

EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL PUENTE
VEHICULAR DE TERREROS EN EL MUNICIPIO DE SOACHA, CUNDINAMARCA

Cristian Camilo Vargas Duran

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Civil
Bogotá 2020

EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL PUENTE VEHICULAR DE
TERREROS EN EL MUNICIPIO DE SOACHA, CUNDINAMARCA

Cristian Camilo Vargas Duran

Proyecto de investigación requisito para optar por el título de Ingeniero Civil

Director:

Edison Osorio Bustamante

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá 2020

NOTA DE ACEPTACION

FIRMA JURADO 1

FIRMA JURADO 2

FIRMA JURADO 3

Bogotá D.C, ___ ___ ___

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres, hermanos, amigos y familiares, que han esperado silenciosamente el fruto de mis esfuerzos; su compañía y voces de aliento hoy me permiten alcanzar y saborear el triunfo académico. Su apoyo incondicional ha forjado en mí una mejor persona y un profesional con amplio sentido ético y humano.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios el brindarme la posibilidad de hacer uso de la sabiduría que procede de él y acercarme al conocimiento de la Ingeniería Civil, para colaborar en la construcción de un mundo más justo y más humano.

Agradezco a mi familia y amigos quienes han depositado su confianza en mí y desean registrar el triunfo en la vida profesional.

Al alma mater, a sus docentes y administrativos quienes con su concurso han logrado generar inquietudes académicas y profesionales en este, su servidor.

Al ingeniero Edison Osorio Bustamante por sus sabias y oportunas orientaciones, que hoy me permiten dar por concluida una etapa más en mi vida

1. Tabla de contenido

1.	Introducción	14
2.	Objetivos	16
3.1	Objetivo general.....	16
3.2	Objetivos específicos.....	16
3.	Marco Conceptual.....	17
3.1.	Estructuras vehiculares	18
3.1.1.	Puente viga	18
3.2.	Temperatura.....	22
3.2.1.	Transferencia de calor.	22
3.3.	Gradiente Térmico	26
3.3.1.	Cargas Térmicas.....	26
3.3.2.	Efectos térmicos en estructuras.	27
4.	Estado de Conocimiento	30
5.	Marco Legal	34
5.1.	Marco Legal Internacional.....	34
5.2.	Marco Normativo Interno Colombiano	35
6.	Metodología	37
6.1.	Localización.....	38
6.2.	Clima de Soacha- Cundinamarca	40
8.	Resultados	41
7.1.	Evaluación de la variación de la temperatura registrada por la cámara térmica	43
7.1.1.	Promedios de temperatura en vistas según el período.....	43
7.1.2.	Análisis de la temperatura según los puntos de interés por período	48
7.1.3.	Variación de la temperatura en el puente para los períodos (P1 y P2).....	50
7.1.4.	Variables Climatológicas	52
7.2.	Evaluación de la Variación de la Temperatura Teórica	58
7.2.1.	Energía solar – E_s (W/m^2).....	59
7.2.2.	Energía por convección – E_{cv}	60
7.2.3.	Energía por irradiación – E_i	60

7.2.4.	Energía por conducción.....	60
7.2.5.	Equilibrio térmico en el puente	61
7.2.6.	Análisis de resultados a partir de las temperaturas teóricas	61
7.3.	Comparación de las temperaturas registradas en la Cámara FLIR ONE PRO y las teóricas	65
9.	Conclusiones.....	69
10.	Recomendaciones	71
11.	Referencias bibliográficas.....	72
12.	Anexos	79

Lista de Figuras

Figura 1 Mapa conceptual.....	18
Figura 2 División Estructuras Puentes Viga.....	19
Figura 3 Tipos de puentes viga según su material	20
<i>Figura 4</i> Sección tipo de un forjado mixto.	21
Figura 5. Estructura de vigas y pilares de sección mixta.....	21
Figura 6 Mecanismos de transferencia de calor.....	22
Figura 7 Conducción de calor a través de una pared	23
Figura 8 Proceso de convección	25
Figura 9 Absorción de la radiación sobre una superficie.....	26
Figura 10 Diferencial de temperatura asociado con agrietamiento	27
Figura 11 Alabeo Diurno	29
Figura 12 Alabeo Nocturno	29
Figura 13. Localización general Soacha-Cundinamarca	38
Figura 14 Imagen Puente Vehicular de Terreros	39
Figura 15. Variación de la temperatura superficial superior en el puente por Períodos (Vista 1) 44	
Figura 16 Variación de la temperatura superficial inferior con el apoyo, por períodos (Vista 2) 45	
Figura 17. Variación de la temperatura superficial inferior sin apoyo, por períodos (Vista 3) 47	
Figura 18. Evidencia día 19 (02 de septiembre)) presencia de precipitaciones en la zona..... 48	
Figura 19 Variación de la temperatura en los puntos de interés (Vista 1)..... 48	
Figura 20 Variación de la temperatura en los puntos de interés (Vista 2)..... 49	
Figura 21 Variación de la temperatura en los puntos de interés	50
Figura 22 Temperatura superficial en el período uno (in situ)	51
Figura 23 Temperatura superficial en el período dos (in situ).....	51
Figura 24. Temperatura seca diaria - San Jorge La Granja.....	53
Figura 25. Temperatura diaria - Aeropuerto El Dorado	53
Figura 26. Temperatura por períodos - Estación Aeropuerto El Dorado.....	54
Figura 27. Radiación por períodos.....	55
Figura 28. Velocidad del viento por períodos.....	56
Figura 29. Precipitación media diaria	57
Figura 30 Clasificación de la precipitación según la intensidad.....	57

Figura 31. Puente en estado estacionario y condiciones de equilibrio térmico	59
Figura 32. Temperatura superficial del tablero en el período uno	62
Figura 33 Temperatura superficial del tablero en el período dos	63
Figura 34. Energía solar superficial superior por períodos.....	64
Figura 35 Temperatura superficial superior por períodos.....	64
Figura 36 Temperatura superficial inferior por períodos.....	65
Figura 37 Temperaturas superiores en el período uno	66
Figura 38 Temperaturas inferiores en el período uno	67
Figura 39 Temperaturas superiores en el período dos	67
Figura 40 Temperaturas inferiores en el período dos	68
Figura 41. Localización Estación Aeropuerto Internacional El Dorado.....	80
Figura 42. Localización estación San Jorge La Granja.....	81

Lista de Tablas

Tabla 1	28
Tabla 2	30
Tabla 3	36
Tabla 4.	42
Tabla 5.	43
Tabla 6.	45
Tabla 7.	46
Tabla 8.	52

RESUMEN

Para diseñar, planear y construir, una estructura vehicular, la ingeniería civil se centra en las especificidades contenidas en la norma internacional AASHTO LRFD, que Colombia ajusta a la realidad nacional mediante la CCP-2014, orientada a propiciar estructuras técnicamente eficientes y sometidas a criterios ético-profesionales, que mejoren la comunicación y movilidad local y nacional, que atienda las variaciones de la temperatura dependiendo de la región en que se proyecte el diseño. Atender la normatividad vigente, necesariamente conlleva a pensar en las influencias endógenas y exógenas a las que se somete la estructura, para considerar la incidencia de estos elementos en el deterioro. Evaluar la variación de la temperatura en el puente vehicular de Terreros Soacha, necesita una aproximación a la consideración normativa aplicada para este puente mixto (hormigón y acero), sometido a gradientes térmicos producidos por factores ambientales que impactan en la zona (temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento, precipitaciones, nubosidad, entre otros), no contemplados en la norma técnica colombiana. Como objetivo se busca evaluar el comportamiento de la variación térmica en la estructura vehicular de terreros (Soacha), para aportar información de referencia a las temperaturas de diseño de puentes de estructura mixta, comparando los resultados obtenidos en campo mediante la cámara térmica FLIR ONE PRO y los obtenidos a través de la aplicación del modelo numérico

Palabras Clave: Estructura vehicular, deformaciones en estructuras, equilibrio térmico, gradiente térmico, puente viga mixto, transferencias de calor.

ABSTRACT

To design, plan and build a vehicular structure, civil engineering focuses on the specificities contained in the international standard AASHTO LRFD, which Colombia adjusts to the national reality through CCP-2014, aimed at promoting technically efficient structures subject to criteria ethical-professionals, that improve communication and local and national mobility, that attend to variations in temperature depending on the region in which the design is projected. Meeting current regulations necessarily leads to thinking about the endogenous and exogenous influences to which the structure is subjected, to consider the incidence of these elements in the deterioration. Evaluating the variation of the temperature in the vehicular bridge of Terreros Soacha, needs an approach to the normative consideration applied for this mixed bridge (concrete and steel), subjected to thermal gradients produced by environmental factors that impact on the area (ambient temperature, radiation solar, wind speed, rainfall, cloud cover, among others), not contemplated in the Colombian technical standard. The objective is to evaluate the behavior of the thermal variation in the vehicular structure of Terreros (Soacha), to provide reference information to the design temperatures of mixed structure bridges, comparing the results obtained in the field using the FLIR ONE PRO thermal camera and those obtained through the application of the numerical model

Key Words: Vehicular structure, deformations in structures, thermal equilibrium, thermal gradient, mixed beam bridge, heat transfers.

1. Introducción

El desarrollo del hombre, los avances de la ciencia y la tecnología, el crecimiento de las ciudades y la explosión demográfica, han hecho posible y necesario concretar acciones de comunicación, permitiendo una interacción local, regional, nacional y global. En esa relación que se teje de pueblo a pueblo, de ciudad a ciudad se enmarca un proceso de desarrollo en la estructura vial, que facilite la minimización del tiempo y el acorte de las distancias, para favorecer la efectividad y eficiencia, en la comunicación, el comercio y desarrollo social y cultural. Construcción concebida para asegurar la movilidad y desplazamiento de los ciudadanos (Escobar & Martínez, 2019, pág. 1).

La movilidad de una vía nacional, que atraviesa uno de los principales municipios industrializados de Colombia, con altos índices de población y en cercanía a la capital del país, como lo es Soacha – Cundinamarca, se ha visto interrumpida por la ausencia de vías alternas; es ahí donde nace la necesidad de acudir a los profesionales en ingeniería civil, para apoyar el proceso mediante la planeación, proyección y ejecución de una estructura vehicular que sirva de interconexión y movilidad, dando origen al puente vehicular de Terreros, cuyo objetivo es optimizar los procesos productivos de la región, como lo manifiesta (Periodismo público, 2013), al referirse a la prueba realizada en los primeros días de diciembre del año en curso, en respuesta al marco del proyecto pluridimensional de inversión PPI (DNP, 2015).

En respuesta a los requerimientos y necesidades expuestos, conscientes de la normatividad internacional (AASHTO) y técnica nacional (CCP2014), se estructura, apelando a los principios profesionales y éticos, de acuerdo con las especificidades de un puente viga mixto de hormigón y acero, que, según la norma vigente, debe ser sometido a evaluación, seguimiento y mantenimiento permanente, como respuesta a los requerimientos sociales expuestos por el (Ministerio de Transporte, 2014, págs. 1-1), apelando a la seguridad de las obras civiles. Con el presente estudio se busca evaluar la temperatura superficial del puente, como lo señala (Krkoška & Moravčík, 2015), a partir de los factores ambientales, que inciden directamente en ella (temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento, precipitaciones), que permita determinar la aplicación de la norma en el diseño y comparar los fenómenos que se presenten por transferencias de calor en la estructura.

A través de la cámara térmica FLIR ONE PRO y el software FLIR TOOLS, se registra la temperatura superficial del puente en dos períodos del día, (P1 =5 – 6 am y P2= 12:30 – 2 pm),

durante 20 días (15-agosto al 03-septiembre), datos que serán sometidos a comparación a partir de los factores externos de la estructura y de registros teóricos de temperatura, que según él (Ministerio de Transporte, 2014, pág. 2), entre otras, pretende la comprobación de la carga vehicular aplicable en el contexto colombiano.

Desde la línea de investigación institucional Semillero de Infraestructura Sostenible, de la Universidad Antonio Nariño UAN, que viene adelantando diferentes estudios encaminados a medir la temperatura superficial de estructuras vehiculares, el presente trabajo de investigación, se propone dar solución al interrogante ¿Cuál es la temperatura superficial que presenta el puente vehicular de Terreros por cargas ambientales?, en respuesta al interés de seguimiento y evaluación, que ajustado a la norma, exige la formulación de planes de mantenimiento y mejoramiento de la estructura.

2. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la variación térmica en la estructura vehicular de terreros ubicado en Soacha, para aportar información de referencia a las temperaturas de diseño de puentes de estructura mixta

3.2 Objetivos específicos

1. Realizar la medición de la temperatura superficial del puente mediante el uso de cámaras térmicas.
2. Estimar la temperatura superficial del tablero del puente mediante el modelo estacionario.
3. Comparar los datos obtenidos por el modelo estacionario con los registrados por la cámara térmica.

3. Marco Conceptual

Evaluar la temperatura superficial de una estructura vehicular, en el contexto de la ingeniería civil resulta de gran importancia, pues con ello se puede proyectar y diseñar una obra que responda desde las especificaciones técnicas a los requerimientos del ambiente donde se busca implementar. En este sentido es necesario acercar la reflexión a los fundamentos teóricos conceptuales, que, en el desarrollo del conocimiento, se han alcanzado en procura de resolver las inquietudes humanas que se derivan de ello.

El puente vehicular objeto de estudio presenta características particulares, como lo es su estructura viga mixta (hormigón y acero), el cual asume los diferentes fenómenos físicos ocasionados por los gradientes de temperatura provocados por los cambios climáticos, afectándolo. De esta manera, el estudio se centra en la temperatura, transferencias de calor, gradientes térmicos y los efectos térmicos en las estructuras vehiculares.

Con la proyección y posterior ejecución de una estructura vehicular, de acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación, se debe mejorar la conectividad terrestre entre municipios para reducir el tiempo y el costo de viaje (DNP, 2016, pág. 1). Entonces, su empleabilidad está orientada a superar accidentes geográficos, aguas y cualquier otro obstáculo. El proyecto complementará el plan de mantenimiento regular y rutinario (pág. 1). Oportuno pensar en los principios éticos y estéticos desde el diseño y ejecución de la estructura, bien lo ha señalado (Monleón, 2017, pág. 11), para quien, la ética y estética deben trabajar conjuntamente en la toma de decisiones. Entonces en el desarrollo sostenible de los puentes, deben ser asumidos como estructuras que se diseñan a partir de un análisis de la complejidad de su funcionamiento. En este orden de ideas, según (Monleón, 2017), estas acciones pueden ser constantes y accidentales que para (Grimaldo, 2018, pág. 12.) están sujetas a los cambios térmicos.

En la Figura 1 podemos observar el mapa conceptual, encierra la realidad objeto de estudio, propiciando una reflexión acerca de las consecuencias por la variación del fenómeno térmico, en una estructura vehicular, la cual ha de someterse a la revisión permanente de la evaluación de los cambios superficiales originados por la acción del clima.

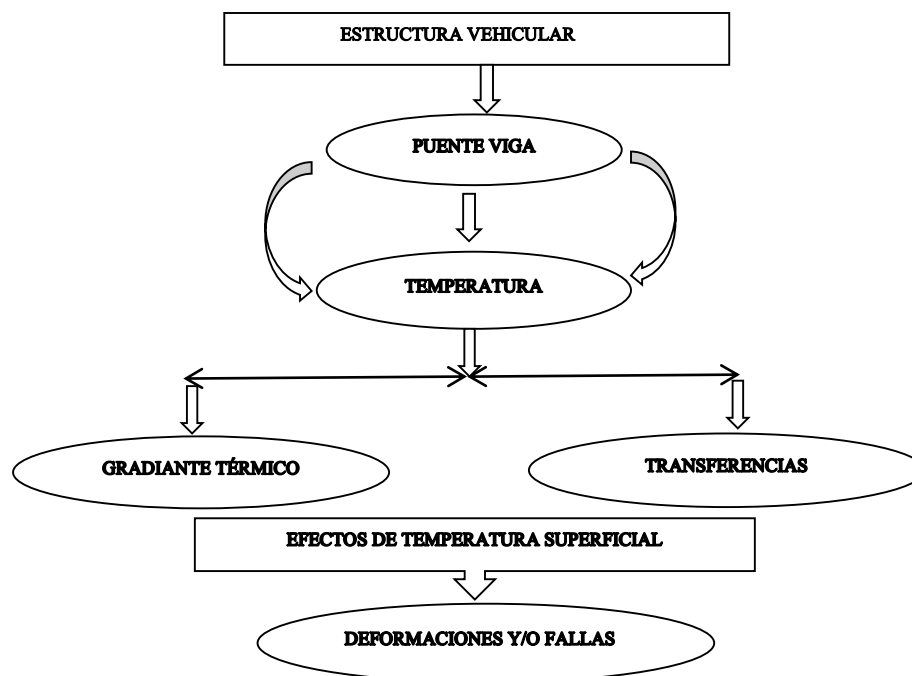


Figura 1 Mapa conceptual
Fuente: Elaboración propia

3.1. Estructuras vehiculares

Se entiende por estructura vehicular (puente) el ministerio de transporte lo define como, la construcción que permite proteger los diferentes accidentes geográficos o cualquier otro dificultad física (Departamento Nacional de Planeación, 2017, pág. 3).

Al otorgarse la legalidad y responsabilidad en la ejecución de la obra a los Ingenieros Civiles, según (Ministerio de Transporte, 2014, págs. 1-2), se desarrolla métodos y técnicas acordes a las necesidades del sector para el cual está dispuesto. De otra parte, debe aceptarse la probabilidad de la falla, siempre y cuando esta responda a cuestiones pequeñas. Es de considerar que en la construcción de estas estructuras debe mediar, en términos de seguridad, la confianza y el seguimiento de los mecanismos técnicos y requerimientos exigibles legalmente.

3.1.1. Puente viga

De acuerdo con los tipos de materiales, que definen las particularidades de las estructuras y dependiendo de su construcción y la forma que adopten, estos se pueden clasificar como: viga, de arco y colgantes (Seminario Manrique, 2004, págs. 16 - 21).

Los puentes de viga, son estructuras horizontales, sostenidas en sus extremos por pilares, que ejercen fuerza vertical y hacia abajo, quedando predisuestas a flexionarse, a causa de las cargas que resisten, dicho esfuerzo provoca compresión y tracción en la región superior e inferior, respectivamente (Seminario Manrique, 2004, pág. 19). En ingeniería debido a la

facilidad de la obra, los puentes viga, son unos de los más utilizados y según la disposición de su estructura se puede dividir en: puentes de tramos simplemente apoyados, isostáticos con voladizos (Gerber) y de vigas continuas o parcialmente continuas (Ver Figura 2).

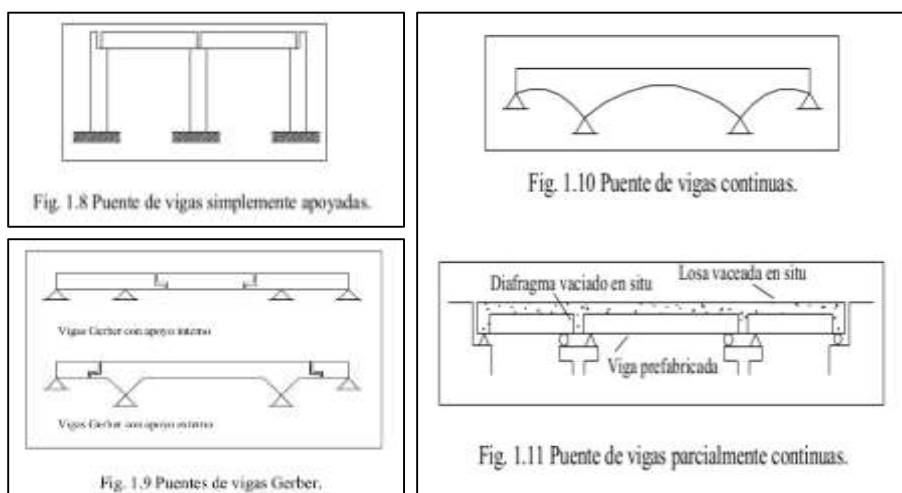


Figura 2 División Estructuras Puentes Viga
Fuente: (Seminario Manrique, 2004, págs. 16 - 17)

De otra parte, cabe mencionarse, que según la disposición o utilización de materiales (hierro y cemento) estas estructuras se pueden clasificar como puentes de hormigón, puentes metálicos y puentes mixtos (Reiner, 1998, pág. 9), quien combina las ventajas de los puentes metálicos y los puentes de hormigón, resaltando los bajos costos y la corpulencia del hormigón con el menor peso de las vigas de acero. De esta combinación se puede obtener como resultado una estructura mixta, como lo es el puente vehicular de Terreros, que de igual manera debe ser sometido en términos de legalidad a una serie de pruebas tanto de peso, como de transferencias de calor

3.1.1.1 Tipos de puentes viga según su material

Los puentes presentan distintas clasificaciones dependiendo de su forma, estructura y materiales, esta última identificación se tiene en cuenta el material usado por el diseñador en la estructura principal. Dicho esto, al tratar de un puente en acero, se entiende que su estructura principal es de acero, pero la losa puede presentarse en concreto (Seminario Manrique, 2004, pág. 16). Algunos de los tipos según el material son:

- Puentes de concreto reforzado o preesforzado.
- Puentes metálicos.

- Puentes compuestos (metal con concreto).

Cabe aclarar que cada uno de ellos tiene sus ventajas y no hay unos mejores que otros, sino que en el momento del diseño debe evaluarse el caso concreto, ya que cada uno nos aportará pros y contras. El hormigón y el acero presentan gran adaptación y versatilidad, por esto muchos diseñadores han optado por realizar estructuras con una mezcla de los dos materiales, llamadas estas estructuras mixtas, logrando solucionar y optimizar las construcciones. Un ejemplo de estas estructuras la podemos observar con el puente vehicular de terreros.

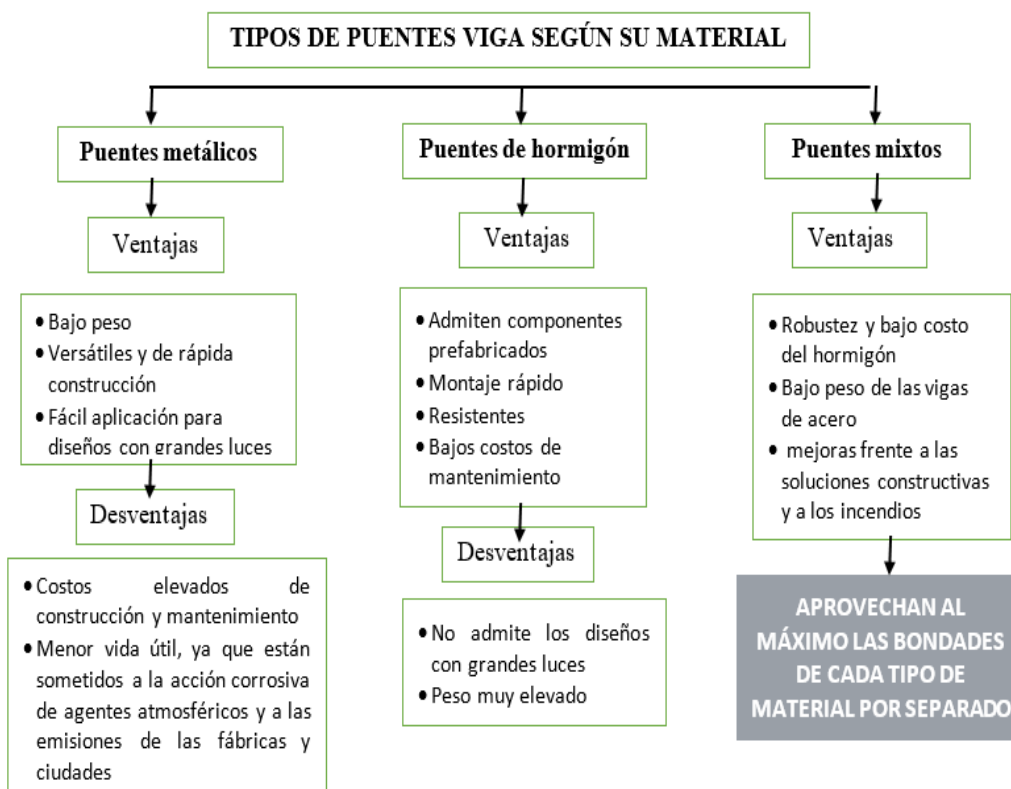


Figura 3 Tipos de puentes viga según su material

Fuente: Elaboración propia, adaptación de la información suministrada por (Reiner, 1998) y (Zigurat Global Institute of Technology, 2016)

En la Figura 4 y Figura 5, se puede observar un ejemplo de sección de vigas aplicando este mecanismo de mezclado.

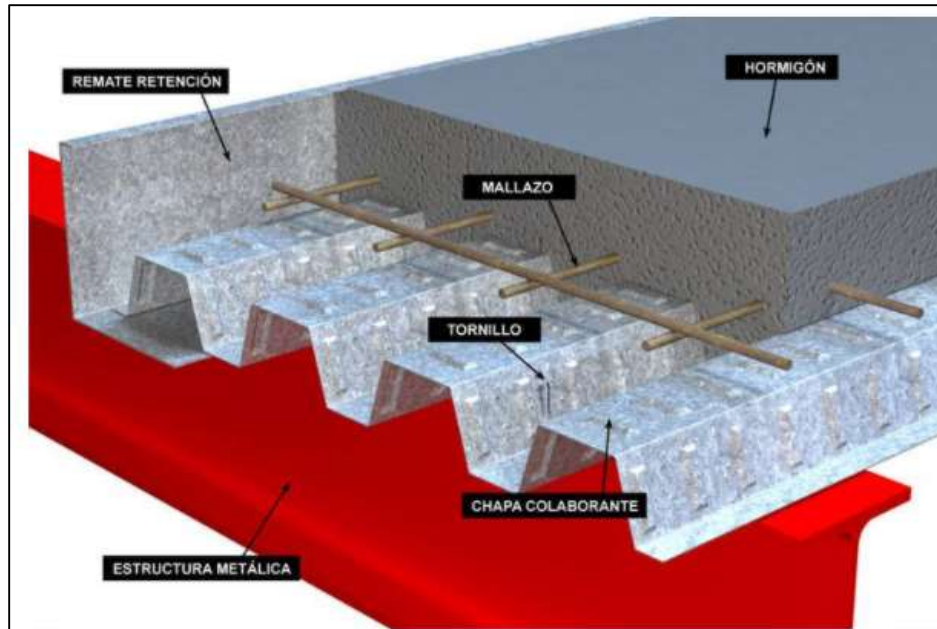


Figura 4 Sección tipo de un forjado mixto.
Fuente: (Zigurat Global Institute of Technology, 2016)

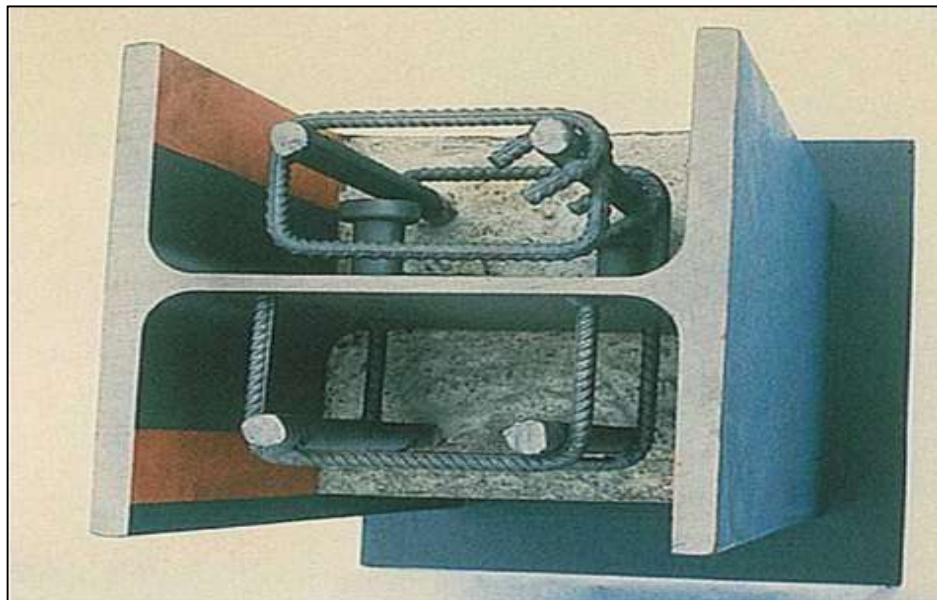


Figura 5. Estructura de vigas y pilares de sección mixta
Fuente: (Zigurat Global Institute of Technology, 2016)

En razón a la seguridad, este tipo de estructuras deben ser sometidos a pruebas de carga, que identifican, según (Agredo, Sarmiento, & Viviescas, 2016, pág. 1), la conducta de la estructura a través de la simulación de cargas. Labor que requiere, igualmente, revisar los efectos térmicos ocasionados por el cambio ambiental, en el análisis y diseño de los puentes de vigas, (Mirambell, Aguado, & Díez, 1990, pág. 47), sugieren para la determinación de la respuesta

térmica el uso del modelo numérico, mediante el cual se busca la ecuación para todos aquellos nodos entre las vigas, que permite tener claridad en cuanto a las diferencias en la ecuación, para el coeficiente de transferencia de calor.

3.2. Temperatura

El estudio y determinación de las denominadas cargas vivas en una estructura vehicular, contempla las cargas ambientales, las cuales, según (Nilson, 1999, pág. 9), son fuerzas ocasionadas por cambios de temperatura ambiente (cargas de nieve, presión y succión de aire). Conveniente entonces, comprender el significado de temperatura y las variables dependientes de él, como son la energía y calor. Para (Cengel & Ghajar, Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, 2015) los cambios climáticos a los cuales es sometida la estructura vehicular, comportan una variación en la transferencia de calor.

3.2.1. Transferencia de calor.

La evaluación de la temperatura superficial, está directamente orientada a las transferencias de calor y al cambio térmico en las diferentes horas del día por factores ambientales, a los cuales, está expuesta la estructura. Son tres los mecanismos identificados, como concluyen (Pérez & Sosa, 2013, pág. 4), para la transferencia de calor, como se presenta gráficamente en la Figura 6

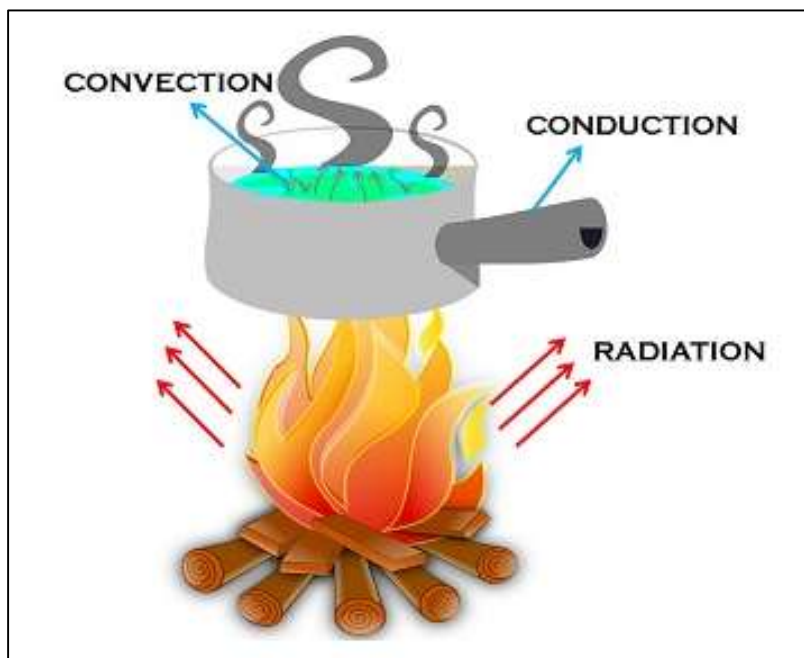


Figura 6 Mecanismos de transferencia de calor
Fuente: (Surbhi, 2017)

La transferencia de calor se da cuando dos cuerpos que tienen distintas temperaturas se ponen en contacto entre sí; esta transmisión de energía se ocasiona desde el cuerpo de mayor a menor temperatura, permitiendo el equilibrio térmico. En cuanto a las formas de transferencia de calor existen tres como se presenta en la Figura 6 En dicho sentido (Young & Freedman, 2009, pág. 592), han considerado que la conducción puede darse al interior de un cuerpo o entre dos cuerpos que estén en contacto; a su vez, la convección depende del transporte de las masas de fluido de una región del espacio a otra y la radiación se da principalmente por la interacción de un cuerpo con las ondas electromagnéticas a su alrededor, como la luz del sol.

3.2.1.1 Conducción de calor.

Es ocasionada por la actividad molecular, al presentarse la fricción de unas con otras, donde se puede registrar el paso de cargas de las partículas con más cantidad de energía a las de menos. Se produce si hay diferencias de temperatura entre dos partes del medio conductor, permitiendo un desplazamiento descendente del flujo de calor. En la Figura 7 se aprecia cómo se presenta este mecanismo en una superficie plana. Ahora bien, para los sólidos, la conducción según (Muñoz, 2012, pág. 10) es atribuible, para el caso de los metales, a oscilaciones o movimientos de electrones independientes. Acción que se complementa en (Cengel, 2007, pág. 8), cuando reconoce, que el movimiento depende de la forma del cuerpo en el que se presente.

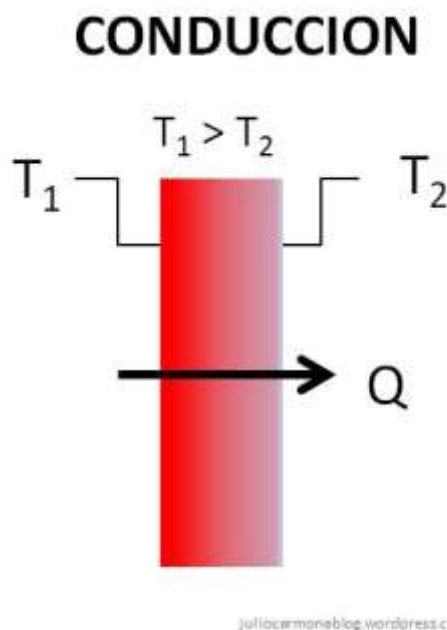


Figura 7 Conducción de calor a través de una pared
Fuente: (INYGESTConsultores, 2014)

Los procesos de transferencia de calor y la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo son cuantificables gracias a la ley de conducción de calor de Fourier, que observa la proporcionalidad existente entre el flujo de calor y el gradiente de temperatura; cuya ecuación sería: Si se llama H (en Watts) al calor transferido por unidad de tiempo, la transferencia de calor $H = \Delta Q/\Delta t$, está dada por: (Conesa, 2013, pág. 2)

$$H = \frac{dQ}{dt} = -k \frac{dT}{dX} \quad (1)$$

Donde:

dQ/dt = Calor transferido en el tiempo

K= Conductividad térmica del material

dT/dX = gradiente de temperatura

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

3.2.1.2 Convección.

Mecanismo ocasionado por el movimiento o circulación de moléculas dentro del medio, produciéndose de dos maneras: una de ellas por procesos de difusión, donde la transferencia de energía se da por movimiento aleatorio de moléculas y la segunda es a causa del movimiento global del fluido (Incropera & DeWitt, 2005). Esta transferencia, es realizada en líquidos y gases, pues en dichos estados los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio, conociéndose, así como el mecanismo de transmisión de calor en fluidos (Muñoz, 2012, pág. 14). Es producida en la interacción entre medios fríos y cálidos en diferentes estados, teniendo en cuenta que se encuentran en constante movimiento (ver Figura 8) (Pérez & Sosa, 2013).

La convección se puede enunciar por medio de la ley del enfriamiento de Newton, el cual es un modelo que expresa la rapidez en que se da dicha transferencia, que a su vez es proporcional al diferencial de temperatura. Es necesario considerar un modelo de transferencia de calor H, mediante el mecanismo de la convección, el cual (Conesa, 2013, pág. 6) denomina enfriamiento de Newton, cuya ecuación es la siguiente:

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

Donde:

h= Coeficiente de convección en W (m².K)

A= Superficie que proporciona calor T_A

T_A= Temperatura de la superficie

T= Temperatura del fluido

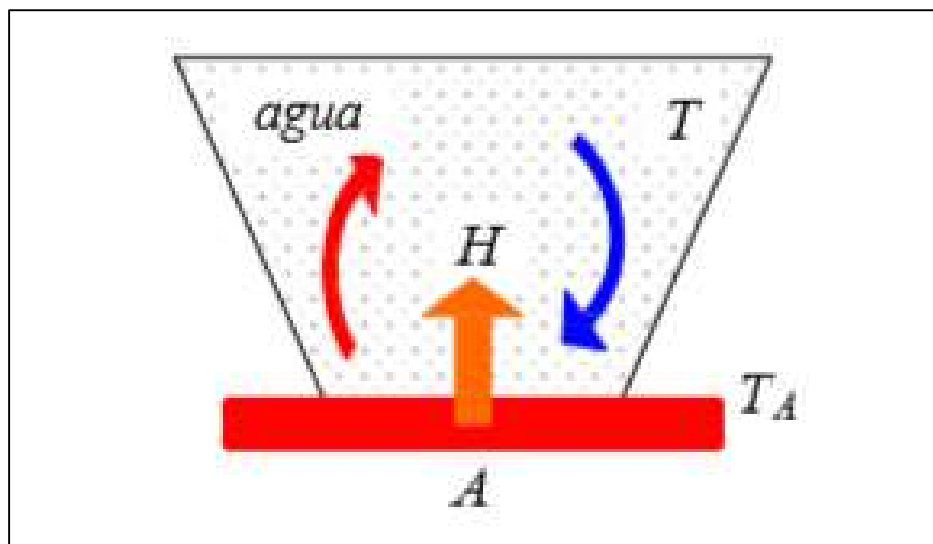


Figura 8 Proceso de convección
Fuente: (Muñoz, 2012)

3.2.1.3 Radiación.

La energía se desprende, en este mecanismo, desde un medio material a través del vacío, tan solo por estar a una temperatura mayor a los cero kelvin, esta se presenta tanto en sólidos, como líquidos y gases (Muñoz, 2012, pág. 20). Dicha emisión de energía se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones (ver Figura 9). Según (Conesa, 2013, pág. 8), esta se produce debido a las transformaciones electrónicas de los átomos y su transporte se realiza mediante electromagnéticas, denominándose esta acción, como radiación electromagnética. Ahora bien, los puentes presentan transferencia de calor por radiación en la zona superior, ya que existe una exposición constante al sol (Pérez & Sosa, 2013, págs. 37 - 47) (Cengel, Transferencia de calor y masa, 2007, pág. 12 ss) Dicha transferencia es expresada por la ecuación desarrollada por Planck, donde se menciona que la longitud de onda de la radiación se relaciona con la energía de los fotones, quienes son emitidos y absorbidos por la materia.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

Donde:

h= Constante de Planck, su valor es 6.63×10^{-34} Js

λ = Longitud de onda

C= Velocidad de la luz igual a 299.792 km/s

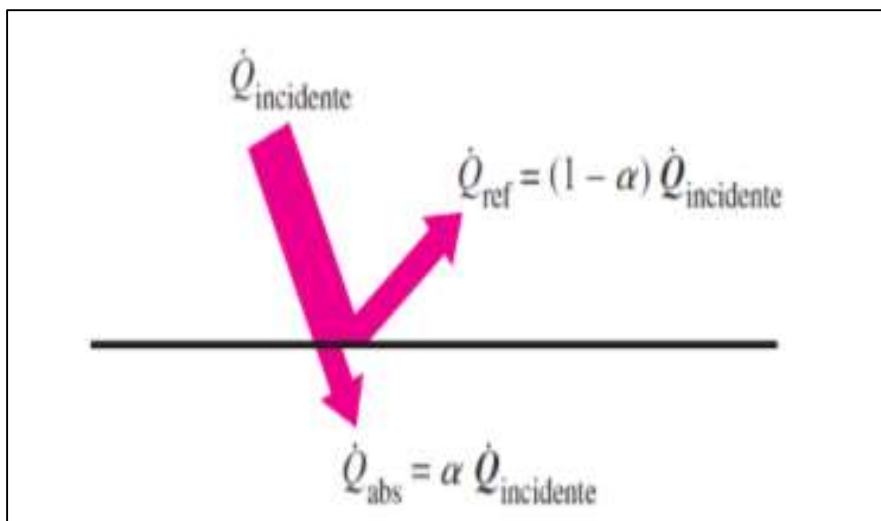


Figura 9 Absorción de la radiación sobre una superficie
Fuente: (Cengel, Transferencia de calor y masa, 2007)

3.3. Gradiente Térmico

Se precisa como el diferencial de temperatura resultado por la transferencia de calor en la parte superior o inferior del puente y se da en unidades de longitud (Cengel, 2007, pág. 6). Éste presenta dos componentes, que definen la variación lineal en el eje vertical y horizontal del campo térmico y que producen un incremento del momento flector, como consecuencia de la tensión, originando una curvatura en la pieza alrededor de los ejes X y Y, llamadas gradiente vertical y horizontal respectivamente (Subirana, 2015, pág. 10).

3.3.1. Cargas Térmicas.

En la construcción de puentes, la carga térmica debe ser considerada durante toda su vida útil, pues, debido al aumento y caída rápida de la temperatura y a los cambios asociados a las dimensiones del recipiente, se presenta una reducción en la resistencia y un aumento de la fragilidad estructural, para tener en cuenta desde su diseño (Shigley, Mischke, & Brown, 2004). En este tipo de obras, según argumenta (Henaó, 2019, pág. 22) las variaciones térmicas combinadas con otros factores, originan las cargas. En la Figura 10 se puede apreciar gráficamente la diferencia entre la temperatura y el agrietamiento experimentado por la estructura en el tiempo, el cual debe ser tenido en cuenta en la determinación de su debilitamiento.

Se pueden encontrar de tres maneras: 1- como temperatura efectiva, que explica la expansión térmica en dirección longitudinal; 2- como el gradiente de temperatura vertical, que supone la diferencia de temperaturas entre la parte superior y los demás niveles de la sección

transversal y 3- como el diferencial de temperatura horizontal, que se da entre dos puntos con la misma elevación en la sección transversal (Guang-Dong & Ting-Hua, 2013), citado por (Grimaldo, 2018, pág. 25).

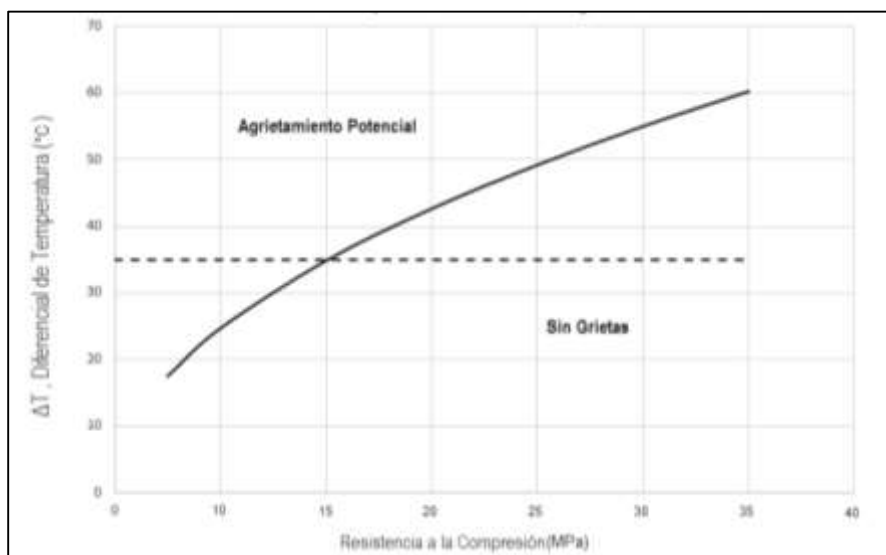


Figura 10 Diferencial de temperatura asociado con agrietamiento
Fuente: (Bellido, 2017)

3.3.2. Efectos térmicos en estructuras.

Las variaciones en las distribuciones térmicas son producidas por los cambios diarios y estacionales en cada uno de los elementos de la estructura. Estos son la radiación solar, los vientos, la humedad y la temperatura local (The European Union, 2003). En cuanto a la magnitud de estos efectos se debe subrayar, que además de la temperatura ambiente están la orientación de la estructura, los materiales, las dimensiones, la geometría y el peso que la estructura presente (Krkoška & Moravčík, 2015).

Las estructuras pueden presentar aumentos o disminuciones en su temperatura, estas variaciones pueden ocasionar dilataciones o contracciones, respectivamente, que eventualmente pueden terminar en deformaciones, experimentadas en todas las direcciones generando cambios en sus dimensiones, fallas y/o esfuerzos térmicos (Sánchez, 2015).

Según (Sánchez, 2015) las deformaciones unitarias térmicas son directamente proporcionales a los incrementos de temperatura, esto para la mayoría de los materiales usados en el diseño y construcción de estructuras. Estas se miden en deformación unitaria por grado de temperatura y vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$ET = \alpha(\Delta T) \quad (4)$$

$$\Delta T = T_f - T_o \quad (5)$$

Donde:

ET= Deformación unitaria térmica, positiva si presenta dilatación y negativa si es contracción

α = Coeficiente de dilatación o expansión térmica, el cual depende del material. (Tabla 1)

ΔT = Incremento o decremento de la temperatura Incremento o decremento de la temperatura

T_o = Temperatura inicial

T_f = Temperatura final

A continuación, se observan los coeficientes de dilatación para algunos materiales:

Tabla 1

Coefficiente de dilatación de diferentes materiales de construcción.

Coefficientes de dilatación de diferentes materiales de construcción	
Material	Coefficiente de dilatación térmica lineal (x 10⁻⁶K⁻¹)
Hormigón	10 - 13
Hormigón ligero	8 - 12
Bloques de hormigón	6 - 12
Ladrillo cerámico	5 - 8
Baldosa cerámica	4 - 8
Yeso	18 - 21
Acero	12
Mortero de cemento	10 - 13
Madera (paralelamente a las fibras)	4 - 6
Madera (perpendicularmente a las fibras)	30 - 70

Fuente: Adaptado de (Institut de Promoció Ceràmica, s. f., pàg. 3)

Según (Yela Quijada, 2017), el alabeo por gradiente térmico es una de las deformaciones que pueden ser provocadas por las diferencias de temperatura entre la superficie y el fondo de la losa de concreto, que de no tener el debido control, puede acarrear costosas reparaciones e incluso reconstrucciones. En la Figura 11 se puede observar el llamado alabeo diurno, que se presenta cuando la temperatura superior es mayor que la inferior provocando una concavidad hacia abajo en la losa; en la Figura 12 vemos el caso contrario, donde se genera una concavidad

hacia arriba. Estas deformaciones producen esfuerzos, dejando las losas sin apoyo, lo cual puede originar fallas a temprana edad de las estructuras.



Figura 11 Alabeo Diurno
Fuente: (Yela Quijada, 2017)

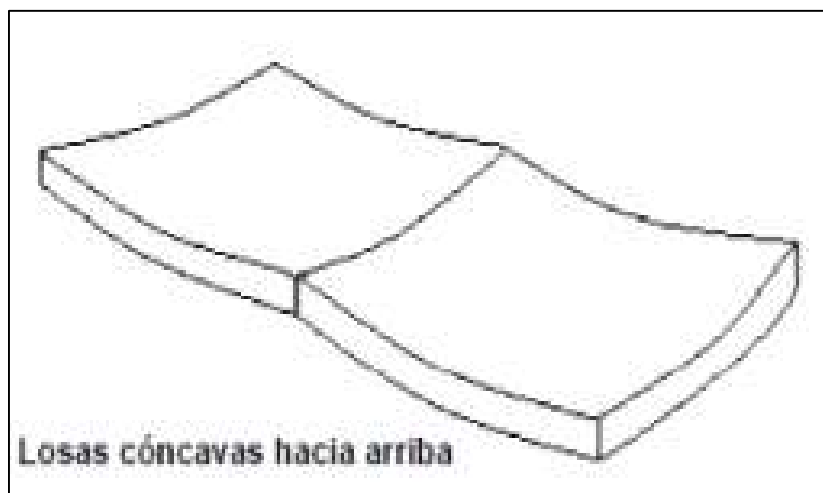


Figura 12 Alabeo Nocturno
Fuente: (Yela Quijada, 2017)

4. Estado de Conocimiento

A los factores antes mencionados, sumar los avances del conocimiento, para identificar con ello las dificultades que se puedan presentar en la consolidación de la obra y las respuestas que académicamente se han podido determinar, toda vez que la norma aplicable a estos acontecimientos requiere asumir efectos de gradiente térmico regionales. En consecuencia, establecer las normas técnicas internacionales y nacionales que regulan la acción de los ingenieros civiles en la construcción de estas estructuras.

La variación de la temperatura ambiente afecta de manera negativa las infraestructuras, causando deterioros y fallas en su correcto funcionamiento y durabilidad, no obstante, es un tema aún muy poco analizado en el país, que al presentar un clima tropical sufre variaciones térmicas bruscas que inciden en el deterioro y deformaciones en las estructuras vehiculares. Lo anterior conlleva, inquietudes investigativas que generan procesos de revisión documental que, desde lo internacional, nacional y local, permitan reconocer el avance del conocimiento en la materia. Se tomó como referente en los motores de búsqueda, como Scopus, repositorios de las facultades de Ingeniería, revistas científicas, las siguientes palabras clave: gradiente térmico, transferencia de calor, puentes viga, estructura vehicular aérea, efectos térmicos en puentes, deformaciones térmicas en estructuras, temperature variation in viaducts, thermal deformation in bridges, thermal gradients in mixed bridges, heat transfer mechanisms, entre otros; dando como resultado una gran recopilación de referentes bibliográficos los cuales ayudan a dilucidar en gran medida el planteamiento en cuestión. La bibliografía encontrada para el estado de conocimiento se dividió en tres grandes temas como lo podemos observar en la Tabla 2

Tabla 2
Referencias estado del conocimiento

Temas	Referencias
Mecanismos de transferencia de calor y gradiente térmico	(Subirana, 2015) (Muñoz, 2012) (Sallal R, Faten, Nildem, Mustafa, & Özakça, 2017) (Yela Quijada, 2017) (Conesa, 2013) (Cengel & Ghajar, Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, 2015)
Efectos térmicos en las estructuras y deformaciones	(Jianqiang & Hongbin, 2013) (Ortega Cornejo, Millanes Mato, & Mansilla Dominguez) (Morea, 2011) (Miranda Rebolledo, 2010)

	(Brule Bianchi, 2007)
	(Krkoška & Moravčík, 2015)
	(Pérez & Del Val, 1994)
	(Valdés, Pérez-Jiménez, & Martínez, 2012)
	(Institut de Promoció Ceràmica, s. f.)
	(Svensson & Larsson, 2013)
	(Aristizabal Valencia, Forero Toro , & Leon Leon , 2016)
	(Berecibar Oregui, 2012)
	(Ortiza, Aguadob, Ronceroc, & Zermeño, 2009)
	(Liu, y otros, 2020)
	(Grimaldo, 2018)
	(Mirambell, Aguado, & Díez, 1990)
	(Defaucheux, Desprets, Hajar, Sirviente, & Virlogeux, 2015)
Diseños de puentes vigas y normatividad	(Ortega Cornejo, Millanes Mato, & Mansilla Domíngue, Análisis normativo de la variación uniforme de la temperatura en puentes. Comparación de la normativa española con el Eurocódigo de acciones térmicas, 2013)
	(Subirana, 2015)
	(Ortega Cornejo, Millanes Mato , & Mansilla Dominguez)
	(Diseño de puentes AASHTO)
	(Reiner, 1998)
	(Seminario Manrique, 2004)
	(Mirambell E.)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se hace alusión de algunos de los documentos recopilados y analizados, mencionando aquellos que se consideraron más relevantes y acordes con el caso de estudio sobre la evaluación de la temperatura en el puente vehicular de viga – mixto, de terreros.

(Defaucheux, Desprets, Hajar, Sirviente, & Virlogeux, 2015) dentro de su investigación analizaron el comportamiento de la temperatura en las vigas cajón de acero ortotrópica del viaducto de Millau cruzando el valle del Tarn al sur de Francia. Tomaron una serie de registro durante un Período de 7 años (2005-2011) con los cuales lograron entender el comportamiento y evolución de la variación media de temperatura y los gradientes térmicos verticales y transversales en las vigas y con ellos correlacionaron las variables con los datos meteorológicos del sector, tales como temperatura y radiación solar. Lastimosamente no fue posible obtener el artículo en su totalidad para continuar el estudio del mismo debido a limitaciones de permisos de los autores.

Por otra parte, (de Backer, Outtier, & van Bogaert, 2008) consideran de sustancial importancia tener en cuenta las cargas térmicas durante el diseño de vigas de caja de acero. Según sus estudios éstas y más específicamente los gradientes térmicos influyen en una serie de efectos, al alcanzar valores considerables, siendo algunos de ellos la reducción, que requiere el

enlace de las capas de impermeabilización y de desgaste, facilitando el comportamiento conjunto con la plataforma. Por lo anterior, dicen, ser de gran importancia tener en cuenta todos los flujos térmicos en el modelado y diseño de vigas de acero en viaductos, quienes son unas de las más importantes en la red de carreteras belgas, que asumen los rayos solares y la velocidad del viento en el entorno.

Para abordar la variación de temperatura y su incidencia en la fracturación y deterioro de los puentes vehiculares, es menester citar a (Pérez & Del Val, 1994) que presenta los tipos de fisuración producidos en las capas de rodadura de mezcla bituminosa, debido a cambios ambientales, que son dos tipos: por retracción térmica, producido por la disminución continua de la temperatura, y por fatiga térmica, ocasionada por los períodos diarios de temperatura (pág. 53). Que analiza el fenómeno aglomerado a partir de cada ciclo térmico, por la diferencia entre la dilatación y contracción, que estima la interacción en el desnivel del betún.

Se estima que, por encima de los 20-25°C la temperatura no influye en la fisuración, quienes emergen de la superficie, desplegándose descendentemente. La fatiga térmica se ocasiona a temperaturas entre 20 y -7°C; la retracción se presenta a temperaturas menores a los -7°C; así mismo, la fisuración por fatiga térmica es ocasionada por la acumulación de deformaciones de arrastre en cada fase, al alcanzar la deformación de rotura de la mezcla y en cuanto a la deformación remanente, en cada ciclo, se debe a la diferencia de coeficientes de dilatación y contracción, acumulación de deformaciones que se da si los ciclos de temperatura se presentan por debajo de 25°C, si se supera este valor, se anulan debido al elevado coeficiente de dilatación (por encima al de contracción).

Globalmente se han realizado investigaciones centradas en las influencias térmicas, principalmente en EE. UU. y China, aunque el gradiente de temperatura de sección transversal ha sido medido en algunos puentes europeos (Krkoška & Moravčík, 2015), dentro de su investigación, realizaron una breve descripción y análisis a la carga térmica en las estructuras de puentes en concreto, afirmando que el gradiente de temperatura vertical, es un factor importante que debe considerarse durante el procedimiento de diseño del puente. Mostrando que sus efectos impactan significativamente en la condición de tensión del puente, especialmente en la combinación con la carga de tráfico, que para ellos es necesario validar en otras estructuras de diferentes tipos. La medición que se realizó aquí no es completamente suficiente para una

descripción precisa y un análisis de su comportamiento, por lo tanto, es necesario realizar una medición continua, al menos en períodos con temperaturas máximas y mínimas predichas.

Para (Steenbergen, Geurts, & Van, 2009, pág. 6), las variaciones climáticas bruscas generan cargas en las estructuras, que producen efectos en las cargas de diseño, donde se muestra la incidencia de los escenarios de cambio climático frente a las cargas en los edificios por variables como el viento, la precipitación y la temperatura, así como en las posibles necesidades de ajustar los códigos estándares de construcción. Así mismo, que las diferencias de temperatura hacen que las estructuras se expandan y se contraigan, por tanto, estos movimientos deben tenerse en cuenta mediante el diseño adecuado de las tolerancias, dependiendo de las características climáticas de la zona, que deben ser consideradas en el diseño estructural, especialmente cuando presentan distintos materiales o cuando se construyen estructuras largas como los puentes. Lo que conlleva a buscar mayor información sobre los efectos climáticos en la seguridad estructural, antes de lograr cambiar definitivamente las normas o directrices de construcción y por sin subestimar el efecto de las cargas mínimas, como puede ser el caso de las cargas de nieve, recomendando llevar a cabo una investigación sobre el impacto del clima en la construcción de la obra.

Ya en el campo nacional, se aborda el estudio realizado por (Henaó, 2019, pág. 10), quien afirma que en busca de la eficiencia de la estructura, deben los fenómenos ambientales, y centra su investigación en obtener un modelo numérico para determinar el gradiente térmico de dos puentes a partir de datos recolectados in situ, logrando conocer las variables propias de la zona que tienen mayor influencia dentro de la transferencia de calor, dependiendo del Período de medición (5:00 a 6:00 am y 1:00 a 2:00 pm), que permitan establecer una comparación con la norma técnica colombiana. Concluyendo que la radiación solar, es la variable principal que afecta hasta tal punto de hacer que la transferencia de calor dependa de la irradiación en el Período de 1:00 a 2:00 pm, mientras que en el Período de 5:00 a 6:00 am al presentarse una radiación solar casi nula, hace que la transferencia de calor dependa de otros mecanismos como la convección, demostrando así que el resultado de las cargas térmicas generadas en un puente dependen de la variación climática de la ciudad donde se realice el análisis.

5. Marco Legal

Por tratarse de obras que buscan beneficios para la movilidad y comunicación de gran cantidad de pobladores, en aras de responder ética y legalmente, a diseños y ejecuciones de obra de gran magnitud, éstas, necesariamente, deben ser ajustadas a las disposiciones normativas, que internacional y localmente, se destinan para orientar y regular todo el proceso de diseño, elaboración y seguimiento estructural.

Estudiar la variación de la temperatura en un puente viga mixto, como lo es el puente vehicular de Terreros, en el municipio de Soacha, requiere, comprender que el factor climático, se compone de una gran variedad de elementos que interactúan complejamente, como lo asumen, (Inzunza, y otros, 2011, pág. 2) al concebir éste como las variantes ocasionadas en un espacio y un tiempo determinado, producto de la cercanía o lejanía al mar y continente. En este sentido, es necesario contemplar para el factor clima, las denominadas singularidades que pueden ser producidas bien sea por forzamientos internos, las inestabilidades en la atmósfera y el océano, o externos, como la intensidad de la radiación solar, producida por la concentración de los gases efecto invernadero, ocasionados por la acción del hombre (pág. 3). De esta manera, resulta pertinente, atender las indicaciones de la IPCC (2007), que considera los cambios del clima como una variación prolongada en el tiempo y que se puede medir estadísticamente (Inzunza, y otros, 2011, pág. 4)

Al atender estas consideraciones sobre el factor clima y su complejidad, resulta de preponderancia acercar la reflexión a las variaciones de la temperatura sufrida por una estructura de las características propias de un puente de viga mixto, lo cual conduce a la determinación de un marco legal que se destine al favorecimiento de la obra como tal y de los beneficios que se esperan para la comunidad a partir de su diseño y ejecución.

5.1. Marco Legal Internacional

El orden jurídico interno colombiano, se funda en experiencias normativas de otras latitudes, que le permiten asimilarse a las orientaciones y regulaciones, aplicables a la comunidad internacional; de manera pues, que, en aras de promover, desde la Ingeniería Civil, obras, con un mínimo de requisitos legales, se ajusten a los cánones de diseño y construcción, debidamente establecidos.

Bajo estas premisas, se sigue el marco regulador internacional, establecido por la Standard Specifications for Highway Bridges, especificaciones AASHTO. que por encargo del

gobierno nacional a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS – y convenio suscrito con el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías – INVIAS – que se permite en cuanto al diseño de estructuras vehiculares en el territorio nacional, a través de la metodología LRFD (Load and Resistance Factor Design), que según él (Ministerio de Transporte, 2014, pág. 2), entre otras, busca la mejora continua en la detección de peligros sísmicos y cargas vehiculares en Colombia.

Normas que además se acepta cumplir, en el marco del (Eurocódigo 4, 1994), que reglamenta los proyectos de estructuras mixtas de hormigón y acero, definiéndolos como elemento estructural compuesto por hormigón y acero, adheridos en frío, interconectados para limitar el desplazamiento longitudinal y su separación

5.2. Marco Normativo Interno Colombiano

Colombia entonces, responde a los requerimientos internacionales a través del Ministerio de Transporte, expidiendo la Norma Técnica de Diseño de Puentes LRFD – CCP 14 en el marco de la filosofía, las estructuras deben ser seguras, a partir de la consideración de las personas que las van a usar, o se encuentran en el área de influencia, minimizando con esto el margen de error y la posibilidad de la falla, (Ministerio de Transporte, 2014, págs. 1-1), para lo cual hacen un llamado al desempeño profesional y ético, de quienes planean, diseñan, construyen y realizan el debido mantenimiento de las estructuras.

La norma técnica colombiana CCP2014 en sus secciones 3 y 5, que trata directamente de las “cargas y factores de carga” y “estructuras de concreto”, explícitamente establece las orientaciones tendientes a evitar los impactos generados por los cambios térmicos en los puentes. Desde esta óptica, la CCP-14 refiriéndose a las deformaciones de los puentes, en el artículo 2.5.2.6. establece diseños de estructuras vehiculares de alta confiabilidad que minimicen los efectos estructurales y psicológicos en las mismas; de tal manera que se advierte en el C2.5.2.6.1 que son impactos que deterioran, por servicio, el pavimento causando agrietamiento de las losas.

De otra parte, en la sección 3.12 al referirse a las fuerzas debidas a deformaciones superimpuestas, es necesario tener en cuenta las fuerzas internas producidas por el flujo plástico y retracción, que requieren involucrar la variación de la temperatura, aspecto contemplado por la norma en el 3.12.2 que explícitamente señala el procedimiento a tener en cuenta para tableros de concreto con vigas de concreto y acero, que según el artículo 3.12.2.1 indica cual debe ser el intervalo de temperatura para este diseño de puente

Tabla 3
Intervalos de temperatura del procedimiento A

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

Fuente: Artículo 3.12.2.1 Norma CCP-14

Aspectos que recoge la sección 5.7.3.6.1 donde se hace un llamado imperativo a que las juntas y los soportes, permitan las transformaciones ocasionadas por las cargas, flujo plástico, retracción, variaciones térmicas, asentamiento y preesfuerzos

6. Metodología

Metodológicamente se propone un estudio de descripción fenomenológica, siguiendo los enfoques cualitativos y cuantitativos, que permita evaluar las cargas térmicas exógenas y endógenas a las que se halla sometida la estructura vehicular aérea de terreros en el municipio de Soacha. En consecuencia, se realizará la medición de las variaciones térmicas a través de una herramienta tecnológica como lo es la cámara térmica FLIR ONE PRO proporcionada por la facultad de Ingeniería Civil de la UAN. Dichos registros serán tomados a partir de dos puntos de referencia tanto en la parte superior como inferior del puente de Terreros en el municipio de Soacha.

Se estima conveniente realizar mediciones secuenciales durante 20 días calendario en dos Periodos distintos del día que son asumidos en atención a estudios realizados con antelación, inicialmente a las 6:00 am, ya que permite evaluar las condiciones de temperatura mínima y un segundo momento entre las 12:00 m y 1:00 pm donde se permite medir los máximos de temperatura, bien sea, por el pico de radiación solar presentado o por la constante fricción ocasionada por el flujo vehicular.

Seguidamente el material fotográfico obtenido será analizado estadísticamente mediante el software FLIR TOOLS, del cual se espera obtener en términos técnicos, las variaciones de calor que se presentan y de igual manera evidenciar el día con mayor y menor temperatura, así como la incidencia del viento en dicha estructura. Con ello se busca identificar cuáles fenómenos medioambientales y factores externos, debe soportar la obra, permitiendo establecer si los deterioros o fallas observados se encuentran directamente relacionados con las variaciones térmicas que debieron contemplarse, con anterioridad, en la planeación, diseño y construcción del puente según las disposiciones normativas vigentes (Norma Técnica Colombiana CCP 2014).

El estudio comparativo pretende, además del análisis de la temperatura superficial del puente, la revisión del modelo numérico-teórico que permita evidenciar el equilibrio térmico de las diferentes transferencias de calor, a las que se encuentra sometida la estructura en su parte superior e inferior.

6.1. Localización

El municipio de Soacha, reconocido por sus orígenes ancestrales, como la ciudad del Barón Sol (Alcaldía Municipal de Soacha, 2020), geográficamente se ubica en el departamento de Cundinamarca (Figura 13). Limita al norte con los municipios de Bojacá y Mosquera, al sur con Sibaté y Pasca, al oriente con Bogotá distrito capital y al occidente con Granada y San Antonio del Tequendama, convirtiéndose en un lugar de habitación y descanso para muchos de los trabajadores de Bogotá. Su ubicación estratégica le ha convertido en un albergue para muchos migrantes. Considerado el municipio de mayor industrialización en Colombia y de igual forma como lo subraya el proyecto de la (Alcaldía Municipal de Soacha, 2020) el de mayor desorden físico, espacial y ambiental. Encontrándose 4 tipos de vías terrestres: nacional, regional, local y veredal.



Figura 13. Localización general Soacha-Cundinamarca
Fuente: (Ruiz Sepúlveda, 2014)

Según datos suministrados por el DANE y recogidos por la (Alcaldía Municipal de Soacha, 2020), es el municipio que tiene la mayor población regional con un 26.8% del total y uno de los tres municipios con mayor extensión territorial en lo urbano, como lo advierte (Flórez, 2017, pág. 2), en los últimos años ha venido presentando un fenómeno de sobrepoblación, “un municipio que en 1973 tenía 40.000 pobladores; en 2005 fueron censados 393.000 y para este año, el DANE proyectó 533.000, que en realidad podrían ser el doble”, que le obliga a generar alternativas de movilidad, acordes con las necesidades y requerimientos de la

ciudadanía, la cual se viene afectando de manera considerable como consecuencia del cruce de la autopista sur, por medio de la ciudad. En respuesta a esta necesidad, que contribuyó de manera decidida con la prolongación de la vía Transmilenio, surge una posibilidad de conexión de los sectores en que quedó dividida la población. Se proyecta y ejecuta, entonces la construcción de dos puentes vehiculares, uno de ellos como conectante con la avenida Terreros, tal y como se ilustra en la Figura 14



Figura 14 Imagen Puente Vehicular de Terreros
Fuente: (*periodismopublico.com, 2013, pág. 1*)

Desde el Plan Nacional de Desarrollo, destinado a al beneficio de los diferentes territorios de la geografía nacional , departamentos y municipios, debe comprenderse que los proyectos de inversión, de acuerdo con el tipo de bien o servicio, se pueden catalogar como local o no local y que en esta categorización han de contemplarse los de beneficio público local, como regionalizable y entre los cuales se encuentran las redes viales, que según el (DNP, 2015, pág. 7) se pueden proyectar. Se reconoce el alto impacto para la comunidad, ya que con la estructura vehicular se ha favorecido la movilidad, no solo de la población de Soacha, sino de todos los que constante y permanentemente, hacen uso de la autopista sur, encontrando en el puente una vía de salida o acceso a la capital más rápida y por ende de disminución en el tiempo de desplazamiento y descongestión vehicular; innegable resulta ser un proyecto de beneficio para la región.

6.2. Clima de Soacha- Cundinamarca

Se estima que el clima presenta una temperatura promedio de 11.5°C, alcanzando una temperatura máxima de 23°C y mínima de 8 °C, igualmente se asume precipitación media anual de 698 mm con una distribución de lluvias en dos Períodos: de abril- junio y octubre-diciembre, presentándose una época con alto riesgo de heladas a finales de diciembre y comienzos de enero.

7. Resultados

Hecho el acercamiento a los referentes teórico-conceptuales del problema, se procede a realizar la toma de los registros fotográficos de la variación de la temperatura superficial en el puente vehicular de Terreros, acción realizada en el período consecutivo comprendido entre el 15 de agosto y 3 de septiembre de 2020, obteniéndose los siguientes valores (Ver anexo 1).

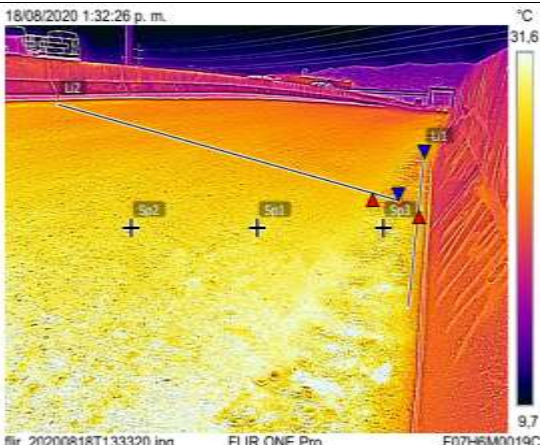



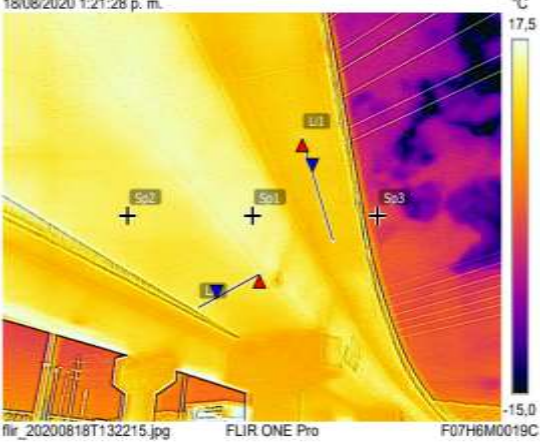

Registro alcanzado a través de la cámara térmica Flir One Pro y analizados mediante el software Flir Tools.

De acuerdo con las especificaciones de la cámara, esta permite observar una mezcla de imágenes térmicas y visibles, para lo cual, se hace necesario el uso de puntos de medición que corresponde al señalamiento de las regiones objeto de estudio. Adicionando tres puntos fijos y constantes en cada foto, denominados Sp1, Sp2 y Sp3, ubicados en la parte central de la captura. Con estas imágenes, se puede alcanzar un promedio de la temperatura, bien sea en °C o °F; cabe anotar, igualmente, que la precisión en el señalamiento de los puntos de interés, se halla sometida a una multiplicidad de factores entre los cuales se puede señalar: la separación y emisividad del cuerpo en estudio y los cambios climáticos (Apliter Tech Partners, 2020).

En atención a estas especificidades, se determina para el presente estudio los puntos de interés, procediéndose a la fijación de los mismos, lo cuales permiten el trazo de líneas imaginarias, localizadas en la parte lateral, a través y en el apoyo del puente. Estos puntos son señalados de acuerdo a la variación de la temperatura superficial, contemplados desde tres objetivos visuales: 1) Parte superior del puente 2) Parte inferior tomando el apoyo y 3) Parte inferior sin apoyo; los puntos denominados Li1, Li2 y Li3 corresponden a los medidores, que permiten el análisis de los mínimos, máximos y promedios del comportamiento térmico en la estructura, como se puede observar en la Tabla 4.

Los registros fotográficos se toman en diferentes horas del día, asumiendo los espacios de tiempo comprendidos entre las 5 y 6 am, denominado Período uno ; y entre las 12:30 y 2 pm llamado Período dos . Estos ciclos de tiempo se toman a partir de los picos mínimos y máximos de radiación, y además en consecuencia con las denominadas horas pico de movilidad en la zona. Es necesario atender factores ambientales que según datos se ubican entre los 8 y 23°C, sin desconocer que, a las horas del levantamiento de la información, el puente se halla sometido a cargas térmicas.

Tabla 4.
Señalamiento de puntos de referencia.

Foto/ vista	Captura cámara térmica	Captura cámara digital
1	 <p>18/08/2020 1:32:26 p. m. °C 31.6 flir_20200818T133320.jpg FLIR ONE Pro F07H6M0019C 9.7</p>	 <p>18/08/2020 1:32:26 p. m. flir_20200818T133320.jpg FLIR ONE Pro F07H6M0019C</p>
2	 <p>18/08/2020 1:21:28 p. m. °C 21.4 flir_20200818T132302.jpg FLIR ONE Pro F07H6M0019C 6.4</p>	 <p>18/08/2020 1:21:28 p. m. flir_20200818T132302.jpg FLIR ONE Pro F07H6M0019C</p>
3	 <p>18/08/2020 1:21:28 p. m. °C 17.5 flir_20200818T132215.jpg FLIR ONE Pro F07H6M0019C -15.0</p>	 <p>18/08/2020 1:21:28 p. m. flir_20200818T132215.jpg FLIR ONE Pro F07H6M0019C</p>

Fuente: Elaboración propia

7.1. Evaluación de la variación de la temperatura registrada por la cámara térmica

Una vez conseguida la información, se requiere hacer un análisis de la misma, identificando para ello las variables a considerar:

Temperatura (°C)

Tiempo (Días)

Períodos 1) 5-6 am y 2) 12:30 – 2 pm

Vistas 1) Superior del puente 2) Inferior con apoyo y 3) Inferior sin apoyo

Puntos de interés Li1) Lateral del puente, Li2)

7.1.1. Promedios de temperatura en vistas según el período

A continuación, se realizará el análisis correspondiente a los registros fotográficos obtenidos en cada uno de los periodos, teniendo en cuenta los puntos de referencia para captura de la imagen: superior, inferior con apoyo e inferior sin apoyo del puente

7.1.1.1. Vista superior del puente

En la Tabla 5 se reconocen los valores obtenidos según la variación de la temperatura, registrada en los dos períodos señalados y teniendo en cuenta los puntos de interés Li 1 y Li 2, que corresponden al lateral y a través del puente, respectivamente, así como también el promedio total de la estructura.

Tabla 5.

Promedios de temperatura para la foto o vista 1: parte superior del puente

Promedios de temperatura para la foto o vista 1: parte superior del puente							
Días	Período uno			Período dos			General
	Li 1 Lateral	Li 2 A través	General	Li 1 Lateral	Li 2 A través	General	
1	14,9	14,3	14,6	37,1	35,8	36,45	
2	14,8	13,7	14,25	34,5	32,6	33,55	
3	14,6	13,9	14,25	18,9	19,9	19,4	
4	10,4	9,1	9,75	28,2	28	28,1	
5	11,8	9,2	10,5	37,2	39,8	38,5	
6	10,4	7,2	8,8	28,6	30,8	29,7	
7	10,4	9,9	10,15	39,3	39	39,15	
8	10	9,3	9,65	26,4	30,8	28,6	
9	11,2	9,5	10,35	18,7	19,2	18,95	
10	7,6	7,9	7,75	47,8	46,8	47,3	
11	12,3	9,4	10,85	34,6	36,3	35,45	
12	8,4	5	6,7	25,1	27,4	26,25	
13	9,3	9	9,15	28,2	28,8	28,5	
14	10,7	7,5	9,1	34,6	34,1	34,35	
15	7,9	4,9	6,4	44,1	43,7	43,9	
16	14,1	12,3	13,2	27,8	29,1	28,45	

17	9	6,4	7,7	20,7	20,4	20,55
18	8,4	5,5	6,95	41,8	40,8	41,3
19	14,5	14,3	14,4	16,2	15,8	16
20	11,1	10,4	10,75	33,1	33,9	33,5

Fuente: Elaboración propia

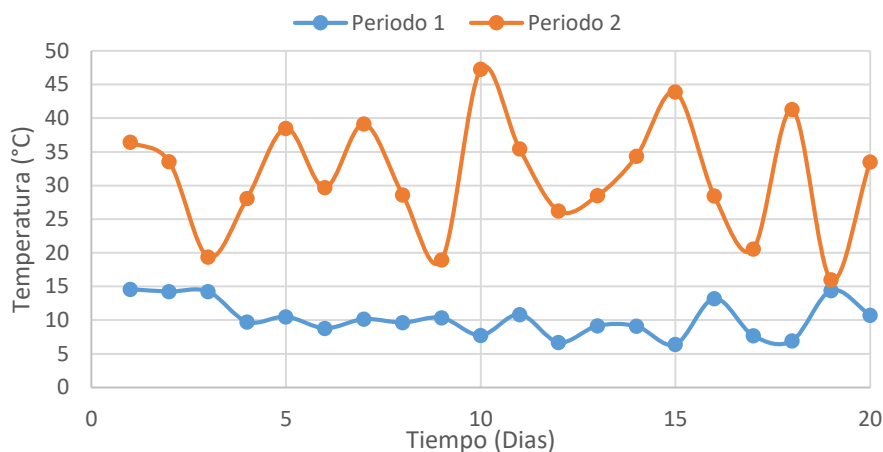


Figura 15. Variación de la temperatura superficial superior en el puente por Períodos (Vista 1)

Fuente: Elaboración propia

Hablar de la temperatura superficial, en los períodos de tiempo estudiados, a partir de los resultados y la gráfica de los mismos, permite observar una variación estándar en las horas de la mañana oscilando entre los 6,4 y 14,6 °C, mientras que en las horas del mediodía fluctúa de manera considerable, alternando entre los 16 y 47,3 °C. Es de resaltar que esta variación, para ciertos días, se presenta de manera abrupta, alcanzando registros mínimos en la mañana y máximos en horas de la tarde, manteniéndose esta diferencia, como se aprecia en los días 10, 15 y 18 de la toma de datos. Este diferencial de temperatura puede estar asociado a la exposición directa de la parte superior de la estructura a los rayos solares y a los cambios ambientales, como a los efectos ocasionados por la fricción del tráfico vehicular, que al presentar temperaturas altas permiten el fenómeno de dilatación de las losas en la estructura

7.1.1.2. Vista inferior del puente con apoyo

En la Tabla 6 es evidente el registro de los tres puntos de interés: Li1, Li2 y Li3; cabe anotarse que, al verse reflejado el apoyo por la parte inferior, en esta toma, los medidores corresponden al lateral, el apoyo y a través del puente, respectivamente, a diferencia de las vistas 1 y 3, donde solo se muestran el lateral y a través del puente.

Tabla 6.
Promedios de temperatura para la foto o vista 2: parte inferior del puente con apoyo

Promedios de temperatura para la foto o vista 2: parte inferior del puente con apoyo								
Días	Período uno				Período dos			
	Li 1 Lateral	Li 2 Apoyo	Li3 A través	General	Li 1 Lateral	Li 2 Apoyo	Li3 A través	General
1	16,8	16,5	17,4	16,9	21,6	20,5	20,6	20,9
2	15,7	14,6	16,1	15,5	23,4	21,3	21,2	22,0
3	15,2	14,2	15,6	15,0	17,3	15,6	16,2	16,4
4	12,8	13,1	13,7	13,2	18,8	17,1	17,5	17,8
5	13	12,6	13,9	13,2	23,1	20,4	20,8	21,4
6	11,7	11,2	12,8	11,9	23,9	21,2	21,8	22,3
7	15,5	15	16,2	15,6	26	22,7	22,8	23,8
8	13,9	13,3	14,5	13,9	22,2	19,3	19,8	20,4
9	12,6	12,1	13,3	12,7	17,1	15,7	16,3	16,4
10	12,8	12,5	13,4	12,9	28,3	23,1	24,5	25,3
11	14,3	13,6	15,5	14,5	26	22,1	23	23,7
12	12,2	11,5	13,6	12,4	21,9	19,1	20,5	20,5
13	14,5	13,8	15,1	14,5	23	20,7	21,6	21,8
14	14,1	13,9	15,4	14,5	25,5	21,9	22,2	23,2
15	13,3	13,2	14,9	13,8	27,4	22,1	23,7	24,4
16	15,3	13,9	15,7	15,0	18,1	15,4	15,3	16,3
17	13,8	13,1	14,6	13,8	19,4	17,2	18,3	18,3
18	13,8	13,1	14,6	13,8	27,5	22,5	24,2	24,7
19	16,5	15,3	16,6	16,1	16,3	14,6	15,6	15,5
20	15,2	14,6	15,3	15,0	24,8	21,1	21,7	22,5

Fuente: Elaboración propia

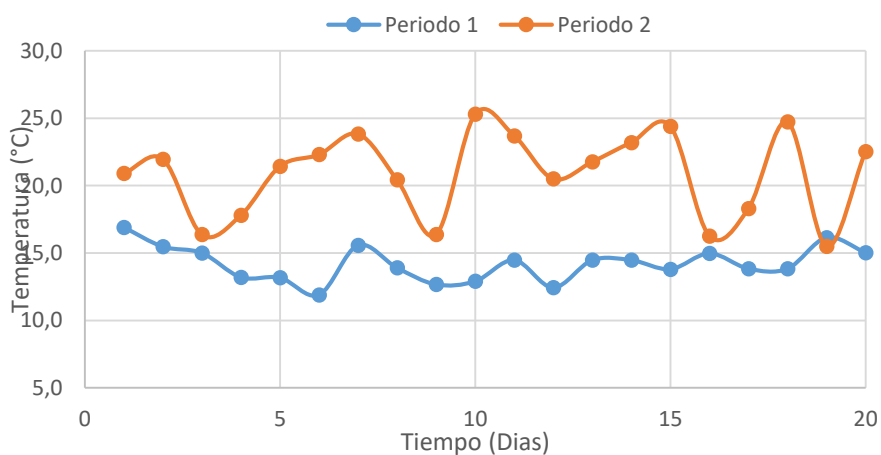


Figura 16 Variación de la temperatura superficial inferior con el apoyo, por períodos (Vista 2)
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16, se aprecia el comportamiento de la temperatura de la vista inferior del puente con apoyo, es de resaltar que, en horas de la mañana, esta se ubica entre los 11,9 y

16,9°C, con una variación más o menos estable, en comparación con la temperatura ambiente del municipio, arriba de 3°C; en horas de la tarde el cambio se muestra, como en la fotografía anterior, fluctuando entre 15,5 y 25,3°C de manera desigual. Comparativamente con los registros de la temperatura superior, es de resaltar que en los días 3, 16 y 19, esta se aproxima en los dos espacios, reflejando similitud en ambos períodos.

7.1.1.3. Vista inferior del puente sin apoyo

Los datos de la Tabla 7 que se presentan a continuación, corresponden a las temperaturas promedio registradas en la vista inferior sin apoyo, donde Li1 representa el lateral y Li2 el a través del puente.

Tabla 7.

Promedios de temperatura para la foto o vista 3: parte inferior del puente sin apoyo

Días	Período uno			Período dos		
	Li 1 Lateral	Li 2 A través	General	Li 1 Lateral	Li 2 A través	General
1	17,6	16,5	17,05	17,3	16	16,65
2	17,7	16,2	16,95	21,8	21,7	21,75
3	17,1	16,1	16,6	16,1	16,3	16,2
4	13,3	13,5	13,4	15,4	16	15,7
5	13,4	13,5	13,45	21	20,4	20,7
6	12,7	12,8	12,75	20,7	21,7	21,2
7	17,4	16,5	16,95	22,7	23,2	22,95
8	15,3	14,3	14,8	19,5	19,8	19,65
9	13,7	13,5	13,6	16,5	17	16,75
10	13,1	13,4	13,25	24	24,9	24,45
11	16,8	15,6	16,2	23,4	23	23,2
12	14,2	13,3	13,75	20,4	20,5	20,45
13	15,4	15	15,2	21,5	21,5	21,5
14	15,6	15,2	15,4	21,9	22,3	22,1
15	16	15	15,5	24,8	24,5	24,65
16	17	15,8	16,4	16,4	16	16,2
17	15,2	14,7	14,95	17,9	18,1	18
18	15,6	15,4	15,5	25,2	25	25,1
19	18	16,8	17,4	16,2	15,8	16
20	15,1	15,2	15,15	22,4	22,2	22,3

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos resultados, conviene determinar visualmente, fue la conducta de la temperatura en los períodos de tiempo fijados. En la Figura 17, se observan los siguientes valores mínimos y máximos de esta variación para los dos periodos, los cuales se hallan entre 12,75 - 17,4°C para el ciclo de la mañana, y 15,7 - 25,1 °C para el de la tarde. Se aprecia, que a diferencia de las dos anteriores vistas los mínimos de temperatura alcanzados en horas de la tarde se igualan con los máximos de temperatura en la mañana, como es el caso de los días 1, 3, 4, 16

y 19; de otra parte, los picos de variación máxima de temperatura alcanzados corresponden a los días 10, 15 y 18, presentándose como constante para las tres vistas.

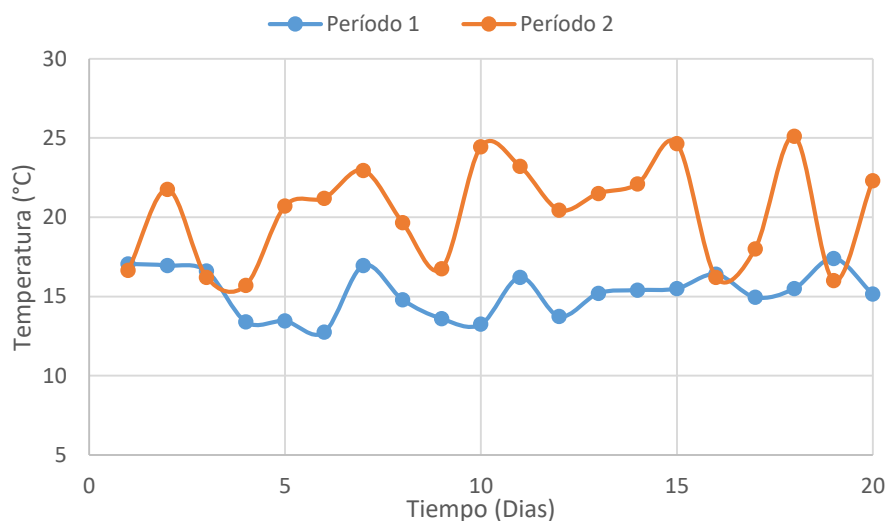


Figura 17. Variación de la temperatura superficial inferior sin apoyo, por períodos (Vista 3)
Fuente: Elaboración propia

Para concluir con este análisis, es de resaltar que en el período uno de las tres vistas la variación es más o menos estable oscilando entre 4 y 8°C y para el período dos se muestra con unos altibajos de consideración fluctuando en las vistas 2 y 3 en más o menos 10°C, a diferencia de la vista 1 sobrepasando los 25°C promedio. Es significativo para el presente estudio tener en cuenta el registro alcanzado el día 19, el cual, para las tres vistas, en el segundo período, disminuye considerablemente, que se asume en la foto tomada, sea ocasionado gracias a la acción de la temperatura baja por efecto de la lluvia, como se evidencia en la Figura 18, pudiéndose presentar una contracción de la estructura de efecto de las bajas temperaturas.



Figura 18. Evidencia día 19 (02 de septiembre)) presencia de precipitaciones en la zona
Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Análisis de la temperatura según los puntos de interés por período

En este acápite se busca confrontar la variación de la temperatura en los puntos señalados como medidores: lateral, apoyo y a través del puente.

7.1.2.1. Puntos de interés en vista 1

De acuerdo con los registros, en la Figura 19 se toman solo dos puntos de interés, denominados Li1 y Li2, en ausencia del medidor marcado en el apoyo del puente.

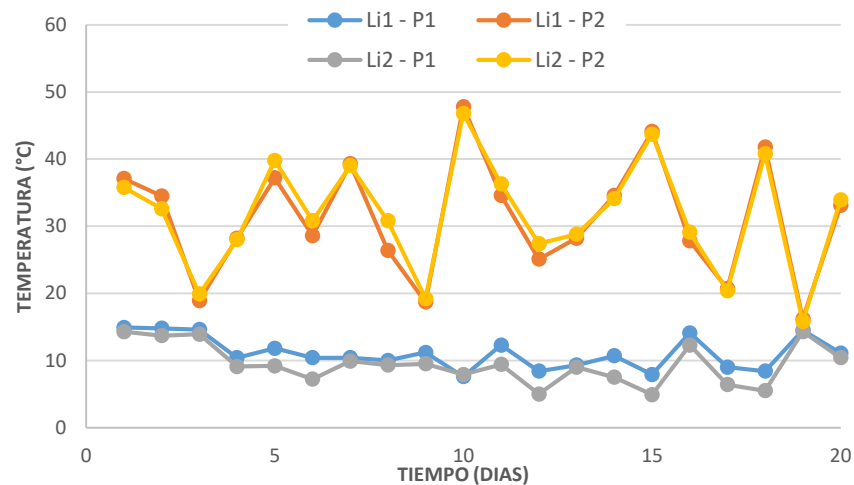


Figura 19 Variación de la temperatura en los puntos de interés (Vista 1)
Fuente: Elaboración propia

Son varios los aspectos que se deben resaltar en esta gráfica: primeramente, subraya que en el periodo 1, la Li1 que corresponde a la temperatura lateral del puente se ubica en la mayoría de los días tomados por encima de la Li2, que corresponde a la sección transversal del puente, sin embargo, las mismas variaciones de temperatura en horas de la tarde, presentan un comportamiento similar en los puntos para todo el período.

Los cambios bruscos de temperatura, como el registrado el día 10, posibilitan una dilatación fuerte, afectando considerablemente las losas del tablero superior, sometiénndola nuevamente a contracciones toscas en horas de la noche, cuando se baja la radiación solar.

7.1.2.2. Puntos de interés en vista 2

En la vista 2 que representa la parte inferior del puente con apoyo, se reconoce que, en esta toma, la cámara arrojó la identificación de esos tres medidores, tomados como los puntos de referencia, Li1, Li2 y Li3 (lateral, apoyo, a través). Como dato relevante, se resalta que la temperatura mayor para el período uno (P1), se ubica en la Li3 (a través), mientras que en el período dos se halla en la Li1 (lateral); así mismo la temperatura menor se registra, para ambos períodos, en la Li2 (apoyo). En análisis de la Figura 20 se puede constatar igualmente, que la variación de la temperatura en el período uno para los tres puntos, es similar, mientras que en el período dos la diferencia entre Li1 respecto de Li2 y Li3 es bastante significativa.

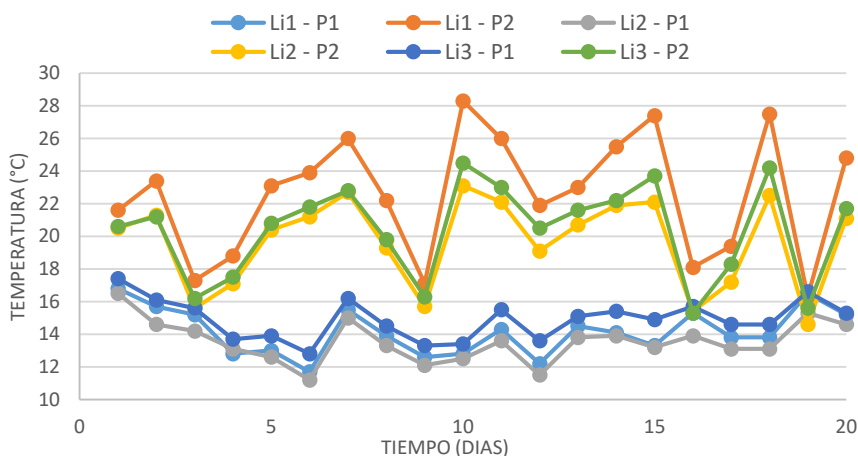


Figura 20 Variación de la temperatura en los puntos de interés (Vista 2)

Fuente: Elaboración propia

7.1.2.3. Puntos de interés en vista 3

Se retoma nuevamente la variación de la temperatura sólo en dos puntos, pues desaparece el punto señalado en apoyo, el cual se registra en la gráfica anterior. En el período uno la Li1

(lateral) sigue estando por arriba del Li 2 (a través), en el período dos se registra similitud de ambos puntos; sin embargo, se observa que en muchos de los días la temperatura del período dos está por debajo del período uno (días 1, 3, 4, 9, 16 y 19), como se observa en la Figura 21.

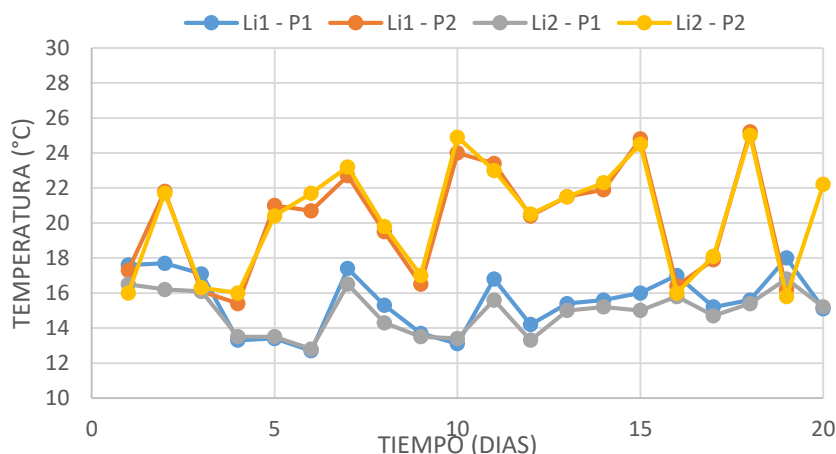


Figura 21 Variación de la temperatura en los puntos de interés
Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Variación de la temperatura en el puente para los períodos (P1 y P2)

A partir de los períodos 1 y 2, se pudo registrar a través de la cámara Flir One Pro, una variación de la temperatura en las partes superior e inferior del puente, con una desviación altamente significativa.

Analizado el resultado para el período uno, la Figura 22 traduce una variación de temperatura en condiciones irregulares para los 20 días oscilando, en la parte superior del puente, entre 4,9 y 14,3°C, y en la parte inferior, entre 12,8 y 17,4°C. Resulta evidente el registro de temperaturas menores en la parte superior, que, en la inferior del puente, debido, entre otras, a la exposición directa a factores medio ambientales, que permiten que la temperatura sobre esta superficie disminuya en horas de la mañana. Así mismo, en cuanto a la variación, los cambios presentados se muestran mayormente inestables en la parte superior que en la inferior; los picos máximos de temperatura se alcanzan para el tablero superior los días 1, 3, 16 y 19, coincidentalmente los máximos para el inferior se ubican en el 1,7 y 19.

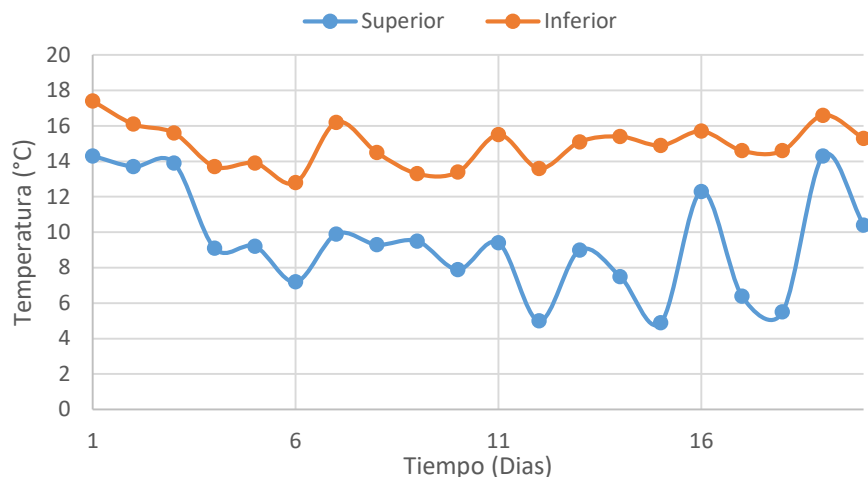


Figura 22 Temperatura superficial en el período uno (in situ)

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, en contraste con la temperatura del período uno (mañana), se puede observar en la Figura 23, la influencia en la variación de la temperatura de los rayos solares sobre todo para la parte superior del puente; los registros del tablero superior, que en la figura anterior se encontraban por debajo de la inferior aumentan ampliamente, presentando una variación fuerte, que oscila entre 19,2 y 46,8°C; de igual modo, las temperaturas del tablero inferior registran un rango más elevado que en horas de la mañana, alcanzando diferencias entre los 15,3 hasta los 24,5°C, cambios que, presentan una variación más o menos estable para todo el tiempo en estudio.

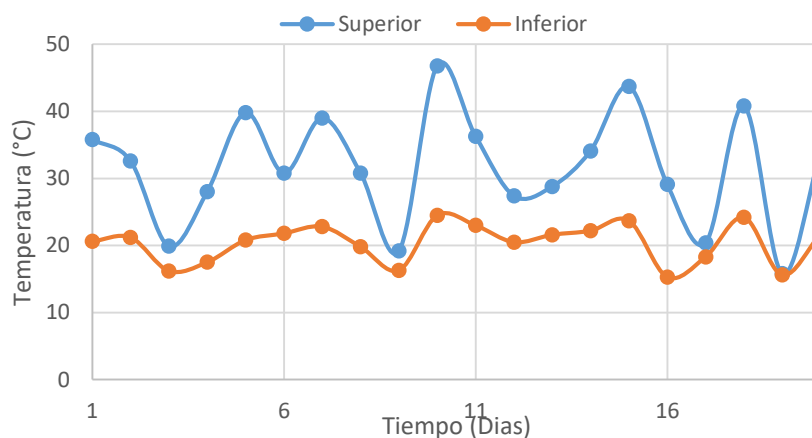


Figura 23 Temperatura superficial en el período dos (in situ)

Fuente: Elaboración propia

7.1.4. Variables Climatológicas

Medir la variación de la temperatura en un puente vehicular, demanda la consideración de unas variables climatológicas, que para el caso responden a información suministrada por estaciones cercanas, las cuales van a permitir, en detalle, conocer el comportamiento y variación de la temperatura del puente. Se tiene, entonces la temperatura ambiente (TA), radiación (Ra), precipitación (Pr) y velocidad del viento (Vv).

En cuanto a las fuentes de información, es de mencionar la manera como se llegó a la obtención de los datos, los cuales, fueron comparados con el fin de comprender los fenómenos presentados e identificar los factores que intervienen en la variación de temperatura. Ver Tabla 8

Tabla 8.
Fuentes de información climatológica

Fuente de información	Variable
IDEAM – Estación San Jorge Granja [21205720] (Ver anexo 2)	Temperatura seca diaria (Max – Min) Precipitación
Weather Underground - Estación Aeropuerto Internacional El Dorado. (Ver anexo 3) https://www.wunderground.com/history/daily/co/bogot%C3%A1/SKBO/date/2020-9-3 (Weather Underground , 2020)	Temperatura Velocidad del Viento
Giovanni – EarthData – NASA https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvMp&starttime=&endtime=&dataKeyword=incident%20radiation (Giovanni - EarthData - NASA, 2020)	Radiación solar
Weather Spark - MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis de NASA. https://es.weatherspark.com/d/23345/9/1/Tiempo-promedio-el-1-de-septiembre-en-Soacha-Colombia#Sections-SolarEnergy (Weather Spark - MERRA 2 Modern-Era, 2020)	Radiación solar, 1, 2, y 3 de septiembre

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.1. Temperatura

Verificar el fenómeno climatológico, hace pensar en los cambios exógenos y endógenos que experimenta un cuerpo, que alcanza niveles mínimos y máximos de temperatura en el transcurso del día; estas modificaciones, producidas gracias a la interacción con otros fenómenos climáticos (Velocidad del viento, humedad, precipitación), son las que determinan el comportamiento térmico de una estructura y que posiblemente generan procesos de dilatación y contracción produciendo el denominado alabeo diurno o nocturno.

Según información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), los registros corresponden a la temperatura seca del aire, la cual no vincula las demás variables a considerar (radiación, humedad y velocidad del aire), estos datos se

obtienen de la estación San Jorge La Granja [21205720], que se encuentra localizada dentro del radio de la zona de estudio, identificada como la más cercana de las estaciones pertenecientes a la institución (ver Figura 24); caso contrario la temperatura proporcionada por Weather Underground, registrada por la estación Aeropuerto Internacional El Dorado, la cual refleja la temperatura ambiental, involucrando las demás variables (ver Figura 25).

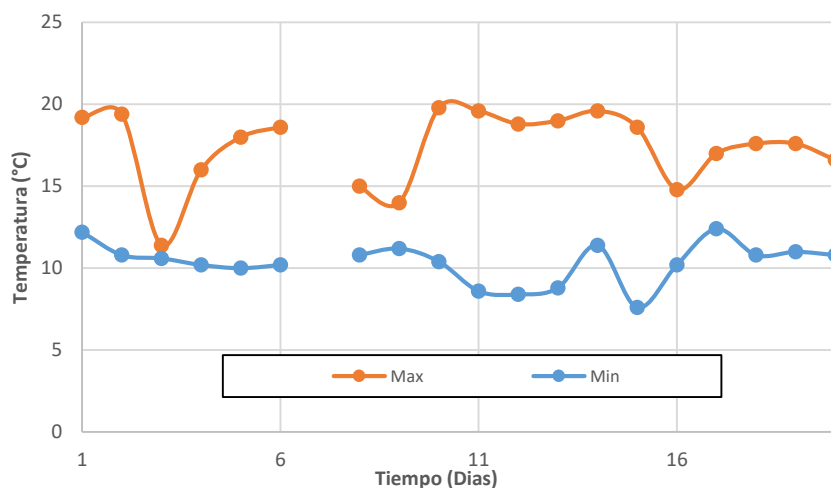


Figura 24. Temperatura seca diaria - San Jorge La Granja
Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por el IDEAM

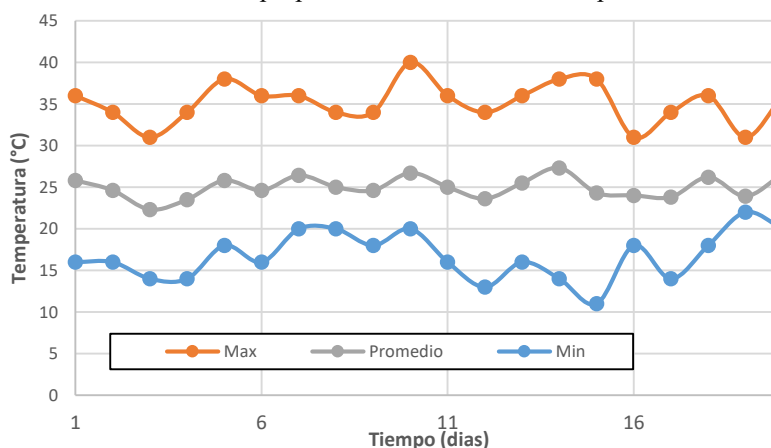


Figura 25. Temperatura diaria - Aeropuerto El Dorado
Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por (Weather Underground , 2020)

Comparativamente se puede apreciar, los cambios de temperatura, donde la seca, fluctúa entre los 19.8 y 7.6 °C (ver Figura 24), entre tanto la temperatura que se registra teniendo en cuenta los demás factores climáticos, oscila entre los 40 y 11°C; a partir de estos registros, se podría decir, que la temperatura de la zona presenta similitud, en tanto que para la seca y la

ambiente sus valores se corresponden mostrando picos máximos o mínimos en los mismos tiempos, no obstante, las distancias de los dos puntos de referencia (estación San Jorge La Granja y Aeropuerto El Dorado). En la Figura 24, se observa un intervalo, sin marcación que corresponde a el día 21 de agosto (Día 7 de toma de datos), que puede obedecer a fallas humanas o técnicas en la estación.

Ahora bien, es necesario para el presente estudio establecer un análisis comparativo entre la temperatura ambiente y la temperatura registrada por la estructura vehicular, teniendo en cuenta los períodos definidos para la toma de datos (P1 = 5 – 6 am y P2 = 12:30 – 2 pm). Se toma para el análisis los picos de temperatura máxima y mínima, identificados a partir de los puntos de medición en las tres vistas (superior, inferior con apoyo e inferior sin apoyo), como se señala en las Figura 15Figura 16Figura 17

Es de apreciar que los picos máximos o mínimos de la temperatura en el puente son semejantes a los picos máximos o mínimos de temperatura registrada en el ambiente, como se observa Figura 26, que evidencia que el comportamiento en la variación de la temperatura de la estructura se corresponde con los cambios de climáticos de la zona; resaltar que los picos máximos de temperatura están dados en los días 5, 10, 15 y 18, y los mínimos los días 4, 6, 12 y 15.

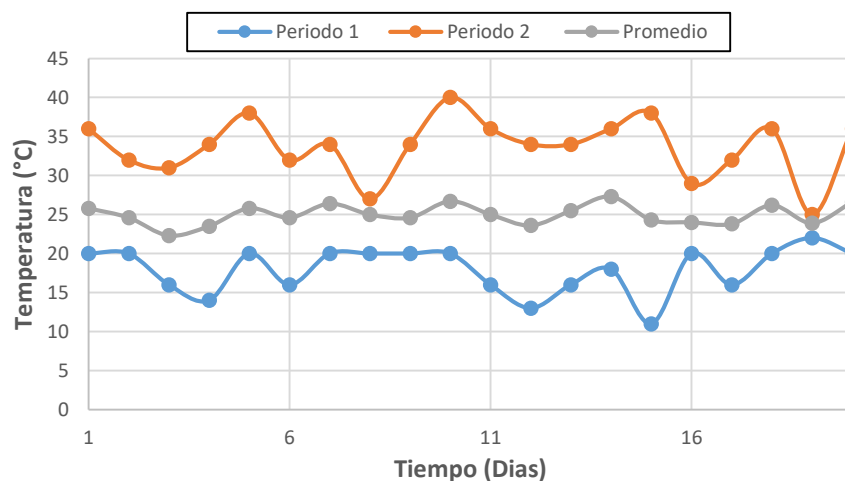


Figura 26. Temperatura por períodos - Estación Aeropuerto El Dorado
Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por (Weather Underground , 2020)}

7.1.3.2. Radiación Solar

Corresponde a la energía producida por los rayos solares, que se propagan en el espacio constituyéndose en el factor de mayor incidencia en los cambios climáticos, a través de la

generación de la temperatura terrestre; corresponde a la atmósfera el control en cuanto a la variación de la temperatura, entre el día y la noche. La radiación solar es recibida por todos los cuerpos, bien sea por absorción o por reflejo.

La estructura vehicular se ve afectada por la radiación solar gracias al mecanismo de transferencia de calor denominado radiación, afectando directamente la parte superior, que presenta una exposición constante a los rayos del sol, mientras que la parte inferior se somete a un proceso de radiación indirecto, producto del reflejo a través de otros cuerpos.

La medición de la radiación en la zona de estudio, ha sido obtenida de la página Giovanni, observada en la Figura 27, donde se presentan los valores registrados por periodos P1 y P2, señalando en la parte media el promedio del día. Es de consideración, para el presente estudio, que los resultados de la radiación para el P1 que corresponde a las horas de la mañana (5 - 6 am), esta alcanza valores cercanos a 0 w/m^2 ; así como representativo resulta la determinación de picos mínimos y máximos en el P2 (12:30 – 2 pm), que oscila entre $432,25$ y 1005.75 w/m^2 .

Se concluye que los niveles de radiación concuerdan con la temperatura registrada en el puente en los dos períodos y días de la toma de datos; sin desconocer que los niveles de radiación también son modificados por fenómenos climatológicos que se pueden evidenciar en los registros fotográficos alcanzados, que muestran días con fuerte presencia de nubes. Cabe aclarar, que los datos de radiación solar para los últimos tres días en estudio, en ausencia de información en la plataforma Giovanni, se obtienen de Weather Spark.

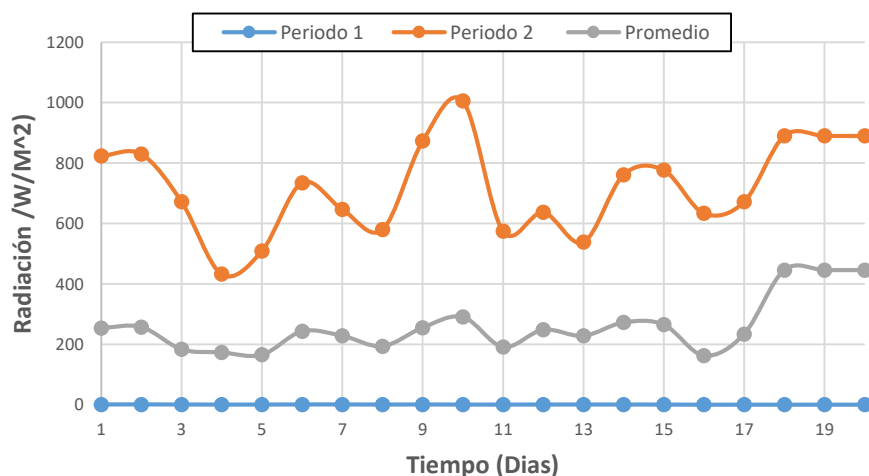


Figura 27. Radiación por períodos

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados de (Giovanni - EarthData - NASA, 2020) y (Weather Spark - MERRA 2 Modern-Era, 2020)

8.1.3.3. Velocidad del viento

Esta variable, se considera, afecta directamente el proceso de transferencia de calor por convección, pues a través de él se puede determinar el coeficiente de convección de los materiales. Si bien es cierto, la determinación de la temperatura de una estructura se ve influenciada por la velocidad del viento, ésta debe asumir todos fenómenos que la atraviesan en determinado momento (radiación solar, nubosidad, precipitación, temperatura, movilidad).

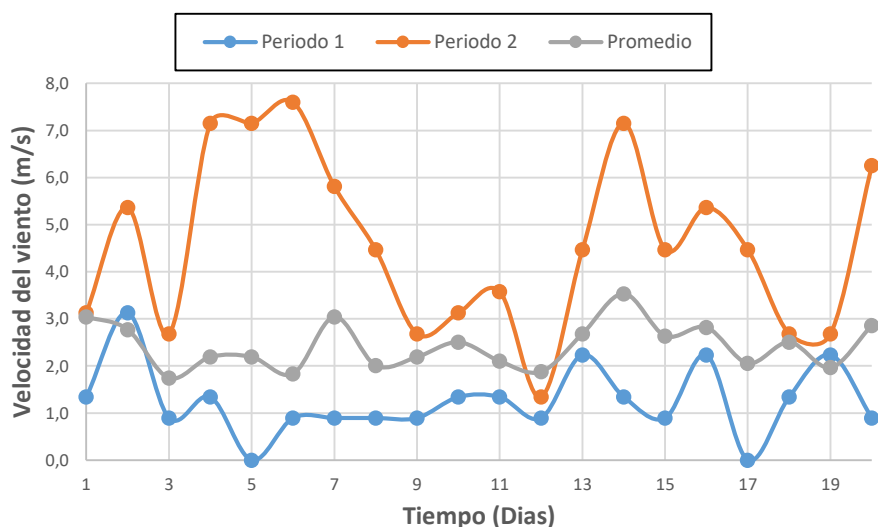


Figura 28. Velocidad del viento por períodos

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por (Weather Underground , 2020)

En la Figura 28 se observa una velocidad del aire bastante fluctuante en P1 y P2, que deja como resultado un promedio en igual de condiciones, que se puede calcular entre 1,7 y 3,5 m/s; se muestra una variación para el P1 que va desde los 0 hasta los 3,1 m/s y para el P2 entre 1,3 y 7,6 m/s, presentando variaciones fuertes. En comparación con la Figura 15, la relación entre la velocidad del viento y la temperatura no es directa ni inversamente proporcional.

8.1.3.4. Precipitación

Este factor que representa una de las características constitutivas de la atmósfera, contribuye en la definición de los rasgos climáticos de la zona, que se somete a altas o bajas precipitaciones, que determinan la variación de la temperatura.

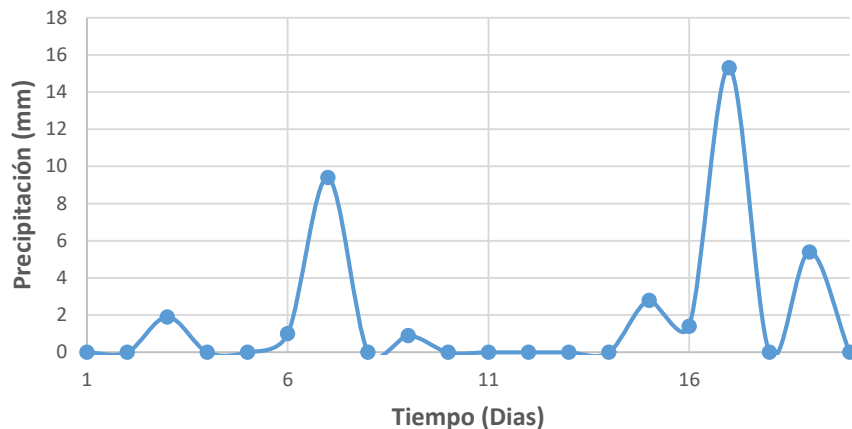


Figura 29. Precipitación media diaria

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por el IDEAM

De la Figura 29 se puede concluir que el período de tiempo utilizado para la toma de registros de la variación de la temperatura (15-agosto al 3 de septiembre), 11 días no presentan precipitaciones, considerados en la Figura 30 como traza de precipitación; en los días restantes se advierten unas pequeñas muestras de precipitación alcanzando en el día 17 15,3 mm, medida que equivale a 15,3 L/m²; en este entendido, según la tabla de clasificación de la precipitación (ver Figura 30), puede ser considerada como una lluvia moderada, a diferencia de los demás días que presentan precipitaciones ligeras o débiles.

Tabla correspondencia intensidad de precipitación		
Color	Intens. (mm/h)*	Tipo de precipitación
	mayor a 250	Granizo de gran tamaño
	mayor a 250	Torrencial y granizo
	100 a 250	Torrencial y prob. granizo
	40 a 100	Lluvia muy fuerte a torrencial
	16 a 40	Lluvia fuerte
	6'5 a 16	Lluvia moderada
	2'5 a 6'5	Lluvia ligera
	1 a 2'5	Lluvia débil
	0'4 a 1	Lluvia muy débil
	0'1 a 0'4	Traza de precipitación

* 1 mm de precipitación es equivalente a 1 (l/m²)

Figura 30 Clasificación de la precipitación según la intensidad

Fuente: (Meteolobios, 2013)

Analizadas, cada una de las transferencias de calor, es de anotar que la estructura vehicular de terreros en cumplimiento de la norma CCP2014, registra una variación en la temperatura, a partir de los diferentes factores que se han identificado, intervienen en el comportamiento de la misma. Se tiene que la energía se transfiere, bien sea por conducción, convección o por radiación y dependiendo de estos mecanismos, la estructura está sometida a la dilatación y contracción, que permiten a su vez, apreciar el denominado alabeo diurno o nocturno. Así mismo, se deben mencionar la multiplicidad de factores, que inciden, tanto interna como externamente, en su variación térmica; estos elementos corresponden en una gran proporción a fenómenos medioambientales, entre los que se pueden señalar: temperatura ambiente, radiación solar, nubosidad, velocidad del viento, precipitaciones, entre otros; sin desconocer, claro está, que esa variación puede ser ocasionada por efecto de la movilidad y por ende de la fricción a la que se somete el puente.

7.2. Evaluación de la Variación de la Temperatura Teórica

De acuerdo con lo señalado anteriormente, los cuerpos se ven expuestos a transferencias de calor, generadas por diferentes factores, como lo son los ambientales (radiación solar, temperatura ambiente, velocidad del viento, entre otros), en consecuencia, y con el ánimo de verificar dichas transferencias, se realiza, mediante modelación numérica, un análisis térmico superficial de la estructura en la parte superior del puente (T1), con exposición directa a los rayos solares y la inferior (T3), sin exposición directa a la radiación solar; y con ello, comparar los registros obtenidos mediante la cámara térmica Flir One Pro y los datos teóricos calculados. Cabe mencionar que, el análisis teórico se realiza bajo estado estacionario y condiciones de equilibrio térmico en el puente, como se observa en la Figura 31, obteniendo las ecuaciones 6 (Equilibrio térmico en la parte superior del puente) y 7 (Equilibrio térmico en la parte inferior del puente), que permitirán calcular la temperatura T1 y T3 en la estructura vehicular de Terreros, para el período de tiempo en análisis. Al observar la figura, se puede apreciar que en ella aparecen tres registros de temperatura (T1, T2, T3), donde T2 corresponde a la temperatura interna de la estructura, que para el presente estudio no será medida.

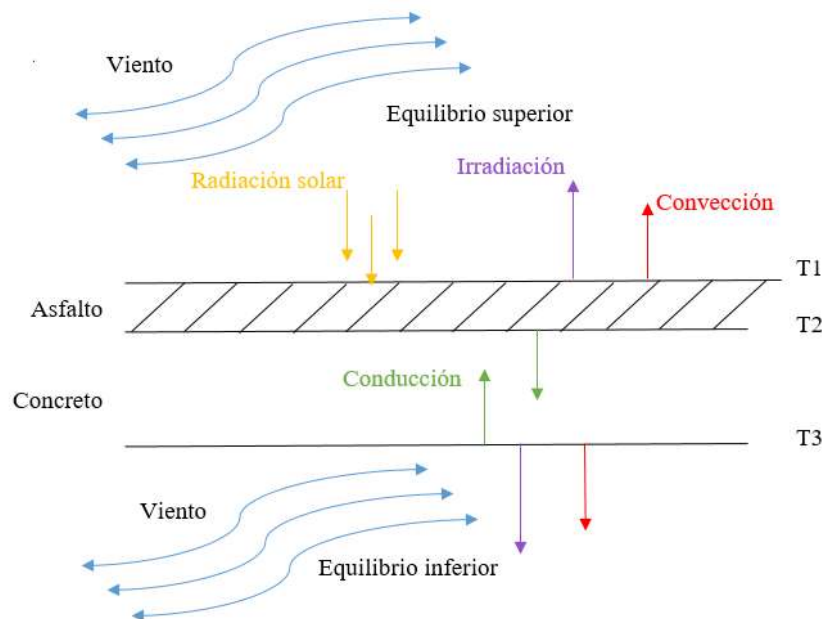


Figura 31. Puente en estado estacionario y condiciones de equilibrio térmico
Fuente: Adaptado de (Patarroyo & Meneses , 2020)

$$E_s + E_{cv} + E_i + E_{cd} = 0 \quad (6)$$

$$E_{cv} + E_i + E_{cd} = 0 \quad (7)$$

7.2.1. Energía solar – E_s (W/m^2)

Esta se presenta gracias a la exposición directa de los rayos solares sobre la estructura y se determina por el producto entre coeficiente de absorción del material expuesto y la radiación solar a la que fue sometido.

Esta energía solo se tiene en cuenta para el cálculo de la temperatura en la parte superior del puente, la cual se encuentra recubierta por una capa de asfalto; mientras que, en la parte inferior, por no encontrarse directamente con los rayos solares, ésta se omite; así mismo mencionar que para la parte inferior solo se cuenta con la capa de concreto.

$$E_s = \alpha * \text{Radiación solar} \quad (8)$$

Donde α es el coeficiente de absorción que depende del material (asfalto) y la radiación solar es la registrada en los días en estudio (15 de agosto al 03 de septiembre), para cada periodo (P1 y P2), como se ilustra en la Figura 27

7.2.2. Energía por convección – Ecv

Para el cálculo de esta energía, es necesario hallar el coeficiente de convección (h_c), quien es afectado por acción de la velocidad del viento (V), dato suministrado por Weather Underground - Estación Aeropuerto Internacional El Dorado y representado en la Figura 28

$$\begin{aligned} h_c &= 6 + 4V, & V \leq 5 \text{ m/s} \\ h_c &= 7.4V^{0.78}, & V > 5 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (9)$$

$$E_{cv} = h_c A (T_1 - T_A) \quad (10)$$

Dónde, A es igual al área estudiada y T_A es la temperatura ambiente de la zona en cada periodo.

7.2.3. Energía por irradiación – Ei

Para determinar ésta, es necesario conocer la constante de Boltzmann (σ) y la emisividad (ϵ) de cada material. Entiéndase por emisividad la propiedad de los materiales para emitir energía y se calcula como la proporción de radiación térmica emitida por el cuerpo gracias a los cambios de temperatura en el entorno (Fluke Process Instruments, 2020).

$$E_i = \epsilon \sigma A (T^4 - T_A^4) \quad (11)$$

Donde T es la temperatura superficial T_1 y T_3 para la parte superior e inferior, respectivamente.

7.2.4. Energía por conducción

Numéricamente esta energía se puede establecer, a partir de la longitud o espesor del material (asfalto o concreto), denominadas L_a y L_c , y de las constantes de conducción para cada material K_a y K_c , respectivamente. De tal manera, $L_a = 0.05$ m y $L_c = 0.2$ m, valores asumidos por referentes estándares en puentes.

$$E_{cd} = \frac{T_3 - T_1}{\left(\frac{L_c}{K_c \cdot A}\right) + \left(\frac{L_a}{K_a \cdot A}\right)} \quad (12)$$

7.2.5. Equilibrio térmico en el puente

Para obtener la ecuación final del equilibrio térmico en el puente de Terreros, se rempazan las energías (ecuaciones 8, 9, 10, 11 y 12), en la ecuación de equilibrio térmico tanto para la parte superior, como para la inferior (ecuaciones 6 y 7), se tiene:

Parte superior

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

Teniendo en cuenta la dirección de las energías queda de la siguiente manera:

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

Importante resaltar que, para la energía por irradiación, según algunos autores, la temperatura ambiente se debe tomar lejana a la superficie en estudio, por lo tanto, al tratarse de la parte superior del puente, el dato a tomar para esta temperatura estaría tendiendo hacia la estratosfera, punto en el cual la temperatura desciende a medida que va aumentando la altura, acercándose a 0°C.

Parte inferior

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

Teniendo en cuenta la dirección de las energías queda de la siguiente manera:

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

Para terminar, se igualan las energías de la parte superior con la inferior, dando como resultado el equilibrio térmico en el puente, así:

$$\alpha * \text{Radiación solar} + hA(TA - T1) + \varepsilon\sigma A(T^4 - T1^4) + \frac{T1 - T3}{\left(\frac{Lc}{Kc * A}\right) + \left(\frac{La}{ka * A}\right)} = hA(T3 - TA) + \varepsilon\sigma A(T3^4 - TA^4) + \frac{T3 - T1}{\left(\frac{Lc}{Kc * A}\right) + \left(\frac{La}{ka * A}\right)} \quad (13)$$

7.2.6. Análisis de resultados a partir de las temperaturas teóricas

De igual manera, como se hizo con la variación de la temperatura superficial, obtenida a través de la cámara Flir One Pro, se requiere establecer el análisis de la temperatura a partir de los datos calculados mediante las ecuaciones de equilibrio térmico, que señalan las transferencias

de calor o energías presentes en la estructura, por la acción de los fenómenos ambientales. Es de aclarar que los datos de radiación solar para los últimos tres días del estudio (1, 2 y 3 de septiembre), se tomaron de la plataforma Weather Spark, ya que se presentó ausencia de dichos registros en la información suministrada por la plataforma de Giovanni.

7.2.6.1 Comportamiento de T1 y T3 en el período uno (Mañana)

En cuanto a la variación de la temperatura en el período uno (5 – 6 am), teóricamente se puede observar, que la parte superior del puente presenta temperaturas menores a la inferior, por estar expuesta directamente a los factores ambientales, entre ellos, las temperaturas bajas registradas en la mañana, que inciden en la superficie superior del tablero disminuyendo considerablemente su temperatura a comparación de las temperaturas presentadas en la superficie inferior, pues, ésta se resguarda mejor de dichos cambios. En la Figura 32 se aprecia claramente el fenómeno, evidenciando las temperaturas bajas en T1 (parte superior) que oscilan entre 4,3 y 15,1°C, presentándose una fluctuación significativa, mientras T3 (parte inferior), muestra una variación entre 9,4 y 20,3°C, que presenta mayor regularidad en comparación con T1 (parte superior).

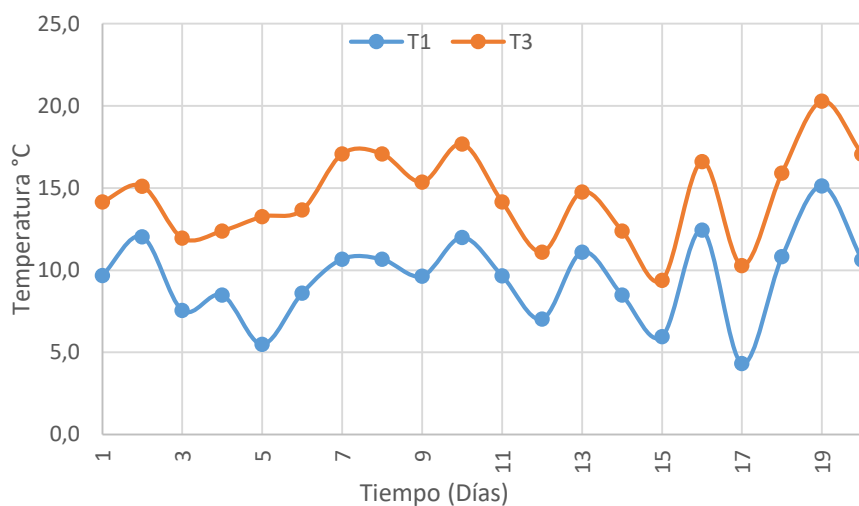


Figura 32. Temperatura superficial del tablero en el período uno
Fuente: Elaboración propia

7.2.6.2 Comportamiento de T1 y T3 en el período dos (Tarde)

En la Figura 33 se puede divisar un fenómeno totalmente contrario al señalado en la Figura 32, donde es notoria la incidencia de la radiación solar, que impacta directamente la superficie superior del puente. Se tiene entonces, intervalos de temperatura en T1, que van desde 40,3 a 73,9 °C, y para T3 entre 30 y 47,1°C. Se muestra significativamente una diferencia relevante entre T1 y T3, que obedece a los cambios ambientales que impactan la estructura en horas de la tarde.

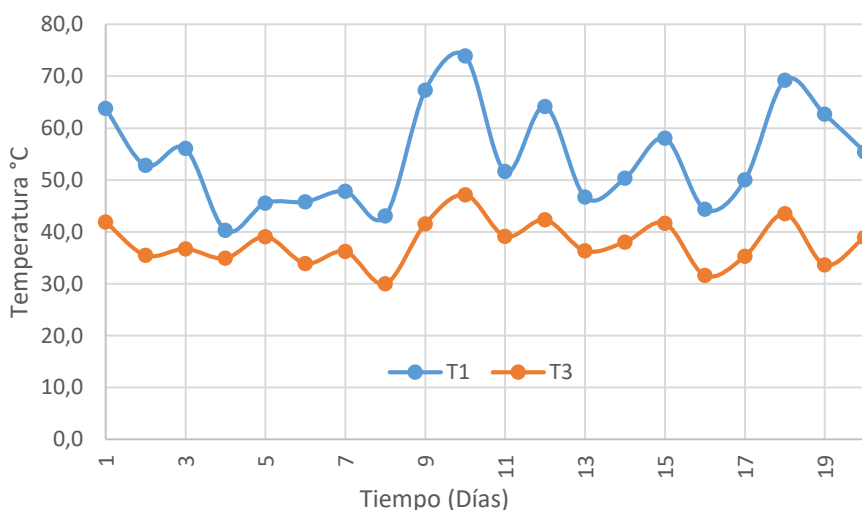


Figura 33 Temperatura superficial del tablero en el período dos
Fuente: Elaboración propia

Atender los registros teóricos, a partir de las mediciones de temperatura del puente vehicular, en la parte superior e inferior (T1 - T3), permite evidenciar como los fenómenos ambientales son determinantes para la variación térmica que se presenta; en la Figura 33 se aprecia la relación inversamente proporcional existente entre la temperatura calculada y la velocidad del viento, como lo señala la Figura 28, que muestra unos de los picos máximos de velocidad del viento en los días 4, 5, 6 y 14, que en contraste con la Figura 33 evidencia unos de los picos mínimos de temperatura para los mismos días.

A continuación, en la Figura 34, se presenta la influencia de la energía solar, como se ha venido mencionando, presente en P2 (tarde), donde los picos mínimos y máximos se ubican entre 389 y 905 W/m², mientras que en P1 (mañana) debido a la escasa radiación solar, los valores son cercanos a 0 W/m² (entre 0.05 y 0.46 W/m²).

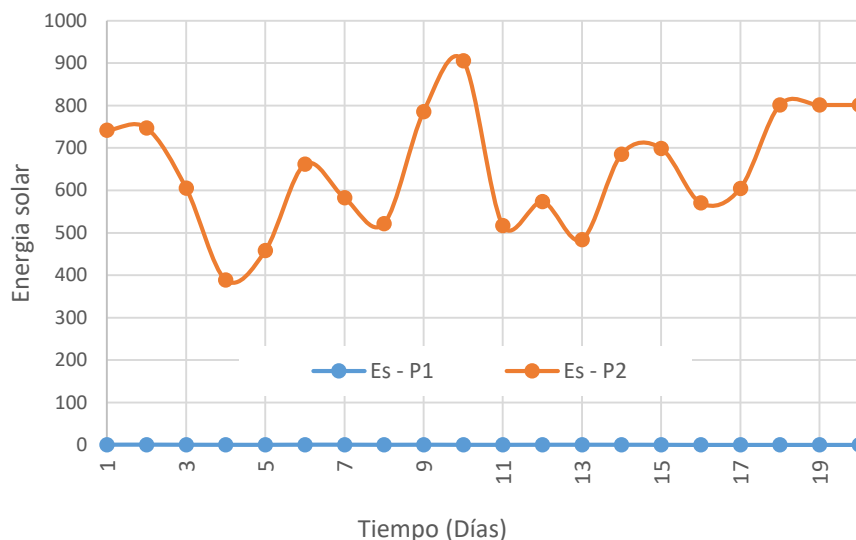


Figura 34. Energía solar superficial superior por periodos
Fuente: Elaboración propia

7.2.6.3 Temperatura superficial superior T1 en los dos periodos (P1 y P2)

La temperatura superficial teórica de la parte superior del tablero, registrada en los periodos 1 y 2, muestra una variación considerable y distante; en P1 oscila entre 4,6 y 12,4 °C y en P2 entre 40,3 y 73,9°C, como se muestra en la Figura 35

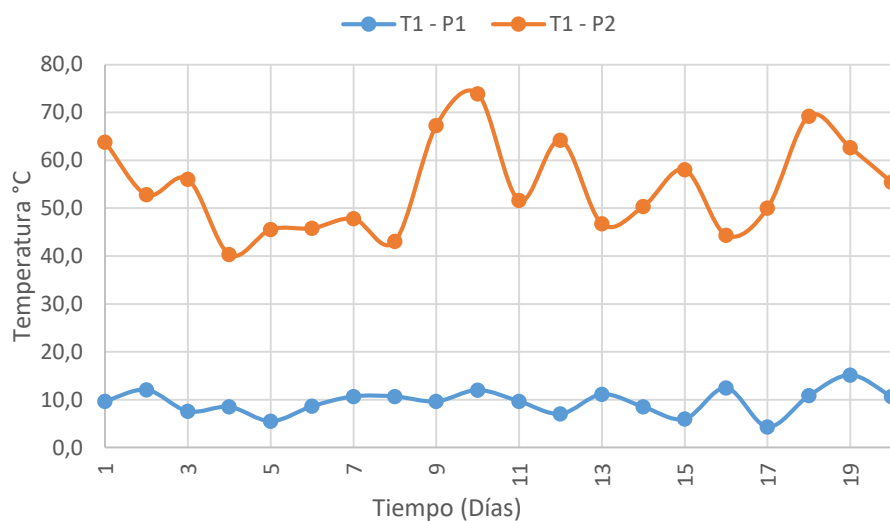


Figura 35 Temperatura superficial superior por periodos
Fuente: Elaboración propia

7.2.6.4 Temperatura superficial inferior T3 en los dos periodos (P1 y P2)

La determinación de la temperatura superficial inferior T3 para los periodos 1 y 2, teóricamente muestra los siguientes resultados, como lo indica la Figura 36. También se presenta

una variación significativa entre P1 y P2, que fluctúa entre 9,4 y 17,7 °C para la mañana y entre 30 y 47,1°C para la tarde.

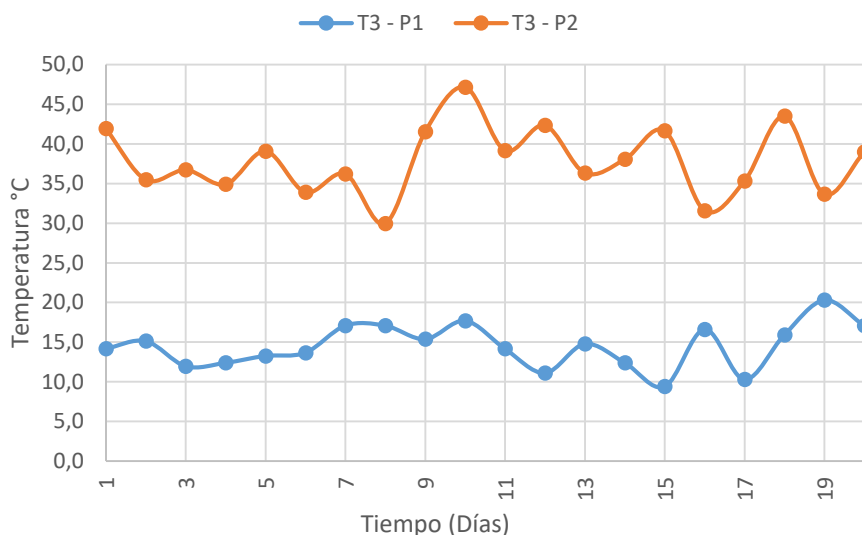


Figura 36 Temperatura superficial inferior por períodos
Fuente: Elaboración propia

7.3. Comparación de las temperaturas registradas en la Cámara FLIR ONE PRO y las teóricas

Reconocer la importancia que tiene para el presente estudio, la comparación de las temperaturas medidas por la cámara fotográfica térmica Flir One Pro y los registros determinados a partir de la modelación numérica por equilibrio térmico. Como se ha venido analizando, los datos de variación corresponden a los periodos 1 y 2 (mañana y tarde) durante 20 días (15-agosto al 3-septiembre), que asumen la superficie superior e inferior de la estructura desde los puntos de medición señalados desde el comienzo Li1, Li2 y Li3 (lateral, a través y apoyo).

En este sentido se asume un análisis comparativo de las temperaturas, tanto superior como inferior, que se ilustran en las gráficas siguientes, de donde inicialmente se puede concluir que los registros para el período uno se corresponden con los datos alcanzados por ambas mediciones, presentando una variación similar, mientras que para el período dos el distanciamiento entre los datos de variación de temperatura in situ, no alcanzan las dimensiones de la variación calculada, asumiéndose curvas similares y diferencia entre la una y la otra de gran significación, que reflejan la posibilidad de intervención de varios factores además de los

ambientales en la variación de la temperatura real del puente, que igualmente inciden en los picos mínimos y máximos.

En la Figura 37 se aprecian las dos mediciones correspondientes al período uno para el tablero superior, con una variación estándar que fluctúa entre 4,3 y 15,1°C, asumiendo como temperatura in situ la obtenida por la cámara térmica y la calculada como la determinada mediante el desarrollo de la ecuación de equilibrio térmico. Estos datos para el período uno encuentran relación semejante, presentando algunas diferencias mínimas y por tanto de poca consideración.

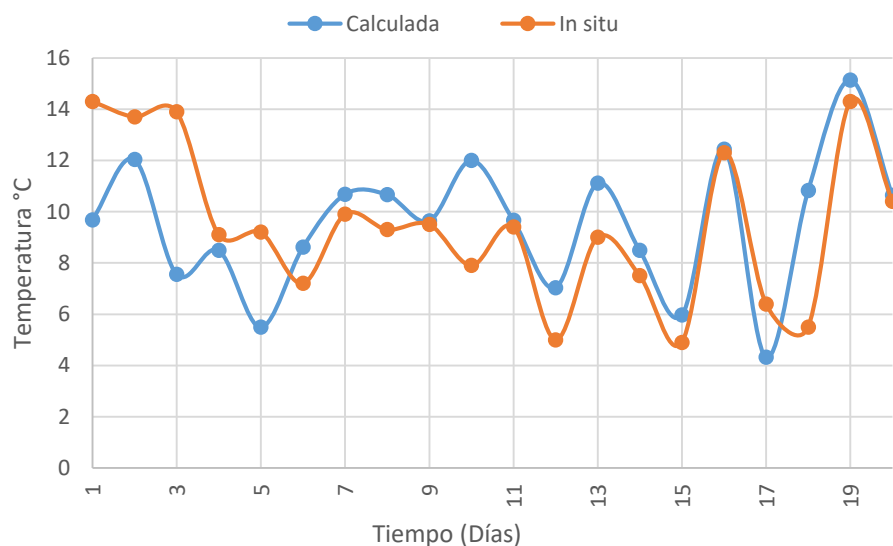


Figura 37 Temperaturas superiores en el período uno
Fuente: Elaboración propia

Igualmente, en la Figura 38 se puede observar la variación de la temperatura obtenida desde los dos registros para el período uno en la superficie inferior, que manifiesta mayor similitud que la del tablero superior; los picos mínimos y máximos se hallan entre 9,4 y 20,3°C, registros determinados por la temperatura calculada y entre los cuales se ubica la temperatura in situ.

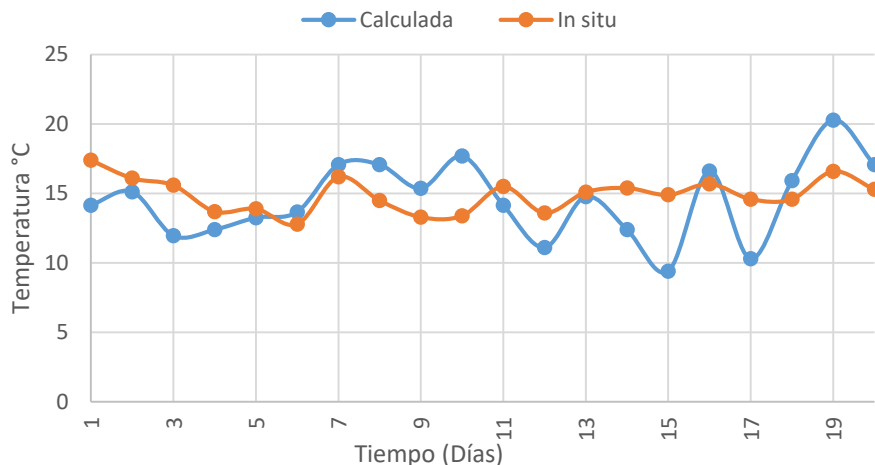


Figura 38 Temperaturas inferiores en el período uno
Fuente: Elaboración propia

En horas de la tarde, se muestra la prevalencia de la temperatura calculada sobre la temperatura in situ y en el tablero superior la variación de acuerdo a los registros en mención presenta una desviación que oscila para la temperatura in situ entre 15,8 y 46,8 °C, mientras la calculada, mientras la calculada esta entre 40,3 y 73,9°C, con diferencias de uno a otro considerables, como se muestra en la Figura 39

No obstante, el distanciamiento presentado entre los dos registros, en varios días de la medición, la temperatura in situ alcanza niveles similares a los mínimos determinados por el cálculo, como es el caso de los días 5 y 7; así mismo se advierte que uno de los días de mayor variación, corresponde al día 10 que para este período obtiene una diferencia 27°C entre uno y otro registro.

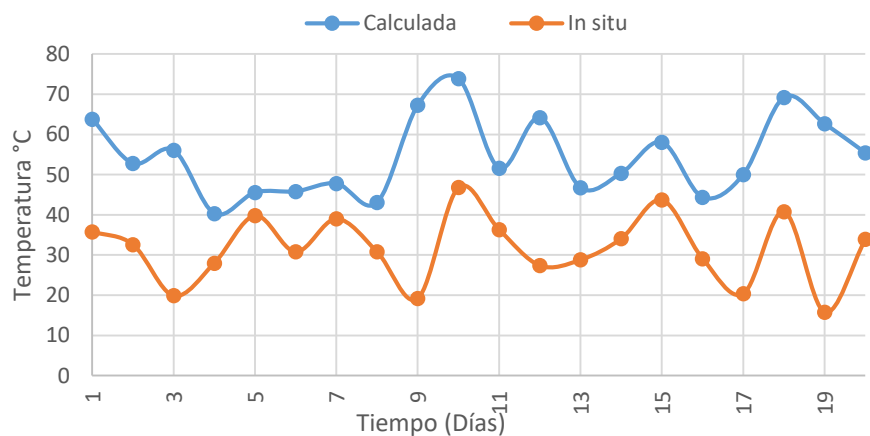


Figura 39 Temperaturas superiores en el período dos
Fuente: Elaboración propia

La temperatura inferior para el período dos , continúa presentando diferencias marcadas entre los registros de temperatura in situ y calculada, que no se acercan en ninguno de los días de estudio, con una variación evidente que se ubica, para la in situ, entre 15,3 y 24,5°C y para la calculada, entre 30 y 47,1°C.

A diferencia de los anteriores registros los rangos de temperatura de esta figura no se alcanzan a entrecruzar ninguno de los días, mostrando el distanciamiento entre uno y otro valor, con mayores temperaturas desde el cálculo numérico que las del registro en campo. Se muestra una diferencia entre los 15 y 20°C de un registro a otro para cada día, aspecto que se puede señalar en la Figura 40 como es el caso de los días 1,3, 9, 10, 12, 16 y 18.

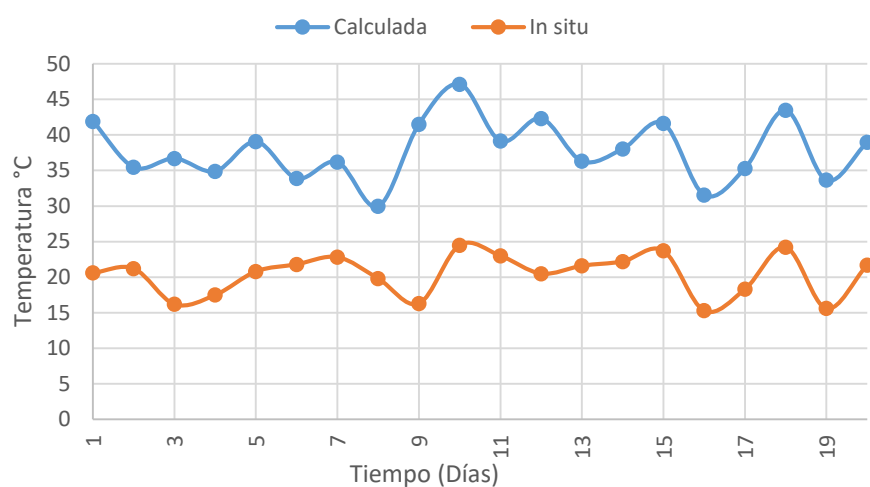


Figura 40 Temperaturas inferiores en el período dos
Fuente: Elaboración propia

8. Conclusiones

Una vez realizado el estudio de la variación de la temperatura en el puente vehicular de Terreros Soacha, mediante los datos suministrados por la cámara térmica Flir One Pro y la modelación numérica, que permite definir el equilibrio térmico al que se somete la estructura, se llega a las siguientes conclusiones:

El puente vehicular nace en respuesta a una necesidad sentida de la población local y regional, que requiere mejorar las vías de comunicación y los tiempos de desplazamiento, se somete constantemente a variaciones de temperatura en el transcurso del día, debido a los factores ambientales que impactan en el sector (temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento, nubosidad, entre otros), permitiendo que ésta experimente picos mínimos y máximos donde se observa bastante inestabilidad térmica entre mañana y tarde, que oscila entre 19,2 y 46,8°C.

De acuerdo con los registros obtenidos in situ, el gradiente térmico al cual se somete la estructura, para la superficie superior, captada por la foto 1, se presenta una variación significativa entre períodos (mañana y tarde), alcanzando para el P2 los 47,3 °C y más o menos estable para el P1, fenómeno que obedece a la influencia de la radiación solar alta en las horas de la tarde; entre tanto, la temperatura en la parte inferior se mantiene al ocultarse de la exposición directa con los cambios ambientales. Durante los días en estudio, las condiciones climáticas se muestran favorables para la toma de registros salvo el día 19 (2 septiembre) donde durante el día hizo presencia la nubosidad acompañada de precipitaciones débiles.

En cuanto a la aplicación del modelo teórico, es de anotarse con preocupación la dificultad que se presenta al acceder a la información requerida para resolver las ecuaciones planteadas (datos de velocidad del viento y radiación solar precisos para la zona), en tanto que los entes encargados del manejo y suministro de la misma, por negligencia, dilatan el acercamiento a estos registros, que obligan a implementar datos provenientes de plataformas internacionales.

Comparativamente, a partir de los datos suministrados por la cámara térmica y la determinación por la ecuación del equilibrio térmico, se concluye que el gradiente de temperatura en el período uno (mañana), son similares en ambas mediciones, mientras que en el período dos (tarde) presentan considerables diferencias.

La variación de la temperatura atmosférica, cuya característica es la irregularidad, produce en el puente el denominado alabeo diurno o nocturno, que posibilita la dilatación o contracción de sus tableros, generando en ellos sobre esfuerzos que dejan las losas sin apoyo, fenómeno que podría explicar las fallas que a temprana edad presenta esta construcción; en consecuencia, se hace necesario desde el diseño, una evaluación exhaustiva de los fenómenos ambientales propios de la zona, registrados históricamente, para garantizar con ello que el comportamiento climático impacte lo menos posible la estructura, requiriéndose entonces, que el flujo de información necesaria, sea de libre acceso y se suministre ágil y verazmente.

Resulta evidente la manera en que todos los factores ambientales (temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento, entre otros) inciden directa o indirectamente en la variación de la temperatura del puente; aspectos que debería considerar la norma técnica colombiana CCP-2014, como esenciales y fundamentales, desde el diseño hasta la construcción. Los informes de interventoría deben ser asumidos, desde la consideración de todos estos aspectos, pues con ello la proyección de planes de evaluación, seguimiento y mejoramiento, pueden arrojar estrategias más efectivas y eficientes a la hora de ejecutar programas de mantenimiento.

La mezcla de materiales en una estructura vehicular, como la del objeto de estudio, al ser sometida directamente a los cambios atmosféricos, obliga a considerarla desde el aspecto normativo y legal, como lo señala el numeral 4.6.6 de la CCP-2014, que hace referencia al análisis por gradiente de temperatura, que debe tener en cuenta el alargamiento de las columnas, la deformación por flexión y los esfuerzos internos de la estructura, en aras de trabajar por el bienestar de la comunidad, minimizando el riesgo y afectaciones a este. En consecuencia, plantear soluciones verdaderamente sostenibles que le abran camino al desarrollo de la comunidad, mediante la utilización de materiales más amigables con el ambiente que funcionen como aislantes térmicos disminuyendo el gradiente térmico durante el día y del mismo modo previniendo los deterioros a temprana edad en las estructuras por su efecto.

Por último, el manejo de la información que, desde el diseño, hasta la construcción, recae directamente en ciertos organismos de orden nacional y local, permitió al presente estudio evidenciar la negativa y las dificultades para obtenerla, pues de palabra es abierta al público, sin embargo, al momento de solicitarla solo se obtienen respuestas confusas o trasposos de oficina sin obtener soluciones positivas.

9. Recomendaciones

Se recomienda desde este estudio generar espacios de reflexión, apoyo y complemento a investigaciones y a los requerimientos de la norma técnica colombiana, donde se unan esfuerzos con los profesionales en ingeniería civil para desarrollar materiales alternativos y sostenibles, que mejoren la vida útil de las estructuras, garanticen el buen uso de los recursos y minimicen los costos de diseño, construcción y mantenimiento.

Si bien es cierto, la variación de la temperatura en las estructuras tiene una fuerte incidencia de los fenómenos ambientales, desde el presente estudio se recomienda establecer un análisis de otras energías que igualmente contribuyen al gradiente térmico de la estructura, tal es el caso de la fricción generada por la movilidad tanto humana como vehicular.

10. Referencias bibliográficas

- Agredo, C. A., Sarmiento, N. S., & Viviescas, J. A. (2016). *Evaluación de la rigidez a flexión de puentes de viga y losa en concreto presforzado a partir de pruebas de carga. Caso de estudio: Puente La Parroquia vía La Renta - San Vicente de Chucurí*. Recuperado el 24 de Marzo de 2020, de <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/download/145-159/6414>
- Alcaldía Municipal de Soacha. (2020). *El cambio avanza (2020 - 2023)*. Obtenido de <http://www.alcaldiasoacha.gov.co/index.php/municipio/nuestro-municipio.html>
- Apliter Tech Partners. (2020). *Guía del usuario de flir one pro*. Obtenido de FLIR ONE PRO (160x120) - Cámara termográfica smartphone ANDROID (micro-USB): <http://apliter.com/es/producto/flir-one-pro-camara-termografica-smartphone-android-micro-usb>
- Aristizabal Valencia, E., Forero Toro, A., & Leon Leon, J. (2016). *Rediseño del puente vehicular de la diagonal 42 del municipio de Dosquebradas*. Pereira: Universidad Libre.
- Bellido, R. (19 de Diciembre de 2017). *Giatic*. Obtenido de Monitorear el gradiente de temperatura en elementos de hormigón masivo: <https://giatic.bdl.cl/monitorear-gradiente-temperatura-hormigon-masivo/>
- Berecibar Oregui, A. (2012). *Estudio Teorico y experimental de temperaturas y deformaciones en un puente integral*. Universidad Politecnica de Madrid .
- Brule Bianchi, V. A. (2007). "Estudio experimental: Dilatacion explosiva de pavimentos de hormigón". *Universidad Austral de Chile*.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Nevada: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2015). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. Recuperado el 25 de Marzo de 2020, de Mc Graw Hill: <https://www.mheducation.com/highered/product/heat-mass-transfer-fundamentals-applications-cengel-ghajar/M9780073398181.html>
- Conesa, J. (2013). *Mecanismos de transferencia de calor*. Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34475/1/Mecanismos%20de%20transmisión%20de%20calor%20%28CONDUCCION%2C%20CONVECCION%2C%20RADIACION%29.pdf>

- de Backer, H., Outtier, A., & van Bogaert, P. (2008). Quantification of thermal loads in steel box girders (Conference Paper). En *EASEC-11 - Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*. Taipei; Taiwan. Obtenido de www.scopus.com
- Defaucheux, L., Desprets, H., Hajar, Z., Sirviente, C., & Virlogeux, M. (2015). Assessment of thermal actions in the steel box girder of the Millau Viaduct. En *Multi-Span Large Bridges - Proceedings of the International Conference on Multi-Span Large Bridges* (págs. 863-870). Porto - Portugal. doi:10.1201/b18567-110
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). *Construcción de puentes vehiculares para vías secundarias ó terciarias*. Ministerio de Transporte , Bogotá, Bogotá. Recuperado el 13 de Abril de 2020
- Diseño de puentes AASHTO*. (s.f.).
- DNP. (2015). *Regionalización Plan Plurianual de Inversión 2015 - 2018*. Recuperado el 20 de Marzo de 2020, de Departamento Nacional de Planeación:
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones%20y%20finanzas%20pblicas/Libro%20PPI%2015-18%20Definitivo%2018%20marzo%20-15.pdf>
- DNP. (2016). *Construcción de Puentes Vehiculares*. Recuperado el 21 de Marzo de 2020, de Departamento Nacional de Planeación:
https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=124
- Escobar & Martinez. (2019). *Qué es un Puente Vehicular*. Recuperado el 20 de Marzo de 202, de <http://www.eymproductostecnicos.com/puentes-vehiculares>
- Eurocodigo 4. (1994). *Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón*. The Union Europe . Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0046979>
- Flórez, J. (2017). *Soacha: el karma de crecer a la sombra de un gigante*. Recuperado el 15 de Abril de 2020, de Revista Semana: <https://www.semana.com/nacion/articulo/soacha-historia-censo-y-crecimiento-poblacional/541529>
- Fluke Process Instruments. (2020). *Qué es la Emisividad?* Recuperado el 10 de octubre de 2020, de [Flukeprocessinstruments.com: https://www.flukeprocessinstruments.com/es/service-and-support/knowledge-center/infrared-technology/what-emissivity%3F](https://www.flukeprocessinstruments.com/es/service-and-support/knowledge-center/infrared-technology/what-emissivity%3F)

- Giovanni - EarthData - NASA. (2020). *Radiación solar* . Obtenido de <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvmP&starttime=&endtime=&dataKeyword=incident%20radiation>
- Grimaldo, R. J. (2018). *Medición de la temperatura superficial in situ para el puente de acceso a la terminal uno del aeropuerto internacional el Dorado*. Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de <https://drive.google.com/file/d/0B6VU3UW0O7EvSXRoc3FfMXRBYlhKbEtENINQS3o2SVZISGNZ/view?ts=5e583f38>
- Guang-Dong, Z., & Ting-Hua, Y. (2013). Thermal Load in Large-Scale Bridges: A State of the Art Review. *Hindawi Publishing Corporation, 17*.
- Henao, C. Y. (2019). *Análisis del gradiente térmico en puentes de vigas cajón en el municipio de Honda Tolima*. Ibagué, Tolima. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de Universidad Antonio Nariño.
- Incropera, F., & DeWitt, D. (2005). *Fundamentals of heat and mass transfer* . *John Wiley & Sons EE.UU.*
- Institut de Promoció Ceràmica. (s. f.). *Deformaciones sin carga por cambios de temperatura*. Castellon. Obtenido de www.ipc.org.es
- INYGESTConsultores. (2014). *Transferencia de calor en edificación*. Recuperado el 29 de octubre de 2020, de <https://www.inygestconsultores.es/uncategorized/transferencia-de-calor-en-edificacion/>
- Inzunza, L. J., López, A. B., Valdez, C. R., Mendoza, B., Sánchez, C. I., & García, H. G. (2011). La variación de las temperaturas extremas en la Comarca Lagunera y Cercanías. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Volumen XVII, Edición Especial: 45-61*,. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v17nspe/v17nspea6.pdf>
- Jianqiang, L., & Hongbin, L. (2013). Parametric Analysis of Temperature Gradient about Concrete Box Girder. *Applied Mechanics and Materials, 291-294* , 1144-1148. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.291-294.1144
- Krkoška, L., & Moravčík, M. (2015). *El análisis del efecto térmico sobre concreto unidad puente viga*. Recuperado el 22 de Marzo de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815013673#!>

- Krkoška, L., & Moravčík, M. (2015). The analysis of thermal effect on concrete box girder bridge. *Elsevier Ltd*.
- 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. *Journal of traffic and transportation engineering*, 7(2), 174 - 191. Obtenido de <https://ezproxy.uan.edu.co:2063/record/display.uri?origin=citedby&eid=2-s2.0-85083007827&citeCnt=8&noHighlight=false&sort=r-f&src=s&mltEid=2-s2.0-84871021968&mltType=ref&mltAll=t&imp=t&sid=466aa4c2229430bfb2ff3cc110e7f030&sot=mlt&sdt=mlt&sl=242&s=REFEID%2>
- Meteolobios. (2013). *Lluvia*. Recuperado el 10 de octubre de 2020, de MeteoLobios. Estación meteorologica automatica online: <http://www.meteolobios.es/lluvia.htm#:~:text=La%20precipitaci%C3%B3n%20se%20mi de%20en,L%20de%20agua%20por%20m%C2%B2>.
- Ministerio de Transporte. (2014). *Norma Técnica de Diseño de Puentes LRFD-CCP 14*. Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>
- Mirambell, E. (s.f.). *Criterios de diseño en puentes de hormigón frente a la acción térmica ambiental*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93229> <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/articulo/view/1647/1857>
- Mirambell, E., Aguado, A., & Díez, P. (1990). *Acciones Térmicas en tableros de puentes de viga de hormigón*. Recuperado el 23 de Marzo de 2020, de Departamento de la ingeniería de la Construcción E.T.S. ingeniería de caminos Barcelona: <http://www.hormigonyacero.com/index.php/ache/issue/view/214/171>
- Miranda Rebolledo, R. J. (2010). Deformaciones en pavimentos flexibles.
- Monleón, C. S. (2017). *Diseño Estructural de Puentes*. Recuperado el 23 de Marzo de 2020, de https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/4babffb5-3a93-4728-bbfc-648f6722cdd4/TOC_6361_01_01.pdf?guest=true
- Morea , F. (6 de Septiembre de 2011). Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas Efecto de la reología de los asfaltos, la temperatura y las condiciones de carga.

- Muñoz, P. P. (2012). *Estudio del comportamiento térmico de pavimientos de mezcla bituminosa y análisis de un colector solar asfáltico multicapa*. Tesis Doctoral Universidad de Cantabria, Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos .
- Nilson, A. H. (1999). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Recuperado el 24 de Marzo de 2020, de Mc. Graw Hill:
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/48776149/167ddedcahn12e.PDF?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDiseno_geometrico_de_carreteras.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSB6BAKHRCZEVI%2F20200329%2Fus-east
- Ortega Cornejo, M., Millanes Mato , F., & Mansilla Dominguez, J. (s.f.). Contraste normativo y experimental de los efectos térmicos en puentes de hormigón, metálicos y mixtos. *V Congreso de ACHE Realizaciones: puentes y pasarelas*.
- Ortega Cornejo, M., Millanes Mato, F., & Mansilla Domíngue, J. (julio-septiembre de 2013). Análisis normativo de la variación uniforme de la temperatura en puentes. Comparación de la normativa española con el Eurocódigo de acciones térmicas. *Hormigón y acero*, 64(269), 47-61 . doi:ISSN: 0439-5689
- Ortega Cornejo, M., Millanes Mato, F., & Mansilla Dominguez, J. (s.f.). Auscultación de efectos térmicos en viaductos mixtos. *V Congreso de ACHE: Investigacion y estudios*.
- Ortiza, J., Aguadob, A., Ronceroc, J., & Zerneño, M. (2009). Influencia de la temperatura ambiental sobre las propiedades de trabajabilidad y microestructurales de morteros y pastas de cemento. *Concreto y cemento: Investigación y desarrollo*, 1(1). doi:ISSN 2007-3011
- Patarroyo , L., & Meneses , H. (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)*. Bogotá.
- Pérez Reyes , M., & Sosa Morales , M. (2013). *Mecanismos de transferencia de calor que ocurre en tratamientos térmicos de alimentos. Temas selectos de ingeniería de alimentos* .
- Pérez, G. F., & Del Val, M. M. (1994). La Fisuración térmica de los pavimentos de mezcla bituminosa. *Revista de obras publicas: Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil*. N° 3.338. año 141. diciembre.

- Pérez, R. M., & Sosa, M. M. (2013). *Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos*. Recuperado el 24 de Marzo de 2020, de Revista TSIA: <https://tsia.udlap.mx/mecanismos-de-transferencia-de-calor-que-ocurren-en-tratamientos-termicos-de-alimentos/>
- Periodismo público. (4 de diciembre de 2013). *Puente vehicular Terreros pasó la prueba*. Obtenido de Periodismopublico.com: <https://periodismopublico.com/puente-vehicular-terreros-paso-la-prueba>
- periodismopublico.com. (2013). *Puente vehicular Terreros pasó la prueba*. Recuperado el 3 de Abril de 2020, de Periodismo Público: <https://periodismopublico.com/Puente-vehicular-Terreros-paso-la-prueba>
- Reiner, S. (Julio-Agosto de 1998). Diseño y Construcción eficientes en costo y plazo de puentes metálicos y mixtos. *Revista de obras públicas*(3.378), 9.
- Rodríguez, R. C. (2013). *Análisis del Transporte de carga en Colombia, para crear estrategias que permitan alcanzar estándares de competitividad e infraestructura internacional*. Recuperado el 20 de Marzo de 2020, de Universidad del Rosario, Facultad de Administración: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4537/10154047632013.pdf?sequence=1>
- Ruiz Sepúlveda, D. C. (Enero-Junio de 2014). Análisis histórico y prospectiva del humedal Tierra Blanca. *Perspectiva Geográfica*, 19(1), 125-144. doi:ISSN: 0123-3769
- Sallal R, A., Faten, M., Nildem, T., Mustafa, & Özakça. (2017). *Experimental and finite element investigation of temperature distributions in concrete-encased steel girders*. Structural Control and Health Monitoring .
- Sánchez, V. E. (2015). *Efectos térmicos en las estructuras*. Universidad Cesar Vallejo , Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil . Informe presentado para la clase de Resistencia de materiales, ciclo III. Obtenido de <https://es.slideshare.net/victormanuelenriquez/efectos-trmicos-en-las-estructuras>
- Seminario Manrique, E. (2004). *Guía para el Diseño de puentes con Vigas y Losas*. Recuperado el 23 de Marzo de 2020, de Universidad de PIURA: <https://es.slideshare.net/Lecrop/gua-para-el-diseo-de-puentes-con-vigas-y-losas>

- Shigley, J. E., Mischke, C. R., & B. &. (2004). *Standard Handbook of Machine Design . Third Edition. New York, Chicago, San Francisco, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto: McGRAW-HILL.*
- Steenbergen, R. D., Geurts, ., P., & Van, B. C. (2009). Climate change and its impact on structural safety. *HERON Vol. 54 No. 1.*
- Subirana, J. O. (2015). Analisis de la componente uniforme de la temperatura en el diseño normativo de puentes de hormigon. *Escola Tecnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports. UPC BarcelonaTech.*
- Surbhi, S. (1 de febrero de 2017). *Diferencia entre conducción, convección y radiación.* Recuperado el 29 de octubre de 2020, de Key Differences: <https://keydifferences.com/difference-between-conduction-convection-and-radiation.html>
- Svensson, G., & Larsson, C. (2013). *Realistic Modeling of Thermal Effects in Concrete Bridges .* Division of Structural Engineering Lund Institute of Technology, Lund University .
- The European Union. (2003). En 1991-1-5: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-5: General actions - Thermal actions. Recuperado el 18 de Abril de 2020, de <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.5.2003.pdf>
- Valdés, G., Pérez-Jiménez, F., & Martínez, A. (2012). *Influencia de la temperatura y tipo de mezcla asfáltica en el comportamiento a fatiga de los pavimentos flexibles.*
- Weather Spark - MERRA 2 Modern-Era. (2020). *Radiación solar .* Obtenido de <https://es.weatherspark.com/d/23345/9/1/Tiempo-promedio-el-1-de-septiembre-en-Soacha-Colombia#Sections-SolarEnergy>
- Weather Underground . (2020). *Estación Aeropuerto Internacional El Dorado .* Obtenido de <https://www.wunderground.com/history/daily/co/bogot%C3%A1/SKBO/date/2020-9-3>
- Yela Quijada, J. R. (2017). *Determinación del gradiente térmico en losas de pavimentos de concreto hidráulico.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Young , H., & Freedman, R. (2009). *Fisica Universitaria.* Recuperado el 15 de Abril de 2020, de Universidad de California Santa Barbara: <http://fis.ucv.cl/docs/fis-133/textos/Fisica-Universitaria-Sears-Zemansky-12va-Edicion-Vol1.pdf>
- Zigurat Global Institute of Technology. (07 de Enero de 2016). *Estructuras mixtas: acero – hormigón.* (C. ROMEA, Editor) Obtenido de Engineers & Architects Blog: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/estructuras-mixtas-acero-hormigon/>

11. Anexos

Anexos 1 Registros obtenidos por la cámara térmica FLIR ONE PRO para los 20 días de toma de datos. Documento en archivo de Excel que reposa con el nombre “Registros de temperatura” en la hoja 1 llamada “FLIR ONE PRO”

Anexos 2 Datos diarios y horarios totales, obtenidos en la página <https://www.wunderground.com/history/monthly/co/bogot%C3%A1/SKBO/date/2020-8> para la estación Aeropuerto Internacional El Dorado. Los cuales reposan en el documento de Excel “Registros de temperatura” en las hojas llamadas: “Estación Aeropuerto_Diaria”, “Temp_VV_Diaria”, “Estación Aeropuerto_Horaria” y “Temp_VV_Hor”

Anexos 3 Datos de radiación solar obtenidos de la plataforma Giovanni, (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=2020-08-01T00:00:00Z&endtime=2020-08-31T23:59:59Z&bbox=-74.2,4.5,->) , que reposan en el documento de Excel llamado “Radiación Giovanni”

Anexos 4 Datos de precipitación y temperatura seca diaria suministrados por el IDEAM para la estación San Jorge La Granja, que reposa en el archivo de Excel “San Jorge La Granja”

Anexos 5 Memoria de cálculos para la determinación de las temperaturas superior e inferior del puente, mediante la modelación numérica del equilibrio térmico, reposando en el documento de Excel llamado “Cálculos”

Anexos 6 Localización de estación Aeropuerto Internacional El Dorado en relación la localización del puente vehicular de Terreros



Figura 41. Localización Estación Aeropuerto Internacional El Dorado

Anexos 7 Localización de estación San Jorge La Granja del IDEAM, respecto a la localización del puente vehicular de Terreros



Figura 42. Localización estación San Jorge La Granja