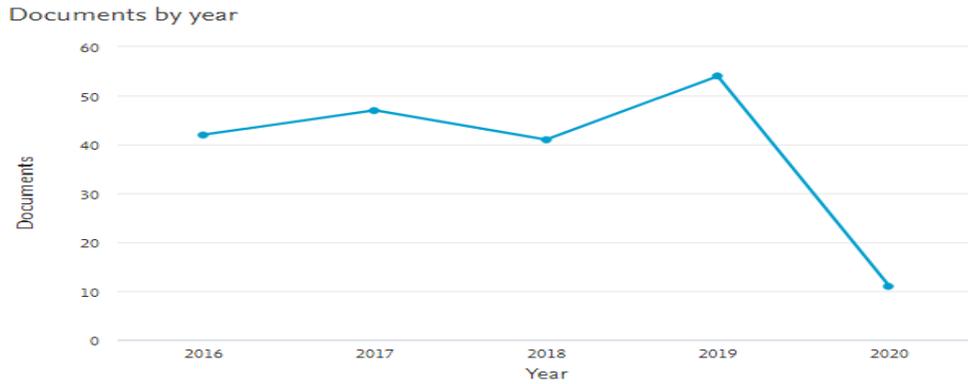


Figura 11: Cantidad de documentos por año según la base de datos SCOPUS. Adaptado de (Elsevier B.V, 2020)

En la Figura: 12_ se aprecia que la ingeniería es la rama del conocimiento que más artículos aporta al desarrollo de estos temas, junto a la ciencia de los materiales que aporta 38 artículos y se encuentra en el tema *Other*.

Documents by subject area

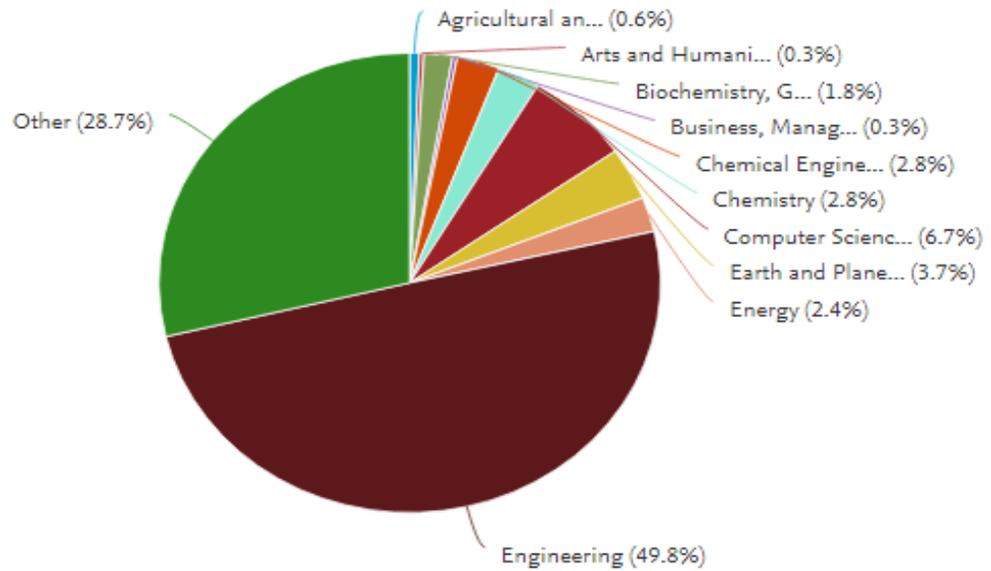


Figura: 12: Documentos por área del conocimiento. Adaptado de (Elsevier B.V, 2020).

En la Figura: 13: se aprecia que los países que más aportes le dan al desarrollo del tema son China encabezando la lista, seguido de Estados Unidos.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

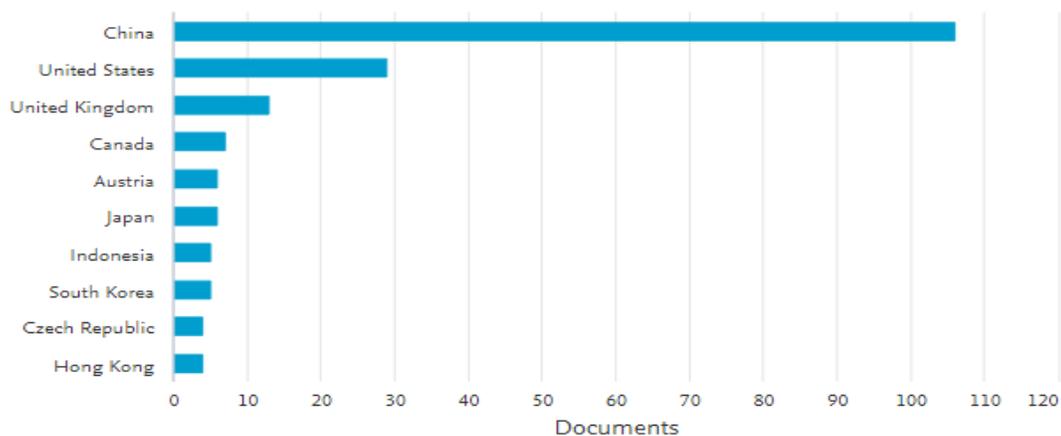


Figura: 13 Documentos por país o territorio. Adaptado de (Elsevier B.V, 2020).

Al ser China el país que más aporta, se filtra el total de universidades que arroja la plataforma, donde se encuentran todos los países los cuales han escrito artículos acerca de temperatura en puentes, a universidades chinas o cercanas, el resultado se puede ver en la Figura: 14.

Documents by affiliation

Compare the document counts for up to 15 affiliations.

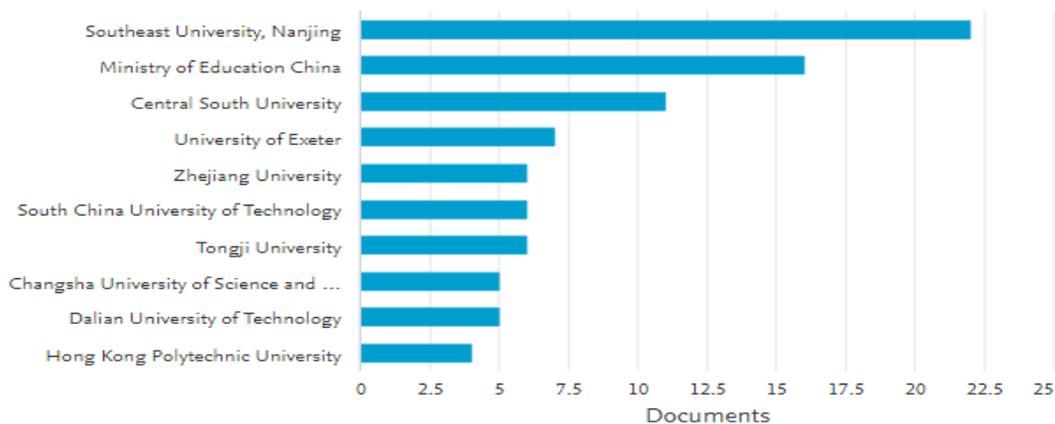


Figura: 14 Documentos por universidades o afiliación.

1.4 Enfoque al estado del conocimiento

1.4.1 Monitoreo de temperatura.

En el estudio de (Lin J., Briseghella B., Xue J., Tabatabai H., Huang F., Chen B., 2020) se hizo un estudio para mejorar la durabilidad de los puentes de viga de caja de lado a lado, se tuvo como tema clave la temperatura promedio efectiva del puente, se hizo un monitoreo a la distribución de la temperatura en la sección transversal del puente y al movimiento térmico longitudinal de la superestructura.

La temperatura efectiva promedio en las secciones transversales de la viga podría predecir con precisión el movimiento térmico longitudinal de la superestructura. Las temperaturas mayores y más bajas de los puentes efectivos para vigas de caja de lado a lado se evaluaron en 12 ciudades con 4 regiones climáticas con condiciones de temperatura exageradas históricamente, esto fue realizado en China(K. Yang et al., 2019).

1.4.2 Carga de temperatura

Se realizó un estudio en China (Lin, J., Briseghella, B., Xue, J., Tabatabai, H., Huang, F., & Chen, B., 2020), donde se desarrolló una muestra de losa sin lastre de tres tramos a escala 1-4, se llevaron a cabo 18 ciclos de pruebas de carga extremadamente térmica.

La prueba consiste en una simulación de la carga de temperatura experimentada por la estructura en condiciones climáticas extremas. Se generan tres partes de carga: la temperatura general, el gradiente térmico lineal y el gradiente térmico no lineal, esto debido a la fluctuación diaria de la temperatura. Durante la prueba, la superficie superior

de la losa de la vía se tomó como el punto de control de carga térmica y la carga de temperatura máxima aplicada se limitó a 60 ° C. Debido a la limitación de las condiciones experimentales, es difícil aplicar una carga de temperatura inferior a la temperatura ambiente; por lo tanto, la prueba estaba programada para llevarse a cabo por la noche en invierno, aprovechando la temperatura ambiente más baja (aproximadamente 8 ° C) para lograr un rango de aumento de temperatura más alto y obtener una mayor respuesta térmica de la estructura.

La carga de temperatura tuvo un incremento de 8 a 60 °C durante 2 horas, luego se enfrió a temperatura ambiente, esto como un proceso de ciclo. El ciclo se dividió en 3 etapas: el período de aumento de temperatura (calentamiento), el período de control de temperatura y el período de caída de temperatura. La temperatura solar normal empieza a partir de las 8:00 am incrementando y estando en su punto más alto a las 2:00 pm. En el estudio, para acortar el tiempo de prueba, la velocidad de calentamiento se controló, ajustando la potencia, cantidad de las lámparas de calentamiento que poseían para la prueba. El tiempo requerido en la prueba fueron 2 horas simulando el rápido aumento de la temperatura en condiciones climáticas extremas. Se aprecia en la Figura 15 el diseño de sistema de carga de temperatura, donde se puede deducir que a las 2 horas de iniciar el estudio se encontraba a la máxima temperatura, continuando igual por dos horas más y reduciendo la temperatura de forma natural en las siguientes horas de prueba. (Lin et al., 2020)

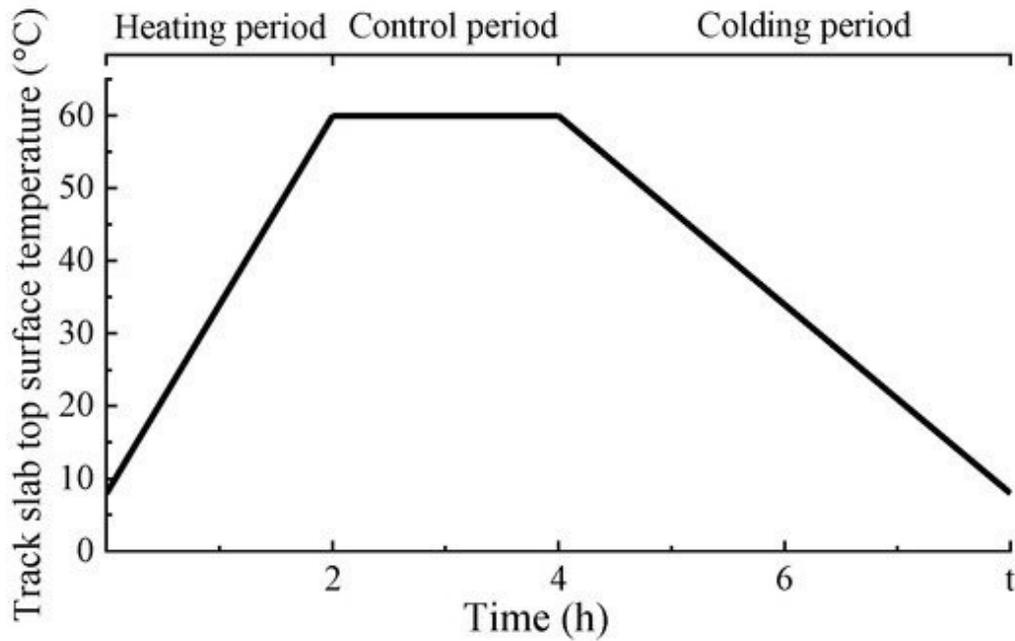


Figura 15 Diseño del sistema de carga de temperatura Adaptado de (Lin, J., Briseghella, B., Xue, J., Tabatabai, H., Huang, F., & Chen, B., 2020)

1.4.3 Gradiente de temperatura

En el documento de conferencia (Yang, K., Ding, Y., Sun, P., Zhao, H., & Geng, F., 2019), se menciona la importancia del efecto térmico, en el procedimiento de diseño de puentes. Especialmente del gradiente vertical de temperatura. En ese documento el puente escogido para el estudio se encuentra en Eslovaquia, es un puente de concreto y tiene vigas de cajón, se le realizó un monitoreo a largo plazo de la carga de temperatura. El gradiente de temperatura registrado se comparó con los gradientes

térmicos para el puente de vigas de caja de hormigón recomendado por las especificaciones de diseño EC 1991-1-5.

Se concluye que las variaciones de la temperatura del aire afectan la distribución general de la temperatura de la sección transversal y puede ocurrir un gran gradiente de temperatura. El gradiente de temperatura vertical puede exceder los valores estándar de diseño, subestimar este problema puede afectar significativamente la distribución de tensiones del puente y las grietas de tracción desarrollo. Por ende, es necesario recopilar más datos de gradientes específicos durante periodos de tiempos prolongados, esto puede permitir un análisis estructural preciso en el futuro (K. Yang et al., 2019).

El día 04/05/2020 (cuatro de mayo de 2020) se procede a realizar la misma búsqueda en la plataforma SCOPUS, filtrando los resultados a los últimos cinco años nuevamente, esta vez la búsqueda arrojó un total de 204 resultados, subiendo 9 artículos desde la última búsqueda.

Véase la siguiente lista de algunos artículos relacionados al tema de estudio: (Zhang et al., 2020), (Hossain et al., 2020), (J. F. Wang et al., 2019), (Lee et al., 2019), (Zhang et al., 2019), (Feng et al., 2019), (Huang et al., 2019), (G. X. Wang & Ding, 2019), (Bayane et al., 2019), (Li et al., 2019), (Sumargo & Harahap, 2019) y (Sheng et al., 2019)

Ahora mediante el software VOSviewer el cual es una herramienta para construir y visualizar redes bibliométricas, es decir, sirve para analizar la literatura científica, se pueda construir mapas basados en datos de la red de la plataforma SCOPUS.

En la Figura:16 se logra apreciar los 8 países más influyentes en la base de datos de la búsqueda en SCOPUS, teniendo a China como el país que más documentos aportó (112) y de igual manera el que más citas aportó (292); el mapa creado por el software VOSviewer se logra apreciar en la Figura 17, donde se observa las conexiones que presentan dichos países, cabe resaltar, que entre más pronunciado sea el punto es porque el ítem que lo porta aparece más veces en la base de datos ingresada en el software.

Selected	Country	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	china	112	292	17
<input checked="" type="checkbox"/>	united states	29	95	14
<input checked="" type="checkbox"/>	united kingdom	13	125	4
<input checked="" type="checkbox"/>	austria	6	27	2
<input checked="" type="checkbox"/>	canada	8	29	2
<input checked="" type="checkbox"/>	south korea	5	7	1
<input checked="" type="checkbox"/>	indonesia	5	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	japan	6	8	0

Figura:16 Documentos por países. Fuente (VOSviewer, 2020)

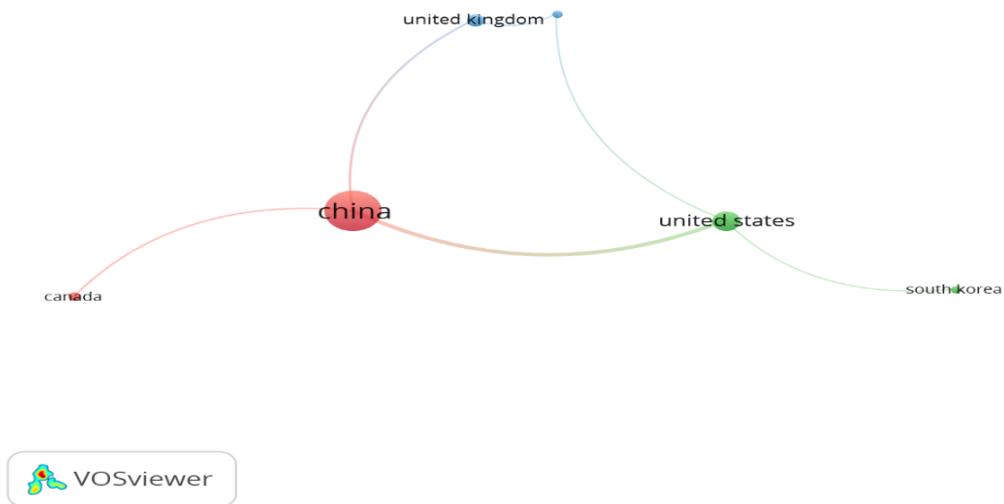


Figura 17 Mapa documentos por países. Fuente (VOSviewer, 2020)

En la Figura: 18: se aprecia otro tipo de análisis, este muestra los principales autores que aportan el mayor número de documentos a la búsqueda realiza en SCOPUS, el autor con más documentos es Liu, Y. con un total de 10, pero el autor que más veces es citado, es Zhou, I. con 47 citaciones. La Figura 19 muestra el mapa creado por el software y la relación que hay entre autores.

Selected	Author	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	liu j.	5	6	3
<input checked="" type="checkbox"/>	liu y.	10	18	3
<input checked="" type="checkbox"/>	yang j.	5	8	2
<input checked="" type="checkbox"/>	zhang j.	5	24	1
<input checked="" type="checkbox"/>	zhou i.	7	47	1
<input checked="" type="checkbox"/>	zhang x.	5	16	0

Figura: 18 Documentos por autores. Fuente (VOSviewer, 2020)



Figura 19 Mapa documentos por autores. Fuente (VOSviewer, 2020)

La Figura: 20 vista a continuación es el listado de las 18 universidades o escuelas con más aporte dentro de la búsqueda, en la Figura 21 se aprecia el mapa de conexiones entre estas universidades creado por el software VOSviewer.

Create Map ×

Verify selected organizations

Selected	Organization	Documents	Citations	Total link strength ▼
<input checked="" type="checkbox"/>	beijing-fujian-jiangxi passenger ded...	2	0	2
<input checked="" type="checkbox"/>	central south university, changsha, ...	3	0	2
<input checked="" type="checkbox"/>	college of engineering, mathematic...	2	16	2
<input checked="" type="checkbox"/>	department of civil and environmen...	2	1	2
<input checked="" type="checkbox"/>	department of civil engineering, bül...	2	6	2
<input checked="" type="checkbox"/>	department of engineering sciences...	2	6	2
<input checked="" type="checkbox"/>	school of civil engineering and tran...	2	1	2
<input checked="" type="checkbox"/>	beijing advanced innovation center ...	2	17	1
<input checked="" type="checkbox"/>	department of civil engineering, uni...	2	4	1
<input checked="" type="checkbox"/>	school of civil engineering, southea...	2	31	1
<input checked="" type="checkbox"/>	state key laboratory of disaster redu...	3	8	1
<input checked="" type="checkbox"/>	school of civil engineering, central s...	2	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	school of civil engineering, dalian u...	3	14	0
<input checked="" type="checkbox"/>	school of civil engineering, southwe...	2	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	school of civil engineering, tianjin u...	2	29	0
<input checked="" type="checkbox"/>	school of highway, chang'an univer...	2	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	school of transportation, wuhan uni...	2	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	university of innsbruck, unit of appli...	2	25	0

Figura: 20 Documentos por universidades o escuelas. Fuente (VOSviewer, 2020)

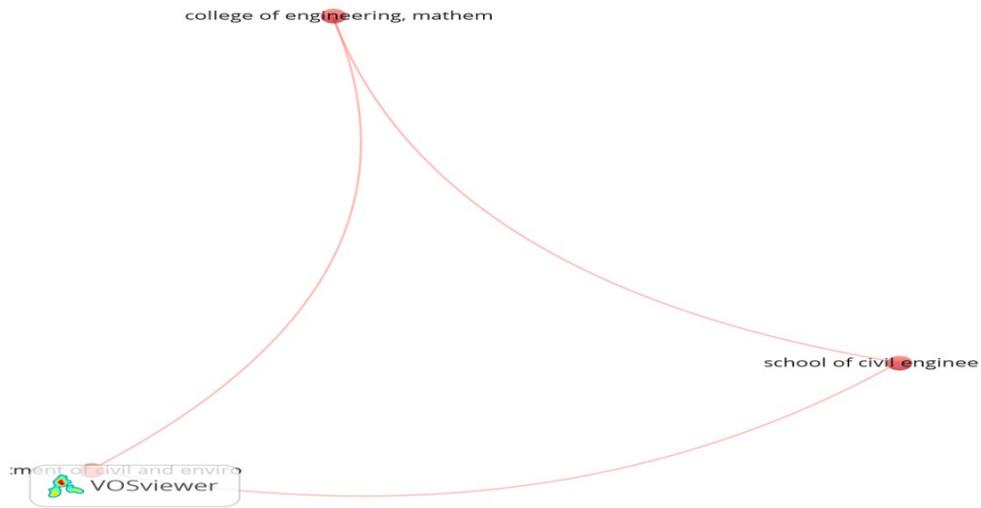


Figura 21 Mapa documentos por universidades o escuelas. Fuente (VOSviewer, 2020)

El mapa más importante, que más conexiones tiene, es el que muestra como son los enlaces entre palabras clave, el número de palabras clave que buscará el software será 48 y escogerá las 48 más relevantes entre la base de datos para crear el mapa presentado en la Figura 22

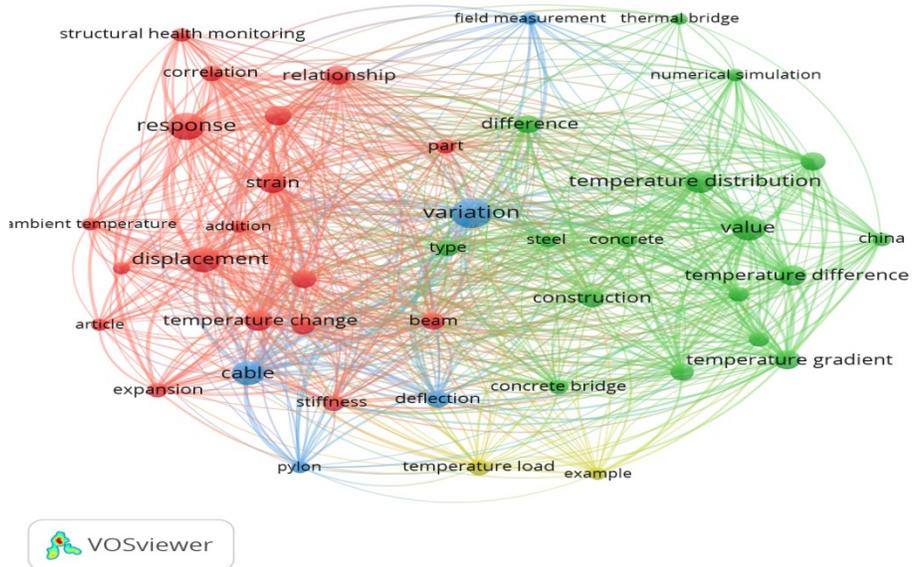


Figura 22 Mapa palabras clave. Fuente (VOSviewer, 2020)

En la Figura 23 y Figura 24 se tiene el listado de las 48 palabras clave más relevantes en la base de datos, como se puede apreciar en el mapa de la Figura 22, la palabra clave con el círculo más grande, y por ende, con más relevancia es variación, con un total de 52 apariciones dentro de los 204 artículos, también se observan palabras claves, precisas en el trabajo como lo son cambio de temperatura, distribución de temperatura, gradiente de temperatura, carga de temperatura, entre otras.

Create Map ×

 **Verify selected terms**

Selected	Term	Occurrences	Relevance ▼
<input checked="" type="checkbox"/>	china	13	2.72
<input checked="" type="checkbox"/>	calculation	21	2.15
<input checked="" type="checkbox"/>	temperature gradient	24	2.09
<input checked="" type="checkbox"/>	structural health monitoring	14	2.01
<input checked="" type="checkbox"/>	solar radiation	15	1.84
<input checked="" type="checkbox"/>	thermal bridge	10	1.83
<input checked="" type="checkbox"/>	article	12	1.67
<input checked="" type="checkbox"/>	temperature difference	27	1.54
<input checked="" type="checkbox"/>	expansion	16	1.43
<input checked="" type="checkbox"/>	gradient	16	1.39
<input checked="" type="checkbox"/>	approach	24	1.35
<input checked="" type="checkbox"/>	response	46	1.34
<input checked="" type="checkbox"/>	natural frequency	12	1.33
<input checked="" type="checkbox"/>	ambient temperature	12	1.31
<input checked="" type="checkbox"/>	numerical simulation	12	1.30
<input checked="" type="checkbox"/>	correlation	18	1.26
<input checked="" type="checkbox"/>	temperature distribution	32	1.19
<input checked="" type="checkbox"/>	value	40	1.18
<input checked="" type="checkbox"/>	temperature field	19	0.99
<input checked="" type="checkbox"/>	pylon	11	0.91
<input checked="" type="checkbox"/>	example	11	0.83

Figura 23 Palabras clave hoja 1. Fuente (VOSviewer, 2020)

Create Map ×

 **Verify selected terms**

Selected	Term	Occurrences	Relevance ▼
<input checked="" type="checkbox"/>	field measurement	11	0.76
<input checked="" type="checkbox"/>	concrete	16	0.75
<input checked="" type="checkbox"/>	cable	36	0.69
<input checked="" type="checkbox"/>	strain	27	0.66
<input checked="" type="checkbox"/>	displacement	39	0.66
<input checked="" type="checkbox"/>	addition	12	0.59
<input checked="" type="checkbox"/>	relationship	25	0.57
<input checked="" type="checkbox"/>	temperature change	26	0.54
<input checked="" type="checkbox"/>	bridge structure	19	0.53
<input checked="" type="checkbox"/>	impact	22	0.50
<input checked="" type="checkbox"/>	steel	14	0.49
<input checked="" type="checkbox"/>	part	16	0.45
<input checked="" type="checkbox"/>	concrete bridge	16	0.45
<input checked="" type="checkbox"/>	stiffness	17	0.41
<input checked="" type="checkbox"/>	construction	23	0.40
<input checked="" type="checkbox"/>	temperature load	17	0.37
<input checked="" type="checkbox"/>	beam	20	0.36
<input checked="" type="checkbox"/>	deflection	20	0.35
<input checked="" type="checkbox"/>	difference	21	0.31
<input checked="" type="checkbox"/>	type	17	0.26
<input checked="" type="checkbox"/>	variation	52	0.23

Figura 24 Palabras clave hoja 2. Fuente (VOSviewer, 2020)

METODOLOGIA

Para el desarrollo del proyecto se plantean dos fases que abarquen todo lo que conlleva la realización del proyecto, una fase inicial que consta de la recolección de datos y una fase final donde se analizan y se obtienen los resultados.

1.5 Paso 1

El primer paso fue escoger los puentes a analizar, se estudiarán dos puentes, el primero es el puente intercambiador Tizón en la ciudad de Neiva, Huila, el segundo es el puente vehicular ubicado en la Av. De las Américas con AV. Boyacá, en la ciudad de Bogotá, Cundinamarca.

A continuación, se presentan los puentes en los cuales se realizó la toma de datos.

1.5.1 Puente Intercambiador Tizón

Ubicación: Departamento del Huila – Colombia.

Año de construcción: 2007 – 2008

Coordenadas: 2° 56' 34.8" Norte 75° 18' 12.2" Oeste

Descripción: Es un puente vehicular elevado con dos calzadas, cinco luces, longitud de 156ml, tablero de 18.30m con cimentación en pilotes preexcavados de 12m de longitud, diámetro de 1.5m, 15 vigas cajón postensadas, 2.725m² de muros en tierra armada con módulos de concreto y 12.625m² de obras de urbanismo. (*Infercal - Ingenieros Constructores*, 2011)

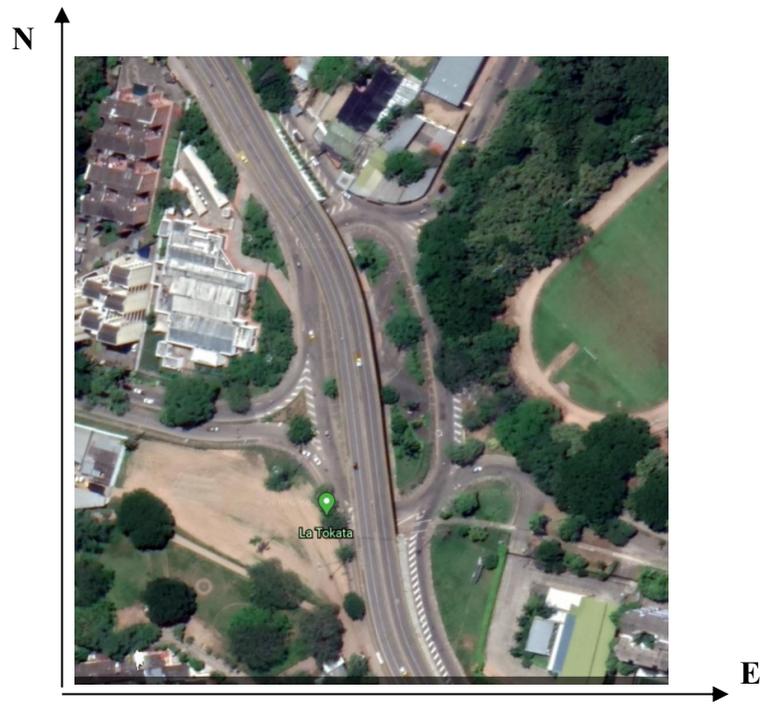


Figura 25: Ubicación puente Tizón. Fuente (Google Earth, 2020),

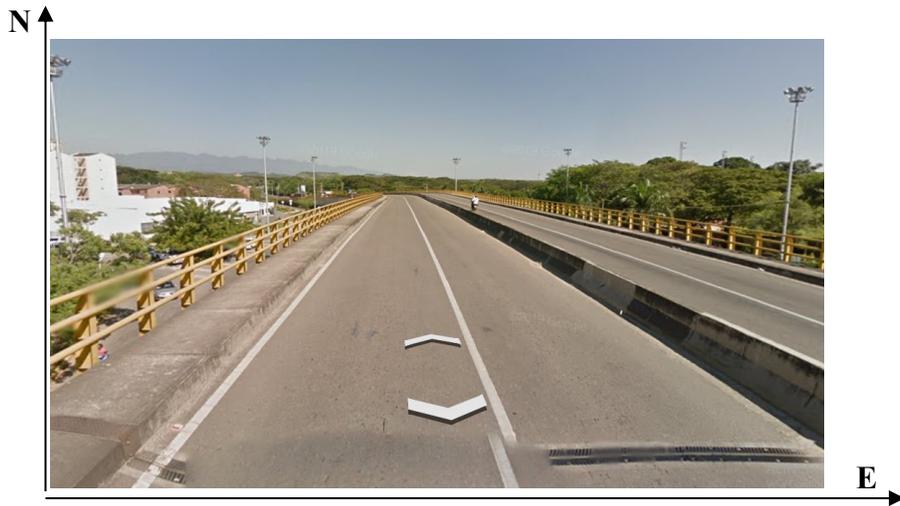


Figura 26: Puente Tizón. Fuente (Google Earth, 2020)

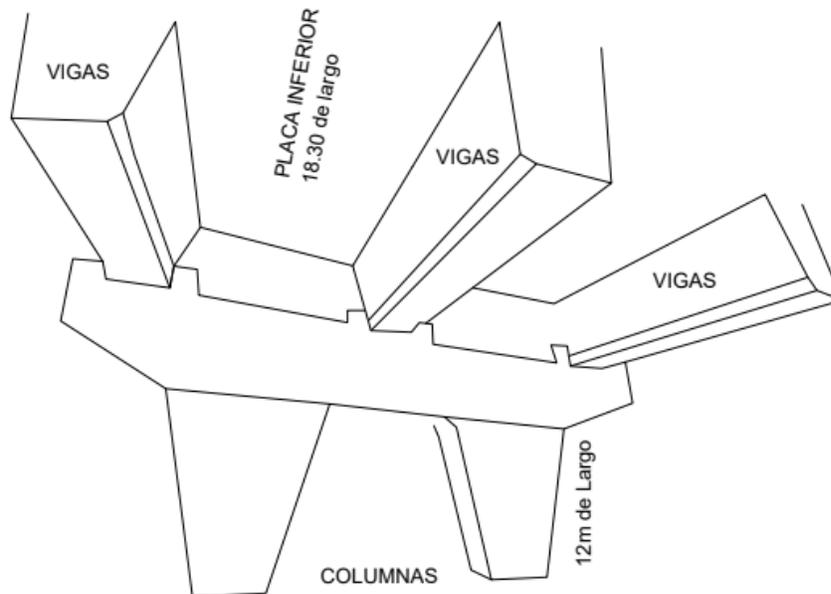


Figura 27 Diseño puente Tizón. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 27 Diseño puente Tizón. Fuente: Elaboración propia Figura 27: se presenta el diseño del puente intercambiador Tizón con algunas de sus dimensiones.

1.5.2 Puente AV. de las Américas con AV. Boyacá.

Ubicación: Departamento de Cundinamarca– Colombia.

Año de actualización sísmica y reforzamiento estructural de: 2007 al 2009

Coordenadas: 4° 37' 50.5" Norte 74° 08'16.2" Oeste

Descripción: Es un puente vehicular elevado con dos calzadas, separadas por un puente peatonal metálico, estructura de concreto, vigas pretensadas, y una longitud de 110m aproximadamente desde la primera y última junta de dilatación. (Castaño, 1999)

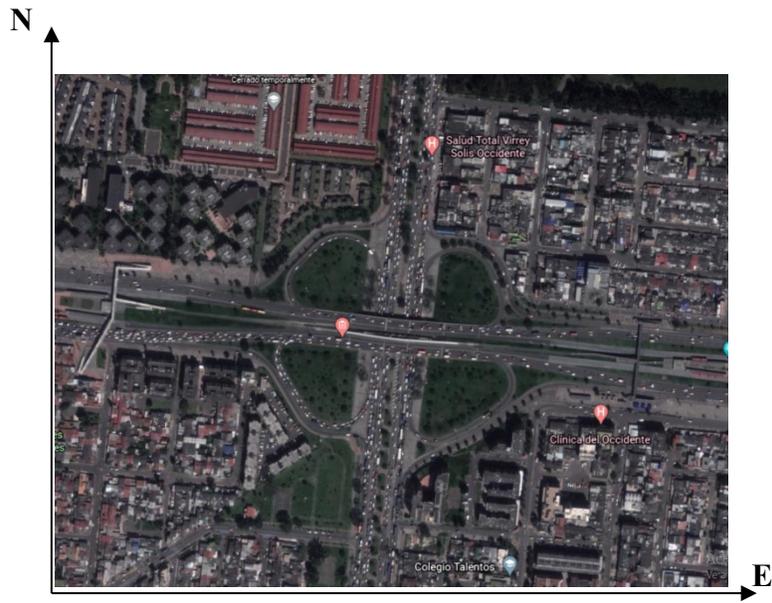


Figura 28: Ubicación puente AV. Américas. Fuente (Google Earth, 2020)



Figura 29: Puente Av. Américas con Av. Boyacá. Fuente (Google Earth, 2020)

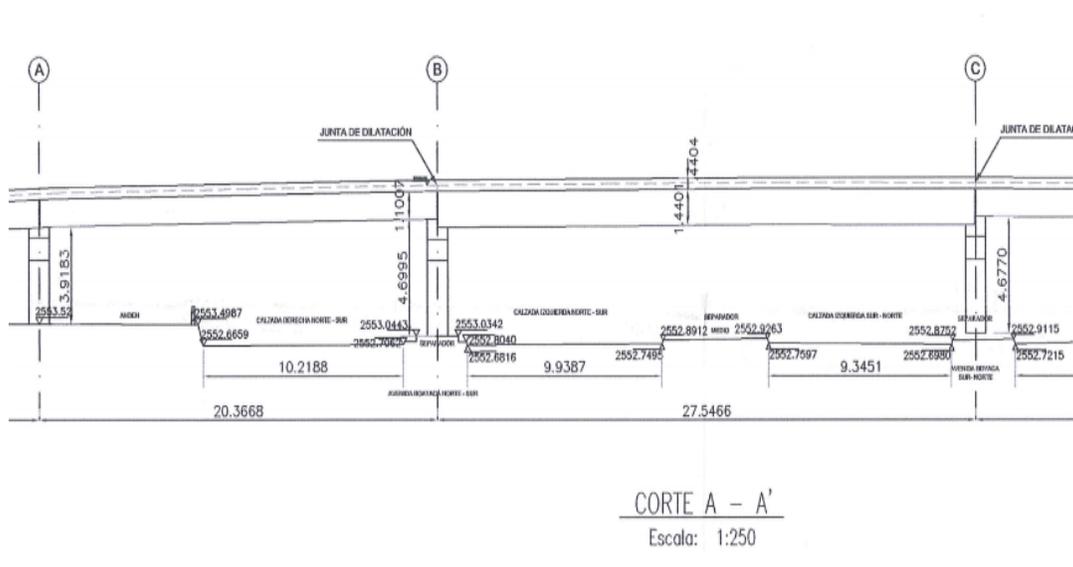


Figura 30: Plano perfil puente Av. Américas con Av. Boyacá. Extraído de (Repositorio Institucional IDU: Búsquedas, 2007)

En la Figura 30 se logra ver en la el plano en perfil del puente de la Av. De las Américas con Av. Boyacá a una escala de 1:250 y alguna de sus dimensiones.

1.6 Paso 2

El segundo paso fue realizar un monitoreo in situ con la cámara térmica modelo FLIR ONE PRO proporcionada por la Universidad Antonio Nariño, la toma de estos datos se inició en el día 12 de diciembre de 2019 y finalizo el día 6 de enero de 2020 para el puente Tizón en Neiva, se hizo capturas durante el transcurso de estos días en horas de la mañana 6:00 – 7:00 am y en horas de la tarde, 12:00 – 3:00 pm, esto con el fin de tener los picos de temperatura más altos en el horario de la tarde, y unos picos con temperaturas bajas en los horarios de la mañana donde el puente no presentaba altas temperaturas.

De igual forma se realizó en el puente de AV. De las Américas con AV. Boyacá en Bogotá, desde el 15 de enero de 2020 hasta el 03 de febrero de 2020.

En las siguientes figuras se logra apreciar los puntos de interés capturados observe Figura 31, Figura 32, Figura 33, para el puente tizón y observe la Figura 34, Figura 36, Figura 38 y Figura 40 para la el puente Av. Boyacá analizados por el software FLIR Tool.

1.6.1 Puente Tizón

Toma 1:

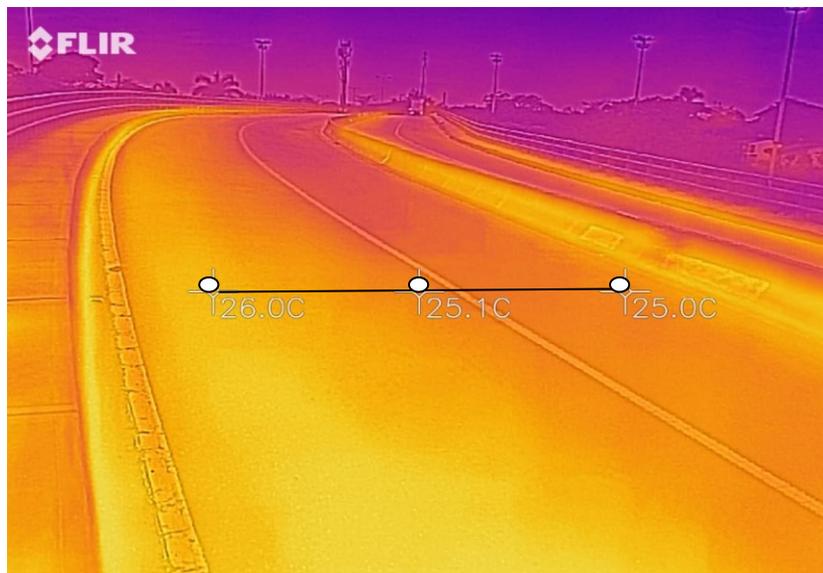


Figura 31: Punto de interés Fotografía térmica. Fuente propia

Toma 2:



Figura 32: Punto de interés Fotografía térmica. Fuente propia

Toma 3



Figura 33 Punto de interés Fotografía térmica. Fuente propia

1.6.2 Puente Av. De las Américas con Av. Boyacá

Toma 1:

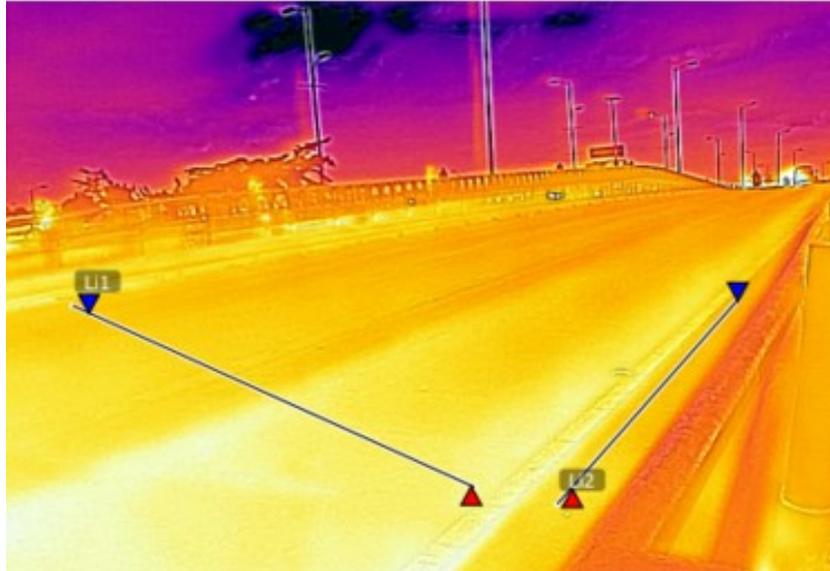


Figura 34: Puntos de interés toma 1 fotografía térmica. Fuente propia.



Figura 35: Toma 1 fotografía normal. Fuente propia.

Toma 2:

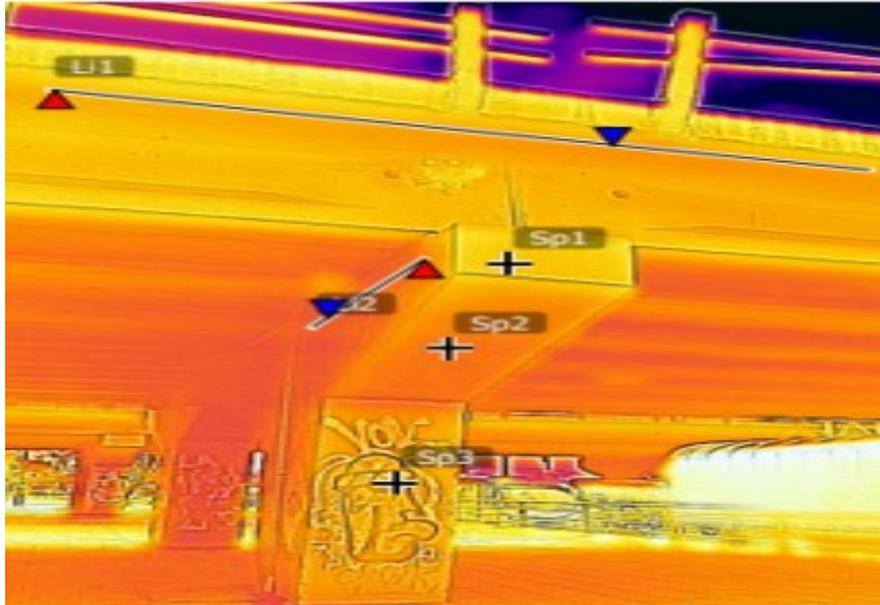


Figura 36: Puntos de interés toma 2 fotografía térmica. Fuente propia.



Figura 37: Toma 2 fotografía normal. Fuente propia.

Toma 3:

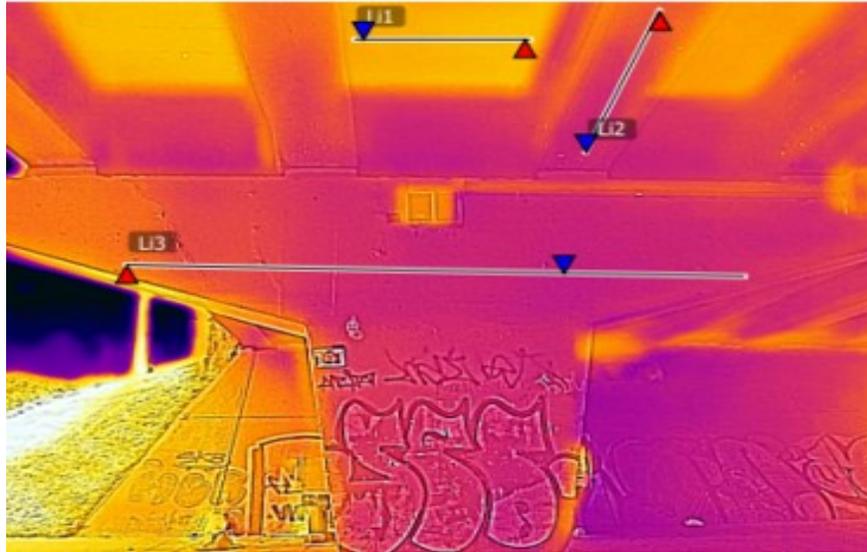


Figura 38: Puntos de interés toma 3 fotografía térmica. Fuente propia.



Figura 39: Toma 3 fotografía normal. Fuente propia.

Toma 4:

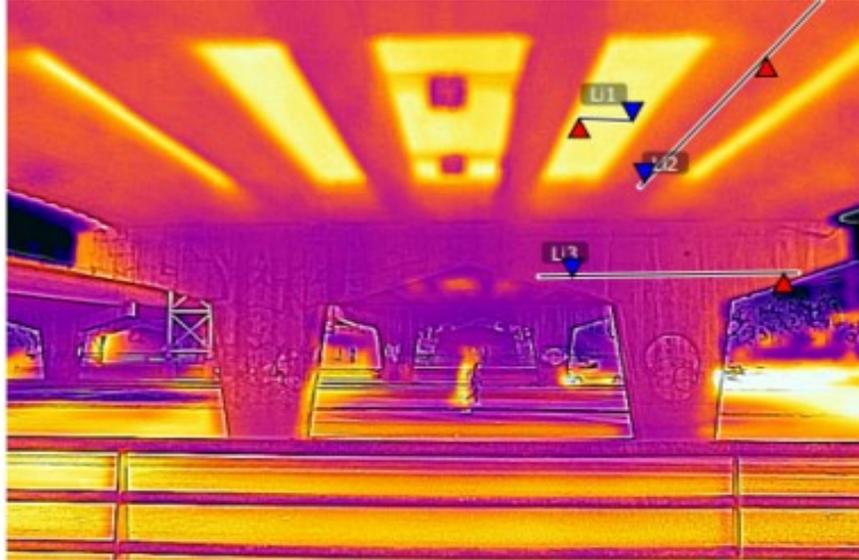


Figura 40: Puntos de interés toma 4 fotografía térmica. Fuente propia.



Figura 41: Toma 4 fotografía normal. Fuente propia.

1.7 Paso 3

Luego de tener las fotos, se procede a la extracción manual de los datos para el puente Tizón y con el software FLIR TOOLS para el puente AV. De las Américas con Av. Boyacá, para el respectivo análisis de los datos se tuvo en cuenta estaciones meteorológicas ubicadas en el Aeropuerto Benito Salas y el Aeropuerto el Dorado, que permitían obtener la base de datos de diferentes variables como la temperatura, la velocidad del viento, la precipitación, entre otras; estas se obtuvieron de (*Colombia Weather History | Weather Underground, 2020*) y la radiación solar de (*Giovanni, 2020*) y (*Atlas Interactivo - Radiación IDEAM, 2019*) Véase las Figura 42, Figura 43, Figura 44, Figura 45, a continuación, dónde se procede realizar un análisis de transferencia de calor en los puentes utilizando la ecuación de equilibrio de energía.

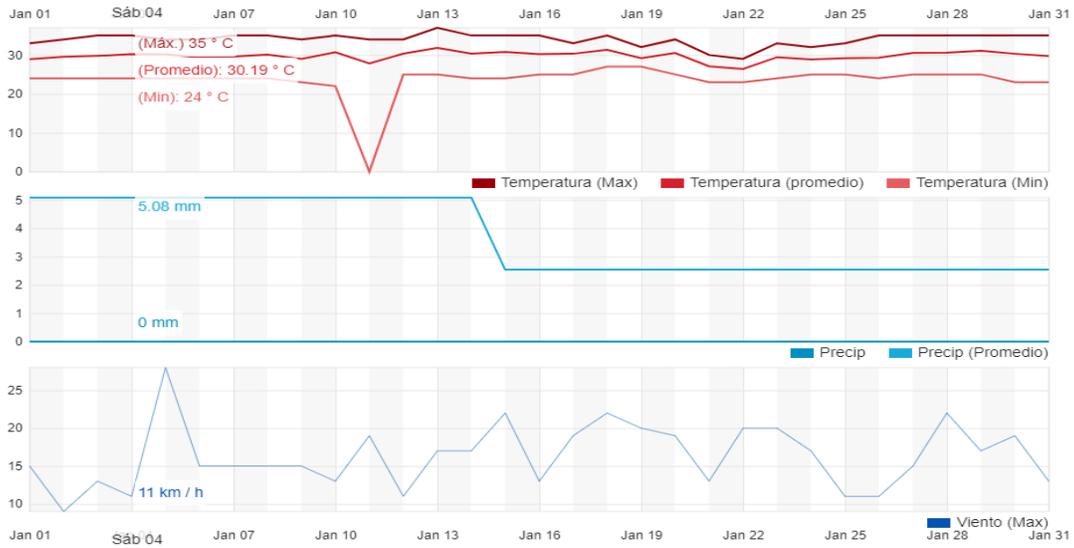


Figura 42: Graficas Meteorológica de la Ciudad de Neiva Enero Tomado de: (Colombia Weather History / Weather Underground, 2020))

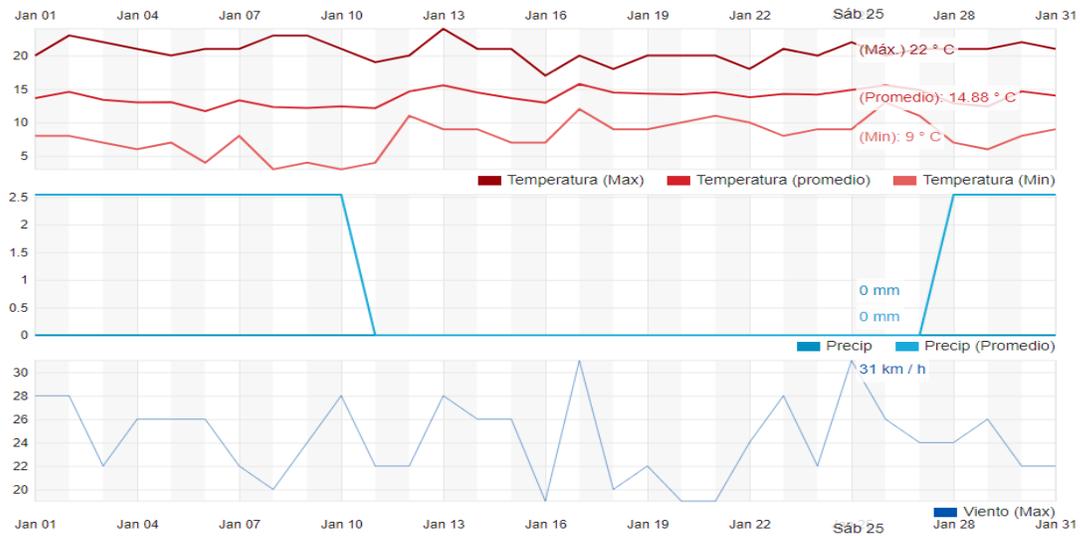


Figura 43: Graficas Meteorológica de la Ciudad de Bogotá Enero Tomado de: (Colombia Weather History / Weather Underground, 2020))

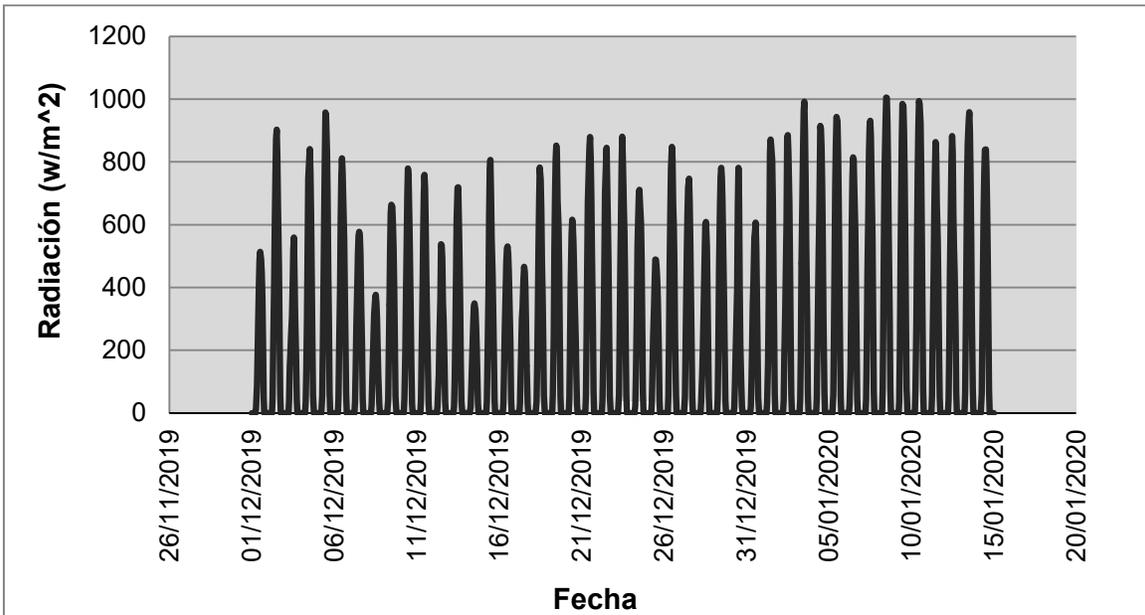


Figura 44: Grafica de radiación solar de Neiva realizada en Excel obtenida de la base de datos de (Giovanni, 2020)

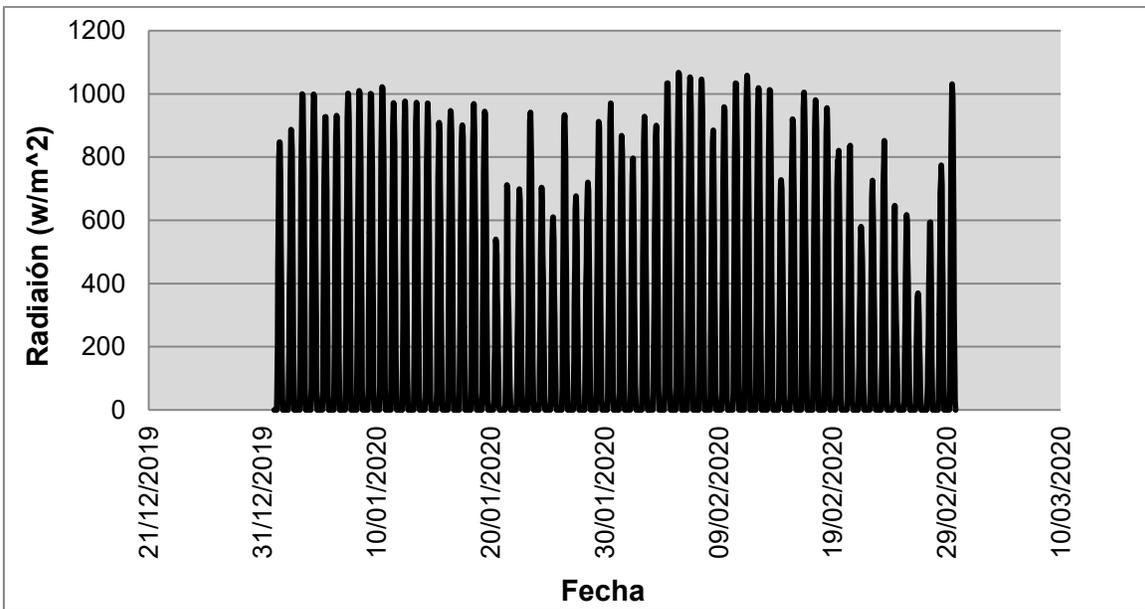


Figura 45: Grafica de radiación solar de Bogotá realizada en Excel obtenida de la base de datos de (Giovanni, 2020)

La temperatura máxima captada por la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto Benito Salas en la ciudad de Neiva arroja un valor de 35°C para el mes de enero, mientras que la estación ubicada en el aeropuerto internacional el dorado arroja un valor de 22°C para el mes de enero en Bogotá, esto aclara las diferencias climatológicas existentes entre ambas ciudades, dejando a Neiva como la ciudad con temperaturas más altas.

Los resultados de radiación que arroja la plataforma GIOVANNI de la NASA son datos entre el 01/12/2019 hasta el 15/01/2020 para la ciudad de Neiva y entre el 01/01/2020 hasta el 29/02/2020 para la ciudad de Bogotá, los picos máximos para ambas ciudades superan los 1000 w/m², haciendo énfasis en que la ciudad de Neiva presenta radiación mayor por ser una ciudad de clima cálido, es decir, al realizar una comparación entre las dos ciudades estudiadas se nota la diferencia atmosférica por temas relacionados con la climatología.

Con base a los datos graficados de radiación solar en los años 2019 y 2020 para los meses de diciembre, enero y febrero, se optó por buscar más datos de radiación solar en el IDEAM para realizar una breve comparación de datos. Este arrojo valores de radiación solar entre los años 1990 a 2003 para la ciudad de Neiva observe la Figura, donde se evidencia crecimiento de radiación en el mes de diciembre del 2019 y una disminución de radiación en enero del 2020 frente a los años 1990 a 2003, y arrojo valores de radiación solar entre 1981 a 2004 para la ciudad de Bogotá observe la Figura 47, donde se

evidencia un crecimiento de radiación en los meses de Enero y Febrero del 2020 frente a los años 1981 a 2004.

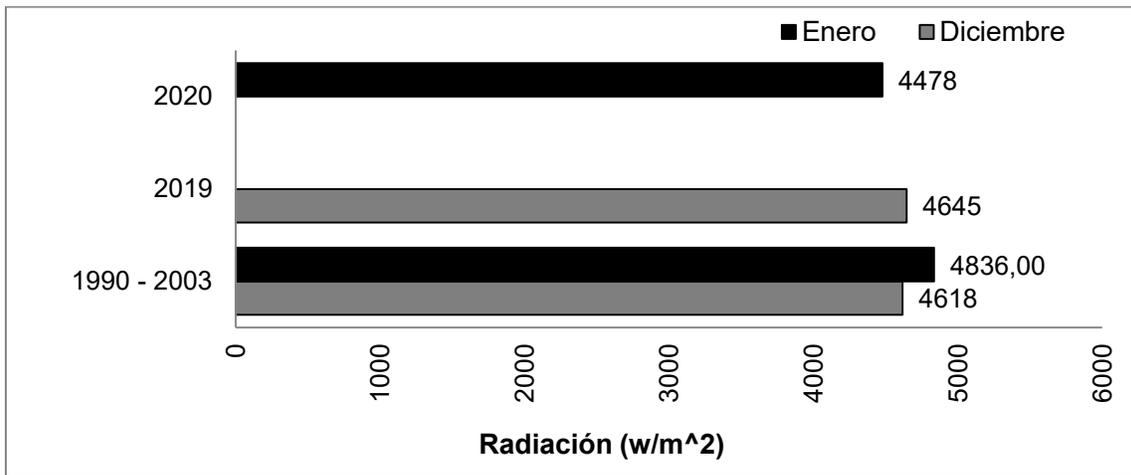


Figura 46: Comparación de datos entre IDEAM y Giovanni. Fuente: Elaboración propia.

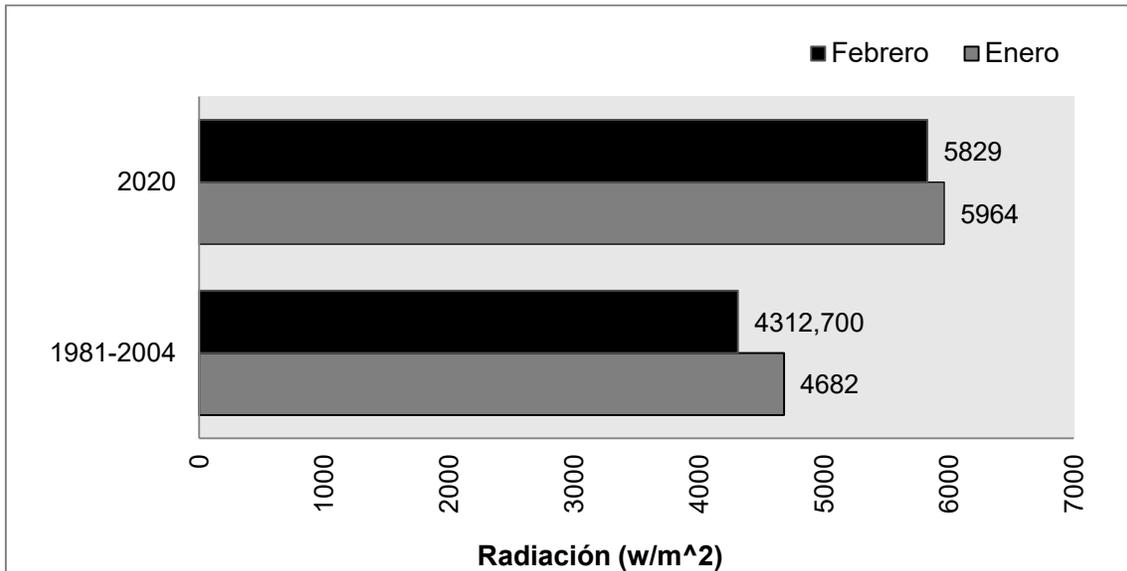


Figura 47: Comparación de datos entre IDEAM y Giovanni. Fuente elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.8 Toma de datos

El proyecto plantea analizar la estructura de los puentes en horarios donde se reflejen los picos más altos y más bajos de temperatura, por con siguiente las tomas se realizan en horas de la mañana en el lapso de 06:00 – 07:00 am y en horas de la tarde en el lapso de 12:00 – 03:00 pm, las tomas iniciaron el día 12/12/2019 y finalizaron el día 06/01/2020 para el puente Tizón de Neiva, para el puente vehicular Av. De las Américas con Av. Boyacá las tomara comenzaron el día 15/01/2020 y finalizaron el día 03/02/2020. Para cada puente se toman diferentes puntos de interés ubicados en la parte superior e inferior.

Ambos puentes están compuestos por asfalto y concreto, en Tabla 4 Propiedades de los materiales. Adaptado de se muestran las propiedades de estos materiales que son necesarias para el análisis de resultados y modelación numérica.

Material	Parámetro	Unidad	Valor utilizado
Concreto	Densidad	kg/m ³	2400
	Conductividad térmica	W/(m·°C)	2
	Calor específico	J/(kg·°C)	900
	Coefficiente de absorción	-	0,7
	Coefficiente de emisividad	-	0,9
	Coefficiente de expansión térmica	°C	0,000008
Asfalto	Densidad	kg/m ³	2100
	Conductividad térmica	W/(m·°C)	1
	Calor específico	J/(kg·°C)	920
	Coefficiente de absorción	-	0,9
	Coefficiente de emisividad	-	0,9
	Coefficiente de expansión térmica	°C	-

Tabla 4 Propiedades de los materiales. Adaptado de (Wayne, 1999)

En las siguientes Figura 48, Figura 49, Figura 50, Figura 51 son ejemplos de informes obtenidos para el puente Bogotá, en estos, se logra apreciar los puntos de interés analizados;



DIA 8

Medidas		°C
Li1	Max	37,0
	Min	30,7
	Average	33,0
Li2	Max	38,6
	Min	36,3
	Average	38,0

Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización	
Brújula	N
Localización	N 4° 37' 52,83", W 74° 8' 3,16"

<http://maps.google.com/?z=17&l=4.6313,-74.1342>

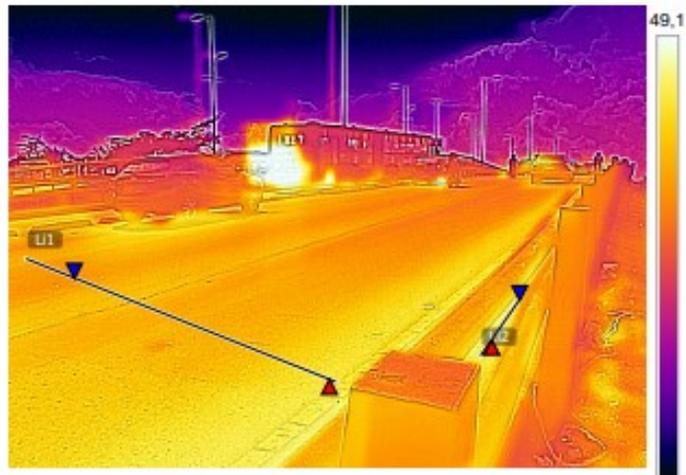


Figura 48: Tablero parte superior del puente. Informe generado en el programa FLIR Tools



DIA 8

Medidas		°C
LI1	Max	18,2
	Min	16,5
	Average	17,8
LI2	Max	18,5
	Min	18,2
	Average	18,2
LI3	Max	18,5
	Min	18,3
	Average	18,4

Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. ref.	22 °C

Geolocalización	
Brújula	N
Localización	N 4° 37' 49.36", W 74° 8' 10.29"

<http://maps.google.com/?q=1781+6&q=4.6304,-74.1362>

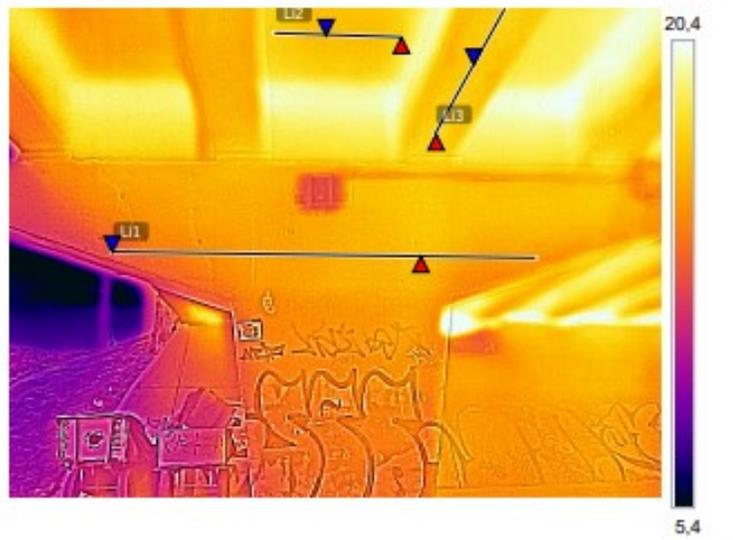


Figura 49: Puntos de interés parte inferior. Informe generado en el programa FLIR Tools



DIA 8

Medidas		°C
LI1	Max	18,6
	Min	18,3
	Average	18,3
LI2	Max	18,6
	Min	17,8
	Average	18,2
LI3	Max	17,9
	Min	17,0
	Average	17,7

Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización	
Brújula	N
Localización	N 4° 37' 49,36", W 74° E' 10,29"

<http://maps.google.com/?z=17&l=4.6304,-74.1362>



Figura 50: Viga, columna y parte inferior del puente. Informe generado en el programa FLIR Tools



DIA 8



Figura 51: Perfil del puente viga y columna. Informe generado en el programa FLIR Tools

Con los datos obtenidos en los informes se generan las gráficas de temperatura, véase a continuación las Figura 52, Figura 53, Figura 54, Figura 55, Figura 56, mostradas a continuación, donde se expresan las temperaturas máximas, mínimas y promedio en horas de la mañana y horas de la tarde.

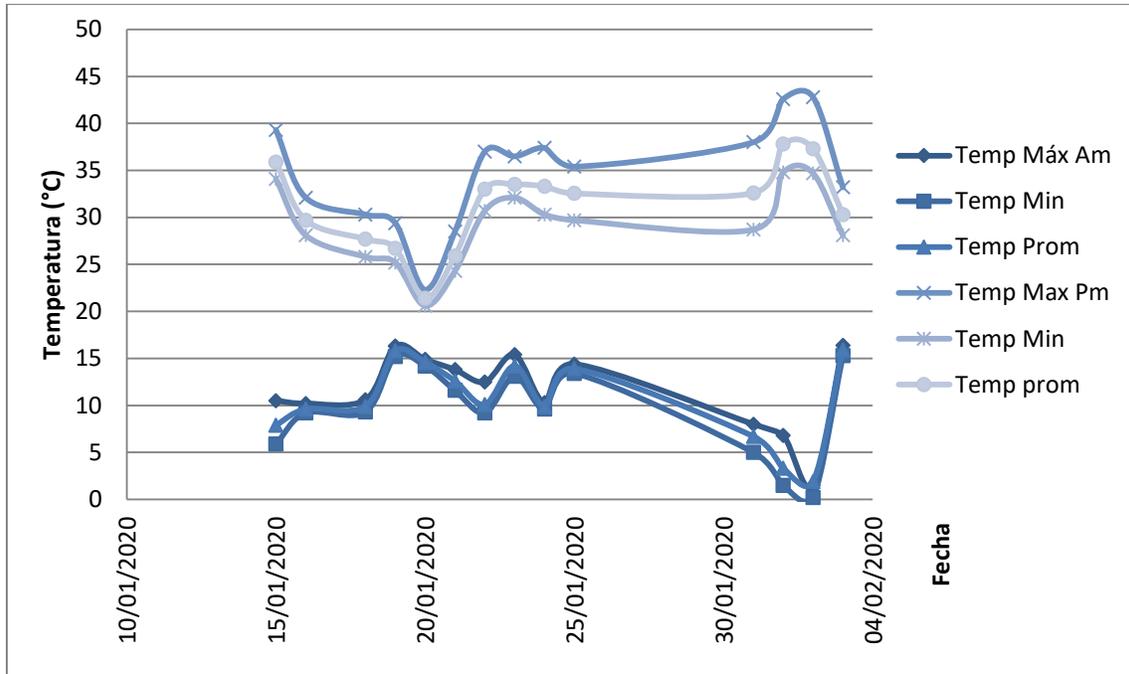


Figura 52: Temperatura superficial en la placa superior durante la mañana y la tarde en el puente Av.

Boyacá. Generado en Excel

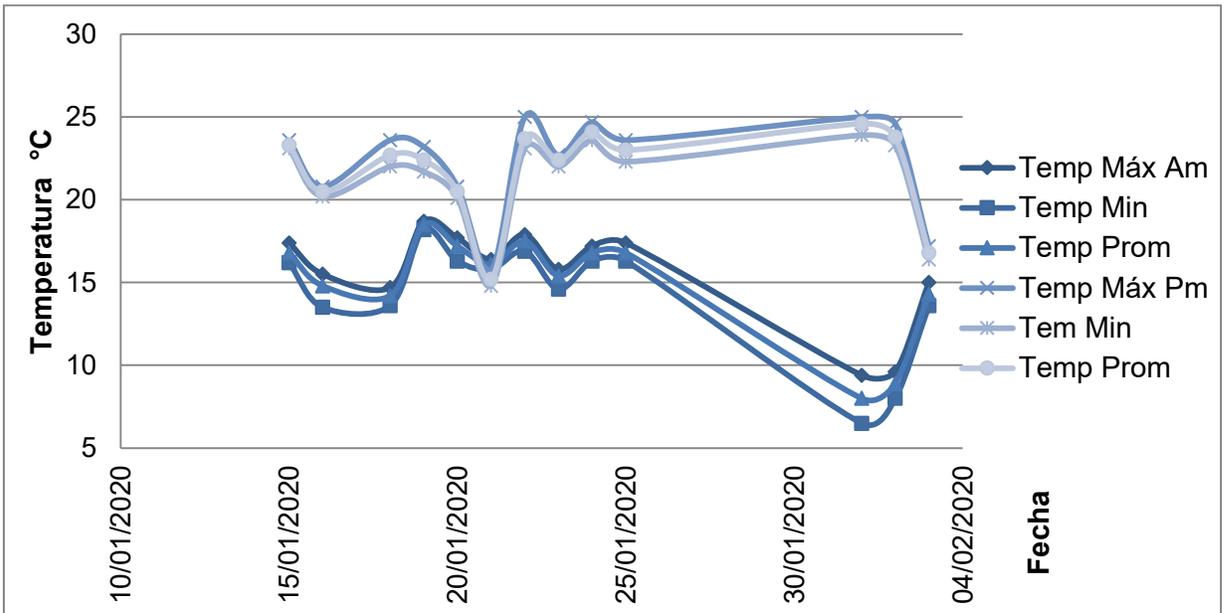


Figura 53: Temperatura superficial en el voladizo durante la mañana y la tarde en el puente Av.

Boyacá. Generado en Excel

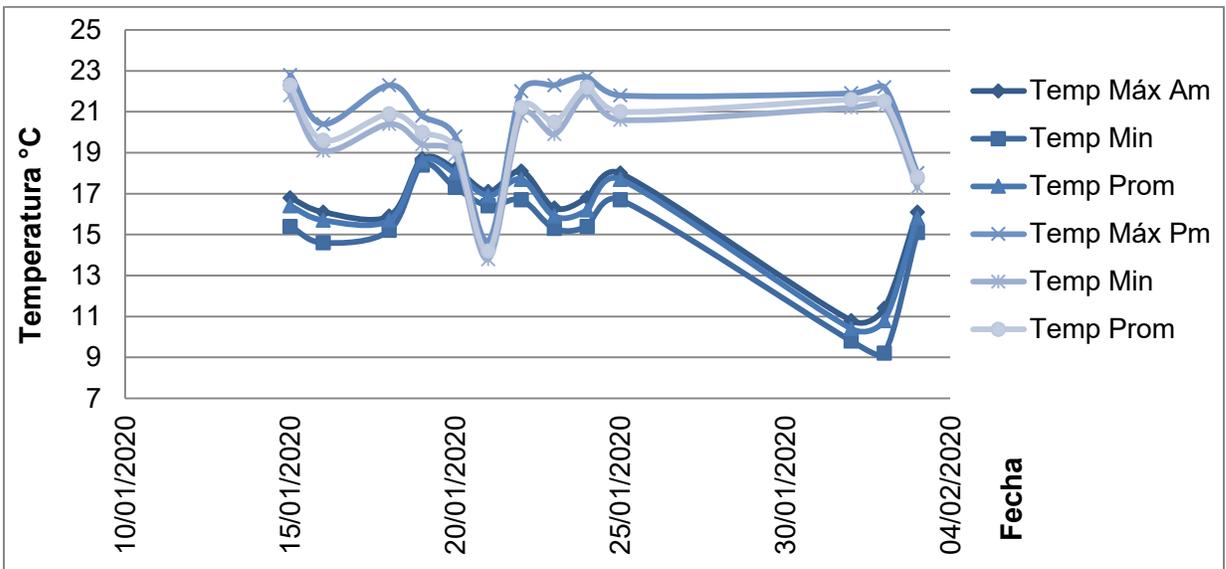


Figura 54 Temperatura superficial en la columna durante la mañana y la tarde en el puente Av.

Boyacá. Generado en Excel

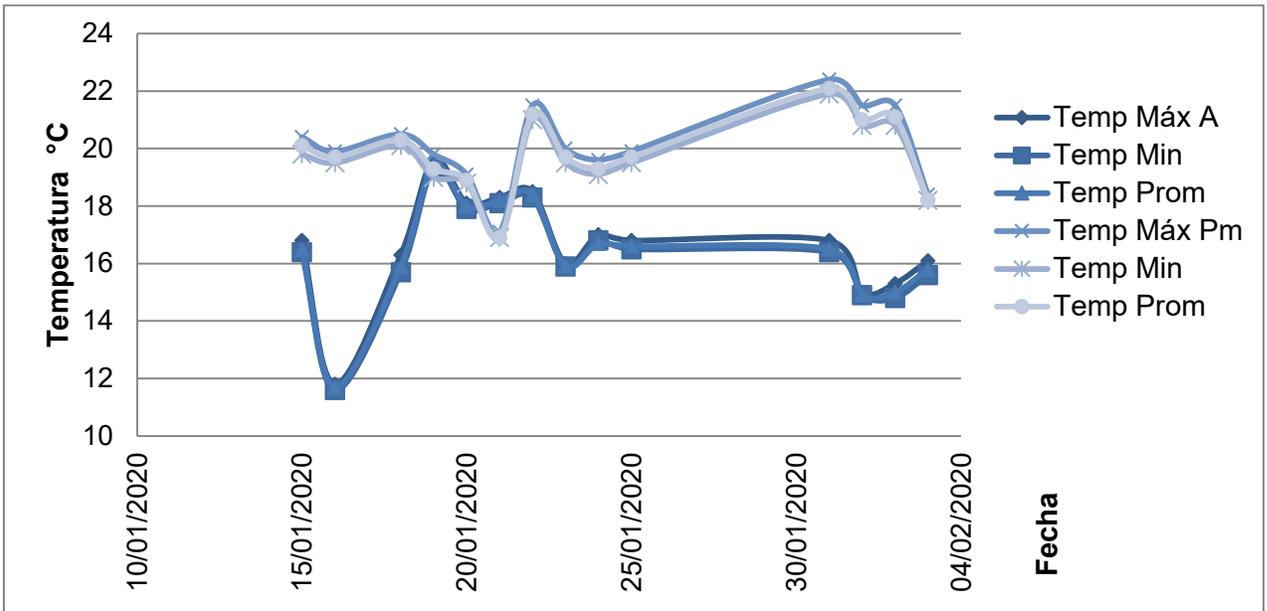


Figura 55 Temperatura superficial en la viga durante la mañana y la tarde en el puente Av. Boyacá.

Generado en Excel

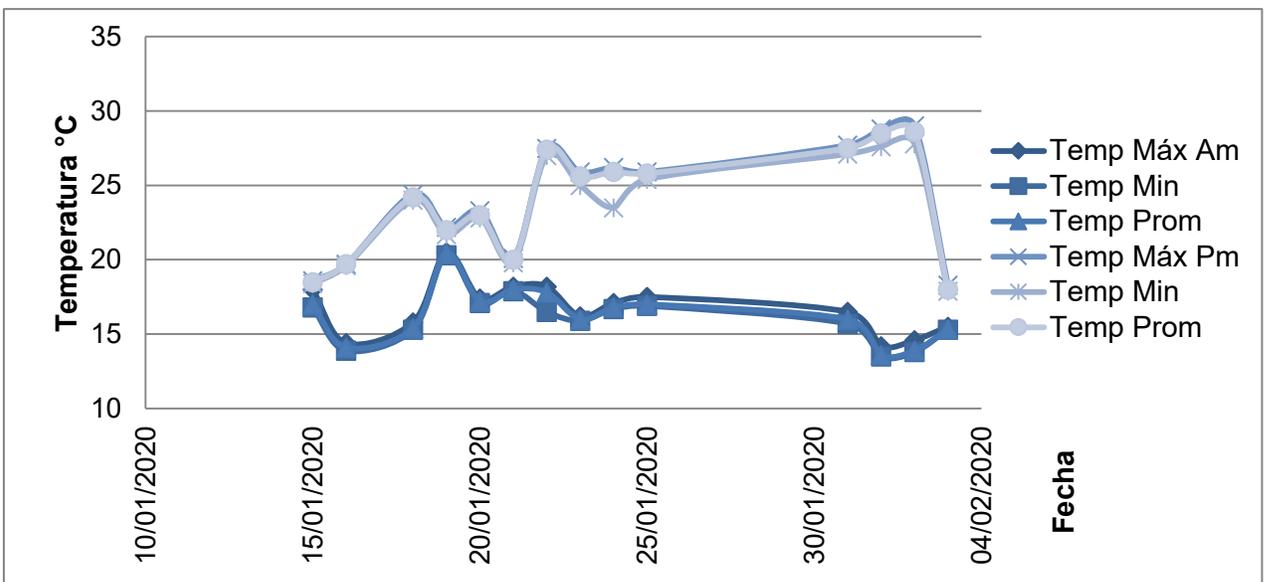


Figura 56 Temperatura superficial en la placa inferior durante la mañana y la tarde en el puente Av.

Boyacá. Generado en Excel

En la Figura 52, Figura 53, Figura 54, Figura 55 y Figura 56 se evidencian las temperaturas registradas fotográficamente con la cámara térmica FLIR ONE PRO, donde hay una clara presencia de temperaturas inferiores en horas de la mañana, esto sucede en todas las partes del puente, tablero superficial e inferior, voladizo, vigas y columnas, debido a que en horas de la mañana el puente no está sometido a radiación lo que causa que tenga temperaturas inferiores.

Teniendo en cuenta cada uno de los informes generados, el día que presenta una temperatura mayor es el 02/02/2020, en la Figura 57 se presenta los datos de temperatura, precipitación y ráfaga en el transcurso de todo el día en la ciudad de Bogotá.

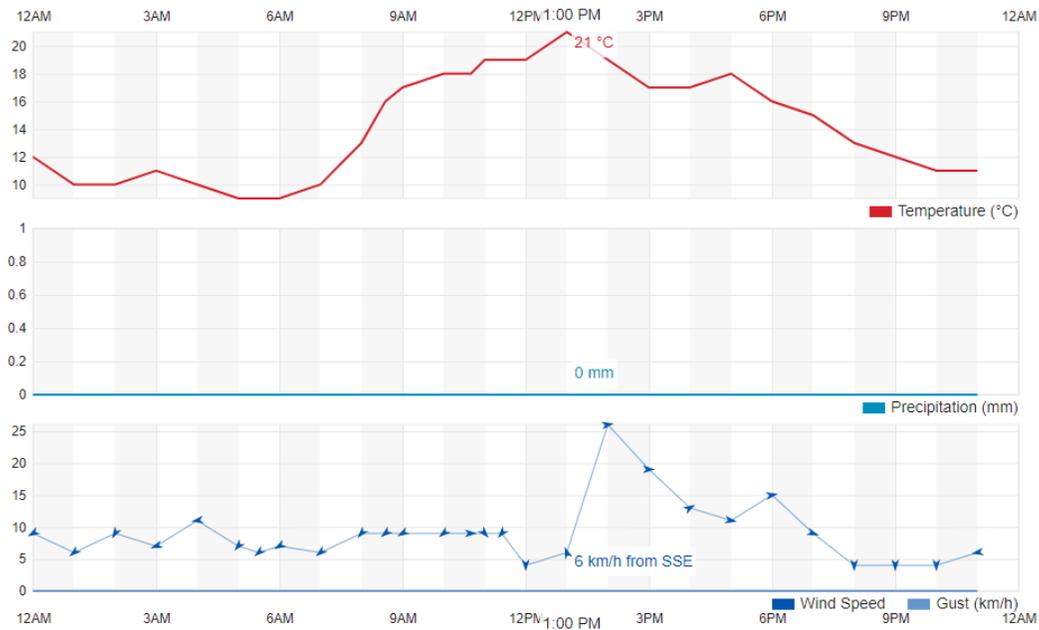


Figura 57: Día mayor temperatura Bogotá. Fuente <https://www.wunderground.com/> del Aeropuerto Internacional el Dorado (Bogotá) Colombia

Los datos presentes en la anterior grafica son arrojados por la estación meteorológica Aeropuerto Internacional el Dorado, donde se observa que la temperatura máxima presentada fue 21° C y no hubo precipitación, en relación a los informes la temperatura superficial máxima que obtuvo el puente Av. De las Américas con Av. Boyacá fue de 42.8°C.

1.8.1 Informes puente intercambiador Tizón

A continuación, se presentará los informes del puente Tizón Neiva donde se evidencia temperaturas más altas, comparadas con el puente de la avenida Boyacá, esto debido a la zona geográfica donde se encuentra la ciudad de Neiva. Observe Figura 58, Figura 59, Figura 60.

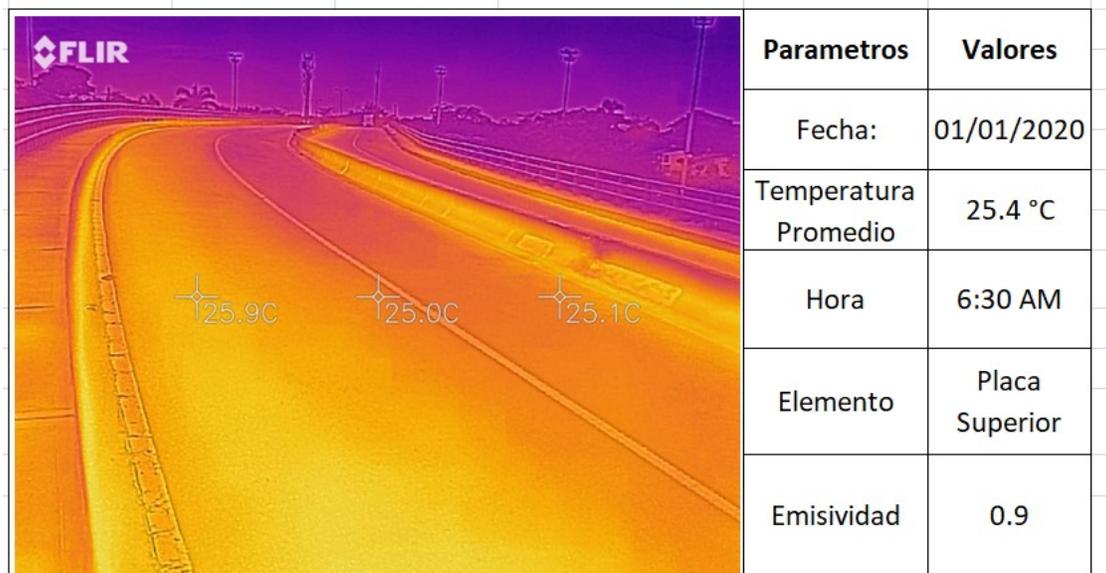


Figura 58: Tablero superior del puente. Formato generado en Excel

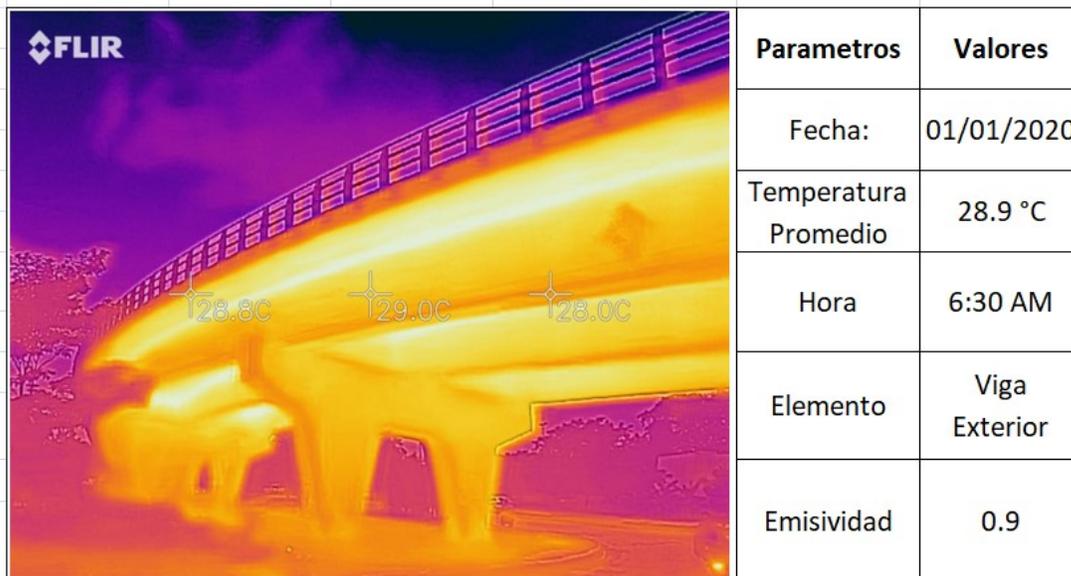


Figura59: Viga externa del puente. Formato generado en Excel



Figura 60: tablero inferior del puente. Formato generado en Excel

Los informes del puente Tizón son auto-generados en formato Excel, con los datos obtenidos se generan Figura 61, Figura 62, Figura 63, Figura 64, mostradas a continuación, donde se aprecia la temperatura promedio para horas de la mañana y de la tarde para cada punto de interés.

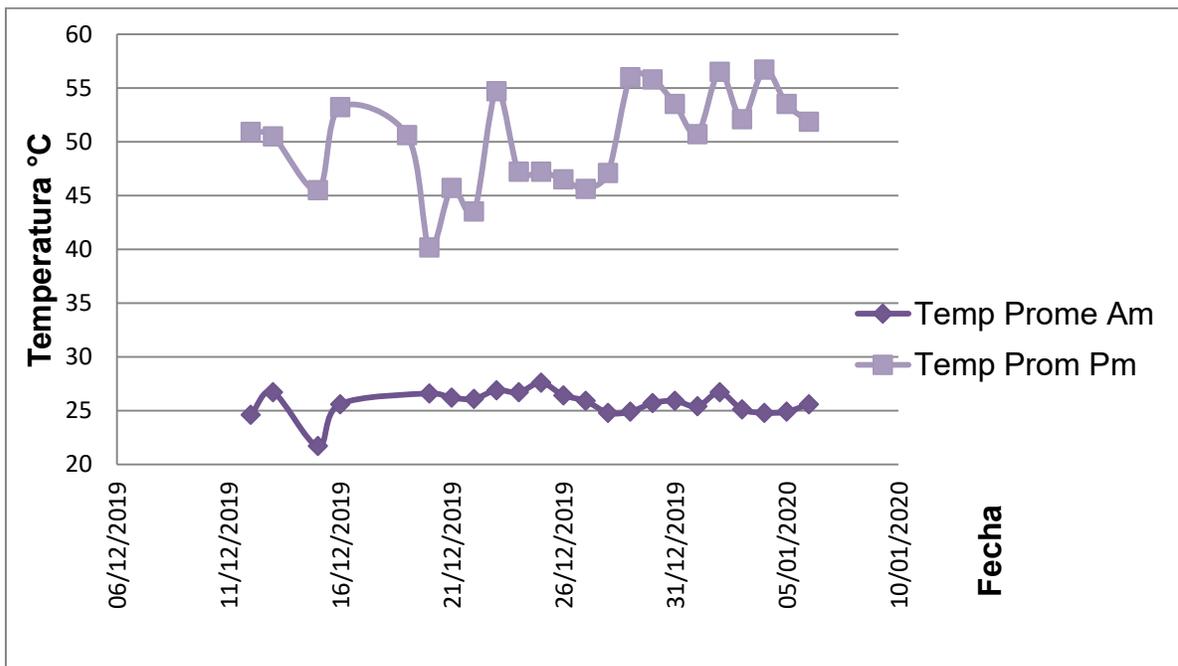


Figura 61: Temperatura en la placa superficial del puente tizón. Generado en Excel

Se analizan las gráficas de temperatura, y en horas de la tarde, la transferencia de calor en la estructura es mayor, debido a que en la mañana el puente está sometido a alta radiación solar.

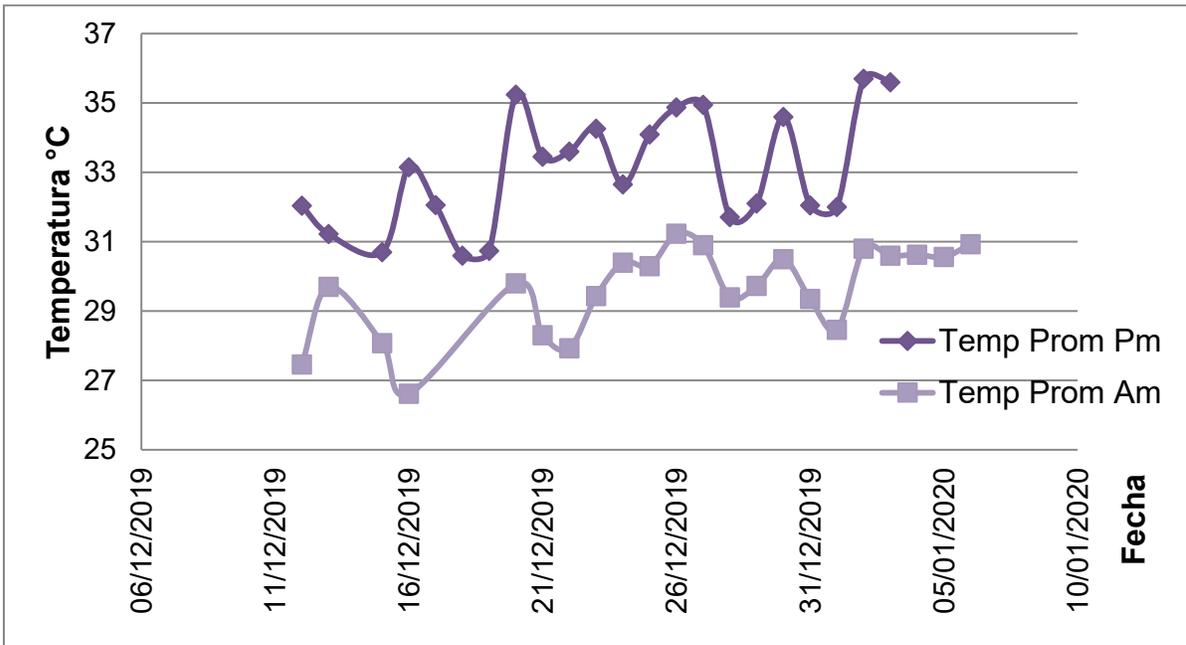


Figura 62: Temperatura en la columna del puente tizón .Generado en Excel

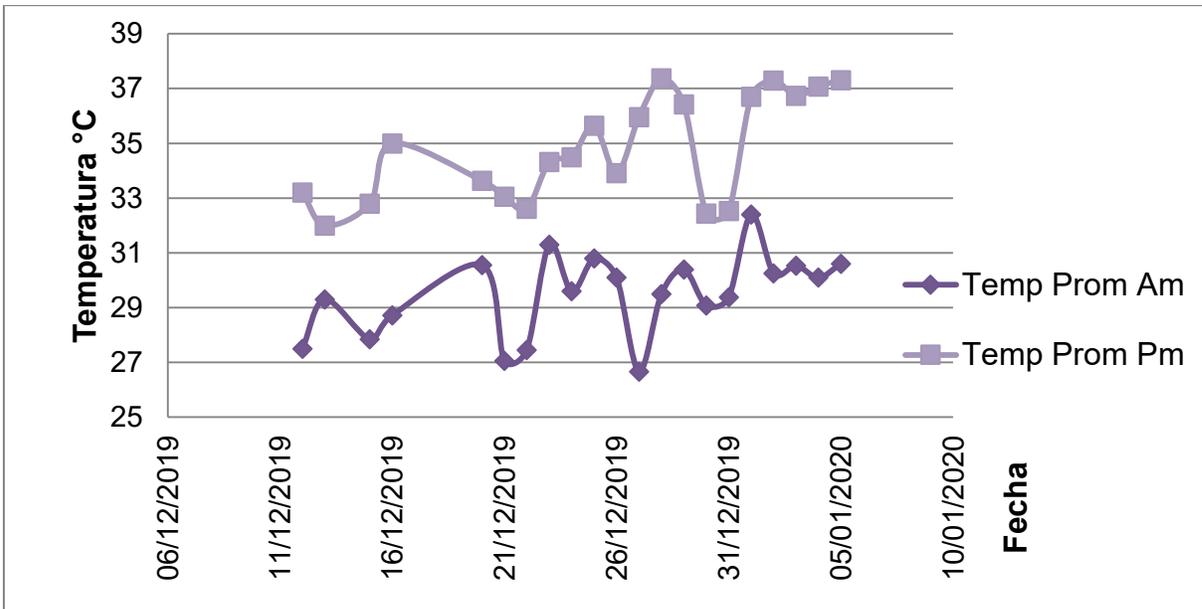


Figura 63: Temperatura en la viga Exterior del puente tizón. Generado en Excel

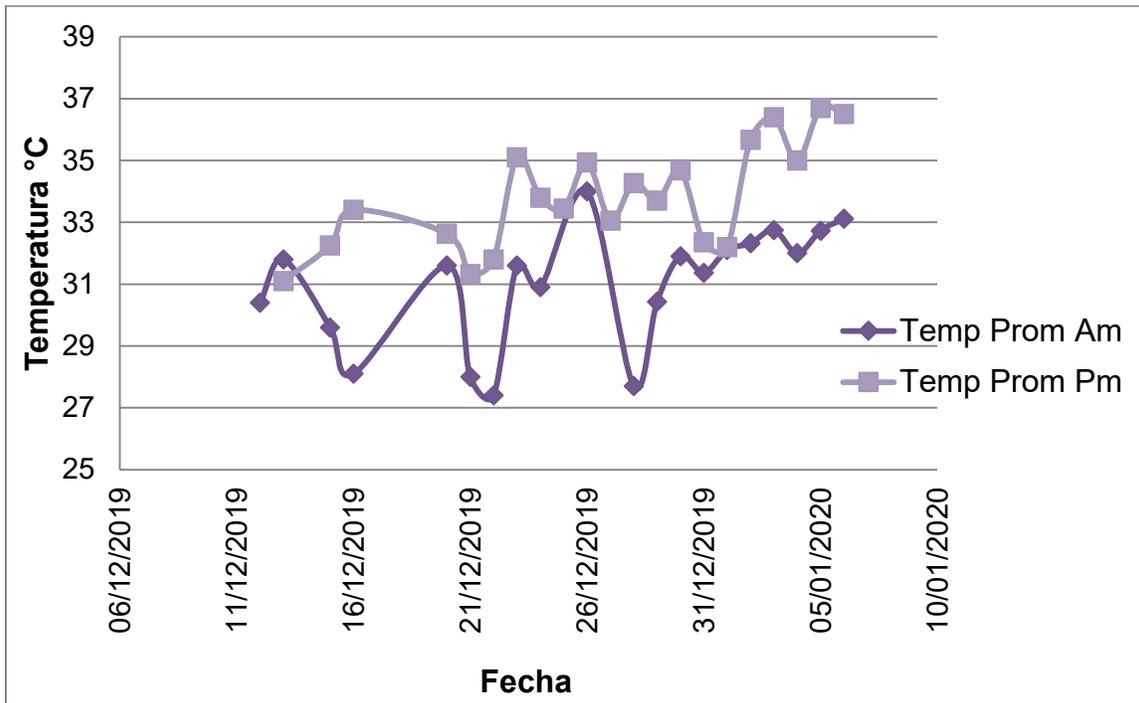


Figura 64: Temperatura en la viga inferior del puente tizón. Generado en Excel

Según los datos obtenidos se determina que el día donde hubo una temperatura superficial mayor fue el 04/01/2020, en la Figura 65 se presentan los datos de temperatura, precipitación y ráfaga en el transcurso de todo el día en la ciudad de Neiva.

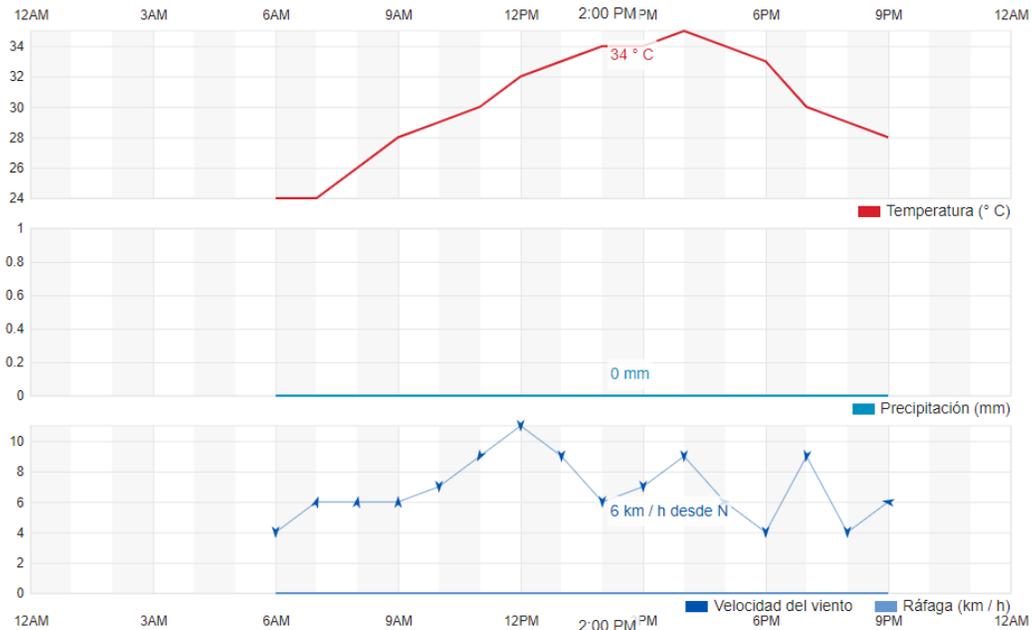


Figura 65 Día mayor temperatura Neiva. <https://www.wunderground.com/> del aeropuerto Benito Salas Neiva (Huila) Colombia

Los datos presentes en la anterior grafica son arrojados por la estación meteorológica Aeropuerto Benito Salas, donde se observa que la temperatura máxima presentada fue 34° C y no hubo precipitación, en relación a los informes la temperatura superficial máxima que obtuvo el puente Tizón fue de 56.7°C.

1.9 Modelación numérica

Mediante un análisis térmico se obtendrán las temperaturas superficiales en la parte superior (T1) y parte inferior (T3) para cada puente, esto con el fin de verificar la transferencia de calor y poder realizar una comparación entre los datos obtenidos en campo y los datos calculados. Para poder realizar el análisis se debe tener en cuenta que

los puentes se encuentran en equilibrio como muestra la Figura 66y como lo sugiere la ecuación 1.

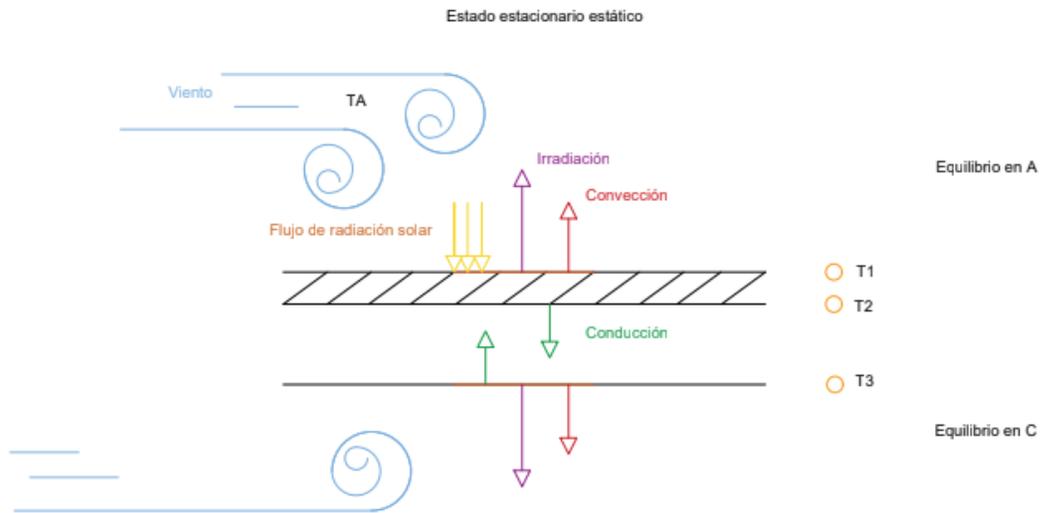


Figura 66 Equilibrio térmico en el puente. Fuente elaboración propia

$$Es + Ecv + Ei + Ecd = 0 \text{ Ecuación 1}$$

1.9.1 Es: Energía solar w/m²

La energía solar solamente está presente en la parte superior de la placa del puente, esta se determina multiplicando el coeficiente de absorción del asfalto α por la radiación solar presente en cada día, esta se presenta en la Figura 45 para Bogotá y en la Figura 44 para Neiva, cabe resaltar que las gráficas antes mencionadas son realizadas por medio de la

plataforma Giovanni de la NASA, que arroja los datos de radiación solar medidos por satélites, de la plataforma se obtienen los datos día a día desde el mes de diciembre de 2019 al mes de enero de 2020 para la ciudad de Neiva y a partir del mes de Enero de 2020 hasta el mes de febrero de 2020 para la ciudad de Bogotá, la plataforma presenta un mapa para seleccionar el área de la que arrojará los resultados, se ingresan las coordenadas de cada ciudad para certificar que los datos de radiación que presenta la plataforma son los indicados.

Para el análisis se hace un filtro dejando únicamente el valor de radiación solar para cada día a las 6:30 am y 1:30pm para cada ciudad.

$$Es = \alpha * Radiación\ solar \quad Ecuación\ 2$$

1.9.2 Ecv: Energía por convección

Para determinar la energía por convección (

$Ecv = hA(T1 - TA)$ Ecuación 5) es necesario hallar el coeficiente de convección (h_c) el cual varía según la velocidad del viento (V), dato proporcionado por las estaciones meteorológicas correspondientes a cada ciudad, el coeficiente se refleja en la $h_c = 6 + 4V$, $V \leq 5 \text{ m/s}$ Ecuación 3 y $h_c = 7.4V^{0.78}$, $V > 5 \text{ m/s}$ Ecuación 4:

$$h_c = 6 + 4V, \quad V \leq 5 \text{ m/s} \quad Ecuación\ 3$$

$$h_c = 7.4V^{0.78}, \quad V > 5 \text{ m/s} \quad Ecuación\ 4$$

Luego de obtener este valor la energía por convección se halla según:

$$Ecv = hA(T1 - TA) \quad Ecuación\ 5$$

Donde A es el área a estudiar, T1 es la temperatura superficial superior y TA es la temperatura registrada cada día.

1.9.3 Ei: Energía por irradiación

Para determinar la energía por irradiación es necesario tener en cuenta la constante de Boltzmann (σ) y la emisividad (ε) de cada material

$$Ei = \varepsilon\sigma A (T^4 - TA^4) \text{ Ecuación 6}$$

Donde A es el área a estudiar, T es la temperatura superficial y TA es la temperatura registrada cada día.

1.9.4 Ecd: Energía por conducción

Para Determinar la energía por conducción ($LcKc*A + (Lka*A)$ Ecuación 7) es necesario saber la longitud del asfalto (La) y la longitud del concreto (Lc), las cuales se aprecian en la Figura 67.

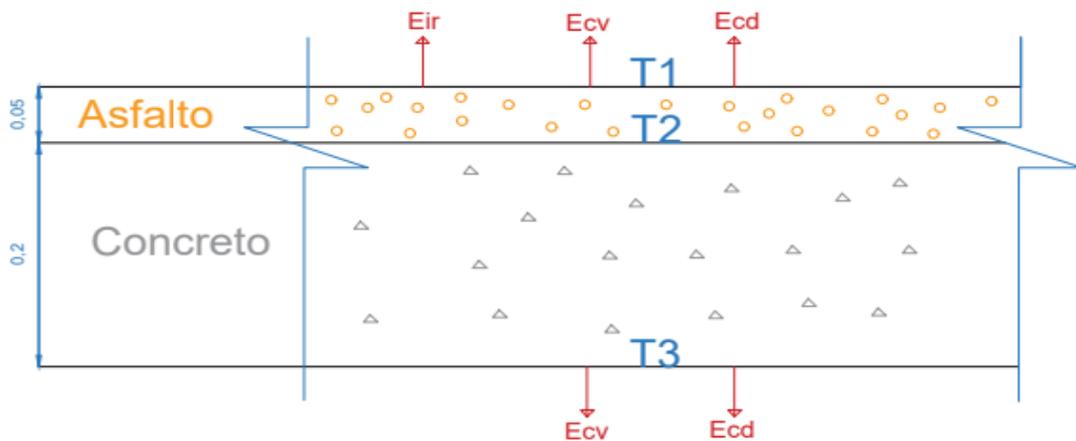


Figura 67: Espesores materiales. Fuente: Elaboración propia

$$Ecd = \frac{T3-T1}{\left(\frac{Lc}{Kc*A}\right) + \left(\frac{La}{ka*A}\right)} \text{ Ecuación 7}$$

Donde A es el área a estudiar, kc y ka son las constantes de conducción de concreto y del acero.

1.9.5 Equilibrio de energías

Tomando la $E_s = \alpha * \text{Radiación solar}$ Ecuación 2

$$E_{cv} = hA(T_1 - T_A) \text{ Ecuación 5} \quad E_i = \varepsilon\sigma A(T^4 - T_A^4) \text{ Ecuación 6 y}$$

$$E_{cd} = \frac{T_3 - T_1}{\left(\frac{Lc}{Kc * A}\right) + \left(\frac{La}{ka * A}\right)} \text{ Ecuación 7 y reemplazando en la } E_s + E_{cv} + E_i + E_{cd} =$$

0 Ecuación 1 se tiene:

$$\alpha * \text{Radiación solar} + hA(T_1 - T_A) + \varepsilon\sigma A(T^4 - T_A^4) + \frac{T_3 - T_1}{\left(\frac{Lc}{Kc * A}\right) + \left(\frac{La}{ka * A}\right)} = 0 \text{ Ecuación 8}$$

Asfalto:

$$\text{De la } \alpha * \text{Radiación solar} + hA(T_1 - T_A) + \varepsilon\sigma A(T^4 - T_A^4) + \frac{T_3 - T_1}{\left(\frac{Lc}{Kc * A}\right) + \left(\frac{La}{ka * A}\right)} =$$

0 Ecuación 8 para poder resolver la parte superior del tablero teniendo en cuenta la dirección de la energía, entonces:

$$\alpha * \text{Radiación solar} + hA(T_A - T_1) + \varepsilon\sigma A(T^4 - T_1^4) + \frac{T_1 - T_3}{\left(\frac{Lc}{Kc * A}\right) + \left(\frac{La}{ka * A}\right)} = 0 \text{ Ecuación 9}$$

Concreto:

$$\text{De } \alpha * \text{Radiación solar} + hA(T1 - TA) + \varepsilon\sigma A(T^4 - TA^4) + \frac{T3-T1}{\left(\frac{Lc}{Kc*A}\right) + \left(\frac{La}{ka*A}\right)} =$$

0 Ecuación 8 para poder resolver la parte inferior del tablero teniendo en cuenta la dirección de la energía, entonces:

$$hA(T3 - TA) + \varepsilon\sigma A(T3^4 - TA^4) + \frac{T3-T1}{\left(\frac{Lc}{Kc*A}\right) + \left(\frac{La}{ka*A}\right)} = 0 \text{ Ecuación 10}$$

$$\text{Igualando } \alpha * \text{Radiación solar} + hA(TA - T1) + \varepsilon\sigma A(0^4 - T1^4) + \frac{T1-T3}{\left(\frac{Lc}{Kc*A}\right) + \left(\frac{La}{ka*A}\right)} =$$

$$0 \text{ Ecuación 9 con } hA(T3 - TA) + \varepsilon\sigma A(T3^4 - TA^4) + \frac{T3-T1}{\left(\frac{Lc}{Kc*A}\right) + \left(\frac{La}{ka*A}\right)} = 0 \text{ Ecuación 10 se}$$

tiene:

$$\alpha * \text{Radiación solar} + hA(TA - T1) + \varepsilon\sigma A(0^4 - T1^4) + \frac{T1-T3}{\left(\frac{Lc}{Kc*A}\right) + \left(\frac{La}{ka*A}\right)} =$$

$$hA(T3 - TA) + \varepsilon\sigma A(T3^4 - TA^4) + \frac{T3-T1}{\left(\frac{Lc}{Kc*A}\right) + \left(\frac{La}{ka*A}\right)} \text{ Ecuación 11}$$

1.10 Temperatura superficial

Se obtienen dos incógnitas T1 y T3 para un sistema de dos ecuaciones, resolviendo el sistema se hallaron las temperaturas superficiales superiores e inferiores para cada día representado en las siguientes gráficas véase la Figura 68 y Figura 69

1.10.1 Puente Tizón en Neiva

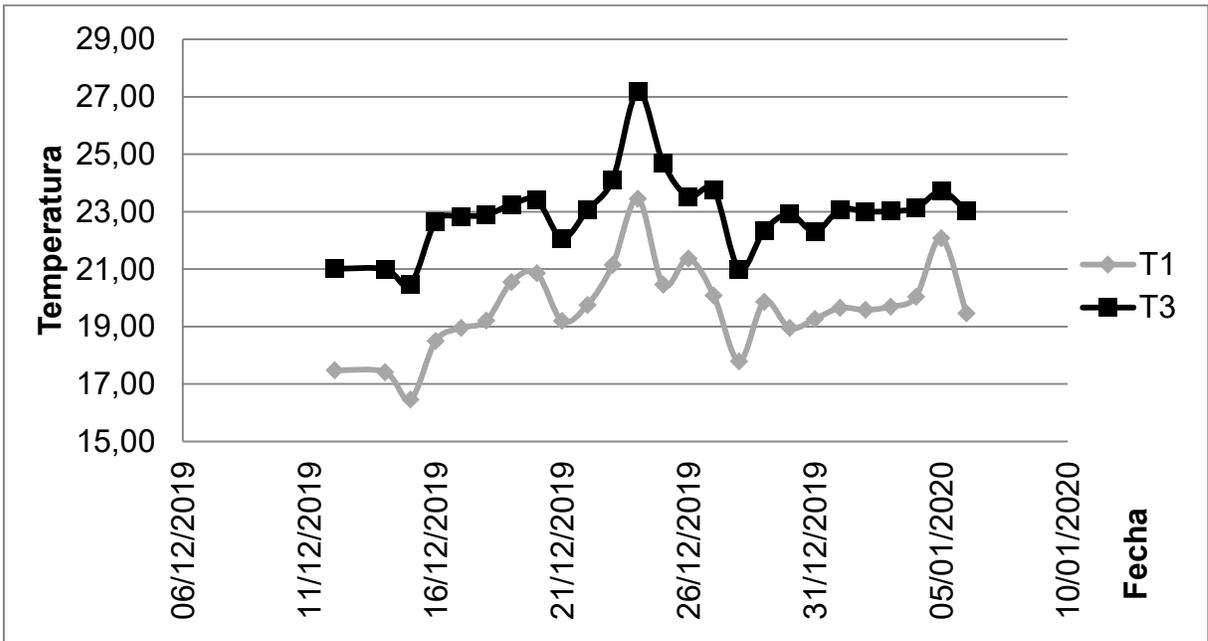


Figura 68: Temperatura superficial por la mañana en Neiva. Fuente: Elaboración propia

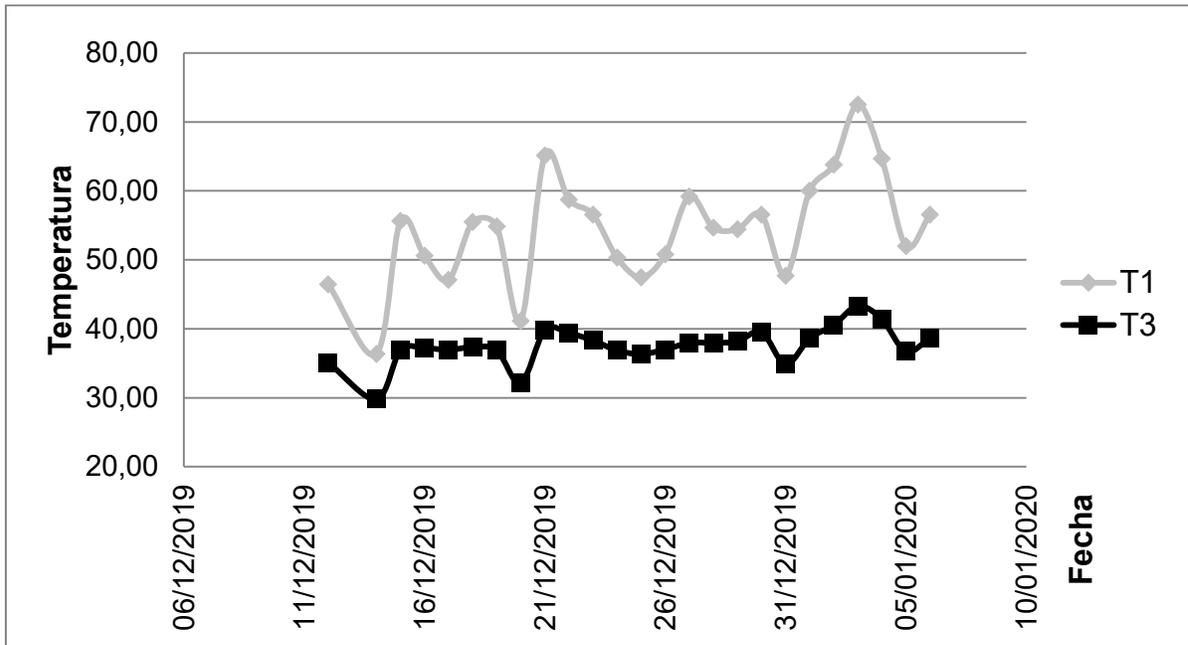


Figura 69: Temperatura superficial por la tarde en Neiva. Fuente: Elaboración propia

La Figura 68 y Figura 69 presentan la temperatura superficial en horas de la mañana y de la tarde en el puente Tizón, la temperatura superficial superior (T1) se modela bajo los parámetros de radiación solar, irradiación, convección y conducción, en cambio la temperatura superficial inferior (T3) se modela bajo los parámetros de irradiación, convección y conducción; la temperatura (T1) se hace más propensa a tener temperaturas superiores al estar expuesta al efecto de radiación, lo que se evidencia en la Figura 69 donde, la gráfica que modela la temperatura (T1) y además alcanza picos superiores a los 70°C es superior a la temperatura (T3) donde su pico superior supera los 40°C. En cambio, en la Figura 68 ocurre un fenómeno contrario, donde se encuentra que la temperatura superficial inferior es mayor a la superior, esto debido a que en horas de la

Mañana ninguna placa está expuesta a la radiación e influyen otros factores como el viento que determinan la temperatura superficial.

Los resultados obtenidos por medio de modelación numérica presentados en las gráficas anteriores se comparan con los resultados obtenidos en campo, teniendo entonces: ,

Figura 70, Figura 71 y Figura 72

Figura 70: Comparación temperaturas superficiales superiores por la mañana T1. Fuente:

Elaboración propia.

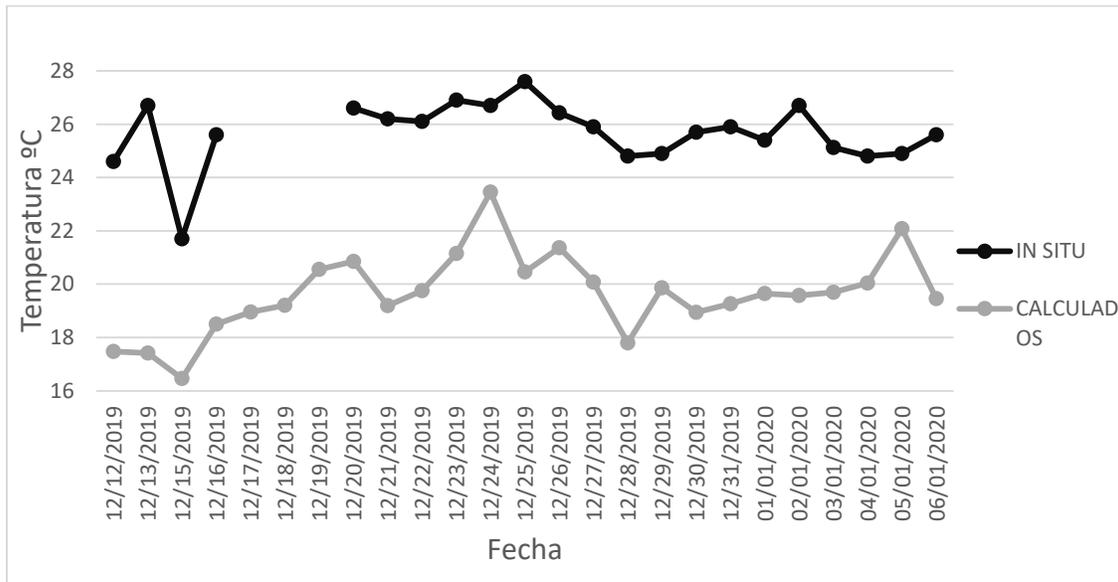


Figura 70: Comparación temperaturas superficiales superiores por la mañana T1. Fuente:

Elaboración propia.

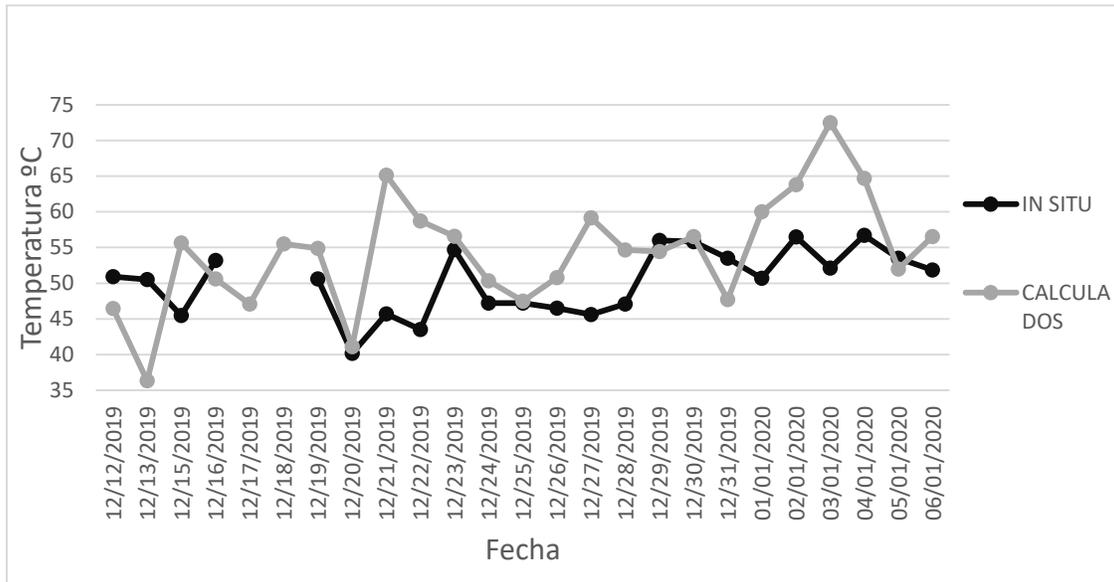


Figura 70: Comparación temperaturas superficiales superiores por la tarde T1. Fuente: Elaboración propia.

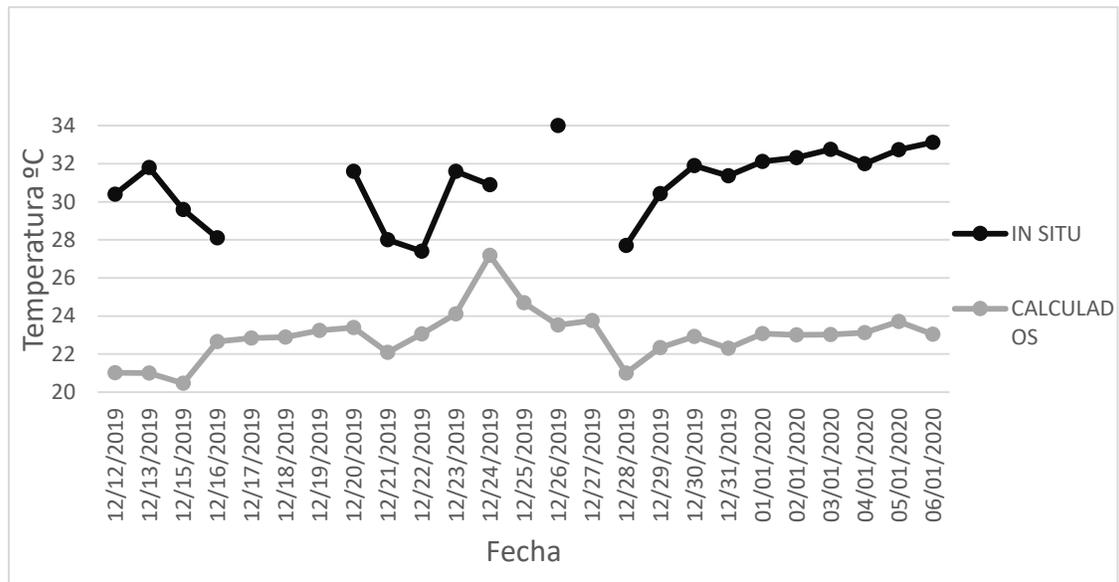


Figura 71: Comparación temperaturas superficiales inferiores por la mañana T3. Fuente: Elaboración propia.

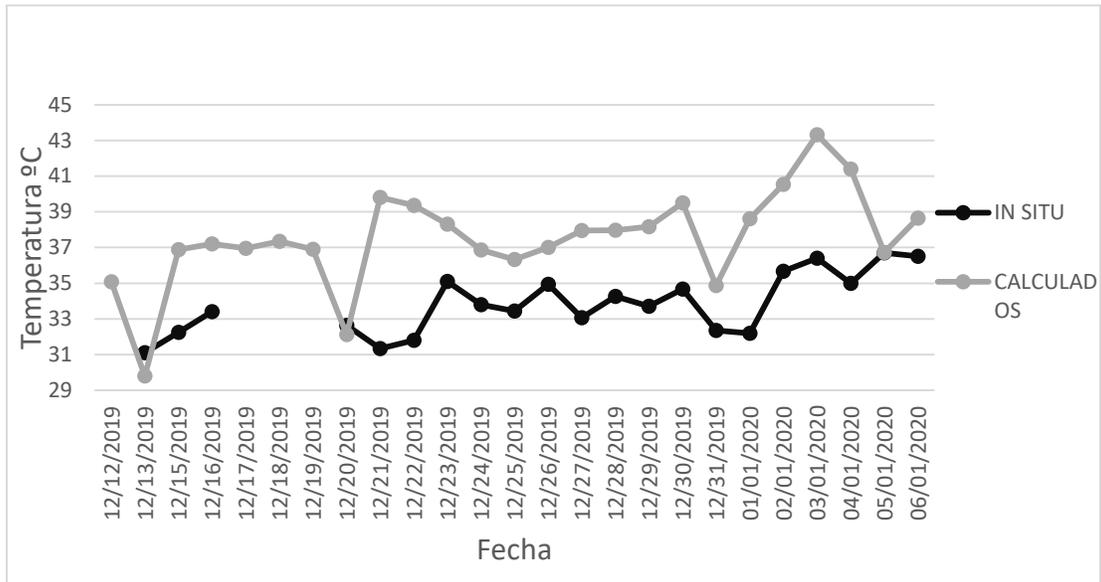


Figura 72: Comparación temperaturas superficiales inferiores por la tarde T3. Fuente: Elaboración propia.

La

Figura 70: Comparación temperaturas superficiales superiores por la mañana T1. Fuente: Elaboración propia.

y Figura 71 presentan la comparación de los datos de temperatura registrados fotográficamente y modelados numéricamente para horas de la mañana, donde se presenta variaciones superiores a los 3,7 ° C los datos son susceptibles de verificación, debido a que los datos tomados en campo se centran específicamente en el puente Tizón en Neiva, existiendo errores humanos en el momento de la captura fotográfica, esto quiere decir que no se tiene la certeza en que todos los días se estudió el mismo punto, en

cambio, los datos modelados numéricamente se generan mediante variables generales para toda la ciudad.

1.10.2 Puente Av. De las Américas con Av. Boyacá

Se muestra a continuación las temperaturas en la placa superior (T1) y placa inferior (T3) para el puente AV. Boyacá con Av. Américas, observe la Figura 73 y Figura 74.

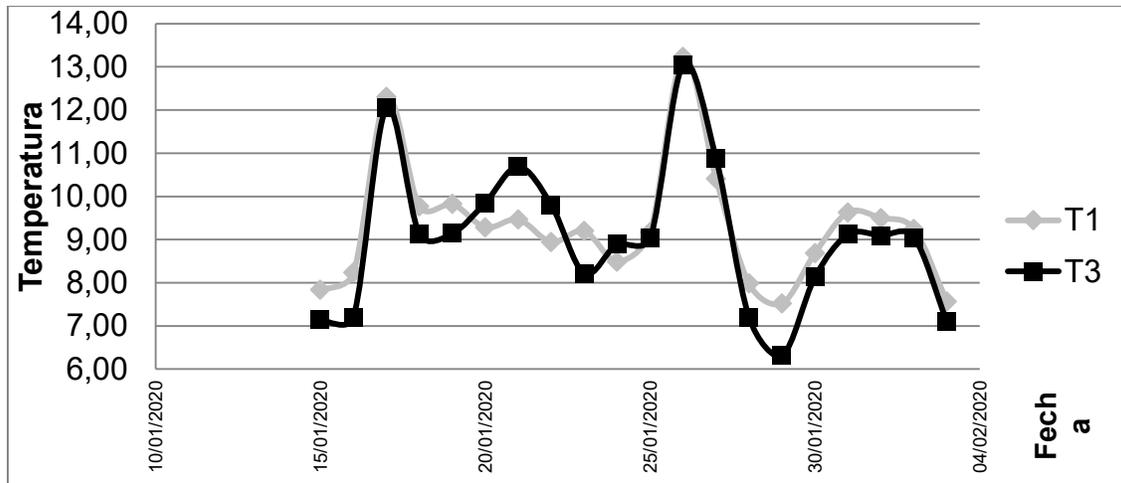


Figura 73: Temperatura superficial por la mañana en Bogotá. Fuente: Elaboración propia

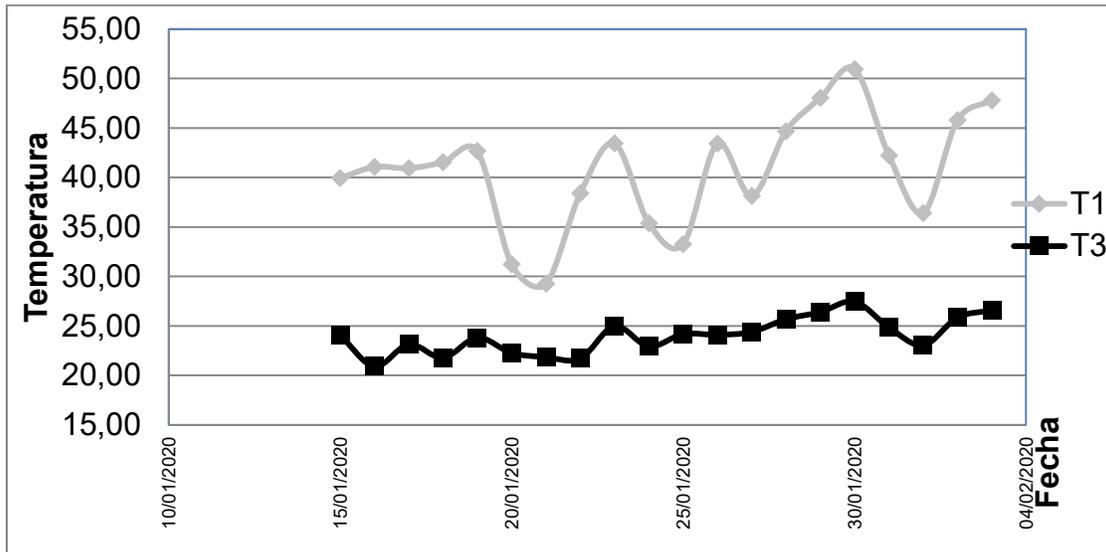


Figura 74: Temperatura superficial por la tarde en Bogotá. Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que Bogotá es una ciudad donde se presentan temperaturas bajas especialmente en horas de la mañana, se puede observar en la Figura 73 que T1 Y T3 tienen una tendencia similar, existiendo días donde T1 es superior y otros donde T3 es superior, no hay una diferencia notoria entre placa superior e inferior porque en horas de la mañana la placa superior no está expuesta a radiación, por ende no se genera alguna diferencia entre placas; el factor determinante para que las temperaturas sean parecidas lo explica el fenómeno de la convección, sabiendo que la convección forzada es la transferencia de calor impulsada por factores externos como el viento y que además para hallar la convección se requiere de un coeficiente determinado por la velocidad del viento, entonces, el causante de las temperaturas superficiales presentes en horas de la mañana son situaciones que afectan la placa superior e inferior de igual forma.

En la Figura 74 se ve claramente la diferencia de temperaturas entre la placa superior T1 e inferior T3, esto se debe a que la placa superior ya ha estado muchas horas expuesta a la radiación solar, esto hace que la temperatura sea mayor llegando a picos de más de 50°C, el fenómeno de la conducción sigue afectando a las dos placas haciendo que se eleve aún más la temperatura; sabiendo que la conducción es el fenómeno de transferencia de calor del punto con mayor temperatura al punto con menor temperatura es lo que hace que las altas temperaturas a las que está expuesta la placa superior se transfieran a la inferior generando picos de más de 25°C para T3 a diferencia de las temperaturas presentes en horas de la mañana.

Los resultados obtenidos por medio de modelación numérica presentados en las gráficas anteriores se comparan con los resultados obtenidos en campo, teniendo entonces Figura 75, Figura 76, Figura 77 y Figura 78.

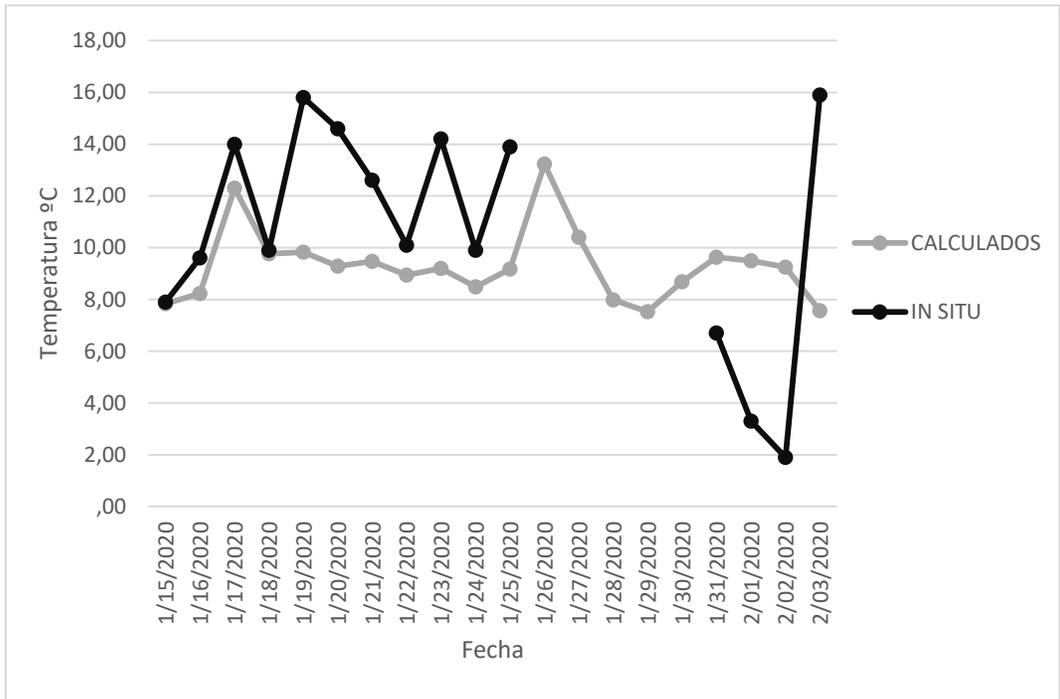


Figura 75: Comparación temperaturas superficies superiores T1 por la mañana. Fuente: Elaboración propia.

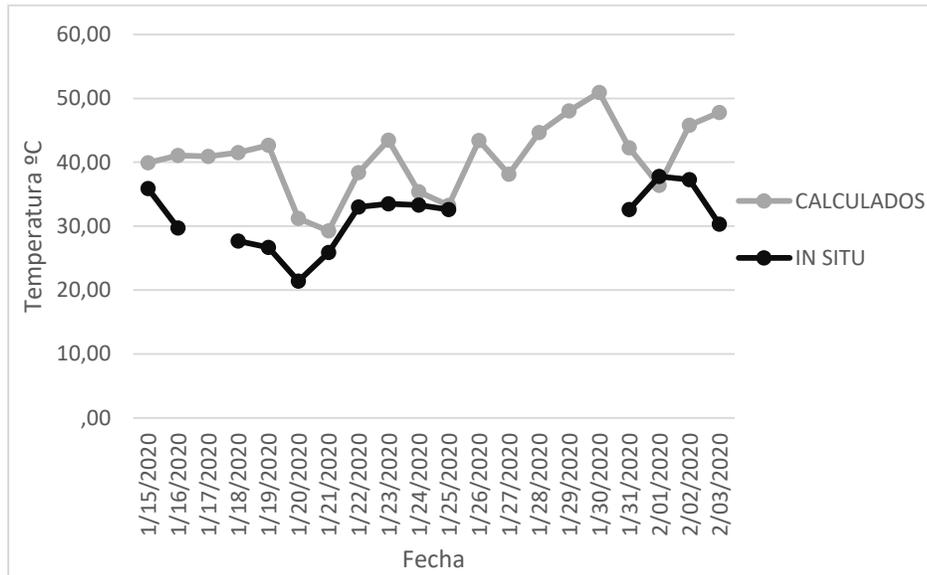


Figura 76: Comparación temperaturas superficies superiores T1 por la tarde. Fuente: Elaboración propia.

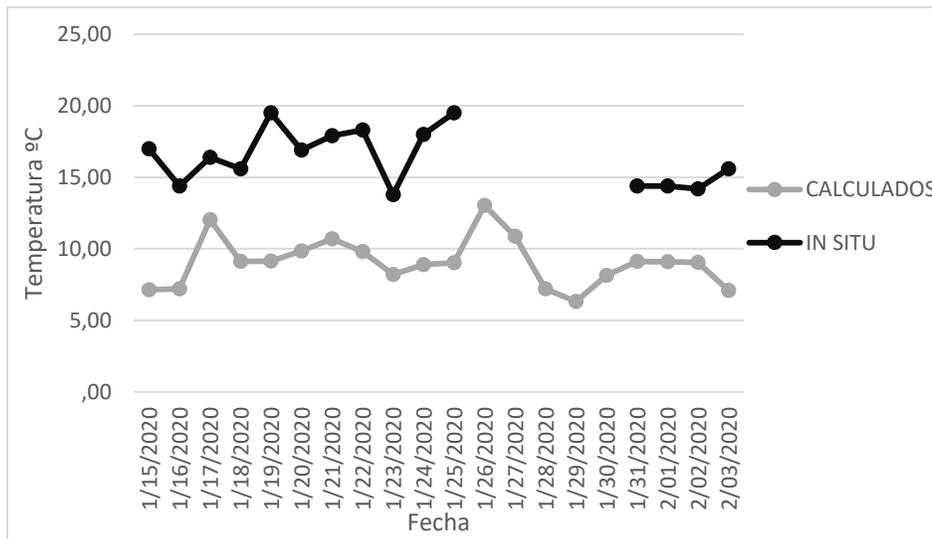


Figura 77: Comparación temperaturas superficies inferiores T3 por la mañana. Fuente: Elaboración propia.

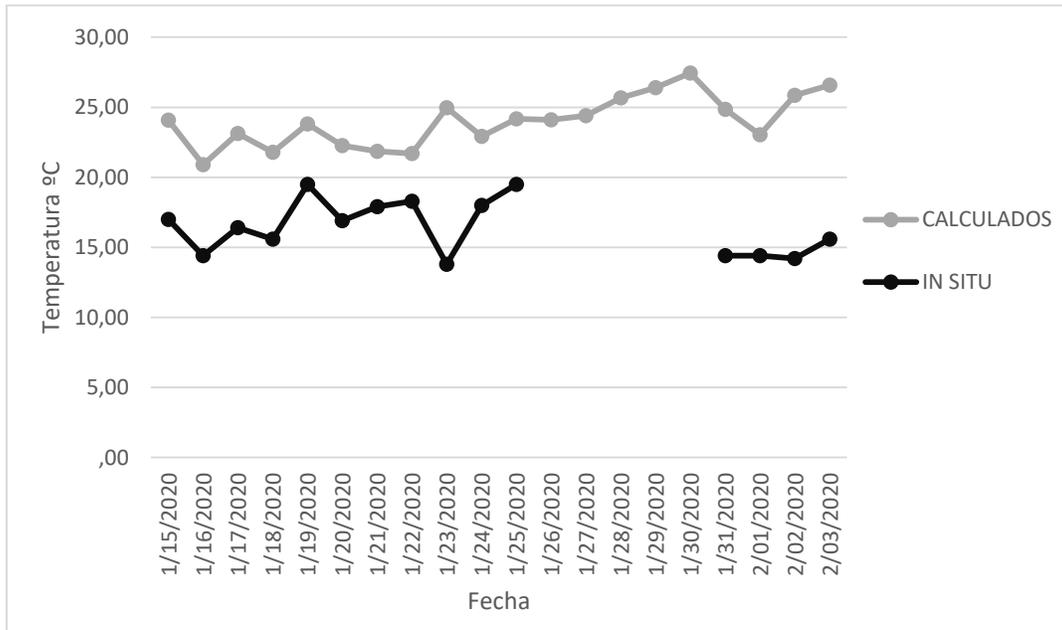


Figura 78: Comparación temperaturas superficies inferiores T3 por la tarde. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 75, Figura 76, Figura 77 y Figura 78 se evidencia que en horas de la mañana la temperatura registrada fotográficamente es superior contrariamente a lo que sucede en horas de la tarde donde la temperatura calculada por modelación numérica es superior, la diferencia mayor es de 11.2°C lo que sugiere que no hay diferencia tan altas entre ambos métodos, sin embargo, estas diferencia se presentan debido a errores humanos en el registro fotográfico y que en la modelación numérica se diseñó bajo parámetros generales presentados en la ciudad de Bogotá y no datos exactos presentes en el puente Av. De las Américas con Av. Boyacá.

1.11 Comparación entre puentes

Los datos obtenidos mediante el registro fotográfico para la temperatura superficial superior T1 y temperatura superficial inferior T3 se presentan en la Tabla 5.

Ciudad	Mañana Tem. Min (°C)	Mañana Tem. Max (°C)	Tarde Tem. Min (°C)	Tarde Tem. Max (°C)
Neiva (T1)	21,7	27,6	40,16	56,7
Neiva (T3)	21,4	34	31,1	36,7
Bogotá (T1)	0,2	16,4	20,6	42,8
Bogotá(T3)	13,8	19,6	18,2	27,2

Tabla 5: Comparación T1 Y T3 método registro fotográfico. Fuente: Elaboración propia.

Comparando las temperaturas en la placa superior del puente en hora de la mañana se observa que Neiva presenta una mínima de 21,7 °C y Bogotá 0.2°C y una temperatura máxima de 27,6°C para Neiva y 16,4°C para Bogotá, teniendo una diferencia de 8°C en la temperatura máxima entre ambas ciudades; en horas de la tarde se aprecia una diferencia máxima de 13,9°C siendo Neiva la ciudad con la mayor temperatura. Para la placa superior en horas de la mañana las ciudades presentan diferencia de 14.4°C en horas de la mañana y 9.5°C en horas de la tarde, todo esto solo comprueba la alta diferencia de temperaturas presente en ambas ciudades, esto se da por las diferencias atmosféricas y las condiciones ambientales presentes en las dos ciudades.

Los datos obtenidos balance numérico para la temperatura superficial superior T1 y temperatura superficial inferior T3 se presentan en la Tabla 6.

Ciudad	Mañana Tem. Min (°C)	Mañana Tem. Max (°C)	Tarde Tem. Min (°C)	Tarde Tem. Max (°C)
Neiva (T1)	16,5	23,5	36,4	72,5
Neiva (T3)	20,5	27,2	29,8	43,3
Bogotá (T1)	7,5	13,2	29,3	50,9
Bogotá (T3)	7,1	13	20,9	27,5

Tabla 6: Comparación T1 Y T3 método modelación numérica. Fuente: Elaboración propia.

Realizando la comparación entre ambas ciudades pero por el método de balance numérico se reafirma que Neiva es la ciudad que presenta temperaturas más elevadas, incluso si se trata en horas de la mañana donde el puente aún no está siendo afectado por el sol, se registran temperaturas superiores a los 16.5°C , esto quiere decir que un puente en la ciudad de Neiva independientemente la hora que sea del día va a registrar temperaturas considerables para su diseño, teniendo en cuenta esto, la normativa debe presentar valores para el diseño de los puentes acorde a las necesidades ambientales. Se resalta que la diferencia máxima entre ciudades por este método es de 21.6°C para la placa superior y 15.8°C para la placa inferior.

Teniendo en cuenta la comparación entre métodos, Neiva en la placa superior por la tarde registra una diferencia máxima del 29.9% siendo 45.7 °C la temperatura registrada fotográficamente y 65.2 °C la temperatura calculada por balance numérico, esto sucede el 21/12/2019, mientras que Bogotá en la placa superior por la tarde registra una diferencia máxima del 36,6% siendo 30.3°C la temperatura registrada fotográficamente y 47,8 °C la temperatura calculada por balance numérico, esto sucede el 03/02/2020.

Neiva registrando una temperatura máxima T1 de 27.2 °C por registro fotográfico y de 23.2 °C por balance térmico, las diferencias porcentuales entre los dos métodos para horas de la mañana fueron de 19%, para T3 Neiva por registro fotográfico obtuvo una temperatura máxima de 34 °C y por balance térmico de 27.2 °C generando un error del 25% entre ambos métodos.

Para la ciudad de Bogotá el valor máximo para T1 presente en horas de la mañana por registro fotográfico fue de 16.4°C y por balance numérico de 13.2°C teniendo así una diferencia porcentual del 24%, para T3 el valor máximo presente por registro fotográfico fue de 19.6°C mientras que por balance numerico 13°C, esto genero un error entre ambos métodos del 50%.

Teniendo en cuenta la Tabla 2 que presenta los intervalos de temperaturas sugeridos por la norma CCP14, se selecciona el intervalo de temperatura -12°C – 27°C debido a que los dos puentes son en concreto y se analizaran con un clima moderado, además la Tabla 3 muestra los valores bases para los gradientes de temperatura, se determina que ambos puentes corresponden a la zona, por ende, el valor para T1 será de 30°C y para T3 de

7.8°C, para poder comparar los valores obtenidos mediante el balance numérico, es necesario sumar los valores de ambas tablas, para finalmente tener un valor sugerido por la norma de T1 57°C y T3 34.8°C, estos serán los valores de referencia.

La Tabla 7 muestra los valores de cada cinco días para T1 y T3 de la ciudad de Neiva en horas de la tarde, los cuales serán comparados con el valor sugerido por la norma en la Figura 79.

T1	T3
46,5	35,1
47,1	37
58,7	39,4
59,2	38
60	38,6
56,6	38,7

Tabla 7: Valores T1 Y T3 Neiva para comparación con norma CCP14. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 79 se observa que los valores de T1 son algunos superiores y otros inferiores al valor de 57°C que sugiere la norma, pero para T3 todos los valores son superiores al de 34.8°C que propone la norma, esto demuestra las altas condiciones ambientales a las que están expuestas los puentes en Colombia y que la normativa debería ser acorde a las necesidades ambientales a donde será construido el puente.

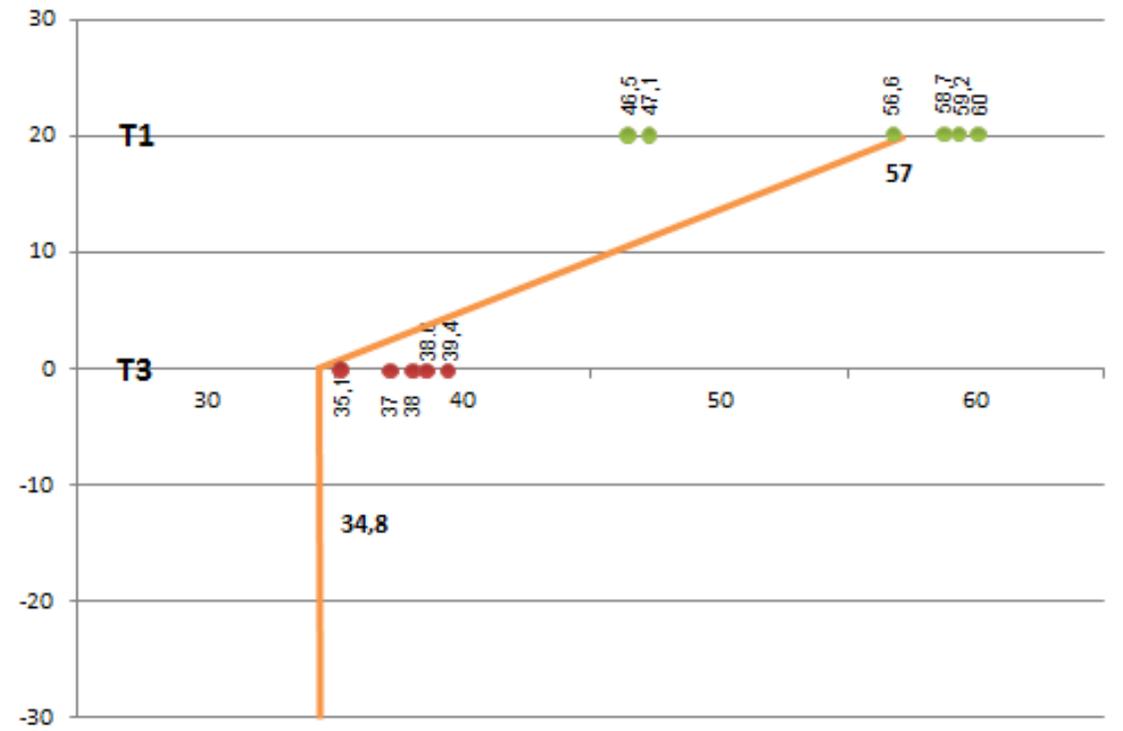


Figura 79 : Comparación Norma CCP14 con Neiva. Fuente: Elaboración propia.

En la se muestran los valores de cada cinco días para T1 y T3 en la ciudad de Bogotá para horas de la tarde, los cuales serán comparados con el valor sugerido por la norma en la Figura 80.

T1	T3
39,9	24,1
31,2	22,3
33,3	24,2
50,9	27,5
47,8	26,6

Tabla 8Valores T1 Y T3 Bogotá para comparación con norma CCP14. Fuente: Elaboración propia.

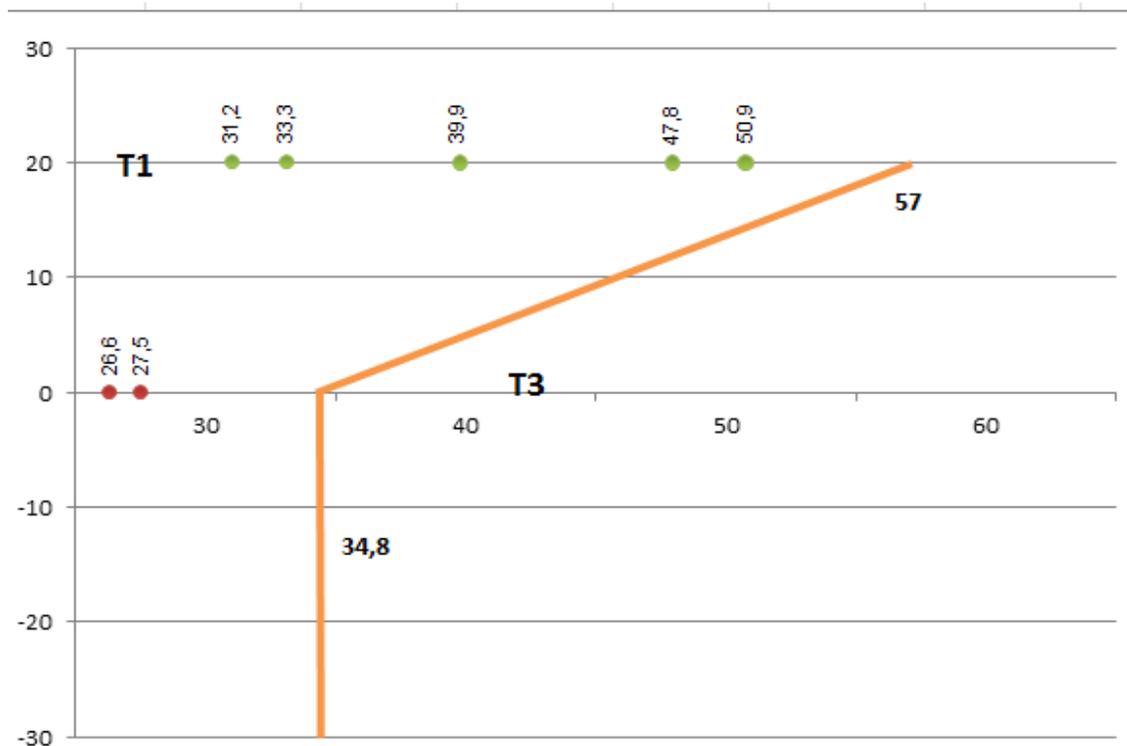


Figura 80: Comparación Norma CCP14 con Bogotá. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 80 se ve claramente que los valores tanto de T1 como de T3 obtenidos para Bogotá en las horas de la tarde mediante el balance numérico son inferiores que los valores que se tienen de referencia sugeridos por la norma, eso aclara aún más la diferencia de condiciones presentes en la ciudad de Bogotá y la ciudad de Neiva, se puede decir que la temperatura registrada en Bogotá cumple con los parámetros establecidos por la norma, mientras que en Neiva las temperaturas presentes en algunos días superan el máximo permitido por la norma CCP14.

CONCLUSIONES

Se observó una gran diferencia de temperaturas superficiales generadas en los puentes de ambas ciudades, esto debido a la diferencia en los climas de cada ciudad en donde Neiva obtuvo una temperatura de 21° a 57° y Bogotá, una temperatura de 1° a 21° de otra parte la temperatura máxima registrada para la ciudad de Neiva fue el día 4 de enero del 2020, dónde se registraron gradientes de temperatura con 35°C y frente a la velocidad del viento el día 5 de enero del 2020 con 12.517 m/s ; mientras que para la ciudad de Bogotá, la temperatura máxima registrada fue el día 2 de febrero del 2020 con 21°C , y frente a la velocidad del viento, el día 25 de enero con 13.858 m/s . Y la energía sola en ambas ciudades presentaron altas radiaciones en el mes de enero donde se generó un promedio de estas y se alcanzó para Neiva 4477 w/m^2 y para Bogotá 5964 w/m^2 .

En el puente Intercambiador Tizón de Neiva, posterior a graficar las temperaturas, se encontró un fenómeno que muestra que la temperatura superficial inferior (T3) es más alta que la temperatura superficial superior (T1) en las horas de la mañana. Este fenómeno se da porque en horas de la mañana el sol no ha salido y el puente no aun no lo afecta la radiación, por ende, se deduce que la temperatura arrojada está influida por la velocidad del viento. Entonces, se comprueba que entre menor sea la radiación solar incidente se pierde energía y los valores en la parte inferior serán mayores a los obtenidos en la parte superior del puente influido por el viento.

La modelación numérica que determina las temperaturas superficiales en el puente, se relacionan con los datos de temperatura obtenidos en la cámara Flir One Pro obteniendo que para ambas ciudades en horas de la mañana las temperaturas obtenidas por la cámara Flir One Pro son superiores a las calculadas, en cambio, en horas de la tarde las temperaturas registradas fotográficamente son inferiores a las calculadas por medio de ecuación.

De lo anterior se infiere que la modelación numérica se basa en datos de las ciudades y materiales de construcción en general y no en particular, mientras que los datos de las temperaturas obtenidas por fotos generan variables de distancia, altura, ángulos, etc. al momento de medición.

La modelación numérica que determinó las temperaturas superficiales en los puentes, se relaciona con los datos de temperatura obtenidos en la cámara Flir One Pro obteniendo que para ambas ciudades en horas de la mañana las temperaturas fueron superiores a las calculadas, en cambio, en horas de la tarde las temperaturas registradas fotográficamente son inferiores a las calculadas por medio de ecuación.

Las temperaturas obtenidas mediante modelación numérica y registros fotográficos servirán para crear una base de datos apoyada en estudios realizados, donde se registran las temperaturas superficiales a las que se enfrentan los puentes en Colombia, esto ayudara a que en un fututo la norma CCP14 tome como parámetro de diseño para puentes las temperaturas reales que se encuentran en nuestro país.

Las temperaturas registradas fotográficamente sobre la superficie superior de placa del puente Tizón Neiva fueron entre 21.7 a 56.7°C. y para la ciudad de Bogotá fueron entre 0.2 a 42.8 °C.

Para los datos meteorológicos obtenidos y los datos tomados en la superficie superior de la placa, se evidenció que el día con mayor temperatura en la ciudad de Neiva fue el 4 de Enero del 2020 donde se especifica una temperatura ambiente de 35°C y una temperatura en la placa de 56.7°C

Para los datos meteorológicos obtenidos y los datos tomados en la superficie superior de la placa, se evidenció que el día con mayor temperatura en la ciudad de Bogotá fue el 2 de Enero del 2020 donde se especifica un temperatura ambiente de 32°C y una temperatura en la placa de 42.8°C

ANEXOS

Se anexan cinco libros de Excel que contienen: datos de radiación obtenidos por la plataforma Giovanni para la ciudad de Bogotá y Neiva, datos de radiación obtenidos de la página del IDEAM, las temperaturas dadas por el registro fotográfico para la ciudad de Bogotá y Neiva y finalmente las temperaturas superficiales determinadas mediante la modelación numérica; adicional a esto, se anexa quince informes que reflejan la toma de datos en el puente Av. De las Américas con Av. Boyacá en la ciudad de Bogotá.

LISTA DE REFERENCIAS

- Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas: El Diseño Racional en la Ingeniería Geotécnica (I)*. (2012). <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2012/11/el-diseno-racional-en-la-ingenieria.html>
- Atlas Interactivo - Radiación IDEAM*. (2019). <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Bayane, I., Mankar, A., Brühwiler, E., & Sørensen, J. D. (2019). Quantification of traffic and temperature effects on the fatigue safety of a reinforced-concrete bridge deck based on monitoring data. *Engineering Structures*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109357>
- Bustamante, E. O. (2018). *Avances en la regionalización de las cargas térmicas para el diseño de puentes en Colombia*.
- Castaño, J. C. (1999). *Universidad Nacional de Colombia: Repositorio institucional UN*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/23972/>
- CCP-14, A. C. de I. S. (2014). SECCION 3: Cargas y Factores de Carga. *Norma Colombiana de Diseño de Puentes, CCP 14*, 140.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa : fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill Interamericana. <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3214430>
- Cheng, W., Wenchao, L., & Chen, Z. (2020). Calculation and Analysis of Box Girder Temperature Effect of Large Cantilever Bridge under the Solar Radiation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 780(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/780/2/022010>
- Childs, D. (2020). *Bridge Design | Temperature Effects in Bridge Decks*. <http://bridgedesign.org.uk/tutorial/temperature-effects.php>
- Colombia Weather History | Weather Underground*. (2020). <https://www.wunderground.com/history/monthly/co/neiva/SKNV/date/2019-12>
- Eddyhrbs. (2010). *INGENIERIA CIVIL: Puentes Cantiléver*. <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/01/puentes-cantilever.html>
- Feng, H., Liu, X., Wu, B., Wu, D., Zhang, X., & He, C. (2019). Temperature-insensitive cable tension monitoring during the construction of a cable-stayed bridge with a custom-developed pulse elasto-magnetic instrument. *Structural Health Monitoring*, 18(5–6), 1982–1994. <https://doi.org/10.1177/1475921718814733>
- Giovanni. (2020). <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- Google Earth*. (2020). <https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>
- Grishyn, I. V., Ivanov, G. P., & Kayumov, R. A. (2020). Durability of bridge asphaltic concrete pavements under temperature loads. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 786(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/786/1/012032>
- Guard, P. (2009). *File:Gateway Bridge aerial3.JPG - Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gateway_Bridge_aerial3.JPG

- Hossain, T., Segura, S., & Okeil, A. M. (2020). Structural effects of temperature gradient on a continuous prestressed concrete girder bridge: analysis and field measurements. *Structure and Infrastructure Engineering*.
<https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1713167>
- Huang, W., Guo, W., & Wei, Y. (2019). Thermal Effect on Rheological Properties of Epoxy Asphalt Mixture and Stress Prediction for Bridge Deck Paving. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002861](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002861)
- Infercal - Ingenieros Constructores*. (2011). <http://www.infercal.com/portal/>
- Kennedybrücke - Bonn, NRW, Germany Image*. (2017).
<https://www.waymarking.com/gallery/image.aspx?f=1&guid=1b009955-1e51-45ad-9606-65038213ca47&gid=3>
- Kong, L. Y., Huang, L. H., Dai, L., & Yu, M. (2020). Coupling effect of temperature and roughness on the pull-out strength of concrete bridge deck inter-layer. *Chang'an Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, 40(2), 21–29. <https://doi.org/10.19721/j.cnki.1671-8879.2020.02.003>
- Kuryłowicz-Cudowska, A., Wilde, K., & Chróścielewski, J. (2020). Prediction of cast-in-place concrete strength of the extradosed bridge deck based on temperature monitoring and numerical simulations. *Construction and Building Materials*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119224>
- Lee, J., Loh, K. J., Choi, H. S., & An, H. (2019). Effect of Structural Change on Temperature Behavior of a Long-Span Suspension Bridge Pylon. *International Journal of Steel Structures*, 19(6), 2073–2089. <https://doi.org/10.1007/s13296-019-00279-3>
- Lei, X., Jiang, H., Wang, J., Zhang, D., & Jiang, R. (2020). Pavement Rut Depth Prediction for a Three-Span Suspension Steel Box Girder Bridge Based on Two-Year Temperature Monitoring Data. *Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements*, 146(3). <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000177>
- Li, J., Hu, R., Yang, J., & Liu, Y. (2019). Effect of temperature gradient on competitive growth behavior of Si and YSi₂ in a Si–Y eutectic alloy prepared by Bridgeman method. *Ceramics International*, 45(14), 16776–16783.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.05.213>
- Lin, J., Briseghella, B., Xue, J., Tabatabai, H., Huang, F., & Chen, B. (2020). Temperature Monitoring and Response of Deck-Extension Side-by-Side Box Girder Bridges. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 34(2).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001399](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001399)
- Liu, J., Liu, Y., Zhang, C., Zhao, Q., Lyu, Y., & Jiang, L. (2020). Temperature action and effect of concrete-filled steel tubular bridges: A review. In *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* (Vol. 7, Issue 2, pp. 174–191). Periodical Offices of Chang-an University.
<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.03.001>
- Liu, Y. J., & Liu, J. (2020). Review on temperature action and effect of steel-concrete

- composite girder bridge. In *Jiaotong Yunshu Gongcheng Xuebao/Journal of Traffic and Transportation Engineering* (Vol. 20, Issue 1, pp. 42–59). Chang'an University. <https://doi.org/10.19818/j.cnki.1671-1637.2020.01.003>
- Monleón Cremades, S. (2017). *Diseño estructural de puentes*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Puente Britannia - Puente | RouteYou*. (2006). <https://www.routeyou.com/es-gb/location/view/48035182/puente-britannia>
- Puente de Forth - EcuRed*. (2017). https://www.ecured.cu/Puente_de_Forth
- Puente Verrazano-Narrows - Megaconstrucciones, Extreme Engineering*. (2012). <https://megaconstrucciones.net/?construccion=puente-verrazano-narrows>
- Repositorio Institucional IDU: Búsquedas*. (2007). <https://webidu.idu.gov.co/jspui/simple-search?query=Puente+avenida+de++las+amercias+con+boyaca+>
- Salazar, P. (2012). *CAPÍTULO IV APLICACIÓN DE LAS NORMAS AASHTO LRFD AL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES 4.1.-INTRODUCCIÓN AL AASHTO LRFD*.
- Sheng, X. W., Zheng, W. Q., Zhu, Z. H., Yang, Y., & Li, S. (2019). Solar radiation time-varying temperature field and temperature effect on small radius curved rigid frame box girder bridge. *Jiaotong Yunshu Gongcheng Xuebao/Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 19(4), 24–34.
- Shi, T., Zheng, J., Deng, N., Chen, Z., Guo, X., & Wang, S. (2020). Temperature Load Parameters and Thermal Effects of a Long-Span Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridge in Tibet. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9710613>
- Somenson, H. M. (2017). *Estudio y proyecto de puentes de hormigón armado*. Díaz de Santos.
- Stahlwerk Annahutte Max Aicher GmbH & Co.KG. (n.d.). *Puente Gateway, Brisbane, Australia*. Retrieved February 10, 2020, from <https://www.annahutte.com/es/home/proyectos-de-referencia/sistemas-sas-proyectos/puente-gateway>
- Sumargo, & Harahap, A. H. S. (2019). Loading Test and Temperature Effect on Steel Arch Bridge. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 650(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/650/1/012035>
- VOSviewer*. (2020). <https://universoabierto.org/2020/02/18/vosviewer-es-una-herramienta-de-software-para-construir-y-visualizar-redes-bibliometricas/>
- Wang, G. X., & Ding, Y. L. (2019). Long-term monitoring of temperature effect on horizontal rotation angle at beam ends of a railway steel truss bridge. *Journal of Bridge Engineering*, 24(10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001484](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001484)
- Wang, J. F., Zhang, J. T., Xu, R. Q., & Yang, Z. X. (2019). Evaluation of Thermal Effects on Cable Forces of a Long-Span Prestressed Concrete Cable-Stayed Bridge. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 33(6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001348](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001348)

- Wang, J. feng, Zhang, J. tao, Yang, Z. xuan, & Xu, R. qiao. (2020). Control measures for thermal effects during placement of span-scale girder segments on continuous steel box girder bridges. *Journal of Zhejiang University: Science A*, 21(4), 255–267. <https://doi.org/10.1631/jzus.A1900310>
- Wayne, D. J. (1999). The male analyst on the maternal erotic playground. In *Gender & Psychoanalysis* (Vol. 4, Issue 1). <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=psyc3&NEWS=N&AN=2000-03615-002>
- Xia, Q., Xia, Y., Wan, H. P., Zhang, J., & Ren, W. X. (2020). Condition analysis of expansion joints of a long-span suspension bridge through metamodel-based model updating considering thermal effect. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(5). <https://doi.org/10.1002/stc.2521>
- Xu, X., Ren, Y., Huang, Q., Zhao, D. Y., Tong, Z. J., & Chang, W. J. (2020). Thermal response separation for bridge long-term monitoring systems using multi-resolution wavelet-based methodologies. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. <https://doi.org/10.1007/s13349-020-00402-7>
- Yang, J. N., He, X. J., Yang, J. H. L., Wang, Y. D., & Zhang, Z. (2020). Analysis of Temperature Effect on an S Cable-Stayed Bridge with Steel Box Girder During Asphalt Concrete Placement. *Bridge Construction*, 50(2), 37–42.
- Yang, K., Ding, Y., Sun, P., Zhao, H., & Geng, F. (2019). Modeling of Temperature Time-Lag Effect for Concrete Box-Girder Bridges. *Applied Sciences*, 9(16), 3255. <https://doi.org/10.3390/app9163255>
- Yepes, V. (2017). *Puente arco*. <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/puente-arco/>
- Zhang, W. M., Tian, G. M., & Liu, Z. (2019). Analytical Study of Uniform Thermal Effects on Cable Configuration of a Suspension Bridge during Construction. *Journal of Bridge Engineering*, 24(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001493](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001493)
- Zhang, W. M., Yang, C. Y., Tian, G. M., & Liu, Z. (2020). Analytical Assessment of Main Cable Shape for Three-Pylon Suspension Bridge with Unequal Main-Span Lengths: Thermal Effect Consideration. *Journal of Bridge Engineering*, 25(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001522](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001522)
- Zhou, L., Zhang, G., Yu, Z., Zhao, L., Wei, T., & Yang, L. (2020). Model Experiments of Ballastless Track-bridge Structure under Cyclic Temperature Load. *Tiedao Xuebao/Journal of the China Railway Society*, 42(1), 82–88. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-8360.2020.01.012>

- Artículos relacionados al proyecto de grado

(Xia et al., 2020) - (Kuryłowicz-Cudowska et al., 2020) - (Lei et al., 2020) - (J. feng Wang et al., 2020) - (J. Liu et al., 2020) - (Lin et al., 2020) - (Kong et al., 2020) - (Y. J. Liu & Liu, 2020) - (Zhou et al., 2020) - (Shi et al., 2020) - (Xu et al., 2020) - (J. N. Yang et al., 2020) - (Cheng et al., 2020) - (Grishyn et al., 2020)