



**Evaluación de la temperatura superficial en losas de concreto de edificaciones en
la ciudad de Bogotá y el Municipio de Simijaca**

Diana Carolina Fúquene Santana

Código 10481727998

Maggie Lorena Rodríguez Pinzón

Código 10481722033

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

**Evaluación de la temperatura superficial en losas de concreto de edificaciones en
la ciudad de Bogotá y el Municipio de Simijaca**

Diana Carolina Fúquene Santana & Maggie Lorena Rodríguez Pinzón

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

Ingeniero Civil

Director (a):

PhD, Doctor, Ingeniero, Edison Osorio Bustamante

Línea de Investigación:

Estructuras

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
_____, Cumple
con los requisitos para optar
Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá, Día 7 Mes 06 del 2022.

DEDICATORIA

A mis padres por sus esfuerzos, por ser mi fuerza incondicional y mi motivación en cada momento, a mis hermanos por ser una voz de aliento, a mí hermana por brindarme su apoyo y sus innumerables consejos, a mí mejor amigo por impulsarme a continuar y no decaer y a mí novio por su comprensión, cariño y por ser mi fortaleza emocional.

Muchas gracias por ser parte fundamental para culminar este proyecto de grado.

Carolina Fúquene Santana

A mi familia, principalmente a mis padres por su esfuerzo cada día y su apoyo incondicional, a mi hermano por su compañía en el camino, fueron mi motivación para poder alcanzar otra de tantas metas en mi vida y hacer de este sueño, realidad. Muchas gracias familia.

Maggie Lorena Rodríguez Pinzón

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos a Dios por permitirnos culminar esta etapa en nuestras vidas, a nuestra familia por brindarnos la fuerza y el apoyo incondicional en este proceso.

A nuestro tutor de tesis el PhD, Doctor, Ingeniero, Edison Osorio Bustamante, quien con su sabiduría nos acompañó y direcciono en cada etapa del proyecto.

A la Universidad Antonio Nariño y a su facultad de ingeniería Civil y Ambiental por sus conocimientos y formación académica otorgados para culminar nuestra profesión.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
JUSTIFICACIÓN	13
OBJETIVO	14
Objetivo general:.....	14
Objetivos específicos:	14
MARCO TEÓRICO.....	15
Placas de concreto:.....	15
Losas macizas	16
Losas aligeradas	16
Losas nervadas	16
Tipos de fallas:	17
Fisuras	17
Ondulaciones.....	17
Humedades y ventilaciones.....	18
Ductilidad.....	19
Transferencia de calor en las placas de concreto:	19
Conducción	20
Convección	20
Radiación	21

Tipos de cargas estructurales	22
Cargas vivas	22
Cargas muertas	22
Cargas Ambientales	22
Condiciones de servicio	23
Efectos térmicos en vigas:	23
ESTADO DE CONOCIMIENTO.....	26
METODOLOGÍA.....	35
Paso 1	35
Localización de las estructuras Bogotá.....	35
Localización estructura Simijaca	37
Paso 2	38
Paso 3	39
Placa Aligerada – Bogotá.....	39
Placa maciza – Simijaca.....	42
Paso 4	45
Placa Aligerada – Bogotá.....	45
Placa Maciza – Simijaca	49
Modelación numérica.....	53
Energía Solar.....	55
Energía por Convección.....	56
Energía por Irradiación	56
Energía por Conducción	57
Equilibrio de Energías.....	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
Adquisición de datos.....	60

Datos obtenidos placa maciza Municipio de Simijaca	60
Datos obtenidos placa aligerada Ciudad de Bogotá.....	64
Modelación de temperaturas	66
Análisis de Temperaturas Obtenidas Placa de Simijaca	67
Análisis de Temperaturas Obtenidas Placa de Bogotá	70
CONCLUSIONES	75
REFERENCIAS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Artículos encontrados relacionados con el tema de estudio.	29
Tabla 2 Absorción Solar del Concreto por diferentes autores	55
Tabla 3 Propiedades del Concreto.	60
Tabla 4 Datos de temperaturas al amanecer en placa del Municipio de Simijaca.....	61
Tabla 5 Datos de temperaturas al medio día en placa del Municipio de Simijaca	62
Tabla 6 Datos de temperatura al amanecer en placa de la Ciudad de Bogotá	64
Tabla 7 Datos de temperatura al medio día en placa de la Ciudad de Bogotá.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama sobre los temas a tratar en el proyecto de investigación.....	15
Figura 2. Clasificación de losas	16
Figura 3. Fisuras en una placa de concreto	17
Figura 4. Ondulaciones en una placa de concreto.....	18
Figura 5. Filtraciones en losa de concreto	19
Figura 6. Ductilidad en una placa de concreto.....	19
Figura 7. Diagrama de expansión	23
Figura 8. Diagrama de contracción	24
Figura 9. Documentos encontrados desde el año 2000 hasta el año 2022.....	26

Figura 10. Documentos encontrados por área del conocimiento	27
Figura 11. Documentos por país o territorio	27
Figura 12. Documentos por autor	28
Figura 13. Localización de la estructura en la Ciudad de Bogotá.	36
Figura 14. Placa de estudio en la Ciudad de Bogotá.....	36
Figura 15. Localización municipio de Simijaca.	37
Figura 16. Localización de la estructura en el Municipio de Simijaca.....	38
Figura 17. Cámara termográfica con la que se realizaron las mediciones en campo. .	38
Figura 18. Ejemplo de fotografías con la Cámara termográfica.....	39
Figura 19. Histograma temperaturas máximas diarias del IDEAM y WUNDERGROUND	40
Figura 20. Histograma temperaturas mínimas diarias del IDEAM y WUNDERGROUND	40
Figura 21. Precipitación diaria IDEAM.....	41
Figura 22.	41
Figura 23. Histograma radiación solar de la NASA	42
Figura 24. Histograma temperaturas máximas diarias del IDEAM y la CAR.....	43
Figura 25. Histograma temperaturas mínimas diarias del IDEAM y la CAR	43
Figura 26. Precipitación diaria IDEAM y la CAR.....	44
Figura 27. Velocidad del viento horaria del IDEAM	44
Figura 28. Histograma radiación solar de la NASA	45
Figura 29. Fotografía 17 septiembre mañana - placa superior.....	46
Figura 30. Fotografía 17 septiembre mañana - placa inferior.....	46
Figura 31. Fotografía 17 septiembre medio día - placa superior	47
Figura 32. Fotografía 17 septiembre medio día - placa inferior	47
Figura 33. Fotografía 9 septiembre mañana - placa superior.....	48

Figura 34. Fotografía 9 septiembre mañana - placa inferior.....	48
Figura 35. Fotografía 9 septiembre medio día - placa superior	49
Figura 36. Fotografía 9 septiembre medio día - placa inferior	49
Figura 37. Fotografía 29 julio mañana - placa superior.....	50
Figura 38. Fotografía 29 julio mañana - placa inferior	50
Figura 39. Fotografía 29 julio medio día - placa superior	51
Figura 40. Fotografía 29 julio medio día - placa inferior	51
Figura 41. Fotografía 7 agosto mañana - placa superior.....	52
Figura 42. Fotografía 7 agosto mañana - placa inferior.....	52
Figura 43. Fotografía 7 agosto medio día - placa superior	53
Figura 44. Fotografía 7 agosto medio día - placa inferior	53
Figura 45. Diagrama equilibrio térmico.....	54
Figura 46. Diagrama espesor de la placa maciza	58
Figura 47. Diagrama espesor de la placa aligerada.....	58
Figura 48. Temperaturas al amanecer del municipio de Simijaca	63
Figura 49. Temperaturas al medio día del municipio de Simijaca	63
Figura 50. Temperaturas al amanecer de la Ciudad de Bogotá	66
Figura 51. Temperaturas al medio día de la Ciudad de Bogotá.....	66
Figura 52. Temperaturas en la Placa Superior al Amanecer.....	67
Figura 53. Temperaturas en la Placa Inferior al Amanecer	68
Figura 54. Temperaturas en la Placa Superior al Medio Día.....	69
Figura 55. Temperaturas en la Placa Inferior al Medio Día	69
Figura 56. Temperaturas en la Placa Superior al Amanecer.....	71
Figura 57. Temperaturas en la Placa Inferior al Amanecer	72
Figura 58. Temperaturas en la Placa Superior al Medio Día.....	73
Figura 59. Temperaturas en la Placa Inferior al Medio Día	74

RESUMEN

En ingeniería civil se utilizan las placas de concreto con el fin de proporcionar superficies planas, sin embargo, la aparición de grietas, fisuraciones y deformaciones direccionan un estudio para averiguar sus posibles causas y así ofrecer estructuras con parámetros ópticos para su utilización. En nuestro país, Colombia estos diseños se realizan en base a la Norma NSR 10, la cual incluye las técnicas y diseños más eficientes. Sin embargo, actualmente es una problemática que se está observando en los diseños de construcción.

En este proyecto de investigación se realiza un análisis del gradiente térmico en dos tipos de placas de concreto, la primera ubicada en el municipio de Simijaca, Cundinamarca y la segunda en la ciudad de Bogotá, correspondientes a una placa maciza y una aligerada respectivamente. Para ello se lleva a cabo una toma de fotografías con la cámara termográfica Flir, para la obtención de temperaturas en campo, estos datos se toman durante 27 días en el municipio de Simijaca y 20 días en la ciudad de Bogotá. De esta manera se procedió a analizar los datos mediante modelación numérica y apoyadas en estaciones meteorológicas como el IDEAM, LA CAR y la NASA. Por consiguiente, finaliza con la comparación de resultados que nos permite evidenciar los efectos que genera el gradiente térmico en las placas y su implicación en los procesos de expansión y contracción de estas.

Palabras clave: gradiente térmico, placa de concreto, radiación, fisuras y deformaciones.

ABSTRACT

In civil engineering, concrete slabs are used to provide flat surfaces; however, the appearance of cracks, fissures and deformations in them, lead to a study to find out their possible causes and thus offer structures with optical parameters for their use. In Colombia, these designs are based on the NSR 10 Standard, which includes the most efficient techniques and designs. However, it is currently a problem that is being observed in construction designs.

In this research project an analysis of the thermal gradient in two types of concrete slabs is carried out, the first one located in the municipality of Simijaca, Cundinamarca and the second one in the city of Bogotá, corresponding to a solid slab and a lightened slab respectively. For this purpose, photographs were taken with the Flir thermographic camera to obtain temperatures in the field. These data were taken during 27 days in the municipality of Simijaca and 20 days in the city of Bogota. In this way, the data was analyzed by numerical modeling and supported by meteorological stations such as IDEAM, CAR and NASA. Consequently, it ends with the comparison of results that allow us to demonstrate the effects generated by the thermal gradient in the plates and its implication in the processes of expansion and contraction of these.

Keywords: thermal gradient, concrete slab, radiation, cracks and deformations.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de los proyectos de construcción de edificaciones es muy importante conocer las cargas que se deben tener en cuenta durante las diferentes etapas de construcción con el fin de evitar el deterioro temprano de las edificaciones y quejas por parte de los usuarios que las habitan. Por eso durante el desarrollo de este trabajo se realizará el análisis sobre los efectos que generan los gradientes de temperatura en las construcciones mediante un estudio en campo el cual tiene como propósito comparar los efectos generados en las placas de concreto tomando una placa maciza ubicada en el municipio de Simijaca el cual cuenta con una temperatura de 14° C y una placa aligerada ubicada en la Ciudad de Bogotá con una temperatura de 14° C, al ser lugares con valores de temperatura iguales se llevará a cabo un análisis detallado sobre los resultados obtenidos en campo y los valores calculados. Finalmente, para poder dar alternativas de normas o aspectos que se deben tener en cuenta al momento de realizar este tipo de construcciones.

Este trabajo será realizado por dos estudiantes ya que se realizarán comparaciones con los análisis de datos, debido a que se trabajara con una placa aligerada de estudio en la ciudad de Bogotá y otra placa maciza de estudio en el municipio de Simijaca, los que nos lleva a realizar de este un trabajo de investigación.

JUSTIFICACIÓN

Esta propuesta es importante, debido a que faltan recomendaciones de cargas por temperatura para incluirlas en el diseño de los elementos de hormigón armado en el Reglamento NSR-10 (*Decreto 926 de 2010*, 2010).

Este trabajo se realizará por dos estudiantes teniendo en cuenta que además del trabajo monográfico se va a realizar una comparación en la toma de datos y análisis numéricos en dos tipos de placas (aligerada y maciza) localizadas en la Ciudad de Bogotá y el Municipio de Simijaca respectivamente, convirtiéndose así en un trabajo de investigación.

OBJETIVO

Objetivo general:

Comparar los efectos de la temperatura en las placas de concreto macizas y aligeradas entre datos de mediciones termográficas y resultados de un modelo numérico de transferencia de calor en estado estacionario, para contribuir a los valores de carga pendientes de especificaciones en el Reglamento NSR-10.

Objetivos específicos:

- Complementar el estado del conocimiento de los efectos de temperatura en placas de concreto.
- Realizar las mediciones de temperatura en dos edificaciones mediante el uso de una cámara termográfica durante 20 días.
- Estimar mediante un modelo numérico de transferencia de calor en estado estacionario las temperaturas superficiales de las placas en estudio para las condiciones climáticas de las mediciones en campo.
- Comparar los resultados de campo y del modelo numérico para los diferentes valores de temperatura obtenidos.

MARCO TEÓRICO

En la Figura 1 se presenta la información a tratar durante el desarrollo del proyecto de investigación, siendo esta fundamental para dar solución a la pregunta problema.

Figura 1.

Diagrama sobre los temas a tratar en el proyecto de investigación.



Fuente: Propia

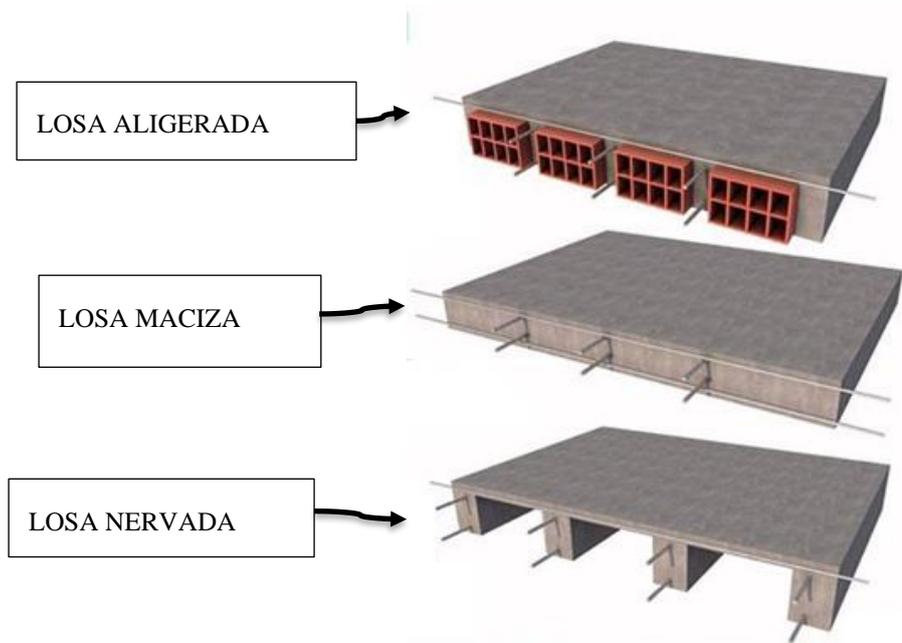
Placas de concreto:

Los muros de apoyo o de cortante, comúnmente denominados placas, se caracterizan por el hecho de que absorben cargas horizontales paralelas a la superficie del muro, lo que crea tensiones de cortante considerables en la estructura (Harmsen, 2002).

Dentro de la clasificación de losas se encuentran en la Figura 2, con su respectiva descripción a continuación.

Figura 2.

Clasificación de losas



Fuente: (Muñoz, 2018)

Losas macizas

Estas constan de un solo tramo de hormigón armado en ambas direcciones. La losa debe tener al menos dos muros de carga y estos deben estar siempre uno frente al otro. Para placas apoyadas en los cuatro lados, la dirección principal será la más corta (NSR-10, 2010).

Losas aligeradas

Se utilizan para salvar vanos que son más grandes que las losas macizas. Este sistema sustituye parte de la sección de hormigón por material aligerante, que puede ser cajas de madera, casets de guadua, ladrillos o bloques. En general, un techo aligerado consta de cuatro componentes principales: una torta de hormigón inferior, elementos de iluminación, la losa superior y vigas de hormigón armado (NSR-10, 2010).

Losas nervadas

También denominados sistema de losas con cajones, están formados por vigas longitudinales y transversales en forma de nervios de gran rigidez que conectan los pies

de los pilares entre sí. Estas losas están construidas para estructuras de carga desequilibradas, las vigas a tope de la columna están diseñadas como cimientos bidireccionales continuos. Por lo general, el grosor mínimo de la placa es de 20 cm (NSR-10, 2010).

Tipos de fallas:

Dentro de las fallas que se presentan en las placas de concreto debido a los cambios de temperatura se encuentran:

Fisuras

Son provocadas por gradientes de alta temperatura y dan lugar a deformaciones en el hormigón, que crean tensiones imprevistas y fisuras no deseadas en las losas Figura 3.

Figura 3.

Fisuras en una placa de concreto



Fuente: propia

Ondulaciones

Son provocadas por un montaje, colocación y nivelación incorrectos del encofrado (tipo de encofrado utilizado), además del mantenimiento realizado en el equipo Figura 4.

Figura 4.

Ondulaciones en una placa de concreto



Fuente: (LONDOÑO, 2020)

Humedades y ventilaciones

En la Figura 5, están representadas por la fuga normal de agua del hormigón durante el proceso de fraguado (Ochoa, 2020).

Figura 5.

Filtraciones en losa de concreto



Fuente: Propia

Ductilidad

En la Figura 6 se observa que la ductilidad es una propiedad de algunos materiales, como las aleaciones metálicas o los materiales asfálticos, que pueden deformarse plásticamente de forma sostenible bajo la acción de la fuerza sin romperse (Ochoa, 2020).

Figura 6.

Ductilidad en una placa de concreto



Fuente: (Herrera, 2011)

Transferencia de calor en las placas de concreto:

La transferencia de calor en placas de concreto consiste en un fenómeno de propagación de energía solar hacia el interior de las placas, esta manifestación se presenta con tres mecanismos básicos en la transferencia de calor, estos son:

Conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las partículas vecinas menos energéticas como resultado de la interacción entre ellas. (Cengel, 2007), define la ecuación de la conducción (Ec. 1) cómo:

$$Q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Ec 1}$$

Donde:

k = Conductividad térmica del material.

A = Área de transferencia de calor.

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

La ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial (Ec. 2), la cual se llama ley de Fourier de la conducción del calor:

$$Q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Ec 2}$$

Donde:

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \textit{Gradiente de temperatura.}$$

Convección

Es el modo de transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento, e incluye los efectos combinados de la conducción de calor y el movimiento del líquido (Cengel, 2007).

A pesar ser un mecanismo complejo la convección, se puede resaltar que la tasa de transmisión de calor por convección está determinada por la diferencia de temperatura y se formula mediante la ley de enfriamiento de Newton (**Ec. 3**) como:

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad \text{Ec 3}$$

Donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

A_s = Área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección.

T_s = Temperatura de la superficie.

T_∞ = Temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

Radiación

Es la energía que desprende la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de cambios en la configuración electrónica de átomos o moléculas (Cengel, 2007).

La razón máxima de la radiación se expresa por la **ley de Stefan-Boltzmann (Ec. 4)** de la siguiente manera:

$$Q_{emitida,m\acute{a}x} = \sigma A_s T_s^4 \quad \text{Ec 4}$$

Donde:

σ = Constante de Stefan – Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)

A_s = Áreas superficial.

T_s = Temperatura superficial.

(Frank Kreith et al., 2011) expresa la conservación de la energía (**Ec. 5**), mediante la siguiente relación:

$$Q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Ec 5}$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{Tasa de transferencia} \\ \text{de calor de radiación solar} \\ \text{a la losa} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Tasa de transferencia} \\ \text{de calor por convección} \\ \text{a la losa} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Tasa neta de transferencia} \\ \text{de calor por radiación desde la} \\ \text{losa al cielo ambiente} \end{array} \right) \quad \text{Ec 6}$$

Tipos de cargas estructurales

Las losas de concreto pueden dividirse en tres grandes categorías según (Nilson, 1997) y lo especificado anteriormente en la figura 5, estas condiciones de cargas son:

Cargas vivas

Consisten principalmente en cargas de ocupación que pueden o no estar presentes total o parcialmente y que pueden cambiar de ubicación. Sus tamaños y distribuciones resultan inciertos en cualquier instante, y sus intensidades máximas a lo extenso del lapso de vida de la estructura no se distinguen con exactitud. Las cargas de tráfico mínimas para las que se deben diseñar los entresijos y las cubiertas se especifican generalmente en las normas de construcción aplicables en el sitio de construcción (NSR-10, 2010).

Cargas muertas

Estas hacen referencia a aquellas que se mantendrán invariables en tamaño y lugar en toda la vida de la estructura. En general, la mayor fracción respecto a cargas es el peso muerto de la estructura. Esto se puede calcular con un buen acercamiento a partir del diseño estructural, las dimensiones de la estructura y la densidad del material, permitiendo una mejor aproximación.

Cargas Ambientales

Se componen principalmente de cargas de nieve, presión y succión del viento, cargas sísmicas (fuerzas de inercia debidas a movimientos sísmicos), presiones del suelo en el subsuelo de estructuras, cargas sobre posibles cuencas pluviales sobre superficies planas y fuerzas causales debidas a alteraciones de temperatura. Las cargas ambientales por su parte se consideran inciertas en términos de su magnitud y de su distribución.

Condiciones de servicio

- Para que las estructuras cumplan su propósito, deben ser a prueba de derrumbes y funcionales en las condiciones de uso. Por ello, según (Nilson, 1997), se caracterizan tres parámetros de condiciones de una losa de hormigón, los cuales se comentan a continuación.
- El tema de la funcionalidad en un edificio requiere la garantía de una mínima deflexión, en el caso de grietas esta debe mantenerse dentro de límites tolerables, las vibraciones no son perceptibles.
- La seguridad presupone que la capacidad de carga de la construcción es suficiente para todas las cargas que actúan sobre ella.
- Al predecir con precisión la resistencia de la estructura y conocer con exactitud las cargas y sus efectos internos, la seguridad podría garantizarse mediante una capacidad de carga ligeramente superior a la necesaria.

Efectos térmicos en vigas:

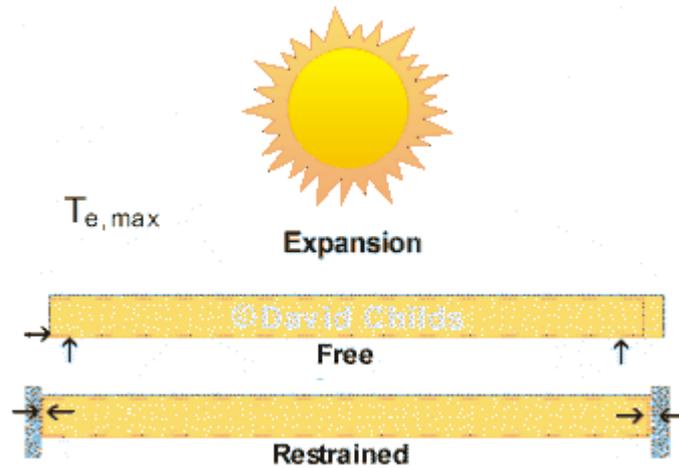
Se pueden considerar dos tipos de efectos térmicos los cuales son:

Expansión y contracción, también conocida como temperatura uniforme: Las temperaturas máximas ($T_{m\acute{a}x}$) y mínimas ($T_{m\acute{i}n}$) del aire a la sombra han sido registradas por estaciones meteorológicas durante muchos años. Estos perfiles se utilizan para predecir las temperaturas de diseño a las que puede estar expuesta la losa durante su vida útil.

Las temperaturas tanto máximas y mínimas del aire a la sombra se convierten en temperaturas “efectivas” que, al multiplicarlas por el coeficiente de expansión térmica y la longitud de la losa, se puede calcular cuánto se expandirá (Figura 7) y contraerá (Figura 8) la losa. La expansión y contracción de esta, se puede acomodar proporcionando juntas deslizantes, o restringiendo el movimiento y diseñando la estructura para resistir las fuerzas desarrolladas (David Childs, 2020).

Figura 7.

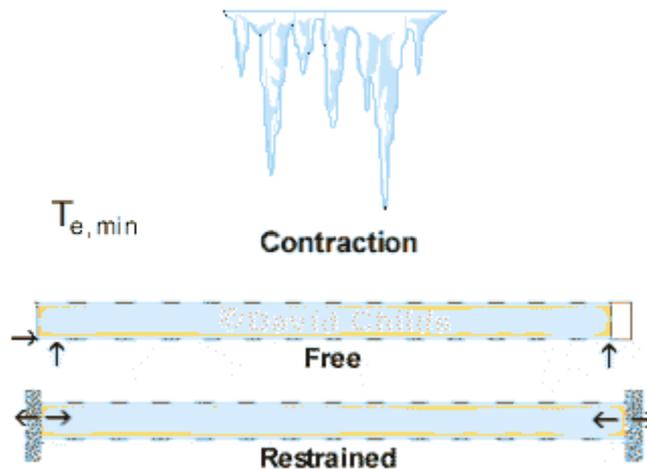
Diagrama de expansión



Fuente: (David Childs, 2020)

Figura 8.

Diagrama de contracción



Fuente: (David Childs, 2020)

Diferencia de temperatura: Existe un gradiente de temperatura no lineal a través de la losa, es decir que la temperatura varía en diferentes niveles en cuanto a la profundidad de esta. El gradiente de temperatura varía según la construcción de la plataforma, se encuentran cuatro tipos diferentes:

- Cubierta de acero sobre vigas de acero.
- Cubierta de acero sobre armadura de acero o vigas de placa.

- Plataforma de hormigón sobre vigas de caja, armadura o placa de acero.
- Losa de hormigón o tablero de hormigón sobre vigas de hormigón o vigas cajón.

Cada tipo de plataforma está compuesta de dos perfiles de temperatura:

1. El primero utilizado para estimar los impactos cuando la parte superior de la plataforma se encuentra más caliente que su núcleo, se le llama (“diferencia de temperatura positiva” o “diferencia de temperatura de calentamiento”).
2. El segundo con el fin de calcular los efectos en el caso de que la parte superior de la plataforma este más fría que el núcleo de esta, se le llama (“diferencia de temperatura inversa” o “diferencia de temperatura de enfriamiento”).

ESTADO DE CONOCIMIENTO

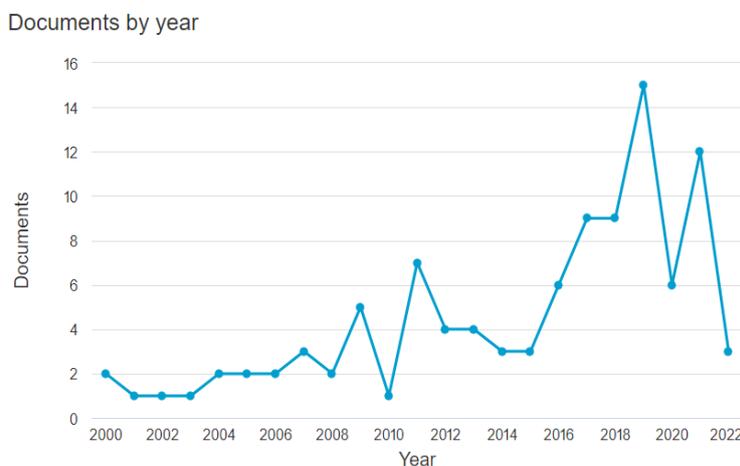
A continuación, se realiza una revisión actual de estudios previos, tecnologías o métodos relacionados con la problemática: “¿Con qué cargas de temperatura se debería diseñar las losas de concreto con exposición a la radiación solar en una altitud de 2500 msnm?”. Esta exploración busca encontrar datos e información que aporte a la solución de la problemática mencionada.

Al realizar la consulta del estado del conocimiento se buscó en bases de datos como Redalyc, ScienceDirect y Scopus en esta plataforma se utilizaron los siguientes parámetros de búsqueda TITLE (thermal OR temperature* OR "solar radiation" AND (frame OR beam) AND concrete AND (load* OR movement* OR loading OR action* OR effect* OR displacement* OR monitoring* OR response* OR distribution* OR gradients* OR "Structural Health" OR strain* OR deformation* OR prestress* OR deck* OR deflection* OR "finite element method") AND NOT ("thermal bridge" OR asphaltic OR bridged OR polyurethane* OR pavement* OR polybutadiene* OR liquid* OR "epoxy" OR sediment OR scour OR dental OR ablation), con el fin de filtrar el menor número de artículos presentes en la base de datos (SCOPUS, 2022).

Al realizar esta búsqueda, se optó por utilizar los filtros, escogiendo exclusivamente artículos publicados desde el año 2000 hasta el año 2022, en donde SCOPUS nos arrojó un total de 103 documentos Figura 9.

Figura 9.

Documentos encontrados desde el año 2000 hasta el año 2022



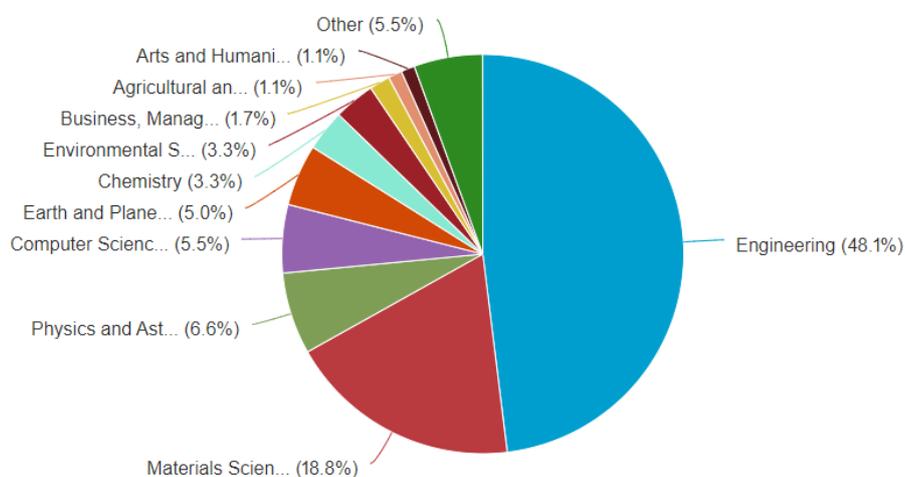
Fuente: (SCOPUS, 2022)

En cuanto a la rama del conocimiento se observa en la Figura 10 que la Ingeniería con un 48.1% es la que aporta más documentos a la investigación de esta problemática, junto con la rama de ciencia de los materiales que aporta documentos con un 18.8%.

Figura 10.

Documentos encontrados por área del conocimiento

Documents by subject area



Fuente: (SCOPUS, 2022)

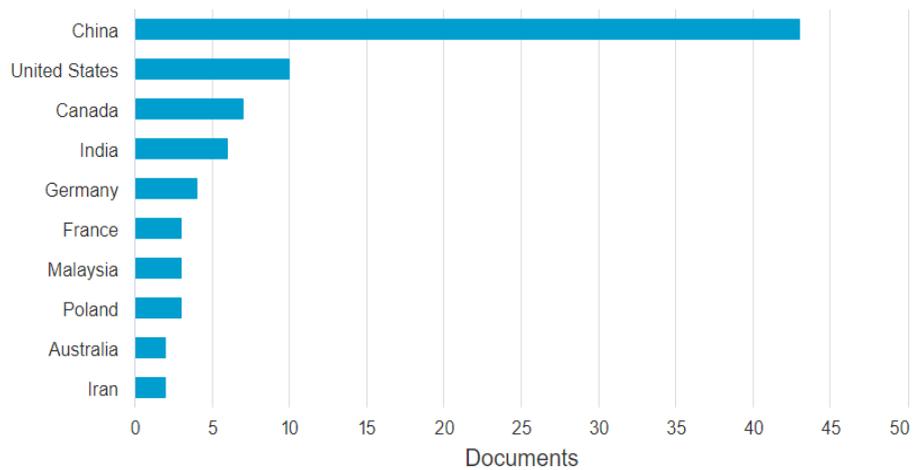
En la Figura 11 se observa que los países que más aportes le dan al desarrollo del tema son China encabezando seguido de Estados Unidos.

Figura 11.

Documentos por país o territorio

Documents by country or territory

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



Fuente: (SCOPUS, 2022)

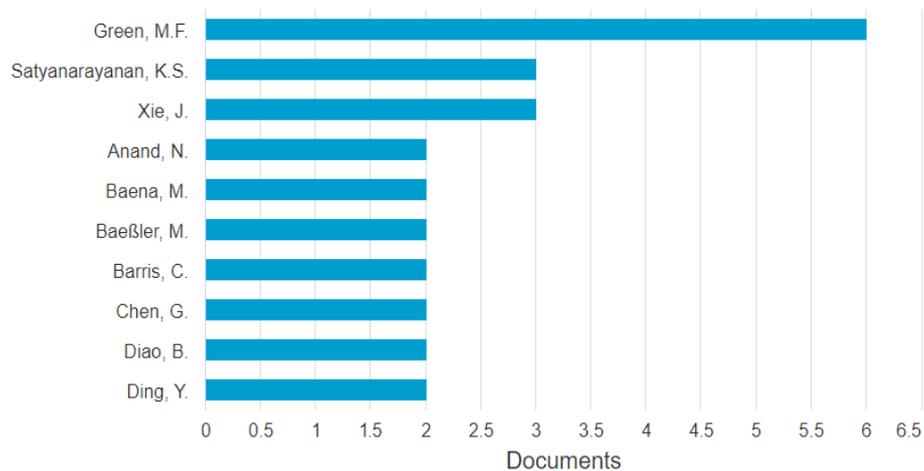
Esta base de datos nos arroja los autores que han hecho aportes con documentos sobre el tema de aplicación Figura 12.

Figura 12.

Documentos por autor

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.



Fuente: (SCOPUS, 2022)

En la Tabla 1 se realiza una clasificación de los artículos más relevantes al proyecto de investigación que aportan para analizar con más detenimiento la transferencia de calor en placas de concreto.

Tabla 1

Artículos encontrados relacionados con el tema de estudio.

Palabras clave	Título	Autor	Año	Cita
Thermography and concrete	Image analysis on disintegrated concrete at the post-heating stage.	Akca, A. H., & Özyurt, N.	2020	(Akca & Özyurt, 2020)
	Application of infrared thermography for in-situ determination of building envelope thermal properties	Lu, X., & Memari, A.	2019	(Lu & Memari, 2019)
Thermal or temperature	Influencia de los componentes constructivos en la temperatura del aire interior de viviendas	Hobaica, M. E., Sosa, M. E., & Rosales, L.	2000	(Hobaica et al., 2000)
	Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models.	Khan, M. I.	2002	(Khan, 2002)
Concrete slabs	Prediction of load capacity of one way reinforced concrete slabs with openings using <u>nonlinear finite element analysis</u>	Kaya, N., & Anil, Ö.	2021	(Kaya & Anil, 2021)
	Evaluation of fractures in a concrete slab by means of laser-spot thermography	Scalbi, A., Olmi, R., & Inglese, G.	2019	(Scalbi et al., 2019)
Concrete frame	Analytical study on reinforced concrete frame under high temperature with loading condition at steady state analysis	Parthasarathi, N., Girish, S., Prakash, M., Satyanarayanan, K.S., & Srinivasa Senthil, S.	2021	(Parthasarathi, N. et al., 2021).
Effect of temperature	Effect of Temperature Stresses in Composite Girder Bridges	Sharma, V., & Dwivedi, D. A. K.	2018	(Sharma & Dwivedi, 2018)
Concrete beam	Experimental investigation on temperature distribution of reinforced concrete beam	Zhao, Dongfu. You, Zuokai, & Liu,	2012	(Zhao, Dongfu et al., 2012)

Fuente: Propia

Según (Khan, 2002), el análisis de la transferencia de calor a través de la conducción de calor creada por la estructura se reconoce como uno de los problemas de la ingeniería civil. Al diseñar y construir hormigón, es fundamental reconocer las propiedades térmicas del material, los procesos de transferencia y el transporte de calor. Aunque es uno de los materiales más utilizados en la construcción, los problemas de transferencia de calor que con lleva, hace que sea un material complejo. Según investigaciones se revela que el tipo de árido, la porosidad y el contenido de humedad son los componentes que más influyen en la conductividad térmica del hormigón. En este orden de ideas, cabe mencionar la cuarcita, la arenisca y rocas cuarzos, los cuales se caracterizan por tener alta conductividad térmica. Esta investigación hace una revisión de los modelos de conductividad del hormigón con los cuales se logró analizar que a mayor contenido de humedad se produce un mayor efecto de la conductividad térmica; también se analizó que el tipo de agregado tiene una influencia significativa.

(Akca & Özyurt, 2020), realizaron un estudio de la relación entre el crecimiento de grietas y la reducción de la resistencia a la compresión del concreto, con el objetivo

de detectar los daños o deterioros que se presentan en el mismo, al ser expuesto a altas temperaturas. Este estudio se basa en muestras de hormigón que se calentadas a 1000 °C y se sometidas a curado por aire en una franja de 28 días. La fractura durante el tratamiento con aire se controló fotografiando las superficies calentadas cada hora durante una semana. Se utilizó una cámara DSLR de alta resolución y una lente macro de 100 mm para capturar los detalles de la imagen. Se observa que los píxeles negros representan grietas, espacios de aire, descamación de la superficie y sombreado (debido a la ubicación de los focos) en la superficie caliente de la muestra.

A través del estudio citado anteriormente, se desarrolló una técnica de análisis de imágenes llamada Análisis de píxeles negros (BPA) para intuir la correlación entre el incremento de grietas durante el tratamiento con aire y la disminución de la resistencia a la compresión posteriormente del tratamiento con aire. El método funciona bien, aunque se puede perfeccionar para mostrar más claramente qué tan dañado está el concreto después de la exposición a temperaturas altas. Este estudio nos permite conocer que el gradiente térmico, la libre evaporación del agua y los cambios químicos del hormigón son las causas fundamentales de daños como el agrietamiento y la delaminación, entre otras causas principales.

Según (Lu & Memari, 2019), estudios recientes indican que la termografía infrarroja es un método que tiene el potencial de ser utilizado como técnica cuantitativa para medir la resistencia térmica. Sin embargo, existen limitaciones en los métodos de termografía infrarroja desarrollados hasta la fecha, que pueden conducir a dificultades en la aplicación práctica.

Las losas son elementos constructivos que transfieren cargas perpendiculares a sus planos a columnas o vigas portantes. Además, las placas transmiten cargas horizontales paralelas a sus planos, como cargas sísmicas. En las estructuras de hormigón armado, se pueden formar aberturas en los techos por muchas razones. Tales aberturas tienen un efecto negativo sobre la capacidad de carga y la transferencia de carga de los paneles. Además, la presencia de aberturas en los paneles del suelo para elementos arquitectónicos, escaleras y huecos de ascensores es a veces inevitable. Estas aberturas conducen a una reducción de la rigidez de la membrana y reducen la capacidad de carga del componente. Estos tipos de diafragmas a menudo se diseñan sin conocer los efectos de los diafragmas. Por lo tanto, su verdadera respuesta puede diferir de lo que piensa (Kaya & Anil, 2021).

La presencia de grietas es un factor crucial en el deterioro de las estructuras de hormigón armado. La termografía de punto láser (LST) es un método rápido y sin contacto para la detección de grietas. Se presenta un método computacional para caracterizar la profundidad de la fisura usando LST. Para ampliar el conocimiento sobre la temperatura en la superficie de la losa de hormigón, se propone un método a partir del cual se puede derivar una conexión entre el espacio térmico a través de la grieta y la profundidad desconocida del daño. Esto permite un examen rápido para distinguir entre fracturas superficiales y profundas (más de 15 mm de profundidad) que requieren un análisis más detallado (Scalbi et al., 2019).

(Hobaica et al., 2000), realizaron un estudio que muestra la influencia de las propiedades térmicas de los componentes de la construcción en su condición de reguladores de los aportes diarios de calor y se realizó una evaluación comparativa de la calidad térmica de los distintos sistemas constructivos comúnmente utilizados en Venezuela. En este estudio se utilizó un modelo simplificado para el cálculo de la temperatura del aire interior diseñado específicamente para un clima tropical, sujeto a ajustes basados en los resultados experimentales obtenidos en el sitio. En este proceso es posible mostrar la linealidad de los procesos de intercambio de calor y por analogía con los circuitos eléctricos, el método simula el edificio y los fenómenos físicos involucrados utilizando elementos resistivos y capacitivos.

Este estudio es capaz de analizar que, al realizar las muestras para tipos de casos, se evidenció que en todos los casos estudiados la temperatura máxima interna es superior a la temperatura externa, aunque no se excluye que otras combinaciones de materiales o modificación de los parámetros que permanecen inalterados. Además, podrían generar temperaturas máximas internas por debajo de las máximas externas. También se concluyó que la mayor parte del calor generado por el sol entra por el techo, lo que reduce en gran medida la influencia de las paredes. Es por lo que las diferencias en los resultados de los casos considerados se deben en gran medida a la influencia del techo.

El trabajo analítico se realizó con el uso del software de elementos finitos ABAQUS. Se realizó un análisis de estado estacionario en ocho modelos de marco desnudo, llenando los marcos con diferentes aberturas en el piso. El modelo de estructura alámbrica se creó utilizando una malla C3D8T para una rejilla de ladrillos de 8 nodos termo adheridos con un tamaño de malla de 25 mm.. Este modelo se simula

utilizando análisis de estado estacionario y características como la tasa de deformación y falla bajo carga térmica (Parthasarathi, N. et al., 2021).

(Zhao, Dongfu et al., 2012), investigaron la distribución del campo de temperatura de las vigas de hormigón, los cuales realizaron ensayos de resistencia al fuego en 6 vigas de hormigón armado de un solo apoyo. Los resultados de la prueba muestran que la tendencia de la distribución del campo de temperatura en cada segmento de la viga es la misma, pero la diferencia de valor en cada segmento es grande; cuanto mayor sea la sección transversal de la viga, mayor será la temperatura de la superficie de la viga y más lenta la transferencia de calor hacia el interior de esta, lo que demuestra que el aumento del espesor de la lámina de hormigón puede aumentar la resistencia al fuego de la viga.

(Bažant, 2002), estudia los modelos de falla existentes para el concreto y los métodos de prueba para la energía de fractura y otras tipologías de falla mostrando algunos resultados nuevos sobre la correlación entre la prueba de grieta y el tamaño. Se declara el tamaño del efecto. Se contienen las restricciones del modelo de grietas de consolidación. La discrepancia entre los valores de energía de fractura proporcionados por el método de trabajo de fallas de Hillerborg y el método de efecto de tamaño se expone y representa matemáticamente mediante la ley de efecto de tamaño a gran escala. Se discute la influencia de la dispersión estadística recientemente determinada de la energía de cortocircuito medida la operación de cortocircuito en comparación con el método del tamaño del efecto o el método de Jenk-Shah. Se discute el valor de los diferentes métodos de investigación. Se plantea un procedimiento de prueba donde se proporciona la prueba de carga máxima de una viga moleteada con solo dos dimensiones diferentes en una relación de 2:1 y dos profundidades de muestra diferentes y el procedimiento de mínimos cuadrados para calcular los parámetros de rotura. Asimismo, se propone como alternativa un procedimiento de prueba simplificado con coeficientes de prueba, donde solo se prueba la carga máxima de vigas idénticas moleteadas y sin anudar de las mismas dimensiones. Este estudio enfatiza en el modelo de fisura cohesiva proporcionando un criterio de evaluación que se caracteriza por ser estrictamente uniaxial, entendido esto como la resistencia u esfuerzo máximo que puede soportar un material no confinado, este estado depende de las tensiones paralelas y la resistencia a tracción los esfuerzos cortantes transmitidos a través del plano de la grieta. Finalmente, se reflexionan unos de las demostraciones a

favor de incorporar la mecánica de fallas en la práctica del diseño concreto y se ubican bajo la perspectiva de los factores de seguridad.

Mediante la evaluación de fachadas de edificios con termografía activa, se desarrolló un estudio enfatizando el caso de exposición solar directa, se utiliza el propio sol como fuente de calor. Se expone como la termografía activa se puede emplear con éxito a grandes áreas, si se produce una proyección de sombra. Posteriormente de efectuar una recuperación de sucesión para corregir el comportamiento transitorio de la tendencia de la sombra, los datos se consideran mediante termografía de fase de pulso (PPT). En relación con los termogramas sin procesar, las imágenes de fase derivadas manifiestan una calidad de imagen mejorada con numerosos detalles. La frecuencia de las imágenes de fase está conexas con la profundidad de sondeo. El asunto de estudio mostrado representa la exploración termográfica de la fachada de una edificación antigua y con alto significado (Krankenhagen & Maierhofer, 2014).

(Abubakkar & Kumar, 2022), analizan mediante un estudio la distribución de temperatura desde la superficie exterior superior a la superficie inferior interior. Primero consideran la losa de hormigón habitual. Por consiguiente, la losa de concreto con papel de aluminio, grava y arena se tienen en cuenta por independiente. De esta manera, se consume una suma valiosa de energía para conservar comodidad térmica en la circundante de un edificio. Esta energía consumida posee su propio costo eléctrico conveniente. El precio se consigue comprimir en alta medida con la utilización de materiales pasivos. El calor se transporta al interior de los edificios por medio del techo de hormigón superior y las paredes de ladrillo adyacentes. La temperatura internamente del edificio estar en manos de los materiales de construcción y del aislamiento manejado. En este artículo, la temperatura de la superficie superior e inferior de la losa se calcula en circunstancias de flujo de calor invariable. Debido a que la temperatura externa perturba la transmisión de calor con ayuda de un componente de la cubierta, los ensayos se efectúan en un laboratorio con un origen de calor exterior.

(Bailey & Toh, 2007), enseñan los resultados de los ensayos de cuarenta y ocho losas de hormigón armado analizando dos vías sin restricciones planas a temperatura ambiente y temperatura elevada. Las pruebas aprobaron un paralelo directo incluyendo los tipos de falla encontrados a temperatura ambiente y temperatura elevada. Se manejaron como asistencia mallas de alambre liso soldado de acero dulce y de inoxidable, con disímiles diámetros de barra y distancias. Los estudios a temperatura

ambiente revelaron que las losas con una correspondencia de refuerzo mínima fracasaron por fractura del refuerzo en el eje de la losa, ya sea a lo extenso del trayecto más corto para las losas rectangulares o a lo extenso de uno de los recorridos para las losas cuadrangulares. Se encontró que el engrandecimiento de la relación de refuerzo llevó a la fallar por compresión el concreto en las aristas de las losas. Al realizar de nuevo los ensayos a temperaturas elevadas, se evidencio que todas las losas fallaron por fisura de la armadura, con movimientos que oscilaron entre $luz/12$ y $luz/6$. Los resultados de este estudio dejaron ver con claridad la acción que la membrana produjo a temperatura ambiente y a temperatura elevada, y facilita variedad de datos que pueden emplearse para desarrollar metodologías con el fin de diseñar modelos simples de componentes restringidos reales.

La revisión poco perjudicial de fisuras en el hormigón es considerada una labor usual para la que se han anunciado medios con resultados no ofensivos. En especial, estos experimentos se han llevaron a cabo en fisuras artificiales establecidas mediante la utilización de roturas en cambio de grietas naturales. Este artículo valora una metodología implementada para instaurar aberturas reproducibles y inspeccionadas en el concreto. EL desarrollo de este proceso se basó en implementar mortero expansivo en una sucesión de brechas ciegas. Esto se realizó en mezcolanza con un refuerzo escrupulosamente colocado para dirigir la orientación del progreso de la grieta. La hondura de la fisura además se encontraba observada por el refuerzo (Wiggenhauser et al., 2018).

METODOLOGÍA

Durante el desarrollo del proyecto de investigación, se llevó a cabo una serie de actividades metodológicas, las cuales se componen de selección de placas, la recolección de datos meteorológicos, la toma de datos y posteriormente el análisis de estos. A continuación, se dispone el orden con detalles de la realización del proyecto.

Paso 1

En primer lugar, se identifican dos tipos de estructuras correspondientes al Municipio de Simijaca y la Ciudad de Bogotá. Con la disposición de las cámaras termográficas por parte de la Universidad Antonio Nariño, se toman las fotografías en horario de la mañana (6:00 – 7:00 am) y al medio día (12:00 – 2:00 pm) durante 20 días consecutivos de las placas de concreto.

Las placas de concreto seleccionadas se identifican a continuación.

Localización de las estructuras Bogotá

La estructura que se va a estudiar en la ciudad de Bogotá está ubicada en la Kr. 21 # 25 - 35 Sur, Localizada en el barrio Olaya Herrera Figura 13 y 14.

Coordenadas de la placa: 04°60'97.0"E 74°08'17.0"S

La Ciudad de Bogotá D.C. tiene una superficie total de 1776 km² y un área urbana de 307 km². Se ubica en el centro geográfico del territorio nacional a 2.600 metros sobre el nivel del mar y tiene una temperatura promedio de 14 °C, en días muy soleados la sensación de calor puede elevarse hasta los 23 °C (Secretaría Distrital de Planeación, 2018).

Coordenadas geográficas, Latitud Norte: 4° 35'56" y Longitud Oeste de Greenwich: 74°04'51".

Figura 13.

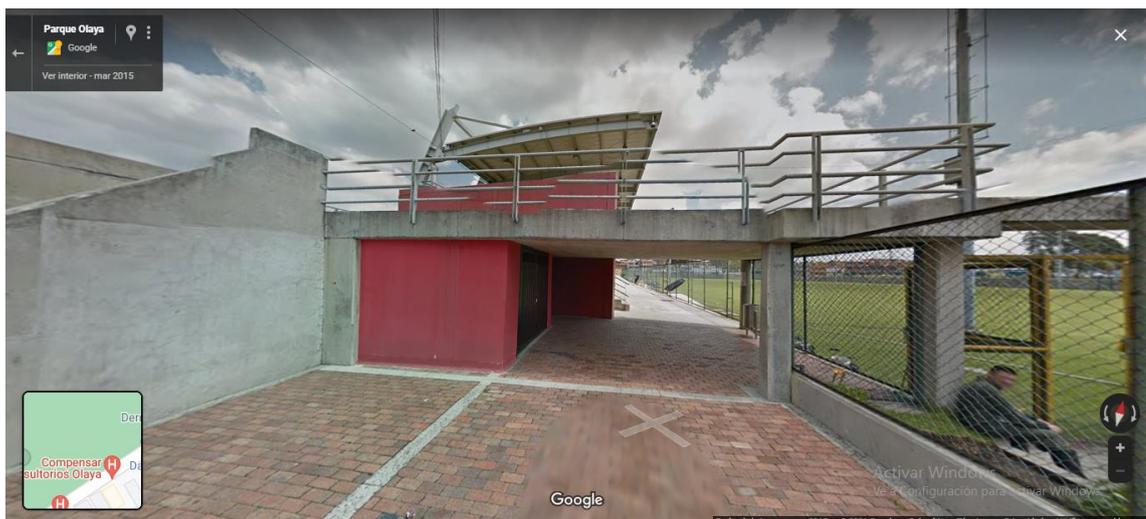
Localización de la estructura en la Ciudad de Bogotá.



Fuente: (Google Maps, 2021)

Figura 14.

Placa de estudio en la Ciudad de Bogotá.



Fuente: (Google Maps, 2021)

Localización estructura Simijaca

La placa de concreto ubicada en el Municipio de Simijaca Cundinamarca, Figura 15, está localizada en la Kr8 #4-34, barrio las Margaritas Figura 16.

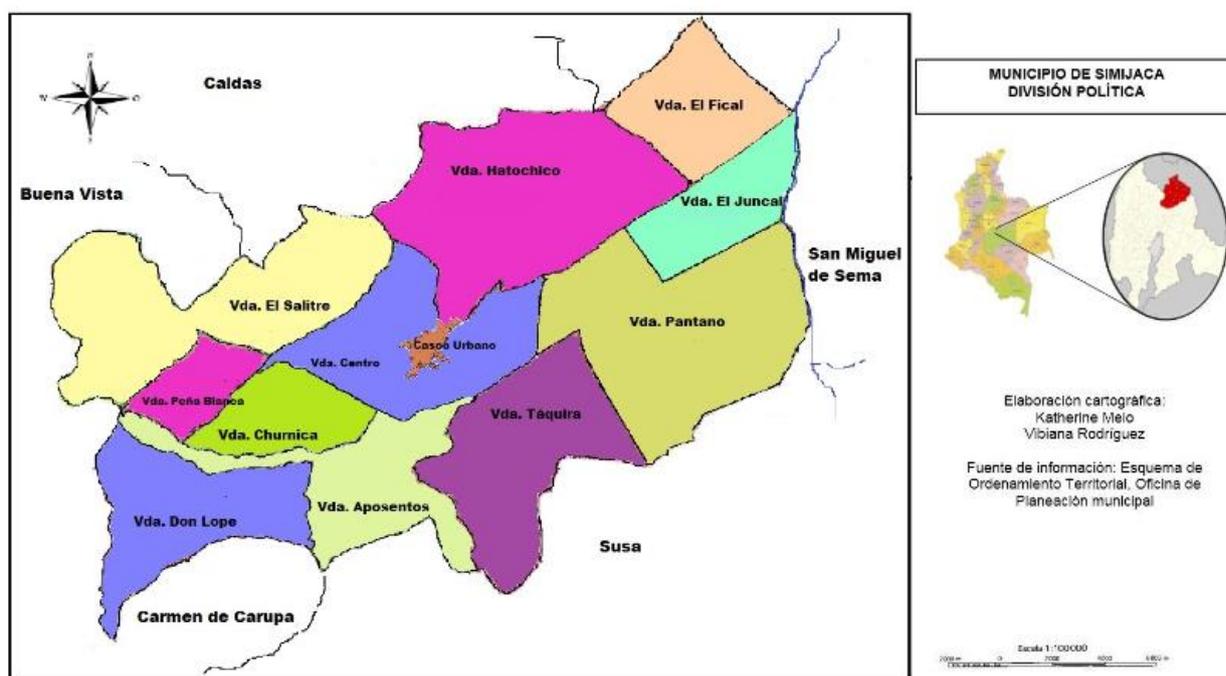
Esta estructura corresponde a una placa de concreto rígida ubicada en el sector centro del municipio.

Coordenadas de la placa: 05°30'01.0"N 73°51'10.0"W

El municipio de Simijaca se encuentra ubicado en la zona norte de la provincia de Cundinamarca, al oeste de los fértiles valles de Ubaté y Chiquinquirá. Coordenadas geográficas, latitud: 5.5, longitud: -73.85, latitud: 5° 30' 0" Norte, longitud: 73° 51' 0" Oeste. Se baña en los afluentes del río Simijaca y la laguna de Fúquene correspondientes a la provincia de Ubaté, con una altitud de 2.559 metros sobre el nivel del mar, una temperatura media aproximada de 14° C. La cabecera del municipio de Simijaca está situada a 2 kilómetros en la vía de Ubaté a Chiquinquirá. (Alcaldía de Simijaca, 2021).

Figura 15.

Localización municipio de Simijaca.



Fuente: (Rodríguez Cortés & Melo Hernandez, 2015)

Figura 16.

Localización de la estructura en el Municipio de Simijaca.



Fuente: (Google Maps, 2021)

Paso 2

Con la disposición de las cámaras termográficas Figura 17 de la marca FLIR, proporcionadas por la Universidad Antonio Nariño, se procede a utilizarlas y empezar con la toma de datos. Un ejemplo de las temperaturas que se identifican en las fotografías de dichas cámaras se presenta en la Figura 18.

Figura 17.

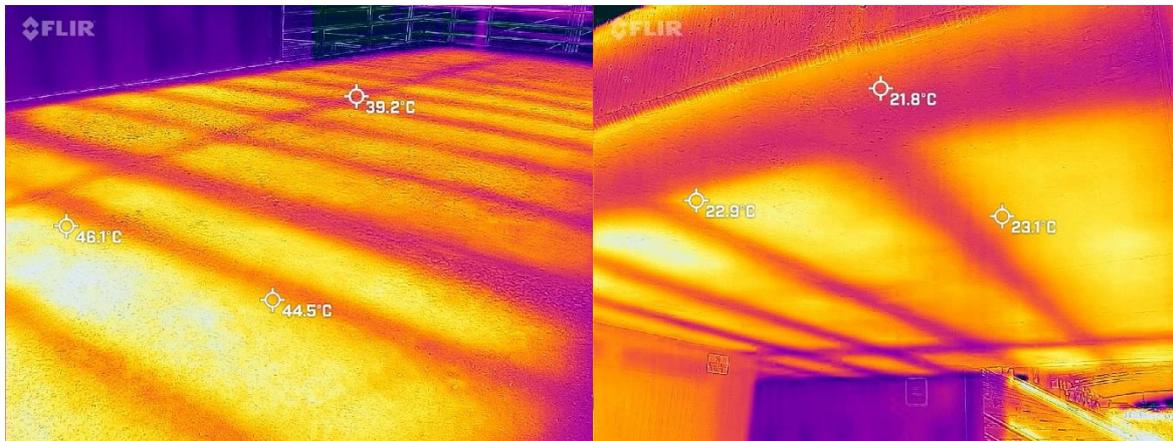
Cámara termográfica con la que se realizaron las mediciones en campo.



Fuente: (FLIR ONE Pro | Teledyne FLIR, 2021)

Figura 18.

Ejemplo de fotografías con la Cámara termográfica.



Fuente: Propia.

Paso 3

Se presentan histogramas de los efectos de la temperatura, que permitan considerar las variaciones en los lugares identificados, estos datos se obtienen de diferentes páginas confiables como el IDEAM, la CAR, WUNDERGROUND, NASA EARTH SCIENCE DATA y el aeropuerto El Dorado.

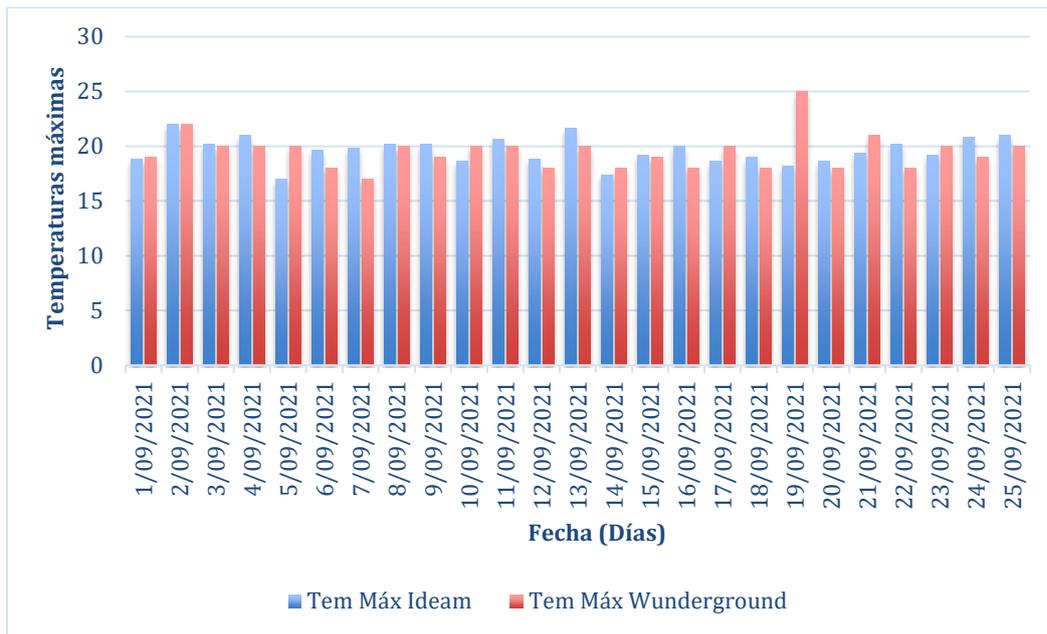
Placa Aligerada – Bogotá

Al realizar la búsqueda de datos meteorológicos correspondientes a la Ciudad de Bogotá, se procede a graficar los datos obtenidos de la temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación diaria y velocidad del viento con el fin de obtener una lectura más visual; en las Figuras 19 y 20, se presentan las temperaturas máximas y mínimas. En la Figura 21 la precipitación y en la Figura 22 la velocidad del viento.

La Figura 23 representa el histograma de la radiación solar consultada en la página de la NASA

Figura 19.

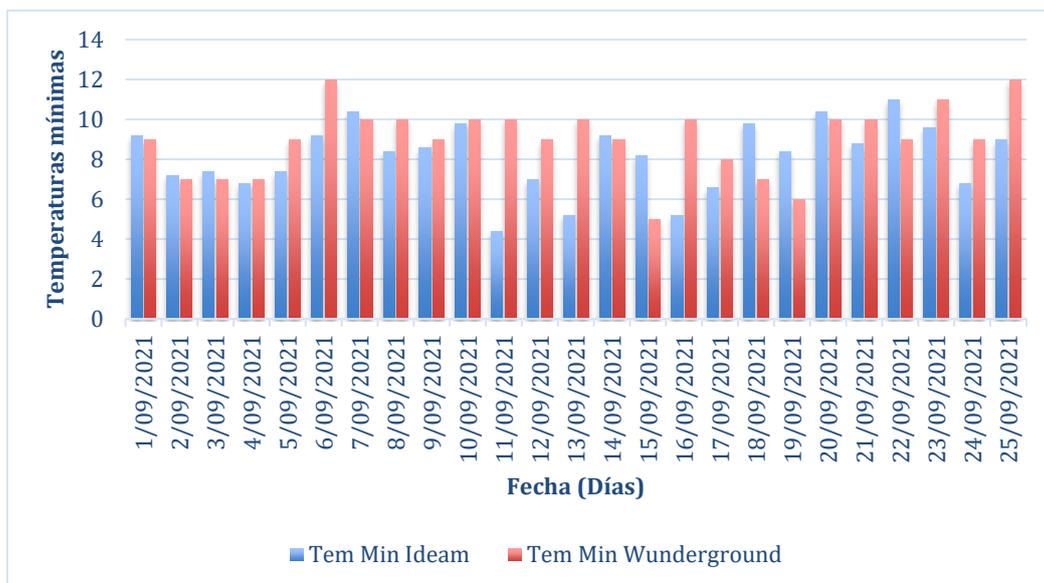
Histograma temperaturas máximas diarias del IDEAM y WUNDERGROUND



Fuente: Propia

Figura 20.

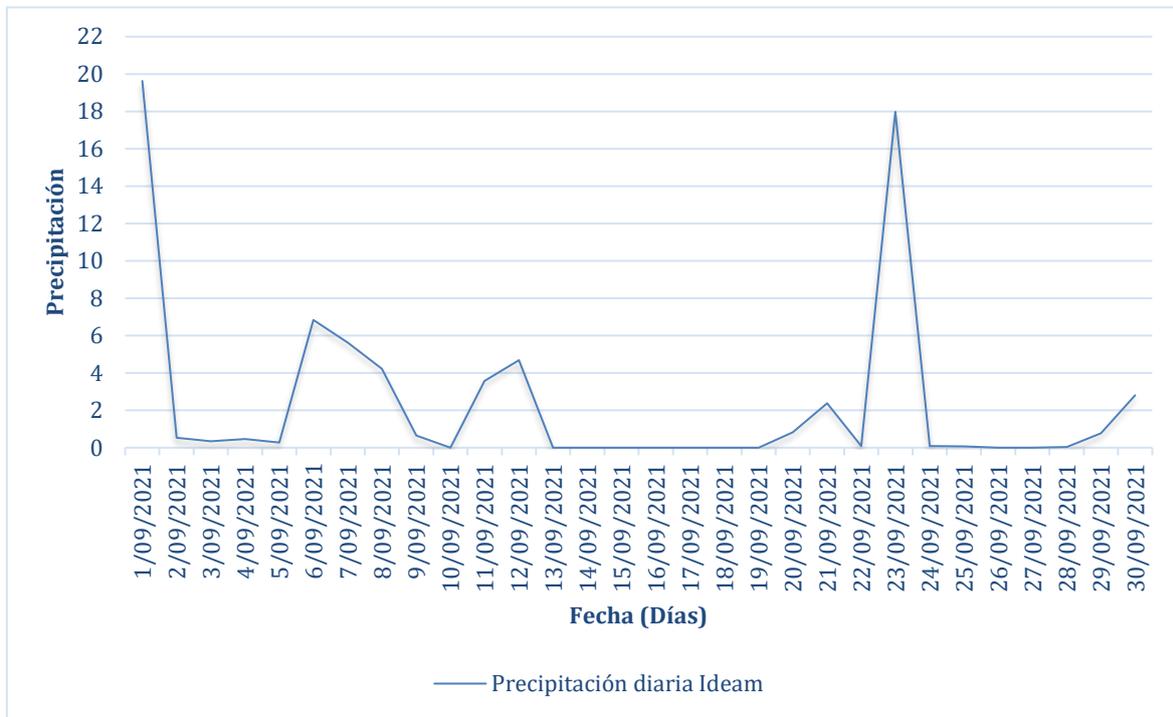
Histograma temperaturas mínimas diarias del IDEAM y WUNDERGROUND



Fuente: Propia

Figura 21.

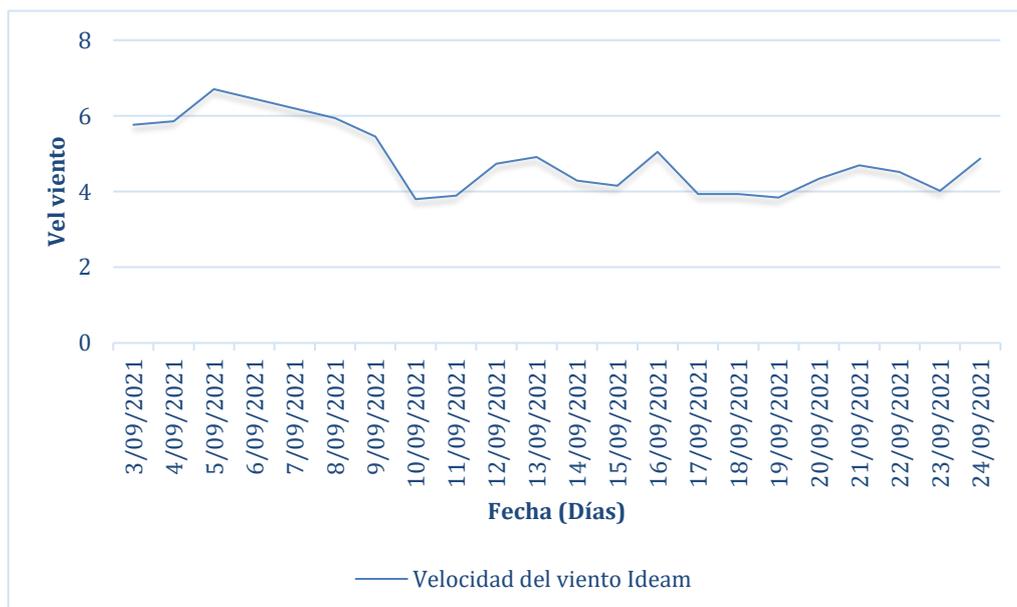
Precipitación diaria IDEAM



Fuente: Propia

Figura 22.

Velocidad del viento diaria IDEAM

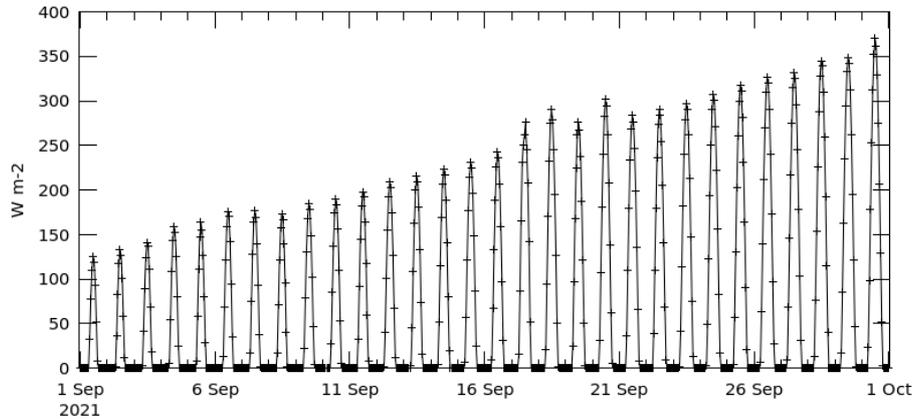


Fuente: Propia

Figura 23.

Histograma radiación solar de la NASA

Time Series, Area-Averaged of Surface incoming shortwave flux (clear sky), time average hourly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2T1NXRAD v5.12.4] W m-2 over 2021-09-01 00Z - 2021-09-30 23Z, Region 4.6097E, 74.0817S



- The user-selected region was defined by 4.6097E, 74.0817S. The data grid also limits the analyzable region to the this point: 4.375E, 74S. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

Fuente: (Giovani, 2022)

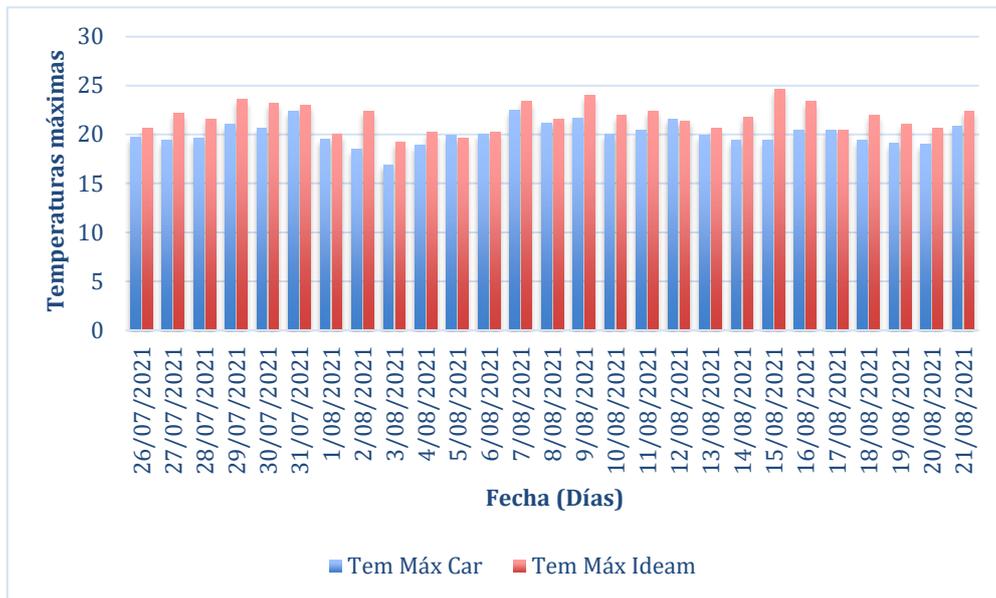
Placa maciza – Simijaca

Al realizar la búsqueda de datos meteorológicos correspondientes al municipio de Simijaca, se procede a graficar los datos obtenidos con el fin de obtener una lectura más visual; a continuación, se ilustran los resultados conseguidos.

La compilación de datos de temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones obtenidas por el IDEAM y LA CAR se ilustran en las Figuras 24, 25 y 26 respectivamente.

Figura 24.

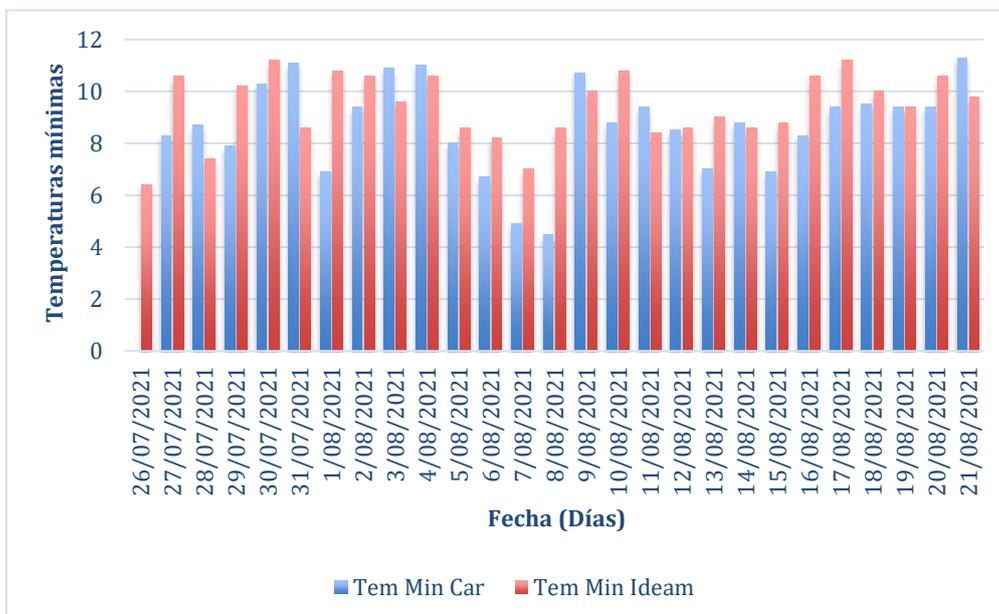
Histograma temperaturas máximas diarias del IDEAM y la CAR



Fuente: Propia

Figura 25.

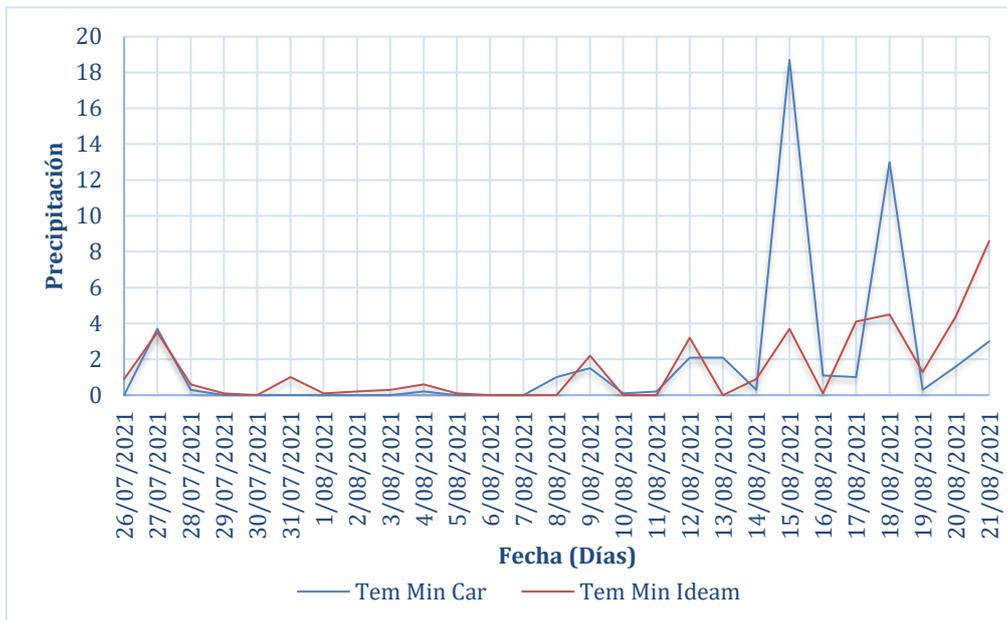
Histograma temperaturas mínimas diarias del IDEAM y la CAR



Fuente: propia

Figura 26.

Precipitación diaria IDEAM y la CAR

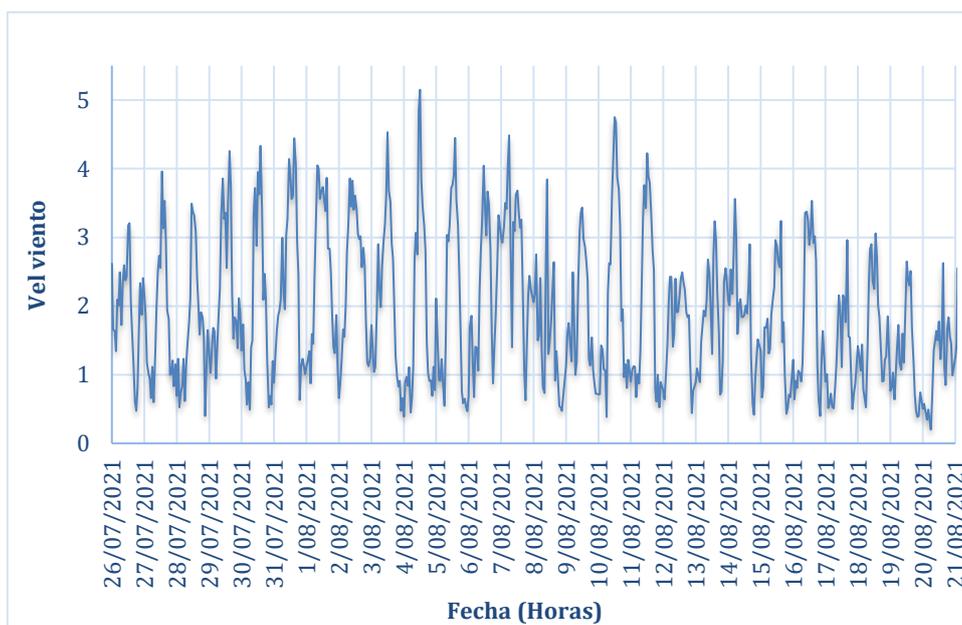


Fuente: Propia

En la Figura 27, se muestra gráficamente los valores obtenidos del IDEAM de la velocidad del viento horaria.

Figura 27.

Velocidad del viento horaria del IDEAM



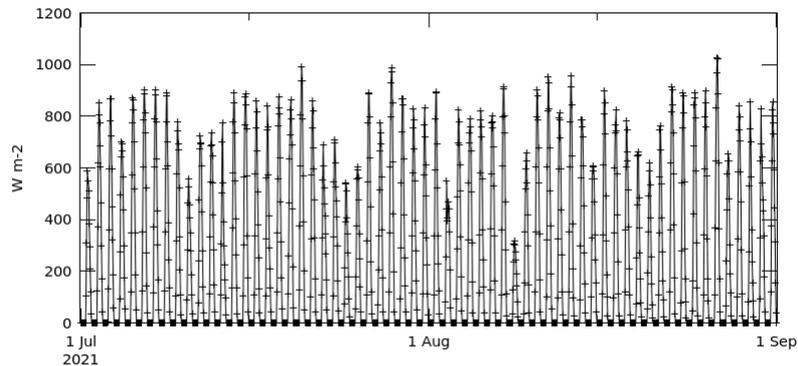
Fuente: Propia

La Figura 28, presenta un histograma de la radiación solar consultada en la NASA.

Figura 28.

Histograma radiación solar de la NASA

Time Series, Area-Averaged of Surface incoming shortwave flux, time average hourly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2T1NXRAD v5.12.4] W m-2 over 2021-07-01 00Z - 2021-08-31 23Z, Region 73.8144W, 5.3072N



- The user-selected region was defined by 73.8144W, 5.3072N. The data grid also limits the analyzable region to the this point: 73.75W, 5.5N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

Fuente: (Giovani, 2022)

Paso 4

Al realizar el monitoreo in situ mediante las tomas fotográficas, con el fin de ilustrar los días de mayor y menor temperatura para cada una de las placas, luego de la toma de fotografías con la cámara termográfica, se observarán los resultados mediante el software FLIR Thermal Studio, con los datos de temperatura, se efectuará el respectivo análisis de datos, para conseguir de esta manera un modelo numérico y finalmente se aplicarán las ecuaciones de transferencia de calor (conducción, convección, radiación) en estado estacionario, para las placas de concreto con el fin de resolver el problema establecido, determinando las temperaturas en la superficie tanto superior como inferior.

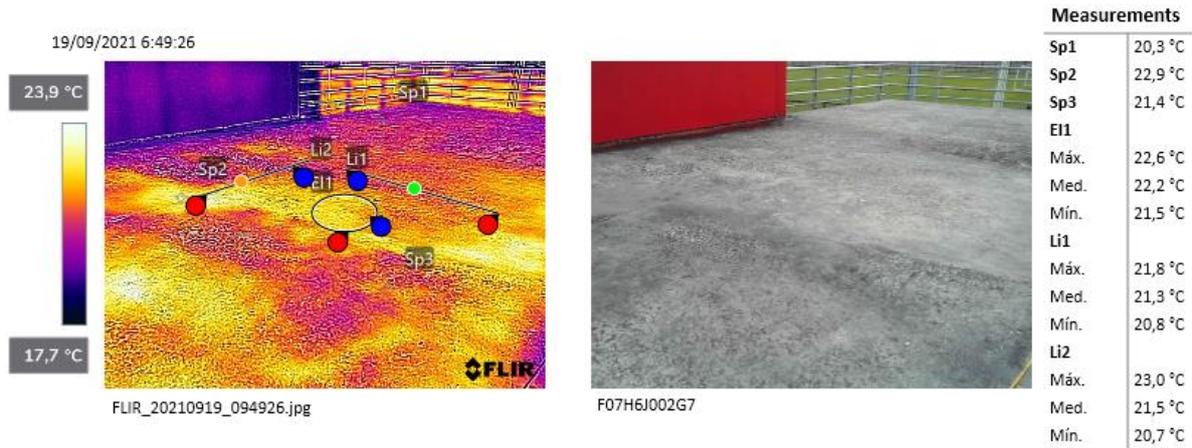
Placa Aligerada – Bogotá

A continuación, se ilustran las fotografías tomadas con la cámara termográfica de los días 19 de septiembre y 7 de septiembre del año 2021, en el que se evidencia las temperaturas máximas y mínimas respectivamente.

Para el día 19 de septiembre se logró obtener una temperatura máxima de 22,9 °C sobre la parte superior de la placa aligerada, en las Figuras 29, 30, 31 y 32 se muestran los datos generados mediante la cámara termográfica en este día tanto en horas de la mañana como al medio día.

Figura 29.

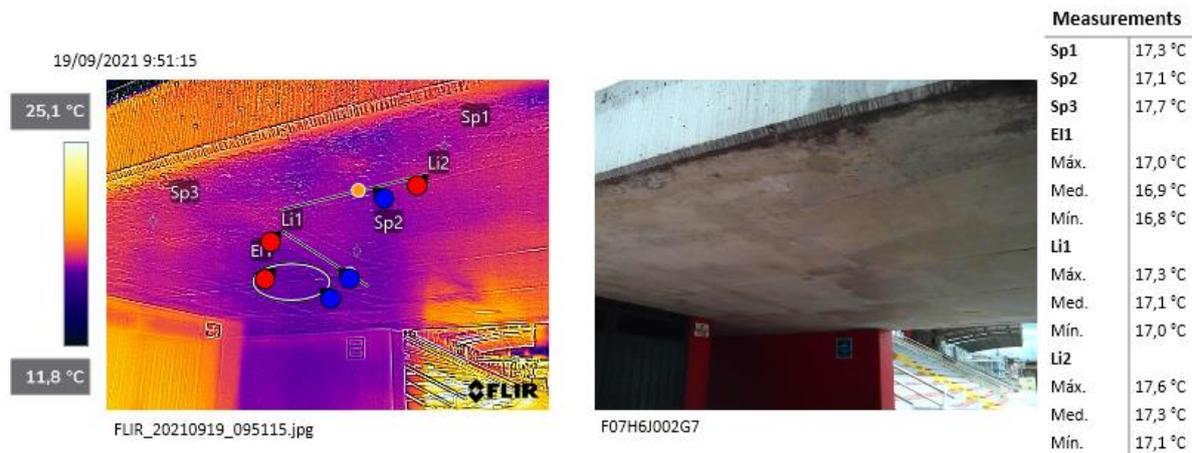
Fotografía 19 septiembre mañana - placa superior



Fuente: Propia

Figura 30.

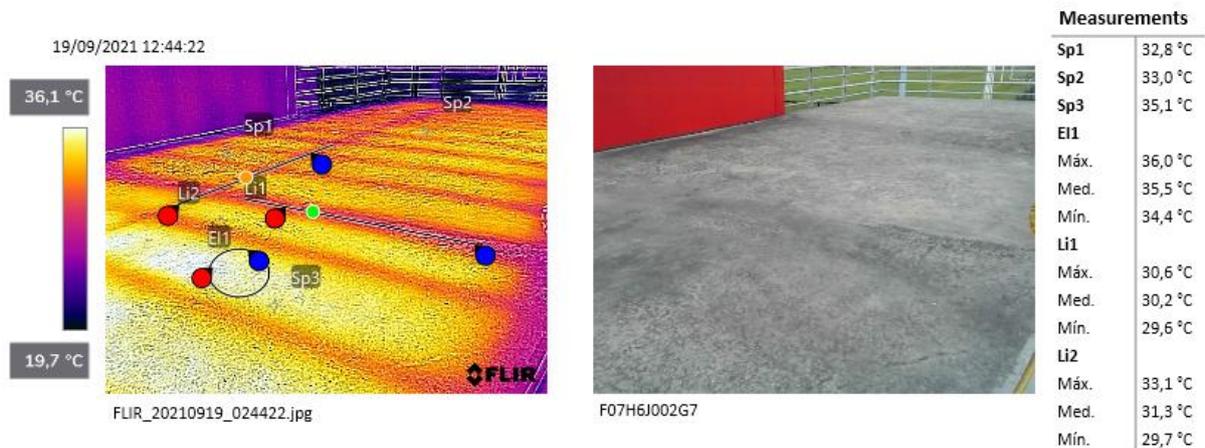
Fotografía 19 septiembre mañana - placa inferior



Fuente: Propia

Figura 31.

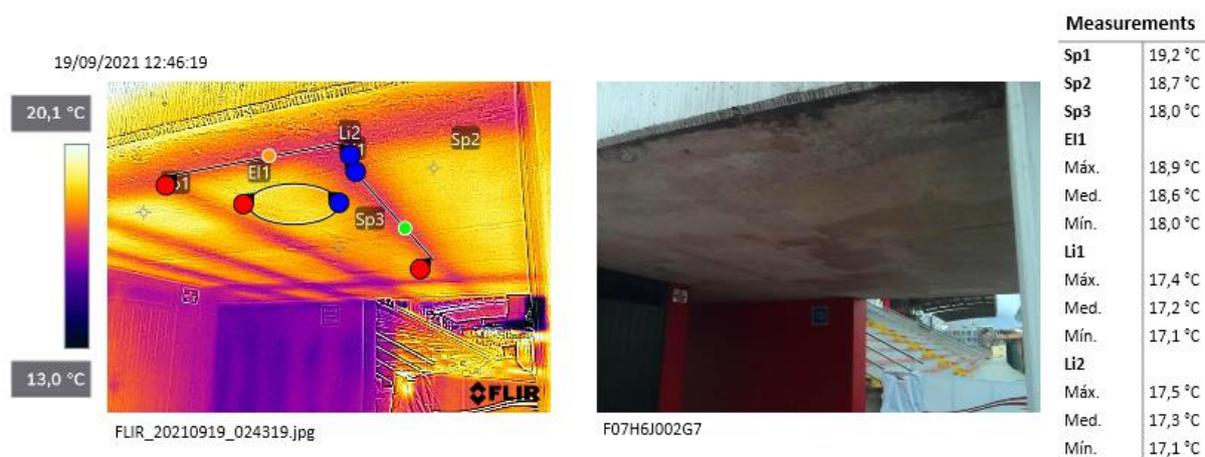
Fotografía 19 septiembre medio día - placa superior



Fuente: Propia

Figura 32.

Fotografía 19 septiembre medio día - placa inferior

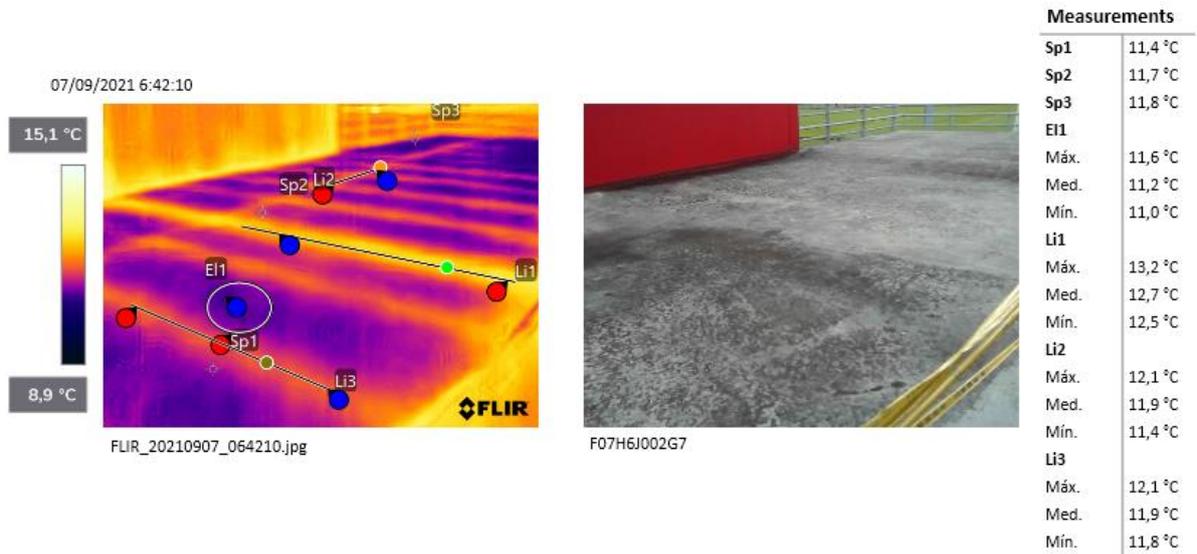


Fuente: Propia

Para el día 7 de septiembre se logró obtener una temperatura mínima de 11°C en la parte superior de la placa aligerada, en las Figuras 33, 34, 35 y 36 se muestran los datos generados mediante la cámara termográfica en este día tanto en horas de la mañana como al medio día.

Figura 33.

Fotografía 7 septiembre mañana - placa superior



Fuente: Propia

Figura 34.

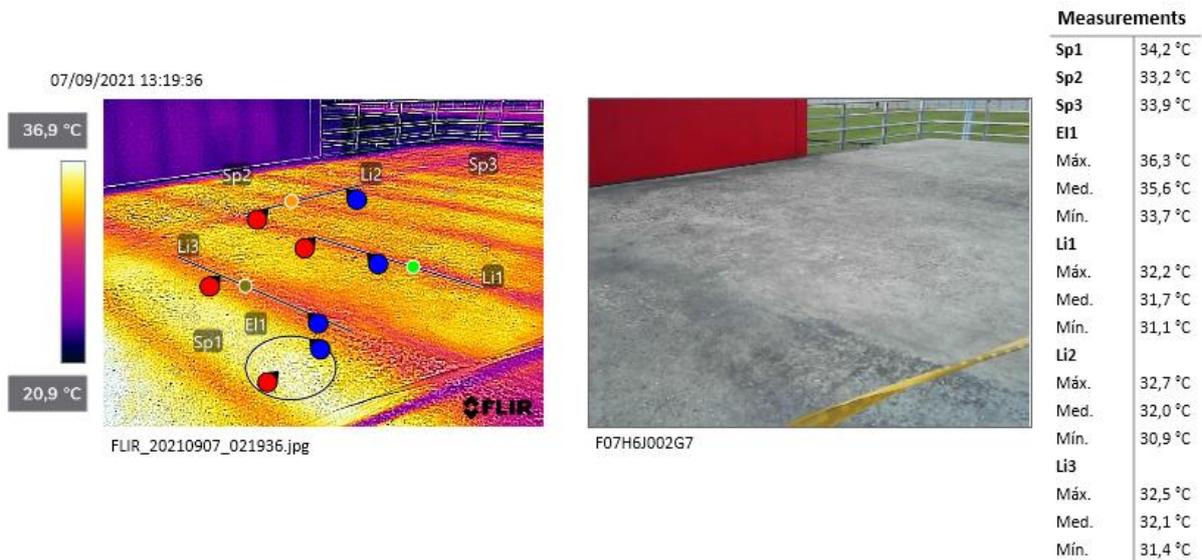
Fotografía 7 septiembre mañana - placa inferior



Fuente: Propia

Figura 35.

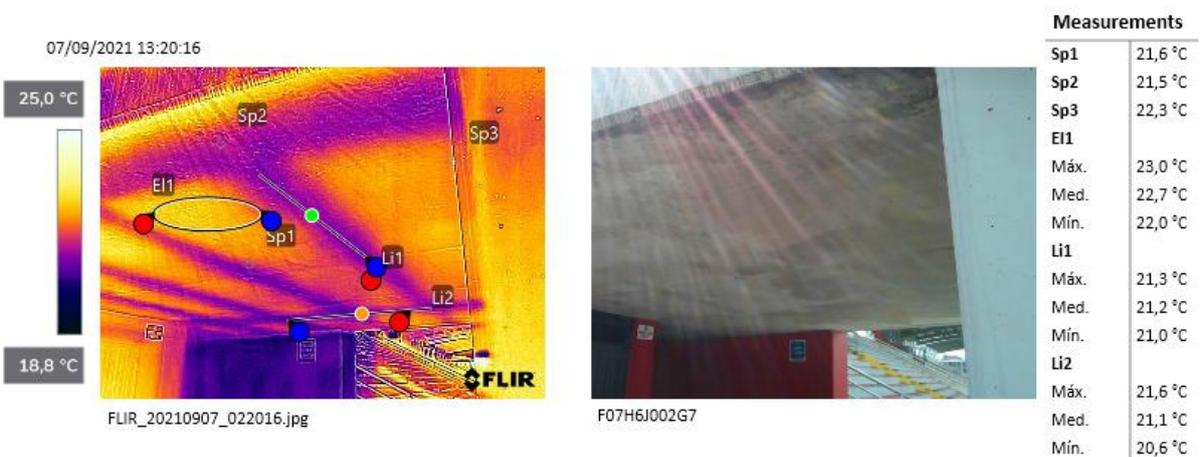
Fotografía 7 septiembre medio día - placa superior



Fuente: Propia

Figura 36.

Fotografía 7 septiembre medio día - placa inferior



Fuente: Propia

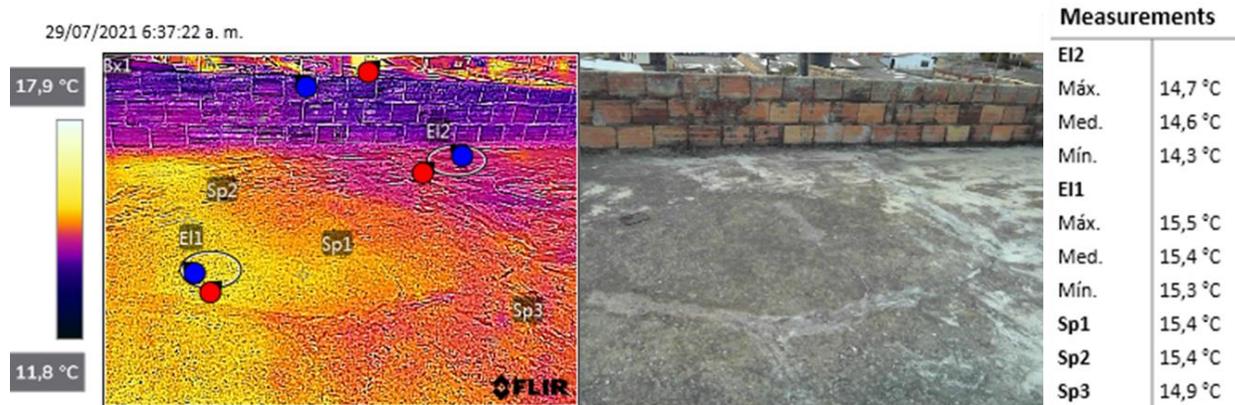
Placa Maciza – Simijaca

A continuación, se ilustran las fotografías tomadas con la cámara termográfica de los días 29 de julio y 7 de agosto del año 2021, en el que se evidencia las temperaturas máximas y mínimas respectivamente.

Para el día 29 de julio se logró obtener una temperatura máxima de 43°C sobre la parte superior de la placa maciza, en las Figuras 37, 38, 39 y 40 se muestran los datos generados mediante la cámara termográfica en este día tanto en horas de la mañana como al medio día.

Figura 37.

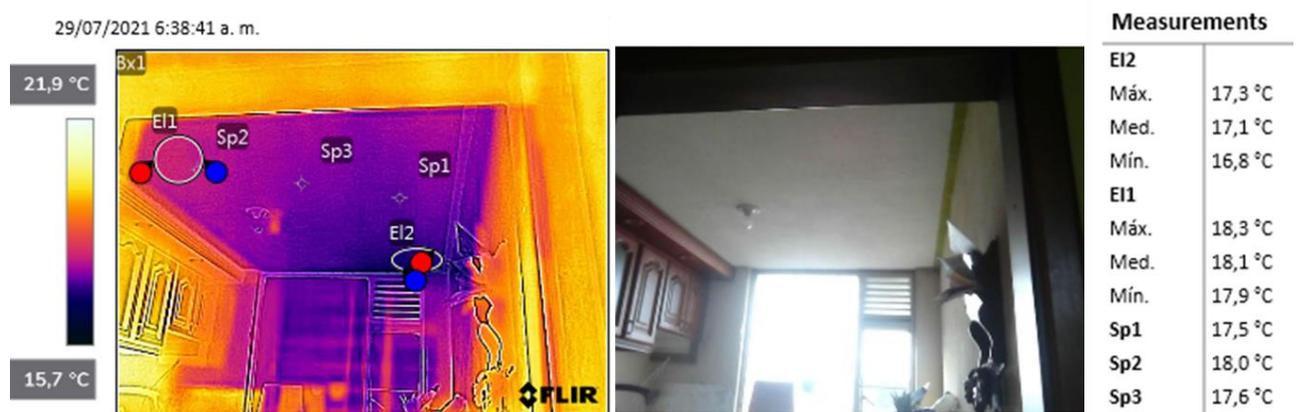
Fotografía 29 julio mañana - placa superior



Fuente: Propia

Figura 38.

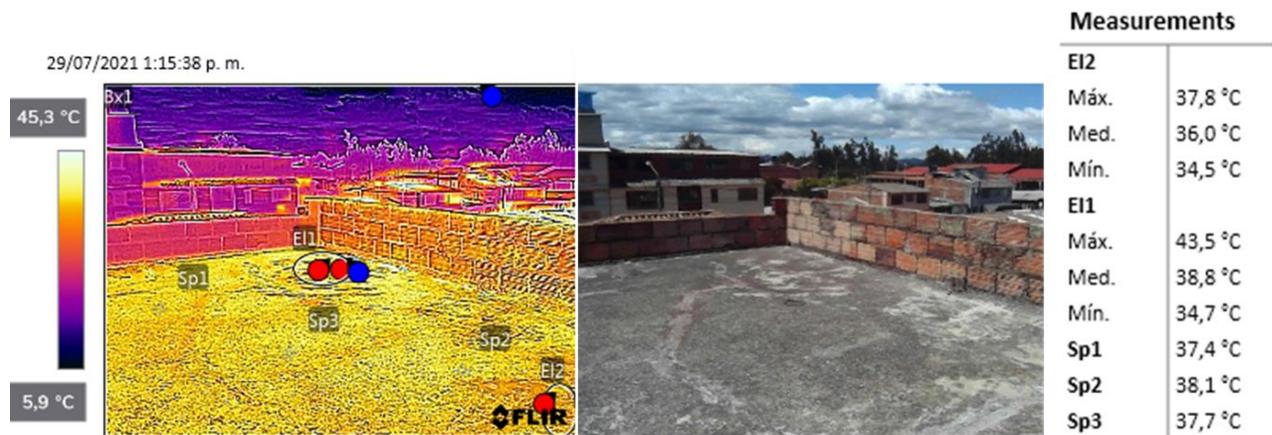
Fotografía 29 julio mañana - placa inferior



Fuente: Propia

Figura 39.

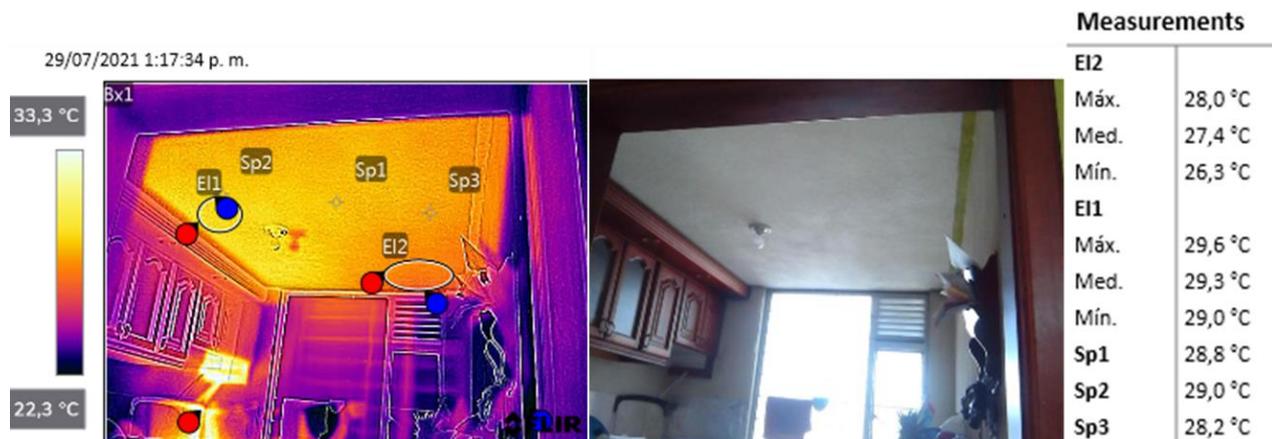
Fotografía 29 julio medio día - placa superior



Fuente: Propia

Figura 40.

Fotografía 29 julio medio día - placa inferior

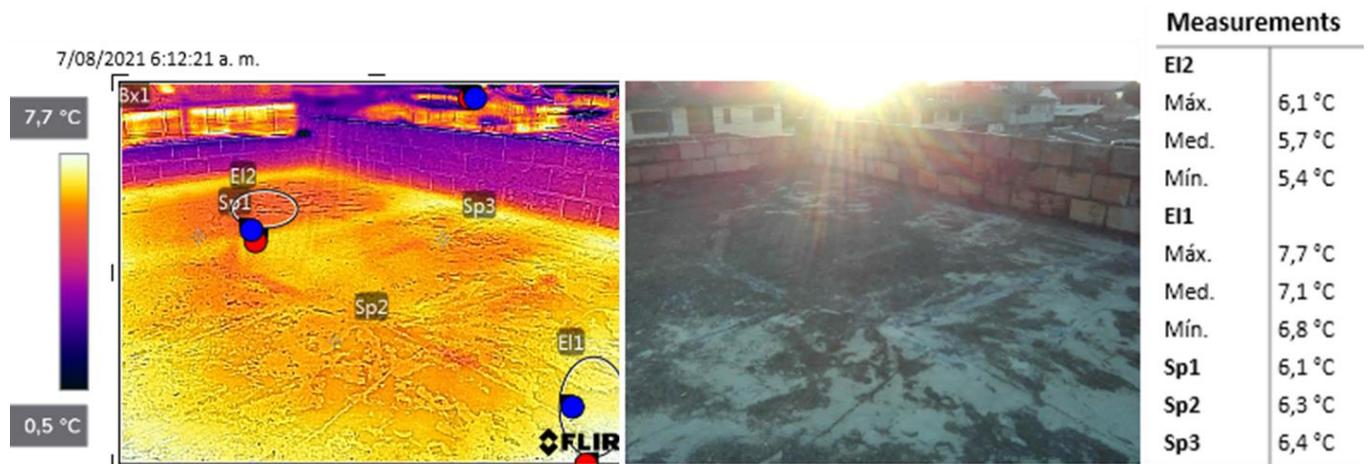


Fuente: Propia

Para el día 7 de agosto se logró obtener una temperatura mínima de 5,4°C en la parte superior de la placa maciza, en las Figuras 41, 42, 43 y 44 se muestran los datos generados mediante la cámara termográfica en este día tanto en horas de la mañana como al medio día.

Figura 41.

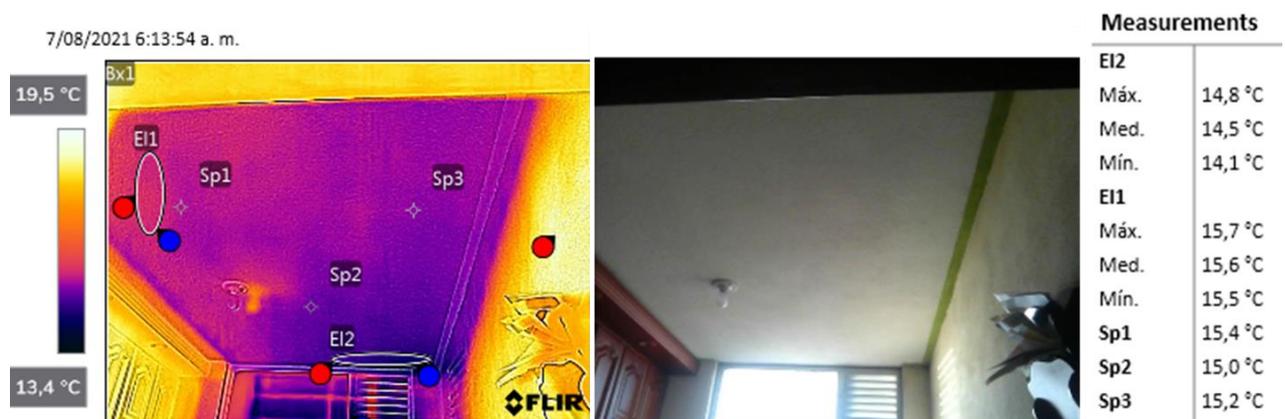
Fotografía 7 agosto mañana - placa superior



Fuente: Propia

Figura 42.

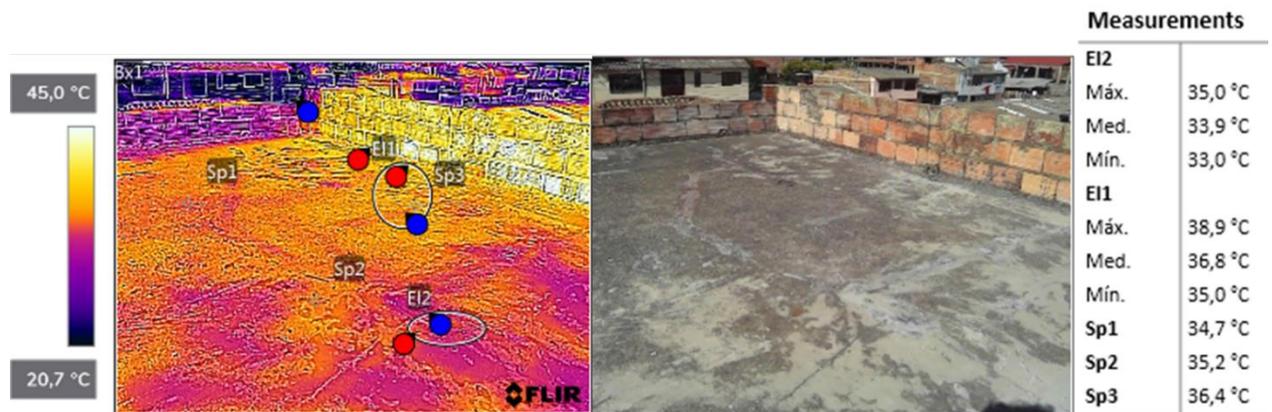
Fotografía 7 agosto mañana - placa inferior



Fuente: Propia

Figura 43.

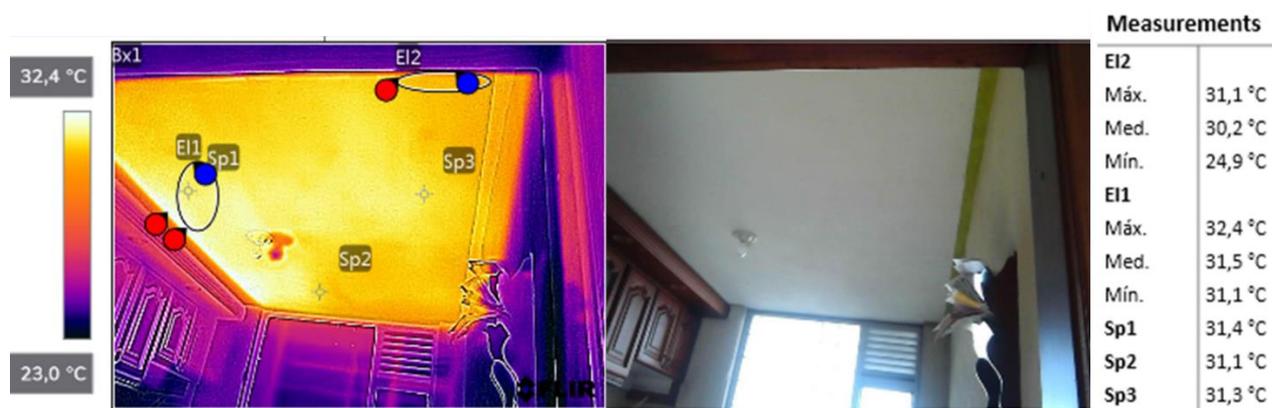
Fotografía 7 agosto medio día - placa superior



Fuente: Propia

Figura 44.

Fotografía 7 agosto medio día - placa inferior



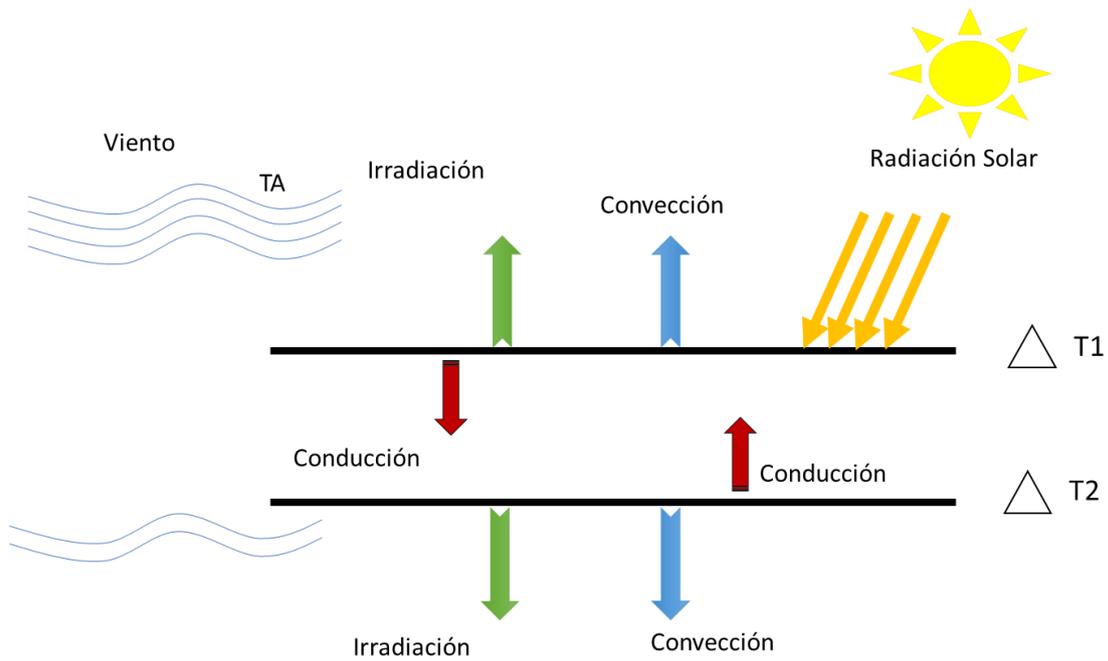
Fuente: Propia

Modelación numérica

Por medio del análisis térmico se calculan las temperaturas tanto de la parte superior como inferior de las placas de concreto T1 y T2 respectivamente, mediante un análisis numérico, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas y la composición de los materiales. Para realizar el análisis se realiza el equilibrio térmico de la placa de concreto Figura 45, el cual pretende ilustrar los mecanismos de transferencia de calor considerados en el modelo. Este equilibrio se efectúa mediante la siguiente ecuación.

Figura 45.

Diagrama equilibrio térmico.



Fuente: Propia.

El equilibrio térmico en una placa maciza está dado por la (Ec. 7).

$$Es + Ecv + Ei + Ecd = 0 \quad \text{Ec 7}$$

Donde,

Es = Energía Solar

Ecv = Energía por convección

Ei = Energía por irradiación

Ecd = Energía por conducción

Equilibrio térmico (Ec. 8), placa aligerada:

$$Ers + Eir + Ecv + Ecd = 0 \quad \text{Ec 8}$$

Donde,

Ers= Energía de radiación solar

Eir = Energía de irradiación

Ecv = Energía de convección

Ecd = Energía de conducción

Energía Solar

A medida que la luz atraviesa la atmósfera, parte de la radiación solar es absorbida o dispersada. El conjunto que llega a la superficie de la Tierra está en manos de una serie de factores, como el trayecto que viaja la radiación a través de la atmósfera, la humedad del aire, la cantidad de nubes y partículas suspendidas en el aire (Larsson, 2012). La cantidad total de radiación que logra ser absorbida por alguna superficie contigua al suelo, se calcula con la **(Ec. 9)**, propuesta a continuación.

$$Es = \alpha * G$$

Ec 9

Donde α es el coeficiente de absorción solar y G es la radiación total. A medida que el tiempo y estudios avanzan, se ha hecho necesario analizar la absorción solar medida sobre superficies expuestas directamente a la radiación solar; estas mediciones han permitido determinar que el hormigón está influenciado por el cambio de color, y se han obtenido los siguientes resultados Tabla 2:

Tabla 2

Absorción Solar del Concreto por diferentes autores

Autor	Absorción Solar del Concreto
(Emerson, 1973)	0,5
(Sheibany & Ghaemian, 2006)	0,5
(Branco & Mendes, 1993)	0,7
(Mirambell et al., 1991)	0,5
(Elbadry & Ghali, 1983)	0,5
(Sharma & Dwivedi, 2018)	0,5
(Fu et al., 1990)	0,65

(Roberts-Wollman et al., 2002)	0,7
(Threlkeld, 1970)	0,64 - 0,78

Fuente: (Larsson, 2012)

Por tanto, en este trabajo se optó por utilizar un coeficiente de absorción con un valor de 0.5, el cual es el que más se adapta según todos los estudios.

Energía por Convección

La energía por convección se genera entre una superficie, en este caso las placas de concreto y el aire, independiente del tipo de clasificación está se determina mediante la **(Ec. 10)**, (Larsson, 2012).

$$Ec_{cv} = h_c (T_s - T_{air}) \tag{Ec 10}$$

$$Ec_{cv} = h_c A (T_s - T_{air}) \tag{Ec 11}$$

(Cengel, 2007) en la **(Ec. 11)**, incluye el área superficial

Donde, T_s es la temperatura superficial, T_{air} es la temperatura del aire ambiente y h_c es el coeficiente de transferencia de calor en $W / (m^2 * ^\circ C)$. Este último depende del material de la superficie, ya que esta es directamente proporcional a la velocidad del viento, por tanto según (Gottsäter et al., 2016), el coeficiente se calcula con las **(Ec. 12 y 13)** según corresponda.

$$h_c = 6 + 4V \quad := \quad V \leq 5 \text{ m/s} \tag{Ec 12}$$

$$h_c = 7,4 * V^{0,78} \quad := \quad V < 5 \text{ m/s} \tag{Ec 13}$$

Energía por Irradiación

La transmisión de calor a la superficie del concreto por irradiación solar radica en la luz del sol en amplitudes de onda cortas, la cual emite una radiación por la superficie se origina a partir de la energía térmica del material encerrado por la superficie. La relación de la energía liberada por unidad de área se denomina potencia emitida y el límite superior de la potencia transmitida, comúnmente conocida como radiación de cuerpo negro, está determinada por la ley de Stefan Boltzmann, **(Ec. 14)**, (Cengel, 2007; Larsson, 2012).

$$Ei = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{Ec 14}$$

Donde, ε es la emisividad del material, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}^4$, correspondiente a la constante de Stefan-Boltzmann, A_s el área superficial, T_s superficial y T_a la temperatura ambiental registrada.

Energía por Conducción

La conductividad es la transferencia de energía de las partículas energéticas más altas. Las sustancias dirigidas hacia sustancias vecinas tienen menor energía, porque interactúan entre partículas. La conductividad puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases. En los sólidos, esto se debe a una combinación de las vibraciones de las moléculas en la red cristalina y el transporte de energía de electrones libres (Cengel, 2007). Esta dada por la **(Ec. 15)**:

$$Ecd = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad \text{Ec 15}$$

En nuestro caso de estudio, las placas de concreto, se resume así, **(Ec. 16)**:

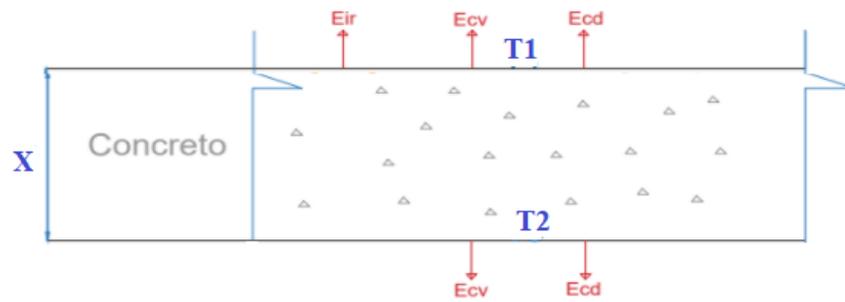
$$Ecd = A \frac{\Delta T}{x} \quad \text{Ec 16}$$

Donde, A es el área de la superficie, ΔT el diferencial de temperaturas y x el espesor de la placa.

La Figura 46 ilustra mediante un diagrama la dirección de las energías en una placa maciza y la Figura 47 ilustra mediante un diagrama la dirección de las energías en una placa aligerada.

Figura 46.

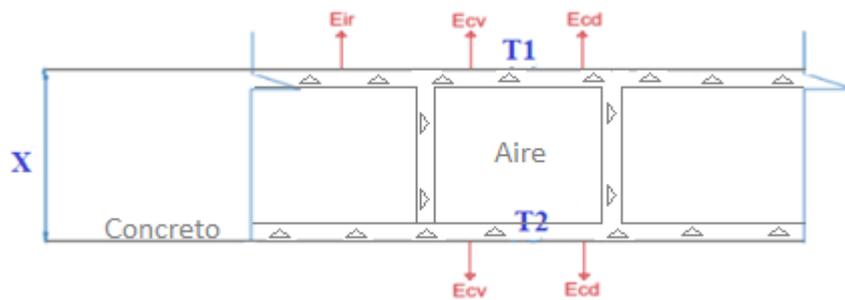
Diagrama espesor de la placa maciza



Fuente: Propia.

Figura 47.

Diagrama espesor de la placa aligerada



Fuente: Propia.

Finalmente, la **(Ec. 17)** de la energía por conducción para una placa de concreto es,

$$E_{cd} = kA \frac{T_1 - T_2}{x} \quad \text{Ec 17}$$

Para una placa aligerada **(Ec. 18)**:

$$Ecd = \frac{T1 - T2}{R} \quad \text{Ec18}$$

T1 = Temperatura placa superior

T2 = Temperatura placa inferior

R = Resistencia de la losa

Equilibrio de Energías

Con las fórmulas planteadas anteriormente de las energías que actúan en la transferencia de calor de las placas de concreto, se procede a hacer el equilibrio térmico que actúa en la placa de concreto rígida de Simijaca el cual se presenta a continuación la **(Ec. 19)**; descrita por la energía solar más, la energía por convección más la energía por irradiación más la energía de conducción, todo esto igualado a cero.

$$\alpha * G + h_c (T1 - T_a) + \varepsilon\sigma A_s(T1^4 - T_a^4) + A \frac{T1-T2}{x} = 0 \quad \text{Ec 19}$$

El equilibrio térmico **(Ec. 20)** de la placa aligerada de la ciudad de Bogotá está dado por la siguiente ecuación: la energía solar más, la energía por irradiación más la energía por convección más la energía de conducción, todo esto igualado a cero.

$$\alpha * G + \varepsilon\sigma A_s(T1^4 - T_a^4) + h_c (T1 - T_a) + \frac{T1-T2}{R} = 0 \quad \text{Ec 20}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de este trabajo de investigación se realiza en 2 fases principales, la primera en la selección de las 2 estructuras y la segunda con la cual se empieza a tomar datos de temperaturas.

Ambas placas están compuestas por concreto, en la Tabla 3 se muestran las propiedades de este material, las cuales son fundamentales para realizar el análisis de resultados y por ende la modelación numérica.

Tabla 3

Propiedades del Concreto.

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

Fuente: (Wayne, 1999)

Adquisición de datos

Una vez seleccionadas las placas a analizar, en la ciudad de Bogotá y el municipio de Simijaca - Cundinamarca, nombradas con mayor detalle anteriormente, se obtienen los siguientes datos.

Datos obtenidos placa maciza Municipio de Simijaca

En las Tablas 4 y 5, se realizó una tabulación de las temperaturas captadas por la cámara termográfica para horarios de una primera toma en horas de la mañana intentando captar la temperatura mínima de 5 a 6 am y en la tarde de 1 a 2 pm buscando la temperatura más alta. En los datos obtenidos se puede analizar que la temperatura más baja en la placa superior se presentó el día 7 de agosto con un valor de 7.7 °C, mientras que la temperatura más alta se presentó el día 31 de julio con 39,1 °C y para la placa inferior arrojó una temperatura mínima de 12,5 el 12 de agosto y una temperatura máxima de 34,1 el 31 de julio, siendo este día en el que la radiación del sol tuvo mayor impacto.

Tabla 4

Datos de temperaturas al amanecer en placa del Municipio de Simijaca

TEMPERATURAS AMANECER °C			
DIA	FECHA	PLACA SUPERIOR	PLACA INFERIOR
1	26-jul-2021	11,8	15,9
2	27-jul-2021	11,6	15,2
3	28-jul-2021	11,4	16,8
4	29-jul-2021	14,3	16,8
5	30-jul-2021	14,8	16,9
6	31-jul-2021	11,5	15,9
7	1-ago-2021	11,4	15,3
8	2-ago-2021	12,1	15
9	3-ago-2021	10,8	14,1
10	4-ago-2021	9,5	15
11	5-ago-2021	9,2	14,1
12	6-ago-2021	10,5	14,2
13	7-ago-2021	5,4	14,1
14	8-ago-2021	13,7	16,5
15	9-ago-2021	10,8	15,6
16	10-ago-2021	12	16,6
17	11-ago-2021	9,5	16,2
18	12-ago-2021	6,3	10,2
19	13-ago-2021	13,1	16
20	14-ago-2021	11,2	16,5
21	15-ago-2021	8,1	15
22	16-ago-2021	9,1	14,9
23	17-ago-2021	13,6	16,6
24	18-ago-2021	10,8	14,8
25	19-ago-2021	9,1	16,6
26	20-ago-2021	13,1	16,4
27	21-ago-2021	10,6	16,6

Fuente: Propia

Tabla 5

Datos de temperaturas al medio día en placa del Municipio de Simijaca

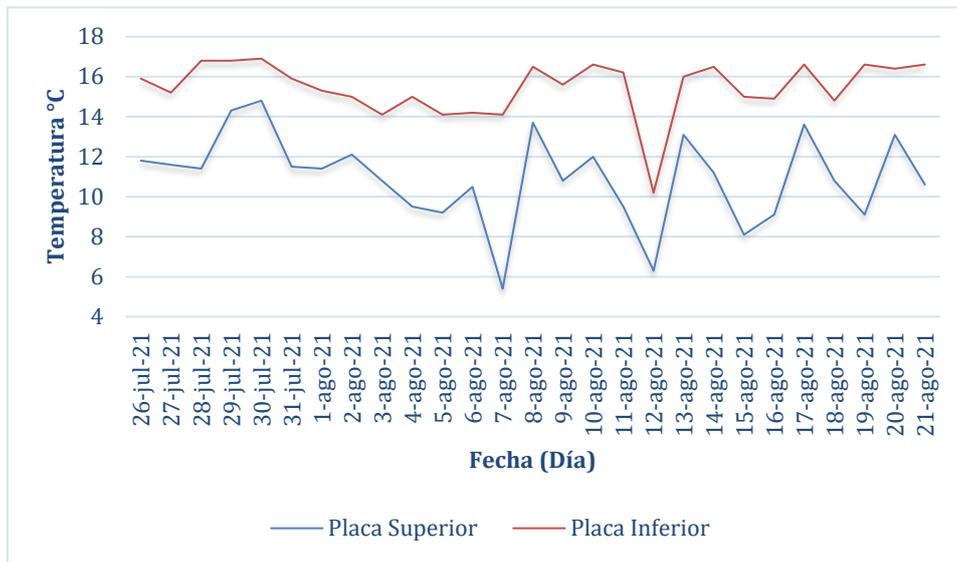
TEMPERATURAS MEDIO DÍA °C			
DIA	FECHA	PLACA SUPERIOR	PLACA INFERIOR
1	26-jul-2021	35,2	26,7
2	27-jul-2021	29	23,9
3	28-jul-2021	27,2	27,7
4	29-jul-2021	43,5	29,5
5	30-jul-2021	35,9	32,9
6	31-jul-2021	39,6	34,2
7	1-ago-2021	25,9	25,7
8	2-ago-2021	30,6	25,6
9	3-ago-2021	25,9	28
10	4-ago-2021	27	26,1
11	5-ago-2021	37,4	30,6
12	6-ago-2021	29,6	28,5
13	7-ago-2021	38,9	32,4
14	8-ago-2021	26	26,8
15	9-ago-2021	32,5	27,4
16	10-ago-2021	30,1	28,9
17	11-ago-2021	35,1	28,3
18	12-ago-2021	25,6	26,4
19	13-ago-2021	28,4	26,9
20	14-ago-2021	27,8	28,4
21	15-ago-2021	27,5	25,1
22	16-ago-2021	28,6	26,5
23	17-ago-2021	28,8	26,9
24	18-ago-2021	21,8	26,1
25	19-ago-2021	28,9	29,6
26	20-ago-2021	31,5	29,6
27	21-ago-2021	32,3	30,3

Fuente: Propia

A continuación, se presentan las Figuras 48 y 49, donde se puede observar el comportamiento que se obtiene con la toma de temperaturas y concluir que las temperaturas en horas de la mañana se mantienen similares mientras que, en la tarde, se presenta una variación que se logra evidenciar a mayor cabalidad en la placa superior, lo cual se puede presentar debido a la posición directa del sol y por tanto la radiación que genera sobre la placa y transfiere una mayor temperatura.

Figura 48.

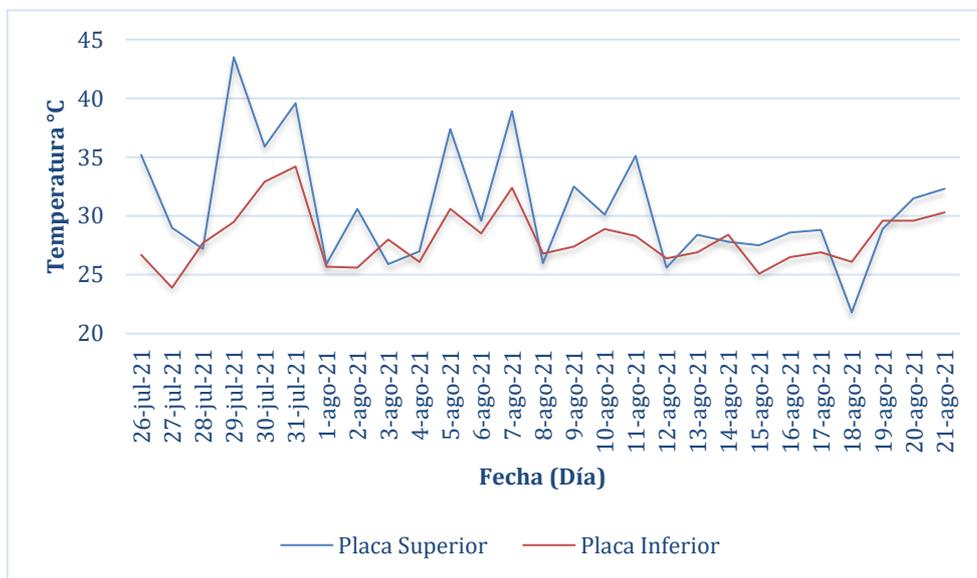
Temperaturas al amanecer del municipio de Simijaca



Fuente: Propia

Figura 49.

Temperaturas al medio día del municipio de Simijaca



Fuente: Propia

Para realizar un mejor análisis se hace una recopilación de datos de temperatura, radiación solar, precipitación y velocidad del viento de algunas páginas con reportes de

estaciones hidrometeorológicas, del IDEAM (IDEAM, 2021) y de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR (CAR, 2021).

Datos obtenidos placa aligerada Ciudad de Bogotá

Al realizar la toma de fotografías termográficas en la ciudad de Bogotá, se llevó a cabo un estudio de los datos obtenidos cada día, tanto en el horario de la mañana ver Tabla 6, como en el horario del medio día ver Tabla 7.

Por otra parte, se pudo realizar un estudio mediante gráficos de los comportamientos de diferentes gradientes de temperatura que se presentaron teniendo en cuenta los horarios y la placa en la parte superior como en la parte inferior, observar Figuras 50 y 51.

Tabla 6

Datos de temperatura al amanecer en placa de la Ciudad de Bogotá

TEMPERATURAS AMANECER °C			
DIA	FECHA	PLACA SUPERIOR	PLACA INFERIOR
1	3-sep-2021	13,2	17,4
2	4-sep-2021	19,4	12,1
3	5-sep-2021	19,4	17,9
4	6-sep-2021	14,8	12,3
5	7-sep-2021	11,0	14,1
6	8-sep-2021	12,9	13,8
7	9-sep-2021	11,2	14,4
8	10-sep-2021	15,9	15,1
9	11-sep-2021	15,3	12,2
10	12-sep-2021	15,3	15,6
11	13-sep-2021	15,1	16,0
12	14-sep-2021	15,3	16,7
13	15-sep-2021	15,1	16,2
14	16-sep-2021	15,1	16,7
15	17-sep-2021	15,4	16,5
16	18-sep-2021	15,2	16,5
17	19-sep-2021	17,6	16,8
18	20-sep-2021	20,8	16,9
19	21-sep-2021	20,3	16,8
20	22-sep-2021	20,8	18,8

Fuente: Propia

Tabla 7

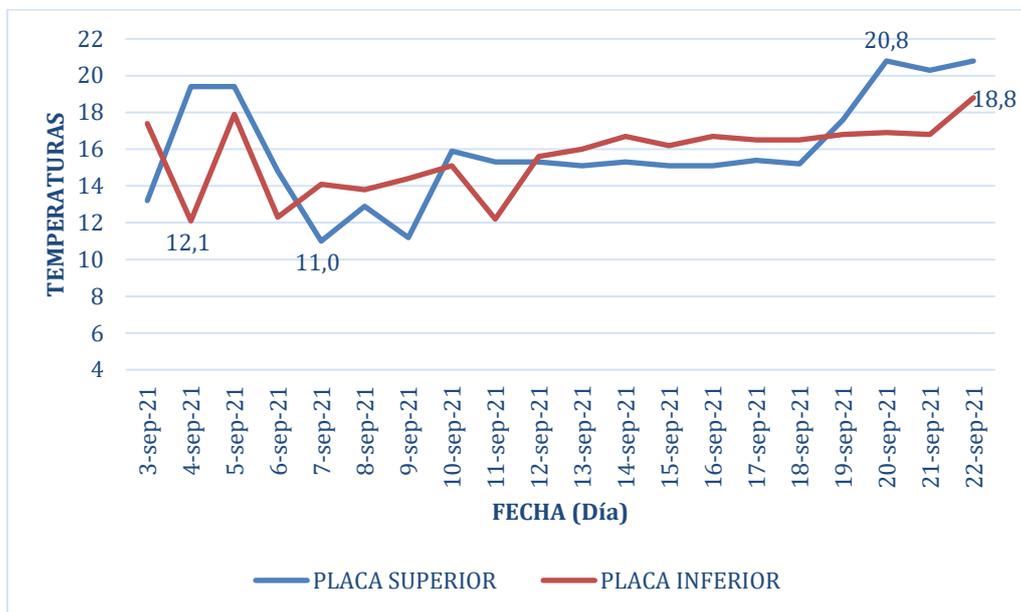
Datos de temperatura al medio día en placa de la Ciudad de Bogotá

TEMPERATURAS MEDIO DÍA °C			
DIA	FECHA	PLACA SUPERIOR	PLACA INFERIOR
1	3-sep-2021	30,3	21,6
2	4-sep-2021	20,5	16,1
3	5-sep-2021	29,8	21,0
4	6-sep-2021	35,8	22,6
5	7-sep-2021	35,3	21,8
6	8-sep-2021	29,8	21,2
7	9-sep-2021	34,7	18,8
8	10-sep-2021	45,8	25,3
9	11-sep-2021	46,0	24,3
10	12-sep-2021	28,5	21,1
11	13-sep-2021	29,3	21,0
12	14-sep-2021	30,7	20,3
13	15-sep-2021	46,1	22,9
14	16-sep-2021	29,8	21,0
15	17-sep-2021	32,8	22,3
16	18-sep-2021	34,0	22,3
17	19-sep-2021	35,3	19,2
18	20-sep-2021	35,6	22,4
19	21-sep-2021	35,3	19,2
20	22-sep-2021	29,7	20,6

Fuente: Propia

Figura 50.

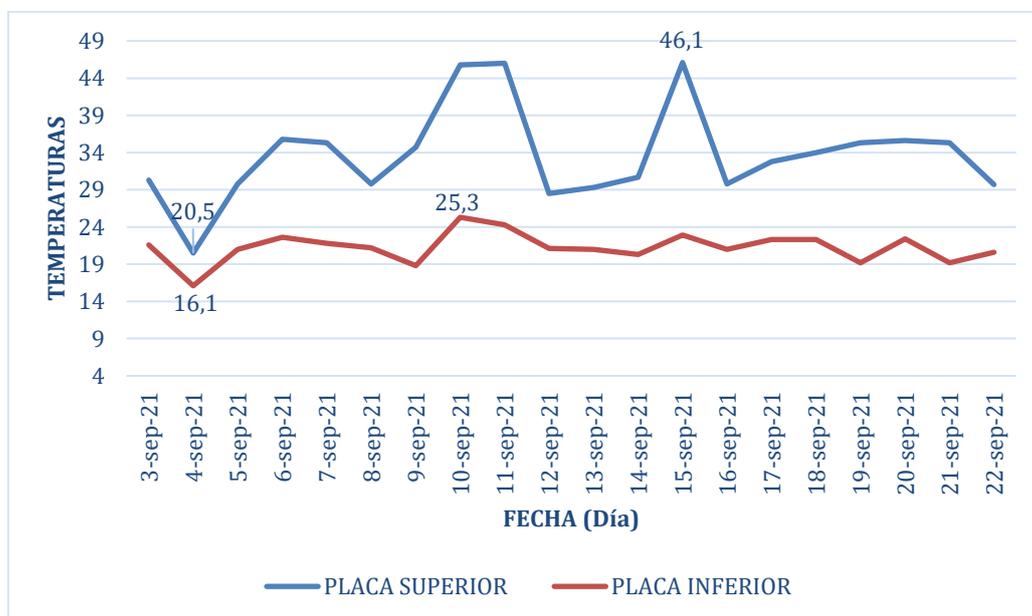
Temperaturas al amanecer de la Ciudad de Bogotá



Fuente: Propia

Figura 51.

Temperaturas al medio día de la Ciudad de Bogotá



Fuente: Propia

Al realizar los cálculos del equilibrio de energías que intervienen en el proceso de radiación de las placas, se obtienen las temperaturas presentadas en cada una de las placas.

Análisis de Temperaturas Obtenidas Placa de Simijaca

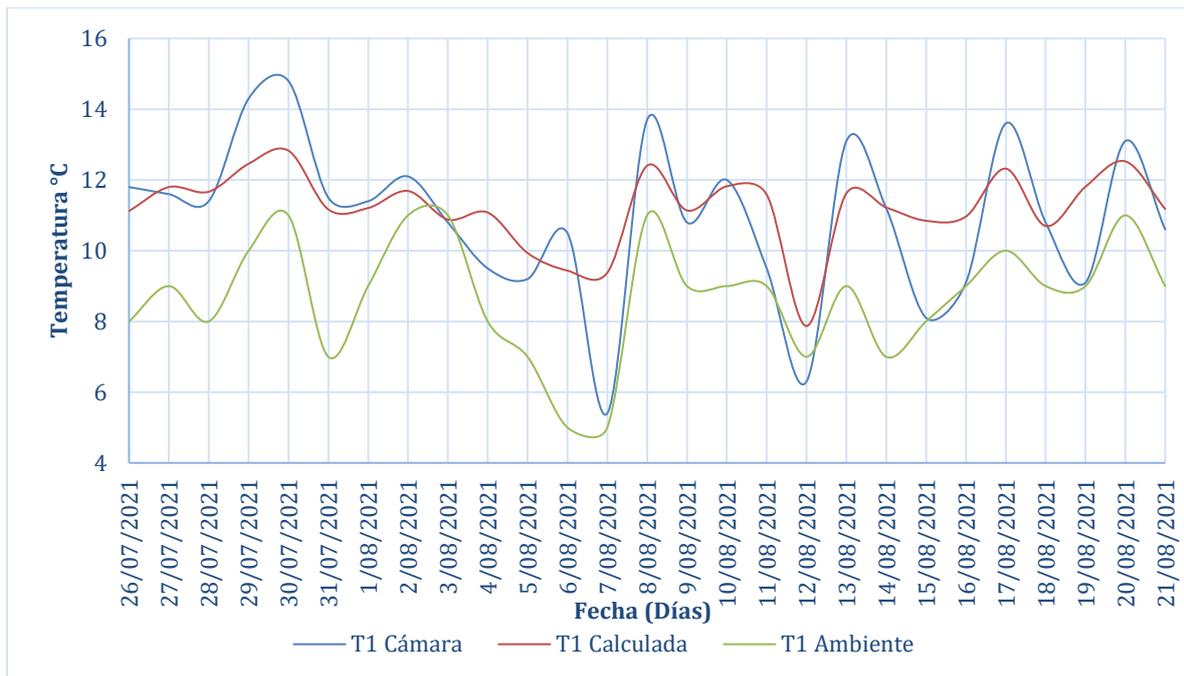
Mediante el equilibrio térmico de la Ecuación 17, se procede a calcular los valores de temperatura presentados en la placa maciza tanto al amanecer como al medio día obteniendo los resultados ilustrados a continuación para un mejor análisis.

Siendo T1 la parte superior y T2 la parte inferior de la placa.

Para realizar este análisis de la transferencia de energía sobre la placa se tuvo en cuenta las temperaturas calculadas, las temperaturas obtenidas in situ con la cámara termográfica y la temperatura ambiente cabe especificar que, para esta última temperatura en el caso de la parte inferior de la placa, al ser un espacio cerrado se evaluó suponiendo una velocidad del viento de 0 m/s, mientras que para la parte superior se toman los valores obtenidos por la estación meteorológica del IDEAM. En las Figuras 52, 53, se grafican los datos al amanecer y en las Figuras 54 y 55 los datos al medio día, donde se pudo observar principalmente la variación entre las temperaturas T1, T2.

Al analizar los resultados se hace una inferencia cuantitativa en la cual se puede deducir que los días que presentan mayor error entre los valores teóricos y los tomados en campo, hacen referencia a una radiación mayor presente principalmente en la placa superior al medio día, deduciendo que en horas preliminares la temperatura se mantuvo y, por tanto, la placa continua con una temperatura alta; evidenciando un error mayor en los datos. Mientras que en horas de la mañana en la parte inferior se presentan algunas variaciones, que se deben a no exactitud de valores de temperatura ambiente al interior de la edificación.

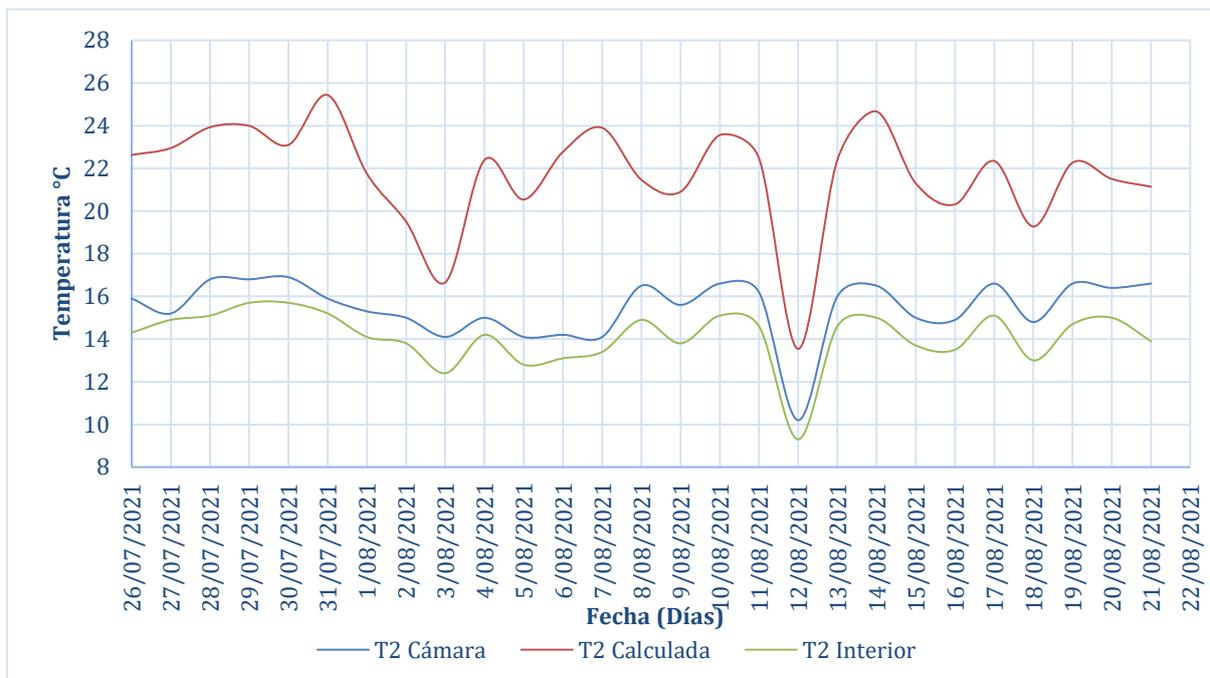
Temperaturas en la Placa Superior al Amanecer



Fuente: Propia

Figura 53.

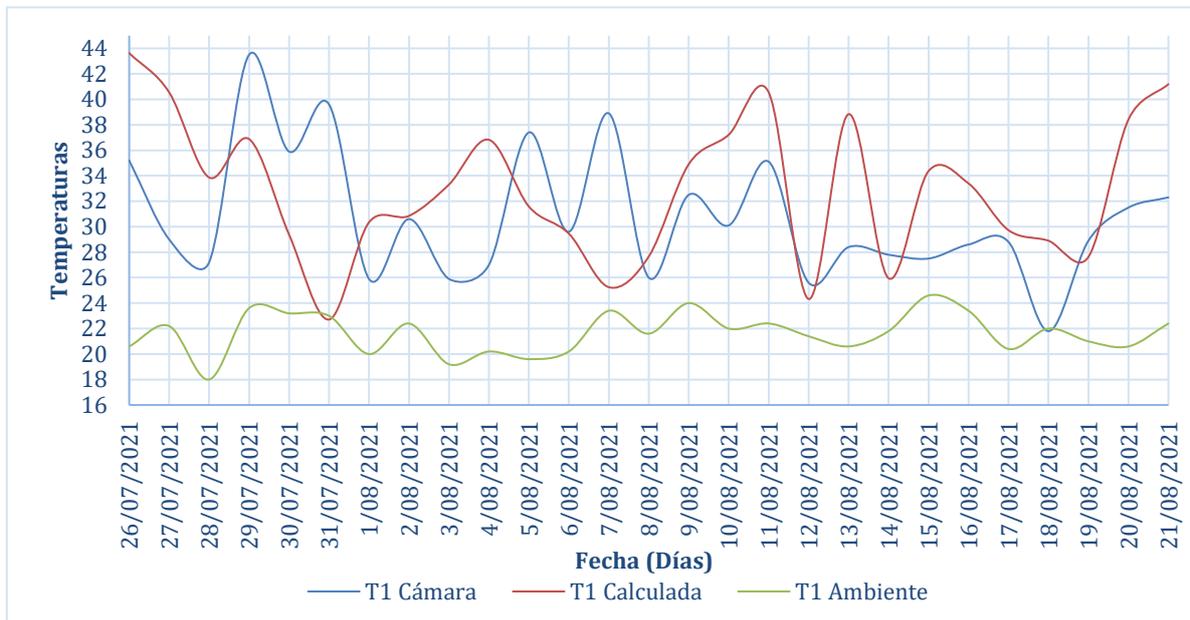
Temperaturas en la Placa Inferior al Amanecer



Fuente: Propia

Figura 54.

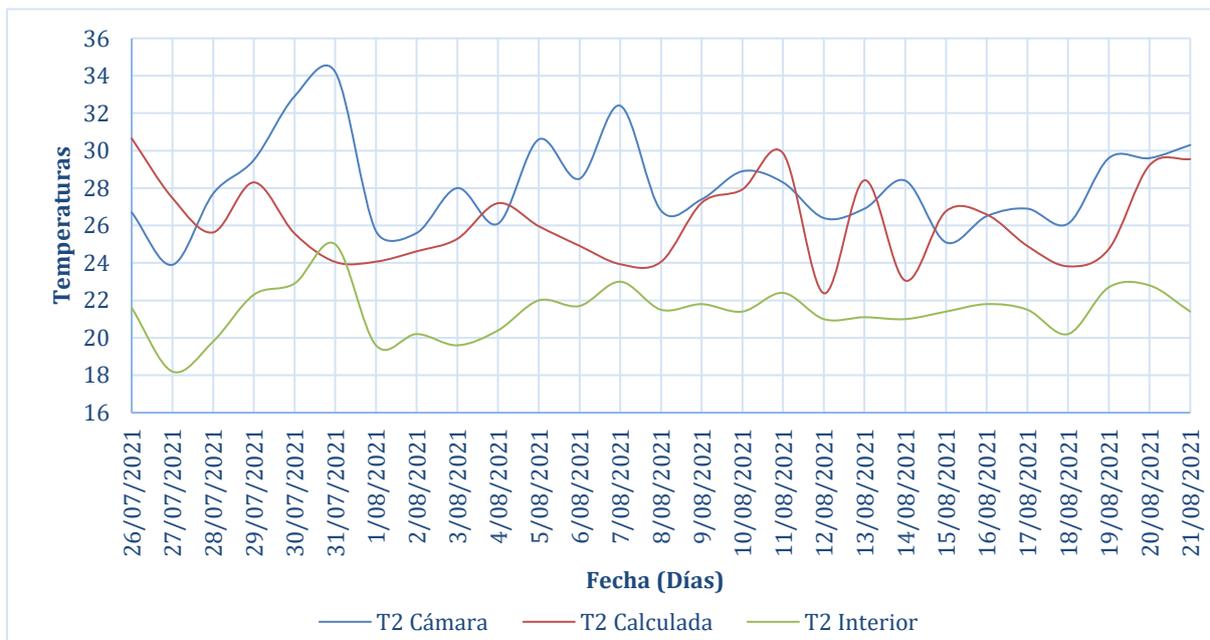
Temperaturas en la Placa Superior al Medio Día



Fuente: Propia

Figura 55.

Temperaturas en la Placa Inferior al Medio Día



Fuente: Propia

Análisis de Temperaturas Obtenidas Placa de Bogotá

Mediante el equilibrio térmico de la Ecuación 20, se procede a calcular los valores de temperatura presentados en la placa aligerada tanto al amanecer como al medio día obteniendo resultados que a continuación fueron graficados para un mejor análisis.

Siendo:

T1: parte superior de la placa.

T2: parte inferior de la placa.

Para realizar el análisis de la radiación solar en la placa se incluyen las temperaturas calculadas, las temperaturas obtenidas in situ con la cámara termográfica y la temperatura ambiente Figuras 56, 57, 58 y 59, en donde se puede observar principalmente la variación entre las temperaturas T1, T2.

Al analizar los resultados se hace una inferencia en que Bogotá al tener una temperatura baja, principalmente en las horas de la mañana la temperatura calculada (T calculada) tiene una tendencia similar a la temperatura ambiente (T ambiente), mientras que al medio día la temperatura varía bastante en comparación con la temperatura ambiente y, por tanto, se deduce que la placa aligerada continúa con una temperatura muy alta; por lo cual se presenta un error mayor en los datos.

Figura 56.

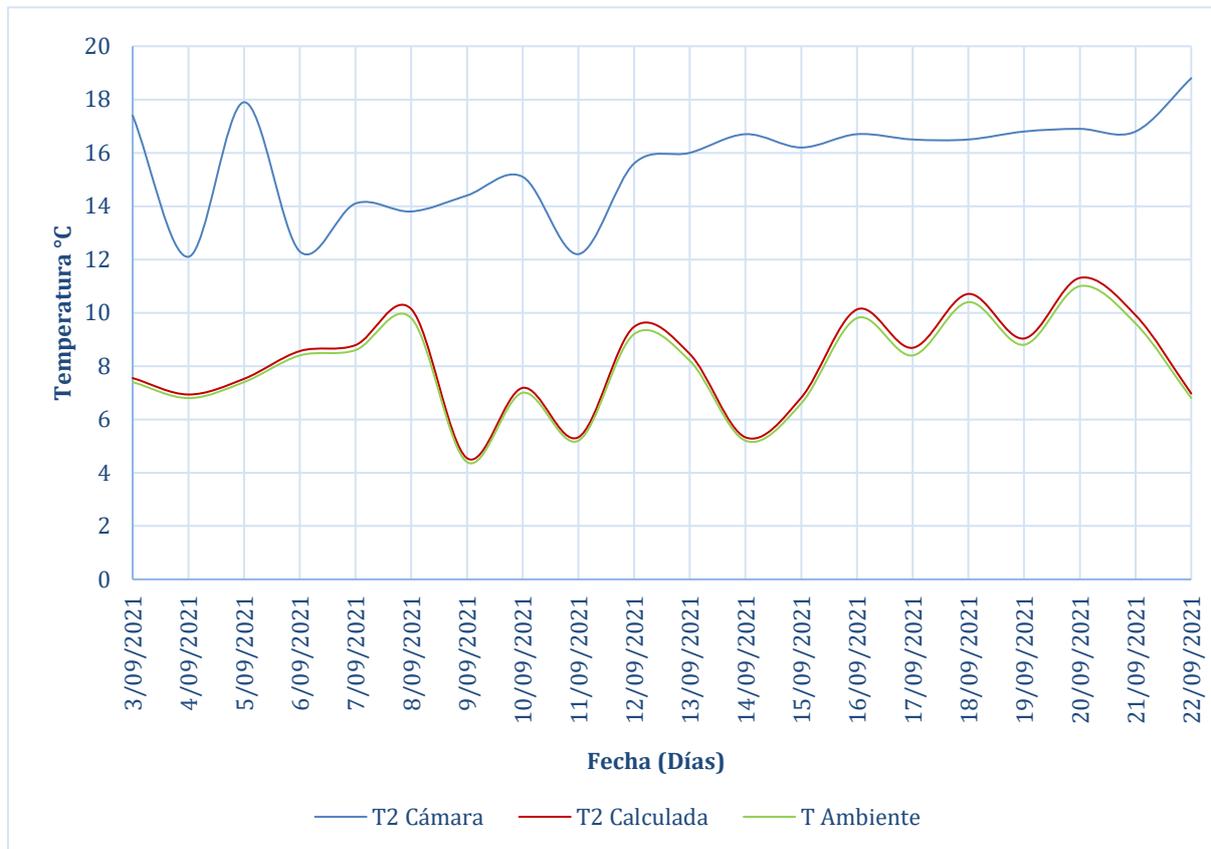
Temperaturas en la Placa Superior al Amanecer



Fuente: Propia

Figura 57.

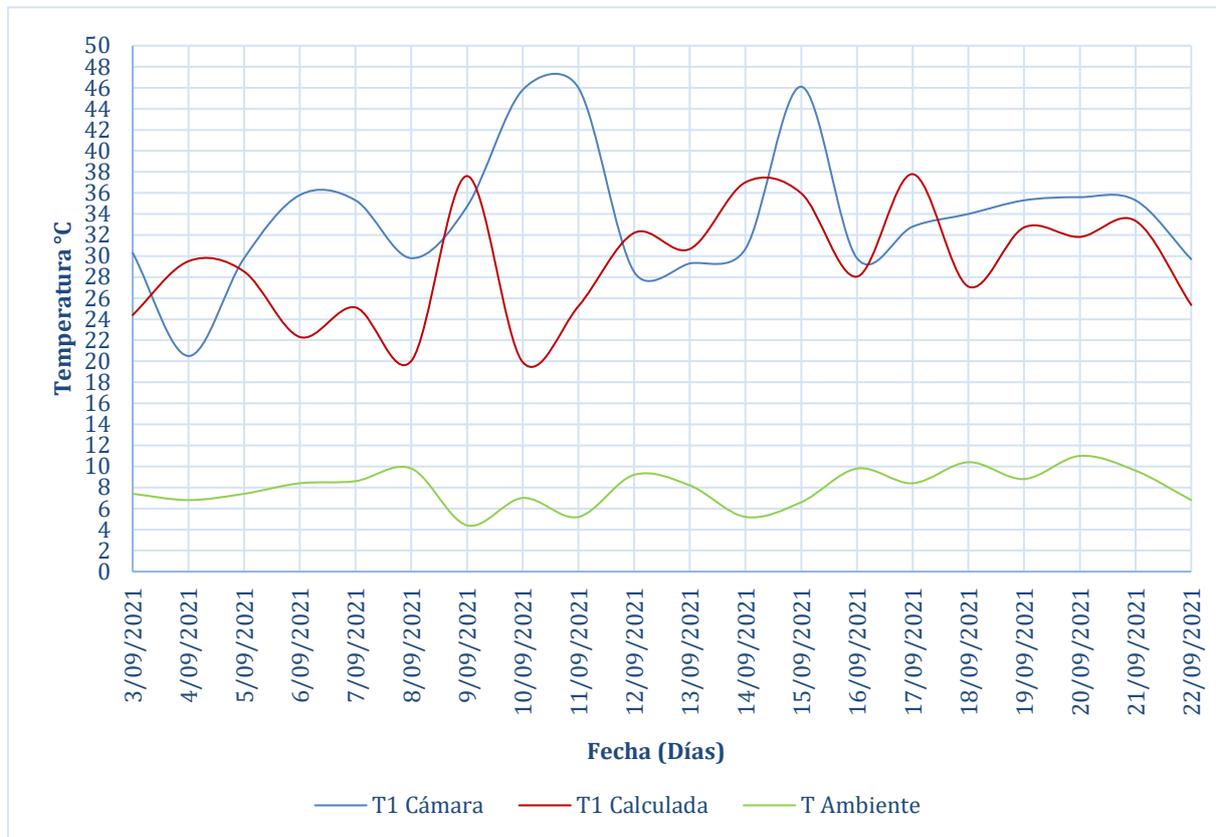
Temperaturas en la Placa Inferior al Amanecer



Fuente: Propia

Figura 58.

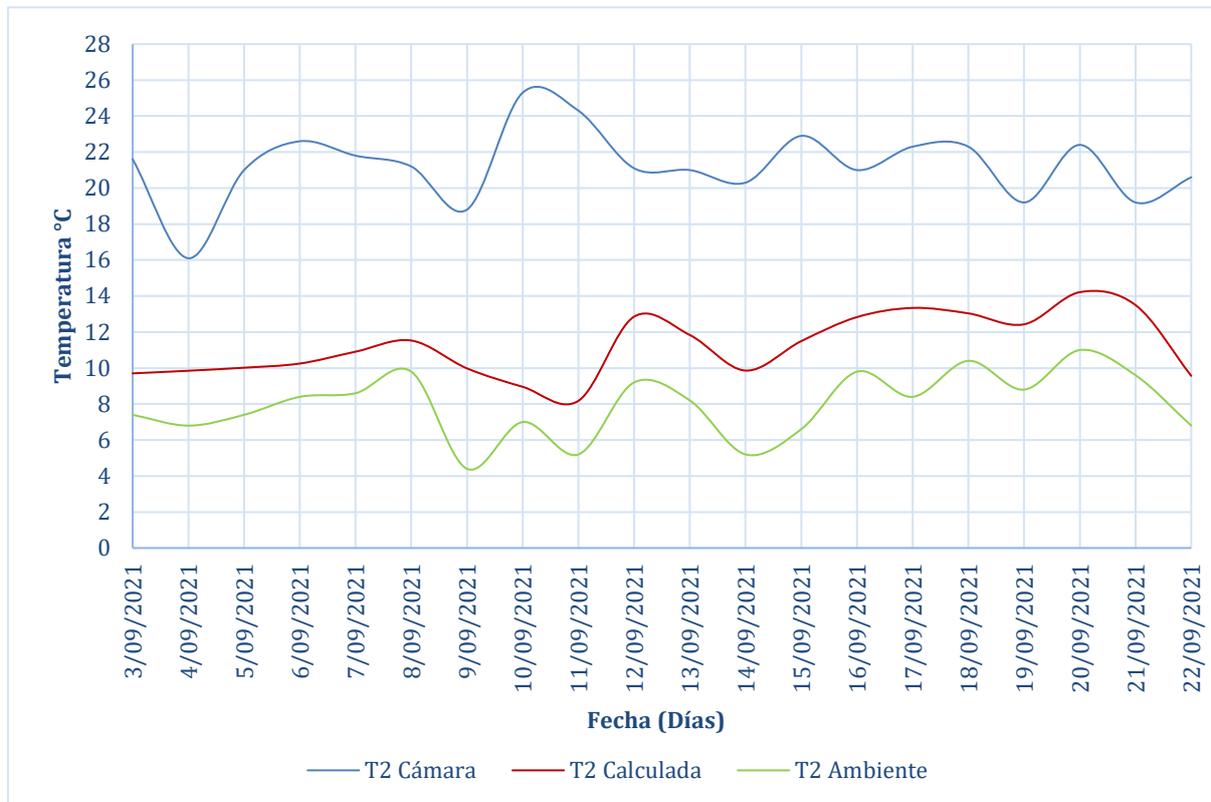
Temperaturas en la Placa Superior al Medio Día



Fuente: Propia

Figura 59.

Temperaturas en la Placa Inferior al Medio Día



Fuente: Propia

CONCLUSIONES

Al analizar los datos obtenidos en campo de la placa aligerada en la ciudad de Bogotá se observaron unos comportamientos de la temperatura en días específicos como: en el horario de la mañana el 20 de septiembre se obtuvo un valor máximo de 20,8 °C y el 7 de septiembre un valor mínimo de 11 °C en la parte superior de la placa.

En el horario del medio día, el 15 de septiembre se obtuvo un valor máximo de 46,1 °C y el 4 de septiembre un valor mínimo de 20,5 °C en la parte superior de la placa.

Al realizar la modelación numérica y obtener los datos, se evidencio un margen de error significativo en cuanto al valor de la temperatura obtenida en campo con respecto al valor de la temperatura calculada. Esto debido a que se encontraron varios cambios en los gradientes de temperatura tanto en el horario de la mañana como al medio día.

En las figuras 50 y 59 se observa una gran variación en los valores de temperatura obtenidos con la cámara termográfica y los valores calculados en relación con la temperatura ambiente.

Al analizar los datos del gradiente de temperatura en la placa maciza del municipio de Simijaca se encontraron valores máximos en la placa maciza al amanecer expresados de la siguiente manera; el día 14 de agosto en parte inferior con una temperatura calculada de 24,7 °C y una temperatura en campo de 16,5 °C, con un porcentaje de error del 49 % mientras que el valor máximo en la placa superior calculado el día 30 de Julio corresponde a 12,8 °C y una temperatura in situ de 14,8 °C con un porcentaje de error de 13 %. Para el medio día se evidencio el día 26 de julio la radiación más alta con los siguientes valores en la placa superior, temperatura calculada de 43,6 °C y temperatura en campo de 35,2 °C con un error porcentual del 24 %, mientras en la parte inferior se observó la máxima calculada de 30,7 °C y la in situ de 26,7 con un error porcentual del 15 %. Es de resaltar que en este último el porcentaje de error es el más alto, debido a que la temperatura permanece en la placa y en el interior al ser un lugar cerrado, su tiempo de regresar a un estado normal es más extenso.

Además, al monitorear temperaturas máximas al amanecer se observó una variación de 6,7 en la parte inferior y una variación de 9,4 en la parte superior. Para los valores de temperaturas máximas al medio día una variación de 10,3 en la parte inferior y una variación del orden de 21,7 en la parte superior.

Al analizar los resultados calculados se observa que es necesario implementar nuevos modelos de tipo dimensional y así mismo tener datos meteorológicos más cercanos a las estructuras para obtener datos óptimos, exactos y con menos porcentajes de error.

REFERENCIAS

- Abubakkar, A., & Kumar, M. (2022). Temperature distribution in a concrete slab with sand, gravel and radiant barrier. *Materials Today: Proceedings*, 55, 399-403. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.651>
- Akca, A. H., & Özyurt, N. (2020). Image analysis on disintegrated concrete at the post-heating stage. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 10(2), 219-229.
- Alcaldía de Simijaca. (2021, agosto 18). *Información del Municipio*. <https://www.simijaca-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Bailey, C. G., & Toh, W. S. (2007). Small-scale concrete slab tests at ambient and elevated temperatures. *Engineering Structures*, 29(10), 2775-2791. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.01.023>
- Bažant, Z. P. (2002). Concrete fracture models: Testing and practice. *Engineering Fracture Mechanics*, 69(2), 165-205. [https://doi.org/10.1016/S0013-7944\(01\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7944(01)00084-4)
- Branco, F. A., & Mendes, P. A. (1993). Thermal Actions for Concrete Bridge Design. *Journal of Structural Engineering*, 119(8), 2313-2331. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:8\(2313\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:8(2313))
- CAR. (2021). *Histórico de series hidrometeorológicas / CAR*. <https://www.car.gov.co/vercontenido/2524>
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa* (3.^a ed.).
- David Childs. (2020). *Tutorial para efectos de temperatura en tableros de puentes*. <http://bridgedesign.org.uk/tutorial/temperature-effects.php>
- Elbadry, M. M., & Ghali, A. (1983). TEMPERATURE VARIATIONS IN CONCRETE BRIDGES. *Journal of Structural Engineering*, 109(10). <https://trid.trb.org/view/202190>
- Emerson, M. (1973). *CALCULATION OF THE DISTRIBUTION OF TEMPERATURE IN BRIDGES*. <https://trid.trb.org/view/94294>
- FLIR ONE Pro / Teledyne FLIR. (2021). <https://www.flir.com.mx/products/flir-one-pro/>

- Fu, H. C., Ng, S. F., & Cheung, M. S. (1990). Thermal Behavior of Composite Bridges. *Journal of Structural Engineering*, 116(12), 3302-3323. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1990\)116:12\(3302\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:12(3302))
- Giovani. (2022). *Earthdata*. <https://earthdata.nasa.gov//>
- Google Maps. (2021). Google Maps. <https://www.google.com/maps/place/Simijaca,+Simijac%C3%A1,+Cundinamarca/@5.5008471,-73.8529714,11m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e404aad0b6ea7ed:0x2d8884c7ec1f6a94!8m2!3d5.503838!4d-73.851971?hl=es>
- Gottsäter, E., Larsson, O., Molnár, M., Crocetti, R., & Plos, M. (2016). *Simulation of Thermal Load Distribution in Portal Frame Bridges*. 9-16. <https://doi.org/10.2749/stockholm.2016.0009>
- Harmesen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto* (Tercera Edición). Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Herrera, D. (2011). *Desarrollo de una herramienta numérica de análisis para losas de hormigón armado sometidas a aceleraciones verticales sísmicas*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132011000200001
- Hobaica, M. E., Sosa, M. E., & Rosales, L. (2000). Influencia de los componentes constructivos en la temperatura del aire interior de viviendas. *Interciencia*, 25(3), 136-142.
- IDEAM. (2021). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Kaya, N., & Anil, Ö. (2021). Prediction of load capacity of one way reinforced concrete slabs with openings using nonlinear finite element analysis. *Journal of Building Engineering*, 44, 102945. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102945>
- Khan, M. I. (2002). Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models. *Building and Environment*, 37(6), 607-614. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00061-0)
- Krankenhagen, R., & Maierhofer, C. (2014). Pulse phase thermography for characterising large historical building façades after solar heating and shadow cast—A case study. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 11. <https://doi.org/10.1080/17686733.2013.865910>

- Larsson, O. (2012). *Climate related thermal actions for reliable design of concrete structures*. Division of Structural Engineering, Lund University.
- LONDOÑO, E. (2020). *LOSA DE CONCRETO ARMADO: PROCESO CONSTRUCTIVO*. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/losa-de-concreto-armado>
- Lu, X., & Memari, A. (2019). Application of infrared thermography for in-situ determination of building envelope thermal properties. *Journal of Building Engineering*, 26, 100885. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100885>
- Decreto 92 de 2011*, (2011) (testimony of Ministerio de justicia). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=41340>
- Mirambell, E., Aguado, A., Mendes, P. A., & Branco, F. A. (1991). Design Temperature Differences for Concrete Bridges. *Structural Engineering International*, 1(3), 36-40. <https://doi.org/10.2749/101686691780617436>
- Muñoz, I. (2018, marzo 18). *CLASE DISEÑO DE LOSAS MACIZAS Y LOSAS NERVADAS EN UNA SOLA DIRECCIÓN*. <https://infobasicingcivil.blogspot.com/2018/03/clase-diseno-de-losas-macizas-y-losas.html>
- Nilson, A. H. (1997). *Design of concrete structures* (12th ed). McGraw-Hill.
- Ochoa, F. (2020, junio 25). *Ciclo Vivienda—Reclamos más frecuentes en la construcción de sistemas industrializados*. <https://www.youtube.com/watch?v=g00oQP07UPQ&t=2323s>
- Parthasarathi, N., Girish, S., Prakash, M., Satyanarayanan, K.S., & Srinivasa Senthil, S. (2021). *Analytical study on reinforced concrete frame under high temperature with loading condition at steady state analysis*. Volume 50, 312-318. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.386>
- REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10*, (2010). <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/5titulo-e-nsr-100.pdf>
- Roberts-Wollman, C. L., Breen, J. E., & Cawrse, J. (2002). Measurements of Thermal Gradients and their Effects on Segmental Concrete Bridge. *Journal of Bridge Engineering*, 7(3), 166-174. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2002\)7:3\(166\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2002)7:3(166))

- Rodríguez Cortés, V. R., & Melo Hernandez, K. (2015). *FORMULACIÓN DE LA POLÍTICA AMBIENTAL MUNICIPAL PARA EL MUNICIPIO DE SIMIJACA CUNDINAMARCA EN EL MARCO DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://docplayer.es/57219746-Formulacion-de-la-politica-ambiental-municipal-para-el-municipio-de-simijaca-cundinamarca-en-el-marco-de-la-evaluacion-ambiental-estrategica.html>
- Scalbi, A., Olmi, R., & Inglese, G. (2019). Evaluation of fractures in a concrete slab by means of laser-spot thermography. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *141*, 282-293. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.082>
- SCOPUS. (2022). *Elsevier*.
- Sharma, V., & Dwivedi, D. A. K. (2018). “*Effect of Temperature Stresses in Composite Girder Bridges*”. 5.
- Sheibany, F., & Ghaemian, M. (2006). Effects of Environmental Action on Thermal Stress Analysis of Karaj Concrete Arch Dam. *Journal of Engineering Mechanics*, *132*(5), 532-544. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2006\)132:5\(532\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2006)132:5(532))
- Threlkeld, J. (1970). *Thermal Environmental Engineering*. <https://www.pearson.com/content/one-dot-com/one-dot-com/us/en/higher-education/product.html>
- Wiggenhauser, H., Köpp, C., Timofeev, J., & Azari, H. (2018). Controlled Creating of Cracks in Concrete for Non-destructive Testing. *Journal of Nondestructive Evaluation*, *37*(3), 67. <https://doi.org/10.1007/s10921-018-0517-x>
- Zhao, Dongfu, You, Zuokai, & Liu, Dongdong. (2012). *Experimental investigation on temperature distribution of reinforced concrete beam*. 166-169, 1379-1382. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.166-169.1379>