

# Efectos De Reducción De Dimensiones De Losas De Hormigón Simple Bajo Cargas De Transito Y Temperatura

## Effects Of Size Reduction Of Plain Concrete Slabs Under Traffic And Temperature Loads

### Autores

**Carlos Alfonso Mejía Véliz<sup>1</sup> , Eduardo Tejada Piusseaut<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Estudiante de Posgrado. Maestría Académica con trayectoria profesional en Ingeniería Civil, Mención Vialidad. Facultad de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. email: [cmejia4463@utm.edu.ec](mailto:cmejia4463@utm.edu.ec)

<sup>2</sup>Docente Titular Principal Nivel 1. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. email: [eduardo.tejada@utm.edu.ec](mailto:eduardo.tejada@utm.edu.ec)

### RESUMEN

Este estudio examina el comportamiento estructural de losas de pavimentos de hormigón simple bajo diversas condiciones de carga y temperatura, considerando un gradiente térmico de 11,3°C. Se modela una losa estándar con dimensiones de 4500 mm de largo, 3500 mm de ancho y 200 mm de espesor, así como otras losas con dimensiones reducidas, para analizar cómo estas variaciones afectan a los esfuerzos de tracción y compresión. Los resultados muestran que los esfuerzos de tracción aumentan significativamente cuando la longitud de la losa se reduce a menos de 3000 mm. Además, el espesor de la losa tiene un impacto considerable en los esfuerzos generados. Específicamente, se observan esfuerzos de compresión en losas con longitudes menores a 3000 mm y espesores menores a 15 cm. La reducción del espesor amplifica los cambios en los esfuerzos, lo que subraya la importancia de mantener un espesor adecuado para prevenir fallas estructurales. El análisis revela que tanto la carga aplicada como el gradiente térmico influyen significativamente en los esfuerzos dentro de la losa. Se destaca la necesidad de un diseño meticuloso que considere tanto las dimensiones de las losas como los efectos combinados de la carga y la temperatura para garantizar un buen desempeño estructural del pavimento.

**Palabras clave:** Pavimentos de hormigón simple, gradiente térmico en losas de hormigón, esfuerzos de tracción y compresión

### ABSTRACT

This study examines the structural behavior of plain concrete pavement slabs under various loading and temperature conditions, considering a thermal gradient of 11.3°C. A standard slab with dimensions of 4500 mm length, 3500 mm width, and 200 mm thickness, as well as other slabs with reduced dimensions, are modeled to analyze how these variations affect the tensile and compressive stresses. The results show that tensile stresses increase significantly when the slab length is reduced to less than 3000 mm. Furthermore, the slab thickness has a considerable impact on the stresses generated. Specifically, compressive stresses are observed in slabs with lengths less than 3000 mm and thicknesses less than 15 cm. Reducing the thickness amplifies the changes in stresses, underscoring the importance of maintaining adequate thickness to prevent structural failures. The analysis reveals that both the applied load and the thermal gradient significantly influence the stresses within the slab. The need for careful design that considers both slab dimensions and the combined effects of loading and temperature to ensure good structural performance of the pavement is highlighted.

**Keywords:** Simple concrete pavements, thermal gradient in concrete slabs, tensile and compression forces

Nota Editorial: Recibido: Septiembre 2024 Aceptado: Septiembre 2024

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos son un componente esencial del patrimonio común de la sociedad, desempeñando un papel fundamental en la vida diaria al facilitar la movilidad y definir el uso del territorio. Su impacto en la calidad de vida es significativo, ya que permiten el transporte eficiente y estructuran el entorno construido. En el ámbito público, los pavimentos se encuentran predominantemente en carreteras, calles, pistas de aterrizaje y estacionamientos [1].

En este contexto, los pavimentos de hormigón se presentan como una alternativa competitiva frente a los pavimentos asfálticos tradicionales, destacando por su mayor durabilidad, menor costo a largo plazo (incluyendo el mantenimiento) y capacidad para reducir el consumo de combustible en vehículos pesados. Tanto en nuevas construcciones como en la rehabilitación de pavimentos existentes, el uso de hormigón ofrece ventajas medioambientales, técnicas y económicas, contribuyendo a soluciones más sostenibles [1].

En los pavimentos de hormigón, las variaciones de temperatura a lo largo del día generan deformaciones significativas, especialmente durante los picos de gradientes térmicos. Durante el día, la temperatura más alta en la superficie superior de la losa provoca su dilatación, mientras que la parte inferior se contrae. Por la noche, este fenómeno se invierte, con la superficie superior contrayéndose debido a las temperaturas más bajas. Además, las cargas de tráfico inducen esfuerzos de flexión y cortante. En los estudios de pavimentos rígidos es fundamental modelar estos estados de carga y considerar las deformaciones de la losa provocadas por los efectos climáticos.

El espesor de la losa está influenciado por factores como la carga por eje, el número de repeticiones de carga, la resistencia del hormigón, la longitud de la losa y las condiciones climáticas. El hormigón debe tener la resistencia suficiente para soportar las cargas previstas durante el periodo de diseño. Dado que el concreto de cemento Portland es mucho más resistente en compresión que en tracción, los esfuerzos de tracción suelen ser el factor determinante en el diseño del pavimento. Generalmente, se utilizan ecuaciones analíticas y programas numéricos para calcular estos esfuerzos [2].

Para evaluar los efectos de la carga y la temperatura en los pavimentos rígidos, la modelación computacional es una herramienta clave. El método de elementos finitos permite realizar análisis detallados y complejos, considerando parámetros geométricos como las dimensiones y espesores de las losas, proporcionando a los investigadores y diseñadores una mejor comprensión de la mecánica de estos sistemas [3].

Las losas cortas representan una innovación en el diseño de pavimentos de hormigón, ya que distribuyen la carga de tránsito entre múltiples losas, lo que reduce significativamente las tensiones de tracción y los efectos de alabeo debido a su menor tamaño. Esta solución no solo mejora la durabilidad del pavimento, sino que también permite reducir el espesor en comparación con los diseños tradicionales, lo que se traduce en menores costos y un uso más eficiente de los materiales, promoviendo la sostenibilidad [4].

Las losas cortas, también conocidas como losas optimizadas, introducen un enfoque innovador en el diseño de pavimentos al reducir el espesor de las losas, ya que soportan menores cargas, lo que a su vez disminuye las tensiones y los esfuerzos de alabeo. Estas losas cortas tienen un impacto económico favorable, principalmente debido a la reducción del espesor y a las menores exigencias de las capas de apoyo [5]. Las dimensiones reducidas provocan la reducción de las tensiones por flexión y alabeo, así como la eliminación del sellado en las juntas. Las tensiones de alabeo en la losa generadas por los gradientes térmicos, junto con las cargas del tráfico, pueden causar fallos por fatiga en el pavimento. Una manera de reducir estas tensiones es utilizar losas de menor tamaño, lo que ayuda a disminuir los esfuerzos generados [6].

En comparación con las losas convencionales diseñadas según las normas AASHTO [7], los espesores pueden reducirse entre 4 y 10 cm, lo que permite una disminución de costos de aproximadamente un 20%, aunque cada proyecto puede variar según sus características específicas [8].

Esta alternativa, además de ser una opción altamente eficiente en términos de costos, durabilidad y estabilidad para las vías de la provincia de Manabí, también responde a la urgente necesidad de implementar estrategias que reduzcan la huella ambiental. La integración de soluciones sostenibles en las actividades humanas es ineludible para garantizar la viabilidad de la vida en el planeta en los años venideros [9].

El objetivo de este estudio es evaluar cómo la reducción del tamaño de las losas influye en las tensiones del pavimento, demostrando la efectividad de este diseño bajo condiciones ambientales específicas, como las presentes en la ciudad de Portoviejo. La investigación se enfoca en determinar los esfuerzos y deformaciones en modelos de losas de hormigón con diversas longitudes y espesores, utilizando el programa de elementos finitos EverFE 2.26. Este análisis considera el gradiente térmico máximo registrado en una investigación previa realizada en Portoviejo, Ecuador.

## 2. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN SIMPLE. DISEÑO Y COMPORTAMIENTO

Los pavimentos rígidos, contruidos con losas de hormigón, pueden apoyarse sobre el suelo natural o sobre una capa de material seleccionado (subbase). Debido a la rigidez inherente de la losa, no es necesario emplear materiales de alta calidad en esta subbase [10].

El objetivo del diseño en estas estructuras es definir las características y propiedades de los elementos del pavimento, como materiales, espesores, y la disposición de juntas, para asegurar un nivel adecuado de servicio a lo largo de su vida útil. El espesor requerido dependerá principalmente de la carga por eje, el número de repeticiones de carga, la resistencia del hormigón, la longitud de la losa y las condiciones climáticas [11].

Existen dos enfoques principales para el análisis de estructuras de pavimento: empíricos y mecanicistas. Los métodos empíricos proporcionan soluciones de diseño basadas en experiencias reales de carreteras en servicio o en ensayos experimentales, presentando estas soluciones en forma de ábacos, tablas, nomogramas o catálogos de secciones estructurales.

Por otro lado, los métodos mecanicistas se centran en determinar tensiones, deformaciones y desplazamientos mediante modelos de respuesta, los cuales se comparan con valores admisibles obtenidos a partir de modelos de comportamiento. Estos métodos permiten analizar los esfuerzos y deformaciones causados por el tránsito, el clima, las características de los materiales y las condiciones del suelo de fundación [12]. Cuanto más se ajusta el modelo a las condiciones reales, más precisa será la predicción de la respuesta estructural y de las tensiones críticas necesarias para el diseño de espesores. Los métodos mecanicistas son especialmente valiosos por su capacidad para simular con precisión estas condiciones [13].

En la modelación de problemas de ingeniería que involucran la mecánica de sólidos, se utilizan propiedades específicas de los materiales derivadas de múltiples ensayos. Sin embargo, estos valores medios pueden no coincidir con las propiedades reales observadas en experimentos, lo que hace necesario realizar una calibración física ajustando las propiedades del modelo numérico hasta que su respuesta se asemeje al experimento [10].

Los métodos numéricos, y en particular el Método de los Elementos Finitos, son esenciales para resolver problemas específicos y realizar investigaciones, destacando por su flexibilidad en cuanto a geometría y materiales. Estos métodos permiten el uso de leyes constitutivas no lineales y la consideración de gradientes térmicos, que pueden causar alabeo en las losas. Es fundamental combinar la posición de carga con el alabeo de las losas para identificar la tensión más desfavorable en el pavimento [1].

Las cargas de tráfico son las principales responsables de generar los esfuerzos más significativos en el diseño de pavimentos, provocando esfuerzos de compresión y tracción tanto dentro de las losas como en las losas adyacentes, especialmente cuando hay transferencia de carga entre ellas. Estos esfuerzos están relacionados con la intensidad de la carga, las dimensiones de la losa, y la relación entre la longitud de la losa y la separación entre los ejes de los vehículos pesados [17].

La combinación de posición de las ruedas y la geometría de las losas permite reducir las tensiones superiores de la losa, lo que permite la disminución del espesor de losa [18].

Estos esfuerzos deben ser contrarrestados por la resistencia del hormigón. Dado que el hormigón de cemento Portland tiene mayor resistencia a la compresión que a la tracción, los esfuerzos de tracción suelen ser el factor determinante en el diseño del pavimento. Para determinar estos esfuerzos, se emplean ecuaciones analíticas y programas numéricos, algunos basados en elementos finitos como el EverFE [2].

La modelación mediante el software de Elementos Finitos EverFE busca reproducir de manera realista los esfuerzos en las losas del pavimento [15]. Esta herramienta es versátil, adaptándose al diseño de cualquier tipo de pavimento rígido y permitiendo verificar el comportamiento tanto de losas convencionales como de losas cortas. EverFE distribuye la carga de las ruedas entre las losas, lo que es importante para analizar las tensiones en las losas cortas, diferenciándolas de las losas convencionales [16].

El software considera los efectos térmicos y el acortamiento elástico como predeformaciones, calculadas en función de la temperatura y el coeficiente de dilatación térmica. Estas predeformaciones se convierten en cargas aplicadas a los nodos, lo que permite al software resolver las ecuaciones correspondientes [14].

Las leyes de comportamiento establecen el número máximo de repeticiones de una carga "P" que puede aplicarse sin que el material falle, tomando en cuenta las tensiones y deformaciones generadas ( $\sigma_P$  y  $\varepsilon_P$ ). En hormigones y capas tratadas con cemento, la verificación del fallo por fatiga se realiza con la tensión de tracción radial máxima en cada capa.

En la literatura, diversos autores han propuesto modelos de fatiga para determinar el número de repeticiones de carga y establecer la vida útil de un pavimento rígido. Estos modelos emplean la razón de esfuerzo ( $\sigma/MR$ ), donde " $\sigma$ " es el esfuerzo cíclico aplicado y MR es la máxima resistencia a la flexión estática. El modelo de fatiga de la Asociación de Cemento Portland (PCA) establece que no habrá falla por fatiga si la razón de esfuerzo es inferior al 45%, incluso para un número infinito de ciclos. La ecuación propuesta por la PCA se presenta de la siguiente forma:

$$\text{Para } \frac{\sigma}{MR} \geq 0,55 : \log N_f = 11,737 - 12,077 \left( \frac{\sigma}{S_C} \right)$$

$$\text{Para } 0,45 < \frac{\sigma}{MR} \leq 0,55: N_f = \left[ \frac{4,2577}{\left( \frac{\sigma}{S_C} \right) - 0,4325} \right]^{3,264}$$

$$\text{Para } \frac{\sigma}{MR} \leq 0,45: N_f = \text{Ilimitado}$$

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la viabilidad de reducir las dimensiones de las losas en los pavimentos de hormigón simple, se realiza un estudio exhaustivo del estado tensional bajo la influencia de una carga por eje constante, variando sistemáticamente las dimensiones de las losas. El estudio se organiza con las siguientes consideraciones y procedimientos:

1. **Modelo de Referencia:** Se inicia con una losa de hormigón simple de dimensiones tradicionales: 4500 mm de largo, 3500 mm de ancho y 200 mm de espesor, apoyada sobre una subbase granular. Este modelo sirve como base para comparar el comportamiento tensional de losas de dimensiones reducidas bajo condiciones de carga idénticas.
2. **Variación de Dimensiones:** Se examinan los efectos de la reducción en las dimensiones de las losas, manteniendo constante la relación largo/ancho de la losa de referencia (1,286). Las dimensiones consideradas para las losas reducidas son:
  - Longitudes: 4000 mm, 3500 mm, 3000 mm, 2500 mm, 2000 mm y 1500 mm.
  - Anchos correspondientes: 3100 mm, 2700 mm, 2300 mm, 2000 mm, 1500 mm y 1100 mm, respectivamente. Además, se incluye la losa de referencia con un ancho de 3500 mm.
1. **Aplicación de carga:** En los modelos de pavimento, se aplica un eje simple con ruedas duales, conforme a la norma AASHTO 93 [7]. Este eje tiene un peso total de 8200 kg (equivalente a 18000 libras o 18 kips) y una presión de contacto de 0,6 MPa (6 kg/cm<sup>2</sup>). Para losas con un ancho menor a 3000 mm, se ajusta el peso del eje a la mitad para adecuarse al ancho de la losa.
2. **Consideración del Gradiente térmico:** Se incorpora un gradiente térmico de 11,3°C, registrado en una losa de hormigón simple instrumentada durante el periodo de mayo-junio de 2019 en Portoviejo [19]. El gradiente se determina con una temperatura superficial de la losa de 39,5°C y una temperatura en el fondo de 28,2°C, mientras que la temperatura ambiente promedio es de 30,7°C.
3. **Modelado y análisis:** Las tensiones se calculan utilizando el software EverFE para cada uno de los modelos de pavimentos desarrollados. Además de las dimensiones, se consideran espesores variables para cada modelo: 250 mm, 200 mm, 150 mm y 100 mm, para evaluar cómo las diferentes configuraciones afectan las tensiones.
4. **Características de materiales:** Los modelos de pavimentos se ajustan según las características de los materiales especificados en la tabla 1, que incluye propiedades del hormigón de la losa y de la subbase.

En resumen, a través de la modelación se persigue analizar cómo la reducción en las dimensiones de las losas afecta las tensiones generadas bajo condiciones de carga y térmicas específicas, de la ciudad de Portoviejo, en el Ecuador.

**Tabla 1.** Características de los materiales en el pavimento de hormigón

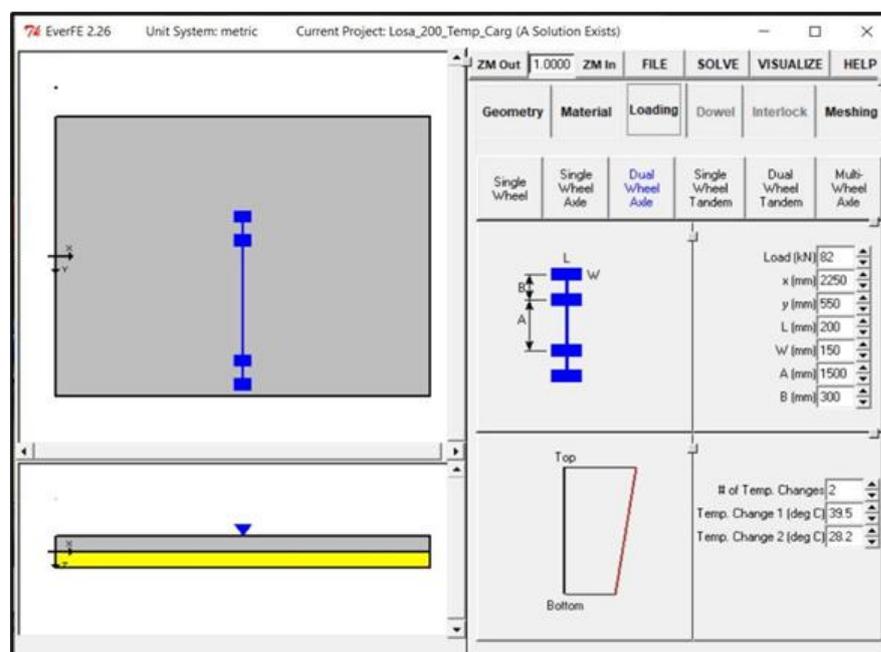
Propiedades	Hormigón	Subbase
Módulo Elasticidad	27800 MPa	300 MPa
Coefficiente de Poisson	0,17	0,35
Densidad	2400 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1,1e-005	
Espesor	100-250 (mm)	200 (mm)

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el análisis del modelo de losa, con dimensiones de 3000 mm de largo y 2300 mm de ancho, la carga aplicada se reduce a la mitad del eje dual. Esto se debe a que la influencia del eje se distribuye entre dos losas adyacentes. Además, se incorpora un gradiente de temperatura de  $11,3^{\circ}\text{C}$  en el modelo de cargas para tener en cuenta el efecto térmico sobre la losa.

En la figura 1 se muestra una imagen del programa utilizado, donde se puede visualizar la carga aplicada en el modelo de la losa patrón, de dimensiones de 4500 mm de largo, 3500 mm de ancho y un espesor de 200 mm. Se observa también en la imagen, el eje de cálculo conformado por una rueda dual de 82 kN de peso, situado a una distancia de 2250 mm del borde de la losa en el sentido del largo, y a 550 mm del borde en el sentido del ancho. Las dimensiones de la zona de carga de las ruedas del eje se indican como  $L = 200$  mm y  $W = 150$  mm. La separación entre las ruedas interiores se define como  $A = 1500$  mm, y la distancia centro a centro de las ruedas es  $B = 300$  mm. Para representar el gradiente térmico, se han declarado dos temperaturas distintas:  $39,5^{\circ}\text{C}$  en la parte superior (Top) y  $28,2^{\circ}\text{C}$  en la parte inferior (Bottom).

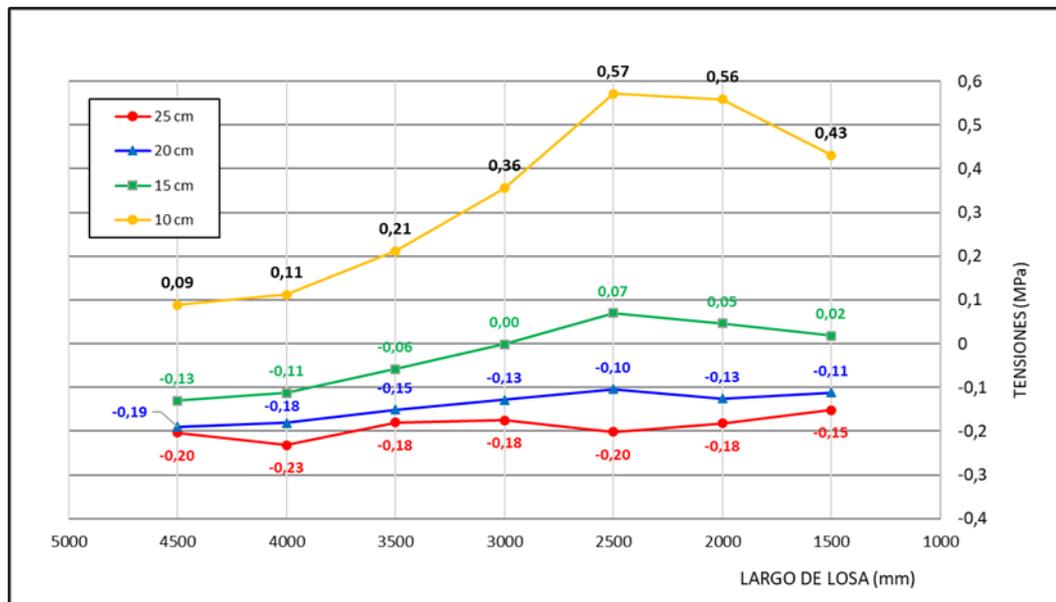
Los modelos de carga se han establecido para diferentes dimensiones de la losa, manteniendo constante el gradiente de temperatura. La posición de la carga (x, y) se ha ajustado en función de la longitud de la losa. La distancia x se ubica en la mitad de la longitud de la losa, mientras que la distancia y se ha considerado a 600 mm desde el borde para simular el paso de vehículos cerca del borde de la losa. Además, se ha mantenido el eje completo de 82 kN hasta las dimensiones de 3500 mm de largo y 2700 mm de ancho de la losa, reduciendo la carga a la mitad para dimensiones menores.



**Figura 1.** Modelo de solicitaciones de carga representado en el programa Ever FE, donde aparece la carga de 82 kN y el gradiente térmico.

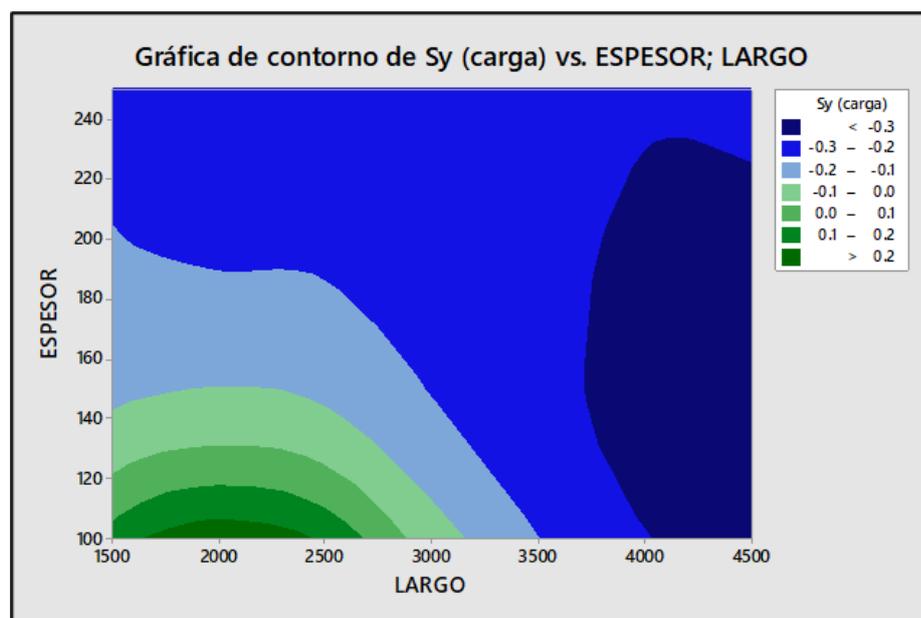
Las tensiones representadas en los gráficos a continuación, muestran el esfuerzo máximo de tracción generado por la ubicación de la carga en las zonas más críticas, que corresponden al borde y al centro de cada losa.

En la figura 2 se ilustran las tensiones de tracción provocadas por la carga del eje simple en función de las dimensiones modificadas de la losa. Cada gráfico corresponde a un espesor diferente. Para un espesor de 25 cm, las tensiones presentan variaciones mínimas. Sin embargo, al reducir el espesor, los cambios en las tensiones se vuelven más significativos, siendo el aumento más notable cuando la longitud de la losa se reduce a 3000 mm.



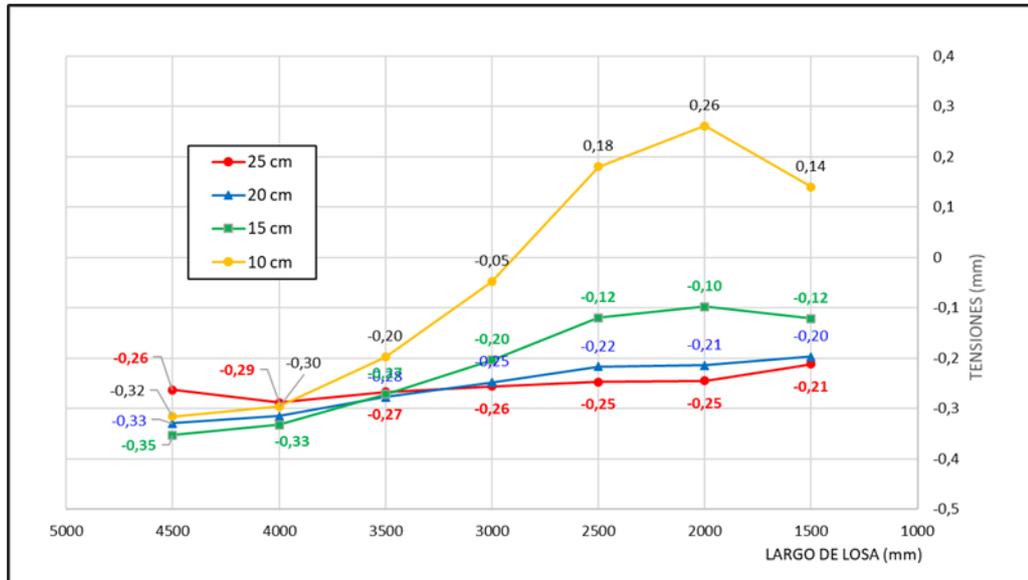
**Figura 2.** Tensiones SY en la parte inferior de la losa debido a la carga aplicada.

La figura 3 representa las tensiones provocadas por la carga mediante un gráfico de isolíneas. Se observa que, en ciertas condiciones, las tensiones son positivas o de compresión. Estas tensiones positivas ocurren cuando la longitud de la losa es menor de 3000 mm y el espesor es inferior a 15 cm, destacando la influencia de la reducción en las dimensiones de la losa sobre su comportamiento estructural.



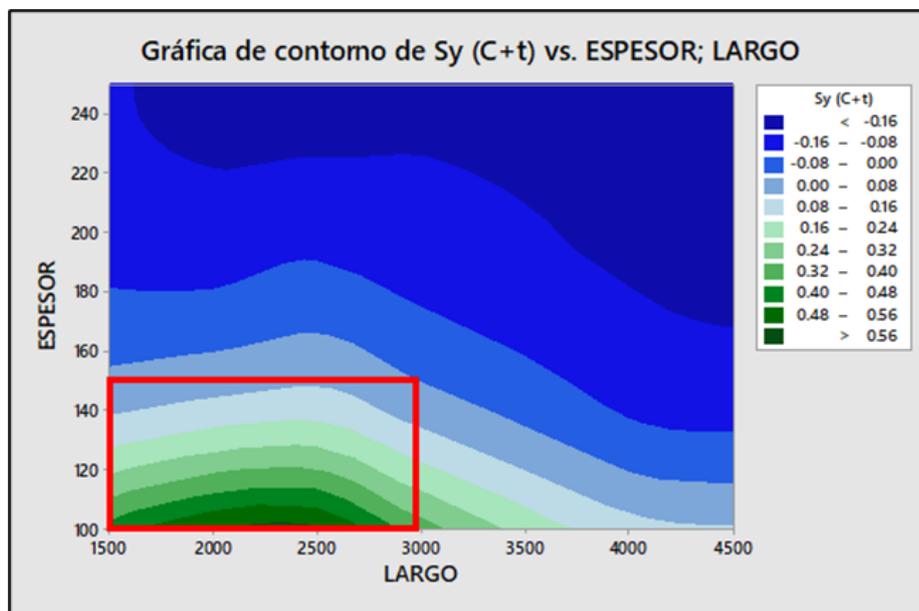
**Figura 3.** Isolíneas de tensiones debido a la carga aplicada sin considerar el gradiente de temperatura, en la dirección del largo de la losa ( $S_y$ ) en la parte inferior.

La figura 4 muestra las tensiones de tracción debido a la carga aplicada y al gradiente de temperatura, en función de las dimensiones modificadas de la losa. Con un espesor de 25 cm, las tensiones presentan pocas variaciones. No obstante, al reducir el espesor, los cambios en las tensiones son más pronunciados. Las tensiones se convierten en compresión cuando las dimensiones de la losa son inferiores a 2500 mm y el espesor es de 10 cm. En otros casos, las tensiones predominantes son de tracción.



**Figura 4.** Tensiones SY en la parte inferior de la losa provocadas por la influencia de la carga y el gradiente de temperatura.

Finalmente, la figura 5 presenta las tensiones generadas por la carga y el gradiente de temperatura, utilizando un gráfico de isóneas. En algunas condiciones, las tensiones provocadas por el gradiente térmico son positivas o de compresión. Estas tensiones positivas se registran cuando la longitud de la losa es inferior a 3000 mm y el espesor es menor a 15 cm, subrayando cómo la reducción de las dimensiones afecta el comportamiento de la losa de hormigón. En la figura, estas condiciones en las losas están destacadas mediante un recuadro, que resalta las dimensiones que se pueden considerar como losas cortas.



**Figura 5.** Isóneas de tensiones debido a la carga aplicada y al gradiente de temperatura en la dirección del largo de la losa ( $S_y$ ) en la parte inferior.

Los gráficos permiten observar el comportamiento de las tensiones generadas en la losa de hormigón, evidenciando cómo las tensiones de tracción varían con las diferentes dimensiones de la losa a medida que se reduce su longitud y por consiguiente su ancho.

## 5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se pueden delinear las siguientes conclusiones:

El análisis realizado muestra que la reducción de las dimensiones de la losa, especialmente en su longitud, tiene un impacto significativo en las tensiones generadas, particularmente cuando la longitud disminuye por debajo de 3000 mm. A medida que las dimensiones se reducen, las tensiones de tracción aumentan notablemente, mientras que, con espesores inferiores a 15 cm y longitudes menores a 2500 mm, las tensiones pueden llegar a ser incluso de compresión.

El espesor de la losa también juega un papel crucial en su comportamiento estructural. Con espesores mayores, como 25 cm, las tensiones muestran pocas variaciones incluso cuando la longitud de la losa se reduce. Sin embargo, al disminuir el espesor, las tensiones experimentan cambios más pronunciados, destacando la importancia de mantener un espesor adecuado para minimizar el riesgo de fallas y asegurar la integridad de la losa.

Además, el estudio revela que tanto la carga aplicada como el gradiente de temperatura tienen un efecto considerable en las tensiones inducidas en la losa. Se observó que los gradientes térmicos generan tensiones de compresión en losas con dimensiones reducidas y espesores menores a 15 cm. Este hallazgo subraya la importancia de considerar no solo la carga sino también los efectos térmicos en el diseño de losas de hormigón para garantizar su durabilidad y resistencia a largo plazo.

La distribución de la carga y su ubicación también resultan ser factores fundamentales para entender el comportamiento de las tensiones en diferentes puntos críticos de la losa, como los bordes y el centro. El modelo demuestra que la correcta repartición de la carga entre losas contiguas y la variación estratégica de su posición son esenciales para minimizar las tensiones en las zonas más desfavorables, lo que es clave en el diseño estructural.

Finalmente, los gráficos de isolíneas utilizados en el estudio fueron herramientas eficaces para visualizar la distribución de las tensiones en la losa bajo diversas condiciones. Estos gráficos permitieron identificar las áreas con tensiones críticas, ya fueran de tracción o de compresión, proporcionando una comprensión más profunda de cómo la reducción de las dimensiones de la losa influye en su comportamiento estructural.

En resumen, este análisis subraya la importancia de un diseño cuidadoso y optimizado de las losas de hormigón, considerando tanto las dimensiones como los efectos combinados de la carga y la temperatura, para garantizar un desempeño estructural seguro y eficiente.

1. R. López, «Aportaciones al proyecto, construcción y reparación de pavimentos de hormigón,» Tesis Doctoral Universitat Politècnica de Catalunya, pp. 1-204, Junio 2018.
2. J. Bojorque, «Análisis de esfuerzos en pavimentos de concreto tipo whitetopping: caso de estudio vía Biblián-Zhud,» Maskana, vol. 12, nº 2, pp. 80-87, 2021.
3. R. Guerra , «Análisis del comportamiento de tensiones máximas inducidas en pavimentos rígidos debido al reemplazo parcial de losas,» TECKNE, vol. 17, nº 2, pp. 98,109, 2020.
4. M. Pradena y B. Chaparro , «Análisis Estructural de Pavimentos de Hormigón: Losas Cortas en pisos Industriales,» Revista Politécnica, vol. 43, nº 2, pp. 1-6, 2019.
5. K. Condori, «Development of concrete pavements of short slabs with fiber incorporated,» Building & Management, vol. 4, nº 1, pp. 21-29, 2020.
6. R. Loor, M. Urdánigo y E. Tejeda, «Tensiones de combado en las Losas de pavimentos rígidos en las condiciones ambientales de Portoviejo,» Ciencia y Construcción, vol. 5, nº 2, pp. 06-15, 2024.
7. AASHTO, «Guide for Desing of Pavement Structures,» American Associations of State of Hihdway and Transportation Official, 1993.
8. J. Ordoñez, «Pavimentos de losas cortas de concreto para vías terciarias en Colombia,» Consorcio Intervías 4g, pp. 1-20, 2015.
9. M. Soza y C. Zega , «Gestión y valorización de agregados reciclados de hormigón en obras viales,» Ciencia y Tecnología de los Materiales, nº 13, pp. 17-29, 2023.
10. E. Tejeda, F. Hernandez, C. Racarey y J. Camapum, «Modelo numérico para estimar módulo efectivo del soporte de un pavimento rígido,» Revista Cubana de Ingenieria, vol. VIII, nº 2, pp. 11-17, 2017.
11. J. P. Covarrubias V., «Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada,» Ingeniería de Construcción, vol. 27, nº 3, pp. 181-197, 2012.
12. W. Rodríguez y M. Pallares , «Desarrollo de un modelo de elementos finitos para el diseño racional de pavimentos,» Tecnura, vol. 9, nº 17, pp. 25-37, 2005.
13. G. Pannillo, A. Barrios y E. Colina Morales , «Diseño de pavimentos rígidos mediante un dimensionado estructural apoyado en el método de elementos finitos,» Gaceta Técnica, vol. 15, nº 1, pp. 23-3, 2024.
14. M. Montalvo y M. Montalvo, «Geometria de las losas del pavimento rigido en las alturas,» Vialdad y transporte latinoamericano, nº 3, pp. 24-29, 2015.
15. M. Pallares y J. Pulecio, «Aplicabilidad del método de los elementos finitos en el análisis y dimensionamiento de losas jpc para carreteras de dos carriles,» lteckne, vol. 14, nº 2, pp. 148-155, 2017.
16. F. Borda, «Modelación de pavimentos rígidos con elementos finitos aplicación de Everfe,» Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial - GRINFRAVIAL, pp. 1-278, 2019.
17. J. P. Covarrubias T., «Comportamiento de pavimentos de hormigón en Chile,» Ingeniería de Construcción, nº 4, p. 10, 1988.
18. L. Moreno , «Mejoramiento de vías de bajos volúmenes de transito mediante el uso de losas de concreto simple optimizadas,» Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito., 2019.
19. E. Rodríguez, F. Hernández y E. Tejeda, «Instrumentación en pavimento de hormigón simple para estudios de tensiones originados por gradientes de temperatura,» Carreteras, nº 231, pp. 79-87, 2021.