



TESIS DE GRADO

MODELACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTOS RÍGIDOS MEDIANTE MODULACIÓN
CONVENCIONAL Y DE LOSAS CORTAS.

MARIA ISABEL COGOLLO FORERO.
ANGIE YURLEY SILVA BERNAL.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C. NOVIEMBRE 2018.

**MODELACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTOS RÍGIDOS MEDIANTE MODULACIÓN
CONVENCIONAL Y DE LOSAS CORTAS.**

**MARIA ISABEL COGOLLO FORERO.
ANGIE YURLEY SILVA BERNAL.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
INGENIERIA DE PAVIMENTOS.**

ASESOR: JUAN CARLOS RUGE CARDENAS

Ingeniero Civil, PhD.

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C NOVIEMBRE DE 2018**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Agradecimientos y dedicatoria.

Yo, Angie Silva le agradezco a Dios y a mis padres, hermano y mis abuelos por su continuo apoyo incondicional, por su gran amor y por la perseverancia para que yo pudiera lograr este sueño por sus grandes sacrificios que hicieron para que yo obtuviera este objetivo más de mi vida por eso les dedico este triunfo, y a los profesores por su ejemplo y motivación.

Yo, María Isabel, le agradezco infinitamente a Dios, por haberme permitido culminar un logro más en mi vida, a mi familia por su paciencia y apoyo incondicional en todo momento. A mis profesores por haberme brindado todo su conocimiento y haber compartido sus experiencias profesionales, ya que esto contribuyó a mi formación profesional.

Tabla de contenido

Resumen	8
Introducción	9
1. Generalidades	10
1.1. Línea De Investigación	10
2. Planteamiento Del Problema	10
2.1. Antecedentes Del Problema	10
2.2. Pregunta De Investigación	11
3. Justificación.....	11
4. Objetivos	12
4.1 Objetivo General.....	12
4.2 Objetivos Específicos.....	12
5. CRONOGRAMA.....	12
5.1 Presupuesto.....	13
6. Marcos De Referencia.....	15

6.2. Marco Conceptual	15
6.1.1. Diseño de losas de menor tamaño y espesor	15
6.1.2. Desarrollo tecnológico:	16
6.1.3. Origen de las losas cortas	17
Modelo de elementos finitos:	18
Mediciones de temperatura en las losas:	18
6.2. Marco Teórico.....	19
6.2.1. Como se define la losa convencional con la losa corta.....	19
6.2.1. Desarrollo Tecnológico:.....	20
7. Metodología	20
7.2. Fases Del Trabajo De Grado.....	20
8. PARAMETRO DEL MODELO	20
Parámetros modelo para las losas convencionales.....	20
Análisis de resultados.....	22
LOSAS CORTAS	27
Conclusiones y recomendaciones.	55

Bibliografía	56
--------------------	----

LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1: DISEÑO TRADICIONAL AASTHO Y DISEÑO DE LOSAS CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA. NOTICRETO Y GCP PRODUCTOS TECNOLOGÍA EN LA CONSTRUCCIÓN</i>	17
<i>FIGURA 2: GEOMETRÍA DE TRANSFERENCIA PARA LOSAS CORTAS</i>	18
<i>FIGURA 3: CONCEPTO TRADICIONAL VS CONCEPTO LOSA CORTA (WWW.HITECK.CL, 2013)</i>	19
<i>FIGURA 4. PARÁMETROS DE MODELO DE LOSAS CONVENCIONALES. FUENTE: PROPIA</i>	21
<i>FIGURA 5. DESPLAZAMIENTO DE LA CARGA. FUENTE: PROPIA.</i>	23
<i>FIGURA 7. CORTANTES MAX. DOVELAS SIN CAMBIO. FUENTE: PROPIA.</i>	24
<i>FIGURA 8. MOMENTOS MÁXIMOS. FUENTE PROPIA</i>	25
<i>FIGURA 9. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES FUENTE: PROPIA.</i>	26
<i>FIGURA 10. ESPESOR DE LOSA CORTA 8CM Y CON SUS RESPECTIVOS ESFUERZOS MÍNIMOS. FUENTE: PROPIA.</i>	27
<i>FIGURA 11. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS. FUENTE: PROPIA.</i>	29
<i>FIGURA 12. CORTANTES MÁXIMO Y DEFORMACIÓN CUANDO LA CARGA SE ENCUENTRA CENTRO. FUENTE: PROPIA.</i>	30
<i>FIGURA 13. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS EN LA PARTE INFERIOR DE LOSA. FUENTE: PROPIA.</i>	31
<i>FIGURA 14. MOMENTO MÍNIMO DE LA LOSA PARTE INFERIOR. FUENTE: PROPIA.</i>	32
<i>FIGURA 15. MOMENTO MÁXIMO DE UNA DISTANCIA A: 1000MM.</i>	33
<i>FIGURA 16. ESFUERZOS MÁXIMOS A UNA DISTANCIA 1500 MM. FUENTE: AUTOR.</i>	34
<i>FIGURA 17. DEFORMACIÓN A UNA DISTANCIA 1500MM. FUENTE: AUTOR.</i>	34
<i>FIGURA 18. CORTANTE MÁXIMO Y ESFUERZO MÁXIMO. FUENTE: PROPIA.</i>	36
<i>FIGURA 19. DEFORMACIÓN DE LA LOSA E: 8CM CON EL AUMENTO DE LA DISTANCIA. FUENTE: PROPIA.</i>	36
<i>FIGURA 20. CENTRO DE LA LOSA E: 12 CM Y SU RESPECTIVA DEFORMACIÓN. FUENTE: PROPIA.</i>	36
<i>FIGURA 21. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA LOSA. FUENTE: PROPIA.</i>	37
<i>FIGURA 22. CORTANTE MÁXIMO E: 12 CM. FUENTE: PROPIA.</i>	38
<i>FIGURA 23. ESFUERZO CORTANTE MÍNIMO CON SU RESPECTIVA DEFORMACIÓN.</i>	38
<i>FIGURA 24. CORTANTE MÁXIMO. FUENTE: PROPIA.</i>	39
<i>FIGURA 25. MÁXIMA CARGA CON UNA DISTANCIA 1000MM CON SU RESPECTIVA DEFORMACIÓN. FUENTE: AUTOR.</i>	40
<i>FIGURA 26. ESFUERZO MÍNIMO A UNA DISTANCIA 2000MM CON SU DEFORMACIÓN. FUENTE: PROPIA.</i>	41
<i>FIGURA 27. CORTANTE MÁXIMO Y MÍNIMO CON UNA DISTANCIA 3000MM. FUENTE: PROPIA.</i>	42
<i>FIGURA 28. CORTANTE MÁXIMO Y DEFORMACIÓN. FUENTE: PROPIA.</i>	44
<i>FIGURA 29. CORTANTE MÍNIMO. FUENTE: PROPIA.</i>	44

<i>FIGURA 30. ESFUERZO MINIMOS Y MAXIMOS EN LA PARTE SUPERIOR DERECHA DE LA LOSA.....</i>	<i>44</i>
<i>FIGURA 31. DEFORMACIÓN DE LA LOSA. FUENTE : AUTOR.....</i>	<i>45</i>
<i>FIGURA 32. CORTANTE MAXIMO Y MINIMO EN EL CENTRO DE LA LOS. FUENTE: PROPIA.....</i>	<i>46</i>
<i>FIGURA 33. CORTANTE MAXIMO Y MINIMO . FUENTE: PROPIA.....</i>	<i>47</i>
<i>FIGURA 34. CORTANTES MAXIMOS Y MINIMOS. FUENTE: AUTOR.....</i>	<i>48</i>
<i>FIGURA 35. DEFORMACIÓN DE LOSA ESQUINA Y CORTANTE MINIMO. FUENTE: PROPIA.</i>	<i>49</i>
<i>FIGURA 36. CORTANTE MAXIMO . FUENTE: PROPIA.</i>	<i>49</i>
<i>FIGURA 37 . CORTANTE MAXIMO Y MINIMO. FUENTE. PROPIA.</i>	<i>50</i>
<i>FIGURA 38. CORTANTE MAXIMO Y MINIMO. FUENTE: PROPIA.....</i>	<i>51</i>
<i>FIGURA 39. CORTANTES MAXIMOS Y MINIMOS. FUENTE: PROPIA.</i>	<i>52</i>
<i>FIGURA 40. CORTANTES MAXIMOS Y MINIMOS. FUENTE: PROPIA.</i>	<i>53</i>
<i>FIGURA 41. CORTANTE MAXIMO Y MINIMO.....</i>	<i>54</i>

LISTA DE TABLAS

<i>TABLA 1: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</i>	<i>12</i>
<i>TABLA 2: PRESUPUESTO GLOBAL DE LA PROPUESTA POR FUENTES DE FINANCIACIÓN (EN MILES DE \$).</i>	<i>14</i>
<i>TABLA 3: DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE USO PROPIO (EN MILES DE \$).....</i>	<i>14</i>
<i>TABLA 4: MATERIALES Y SUMINISTROS (EN MILES DE \$)</i>	<i>14</i>
<i>TABLA 5: FASES DEL TRABAJO DE GRADO</i>	<i>20</i>

Resumen

Para poder realizar esta modelación se le dio continuidad a la tesis de influencia en la transferencia de carga ocasionada por la incorrecta instalación de dovelas en losas de pavimento rígido mediante un análisis numérico en el cual solamente se va a tener en cuenta el tercer caso en el cual las dovelas no presenta ninguna variación de ángulo sobre la base granular, con esta modelación se va a comparar las losas cortas. Por lo tanto, se va a modelar mediante un programa de elementos finitos EverFe 2.24 para poder comparar estos dos métodos, en el cual se va a simular en las losas cortas un vehículo de 12 ton en el cual se va a desplazar y se determinaron, los esfuerzos máximos de “Cortante” y “Momento” en las losas cortas en el cual se varia, el desplazamiento de los ejes en cada losa.

Por consiguiente la losas cortas se basaron bajo los mismos parámetros de la tesis mencionada anteriormente para así darle continuidad a la modelación de las losas cortas lo único que se diferencia con las losas convencionales son que estas losas cortas no llevan pasadores de transferencia , y se realizó la modelación con espesores de 8,12,16,20,22 cm y se desplazó la carga del vehículo de un eje Tándem de 12 ton en la esquina, centro, interno de las losas y centro para así determinar los esfuerzos máximos y mínimos en las losas cortas sobre la base granular y comparar con las losas convencionales del pavimento rígido en el tercer planteamiento basadas en la tesis anterior.

Introducción

Se realizó este estudio del dimensionamiento de las losas de pavimento rígido, en el cual se evidenciará la existencia de tres aspectos fundamentales en los parámetros de diseño como: Las tensiones, los alabeos en las losas de concreto, la configuración de las cargas para el análisis de las tensiones y el efecto de la rigidez de la base.

Por lo tanto, se analizó la modelación de las losas cortas con el fin de reducir los efectos de interacción de la carga y las tensiones de alabeo que se puede presentar en el borde, interior y centro de la losa, igualmente se está implementando una nueva metodología de diseño de las losas cortas mediante la optimización del tamaño de la losa, entonces esto dependerá de la geometría según el tráfico de la vía (Covarrubias, 2005).

En el transcurso de esta investigación se analizará, la modelación mediante el software EverFE 2.24, para poder verificar el comportamiento de las losas cortas con las losas convencionales, a partir de las cargas distribuidas por losa, el cual buscará que cada losa tenga una máxima carga por un parte de ruedas y no por un eje completo en las losas cortas a diferencia de las losas convencionales.

1. Generalidades

1.1. Línea De Investigación

Dando continuidad al tema de investigación fijado por la universidad y dirigido por el Ingeniero Juan Carlos Ruge en la aplicación de Modelación numérica de pavimentos rígidos mediante modulación convencional y de losas cortas mediante el software EverFE 2.24 en el cual se busca comparar las losas cortas con las losas convencionales, con sus respectivas cargas, y diferentes esfuerzos máximos a diferentes espesores. Además, con esta modelación de las losas convencionales se utilizarán los mismos parámetros que se usó el Ingeniero Iván Pérez en el cual se va a tener en cuenta el tercer caso donde las dovelas no llevan ángulos y las losas cortas no llevan barras de transferencia.

2. Planteamiento Del Problema

El dimensionamiento y el espesor en las losas convencionales de pavimento rígido es un factor de gran importancia a la hora de controlar factores como el alabeo y la transferencia de carga, es por esto que mediante, el software EverFE 2.24 es un método efectivo a la hora de analizar dichos parámetros para así diseñar el pavimento rígido correctamente.

Las losas cortas es un método de diseño, el cual permite optimizar las dimensiones de las losas para minimizar el espesor requerido. Además, esto reduce la tensión máxima el cual se por el tráfico, dado que solo un set de ruedas se encuentra cargando cada losa. Con el software EverFE 2.24 se pueden simular diferentes condiciones con el fin de establecer un diseño que garantice el aumento de la vida útil del pavimento, logrando reducir los costos hasta en un 20% en comparación con el diseño convencional (AASHTO).

2.1. Antecedentes Del Problema

Con el fin de obtener resultados más exactos y análisis más detallados de las dimensiones y

espesores de los pavimentos se implementará la modelación numérica mediante la simulación de varios parámetros como son el espesor en las losas cortas, ya que los módulos van a permanecer constantes, el cual permitirá establecer el dimensionamiento adecuado que nos arroja el sistema, con el fin de hacer una comparación con el diseño que tenemos actualmente en nuestro país con las losas convencionales siguiendo los mismos parámetros que planteó el ingeniero Iván Fernando Pérez Sánchez en su tesis de influencia en la transferencia de carga ocasionada por la incorrecta instalación de dovelas en losas de pavimento rígido mediante un análisis numérico.

2.2. Pregunta De Investigación

¿Cómo influye la disminución de los espesores en las losas cortas optimizadas comparándolas con las losas convencionales mediante el software Ever Fe 2?24 en los pavimentos rígidos?

3. Justificación

Con los actuales avances de la tecnología se requiere investigar sobre nuevas metodologías que se están utilizando en otros países para pavimentos rígidos el cual permite ahorrar costos y realizar un mejor mantenimiento en las losas cortas comparándolas con las losas convencionales por lo tanto, se hace necesario realizar una comparación mediante el software que es llamado EverFe 2.24 para verificar como se puede optimizar recursos en las losas que incorporen la geometría para un eje tándem, por el cual se va a reducir el espesor de la losa permitiendo un esfuerzo más bajo en la losa y un ahorro significativo en la construcción, mayor duración, mayor soporte de cargas pesadas y menor costo de mantenimiento. (TC Pavements innovación en Pavimentos, 2018).

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el software EverFE 2.24, se realizará una validación mediante el programa de elementos finitos del sistema y se realizará la comparación con el método de losas convencionales, el cual se van a mirar los esfuerzos al cortante máximo.

	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recopilación de información de losas cortas	x	x	x	x																								
Instalación del software Everfe 2.24								x																				
Planteamiento del problema, objetivos y justificación																												
Revisión presupuesto y metodología de investigación																												
Sustentación propuesta de investigación																												
Comenzar a modelar losa corta con el software																												
Procesamiento y análisis de resultados obtenidos software																												
Correcciones de observaciones y aclaraciones dudas proyecto																												
Elaboración del informe final con sus resultados software																												
Presentación y sustentación final de la tesis																												

Fuente: Los autores.

5.1 Presupuesto

Para el proyecto a realizar se contemplan los siguientes costos:

PERSONAL

Tabla 2: Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (en miles de \$).

RUBROS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
INSTALACIÓN SOFTWARE EVERFE 2.24		\$100.000
TOTAL		\$100.000

Fuente: Los autores.

EQUIPOS

Tabla 3: Descripción y cuantificación de los equipos de uso propio (en miles de \$)

EQUIPO	VALOR TOTAL
COMPUTADOR PORTATIL	\$2.200.000
TOTAL	\$2.200.000

Fuente: Los autores

MATERIALES

Tabla 4: Materiales y suministros (en miles de \$)

MATERIALES1	JUSTIFICACIÓN	VALOR TOTAL
Fotocopias	Bibliografía	\$60.000

Impresiones	Informe final	\$150.000
Internet	Revisión de bibliografía	\$60.000
TOTAL		\$270.000

Fuente: Los autores

6. Marcos De Referencia

6.2. Marco Conceptual

6.1.1. Diseño de losas de menor tamaño y espesor

En el diseño de pavimentos de concreto se ha desarrollado un nuevo método que reduce el espesor de losas al momento de optimizar su tamaño a partir de la geometría de los ejes de los camiones. El diseño de losas de concreto de menor tamaño y espesor considera el apoyo sobre una base granular, tratada con cemento o asfáltica, y que no existe adherencia entre la base, o el pavimento antiguo, y la losa de concreto. El principio fundamental consiste en diseñar el tamaño la losa para que en ella no ruede al mismo tiempo más de un juego de llantas, reduciendo así al mínimo la tensión de tracción crítica en la superficie (Vaerela, 2018).

Se han construido en diferentes países tramos de ensayo a gran escala y se han probado bajo cargas aceleradas con espesores de concreto de 8,15 y 20 cm, todas con base granular y sobre capas asfálticas sin adherir. Las pruebas demostraron que una disminución en las dimensiones de la losa permite que, al ser de bajo espesor, en el cual soporte una cantidad considerable de ejes equivalentes (EE) antes de comenzar a agrietarse. Las losas de concreto sobre bases granulares con espesor de 20 cm no mostraron agrietamiento a pesar de haber sido ensayadas a más de 50 millos de ejes equivalentes (EE).

Las losas de espesor de 15 cm mostraron, en promedio, grietas a 12 millones de EE, mientras que las de 8 cm de espesor resistieron 75.000 ejes equivalentes antes de aparecer las primeras grietas. Los ensayos probaron también que las losas de concreto con fibra pueden soportar hasta 20 veces

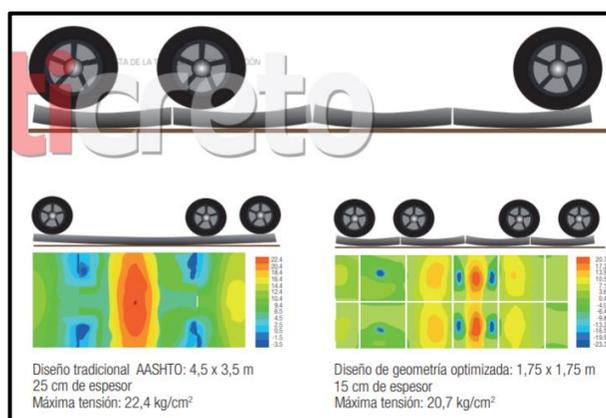
más tráfico antes de comenzar a agrietarse, y que tienen vida útil más larga una vez agrietadas. A partir de estos ensayos se ha desarrollado un software de diseño mecánico- empírico, en el cual va a permitir optimizar la geometría y el espesor de las losas de concreto, considerando las condiciones particulares de cada proyecto: clima, tráfico, capa y materiales (Vaerela, 2018).

La nueva metodología diseña losas de concreto que son, en promedio, 7 cm más delgadas para vías de alto tráfico en comparación con el diseño tradicional de pavimentos AASHTO (1993). Además, este método también es capaz de diseñar de manera eficiente pavimentos de concreto para vías de menor volumen de tráfico que no son cubiertas con los actuales métodos de diseño de pavimento, ofreciendo una alternativa a soluciones en otros materiales.

6.1.2. Desarrollo tecnológico:

El desarrollo tecnológico ha llevado el concepto de dimensionar losas optimizadas su geometría, por lo tanto, el principio del sistema dimensionar las losas optimizadas de tal manera que solo exista un juego de ruedas sobre cada losa, distribuyendo de mejor manera la carga en el pavimento para evitar el agrietamiento por flexión, lo cual ayuda a mejorar la calidad, en la extensión de la vida útil del pavimento y en menor espesor del pavimento, como se muestra a continuación.

FIGURA 1: Diseño tradicional AASTHO y Diseño de losas con geometría optimizada. Noticreto y GCP productos tecnología en la construcción



Fuente: Ordoñez, J. D. (2015). Pavimentos de Losas Cortas de Concreto para Vías Terciarias en Colombia..

6.1.3. Origen de las losas cortas

Durante la última década, el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile - ICH ha sido participante de actividades que han permitido consolidar una base de conocimiento referente a los pavimentos de hormigón con losas de geometrías de distintas dimensiones. Motivados en análisis preliminares que indicaban que utilizando losas de dimensiones menores era posible reducir los espesores de pavimentos sin afectar su comportamiento se ha continuado trabajando en el tiempo reciente. Los seguimientos y auscultaciones realizadas en el tiempo a diferentes pavimentos complementados con los análisis teóricos efectuados han permitido comprobar las bondades de modificar el tamaño de las losas. Ante la necesidad de responder a frecuentes consultas sobre el tema, el ICH ha venido trabajando en una metodología capaz de comprobar analíticamente las bondades de las losas cortas, a partir de la predicción del deterioro del pavimento para unas condiciones dadas; tomando como base un proceso analítico de tensiones y fatigas acumuladas por repetición de sollicitaciones, pudiendo así con los resultados obtenidos relacionarlos y compararlos con lo observado en experiencias reales realizadas en Chile.

FIGURA 2: Geometría de transferencia para losas cortas

Geometría y transferencia				
Espesores [cm]	Tamaños de losas [cmxcm]			Transferencia de Carga %
8	175x175	230x230	350x350	0
				50%
				75%
12	175x175	230x230	350x350	0
				50%
				75%
16	175x175	230x230	350x350	0
				50%
				75%
20	175x175	230x230	350x350	0
				50%
				75%
24	175x175	230x230	350x350	0
				50%
				75%

Fuente: Ordoñez, J. D. (2015). *Pavimentos de Losas Cortas de Concreto para Vías Terciarias en Colombia*.

Modelo de elementos finitos: El modelo de elementos finitos desarrollado está basado en la teoría clásica de losas delgadas. En el cual usa elementos rectangulares con doce grados de libertad.

En pavimentos de hormigón es importante modelar los diferentes estados de carga y considerarlos en conjunto con la deformación de la losa por efecto del clima. Además, en el modelo de elementos finitos, la sollicitación representada por un conjunto de cargas en los nodos y asociados a los grados de libertad definidos para cada nodo.

Mediciones de temperatura en las losas: Este gradiente térmico induce una deformación diferencial entre la superficie y el fondo de la losa, produciendo una deformación cóncava hacia arriba cuando la superficie se encuentra a menor temperatura en el fondo, y una deformación cóncava hacia abajo cuando la superficie se encuentra a mayor temperatura que el fondo.

6.2. Marco Teórico

6.2.1. Como se define la losa convencional con la losa corta

Cuando nos hablan de un pavimento en concreto nos imaginamos un pavimento de espesor considerable que puede ser mayor a 20 cm y magnitud de losas que pasan de los 3 m, sin embargo, existen pavimentos de menores dimensiones que pueden soportar grandes cargas y tener una vida útil considerable.

Los métodos convencionales de diseño de pavimentos tienen en cuenta factores de daño como erosión y fatiga, pero no consideran la distribución de los esfuerzos de acuerdo con las dimensiones de la losa (largo y ancho). Cuando se tienen losas más cortas, estos esfuerzos disminuyen.

FIGURA 3: Concepto tradicional vs concepto losa corta (www.hiteck.cl, 2013)



Este tipo de pavimentos se han usado no sólo en vías de tráfico liviano, también en vías de tráfico pesado, apoyado sobre una base granular sobre un suelo-cemento, sobre un pavimento asfáltico existente (white-topping) o sobre el mismo suelo in-situ.

6.2.1. Desarrollo Tecnológico:

El desarrollo tecnológico ha llevado el concepto de dimensionar losas optimizadas su geometría, por lo tanto, el principio del sistema es dimensionar las losas optimizadas su geometría. El principio del sistema es dimensionar las losas de tal manera que solo existía un juego de ruedas sobre cada losa, distribuyendo de mejor manera la carga en el pavimento para evitar el agrietamiento por flexión, lo que se traduce en mejoras en la calidad, en la extensión de la vida útil del pavimento y en menor espesor del pavimento.

7. Metodología

7.2. Fases Del Trabajo De Grado

Tabla 5: Fases del trabajo de grado

FASES TRABAJO DE GRADO	
Fase 1	Revisión bibliográfica y construcción del estado del arte.
Fase 2	Planteamiento del problema, objetivos y justificación
Fase 3	Instalación de Software y manejo del mismo
Fase 4	Metodología de investigación Presupuesto
Fase 5	Anteproyecto
Fase 6	Sustentación propuesta de investigación
Fase 7	Modelación numérica de las losas cortas y convencionales
Fase 8	Procesamiento y análisis de resultados
Fase 9	Presentación y sustentación final

Fuente: los autores.

8. PARAMETRO DEL MODELO

Parámetros modelo para las losas convencionales

Las modelaciones se realizarán con el software EverFe 2.24 diseñado en la Universidad de Main (E.U.A) basado en análisis de elementos finitos con interface gráfica.

El modelo consta de unas capas de pavimento ya que la losa de concreto está apoyada sobre una base granular de con un espesor de 15 cm, los parámetros del modelo o datos de entrada en el programa son:

En la losa de concreto convencional se realizará los parámetros mediante, el programa EverFe 2.24:

- *E = 25.000MPa.
- MR= 4.0MPa
- m = 0.2
- r = 2.400Kg/m³
- L = 4.000mm
- B = 4.000mm
- e = 200mm

El módulo de “E” para el concreto se determinó según NSR-10, C.8.5.1 con un F’c de 28MPa

En la Base y Afirmado

- Base E = 3000MPa.
- Espesor e1 = 0.15m
- Afirmado E = 500MPa.
- Espesor e2 = 0.3m

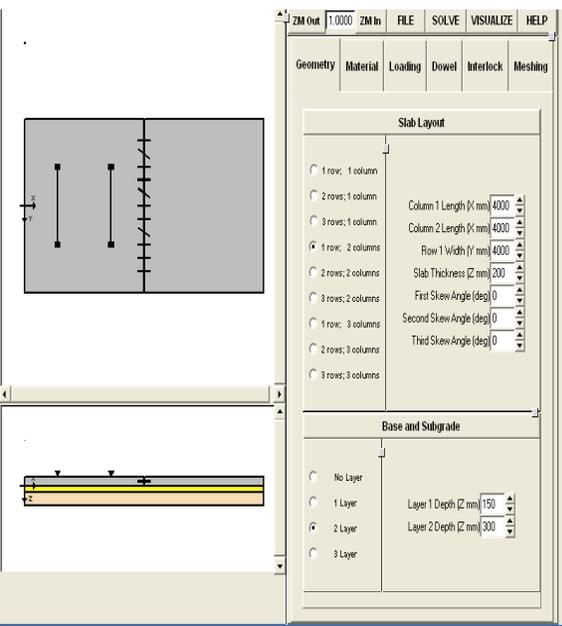
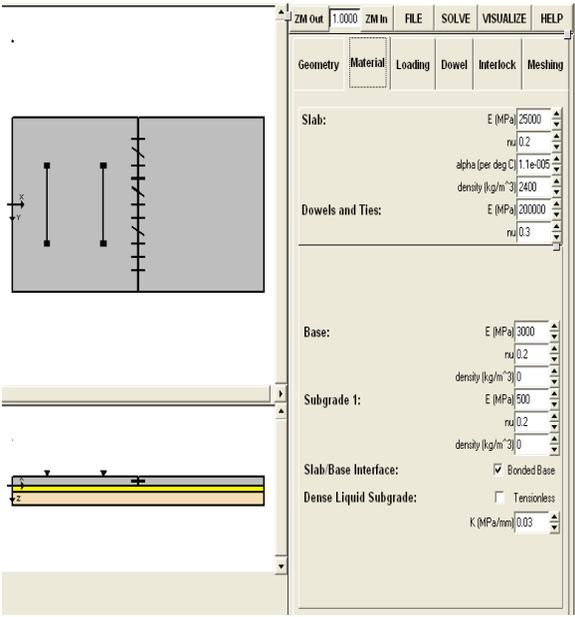
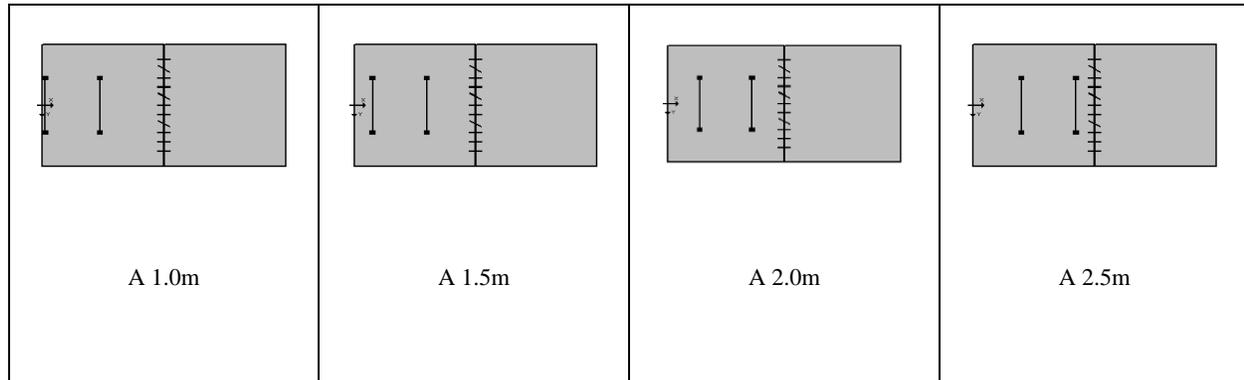
	
<p>Parámetros Geométricos</p>	<p>Parámetros de materiales</p>

FIGURA 4. Parámetros de modelo de losas convencionales. Fuente: Propia

Análisis de resultados

La modelación se realizó desplazando la carga de diseño (Tándem sencillo de 12T) 50cm a la ez



verificando los resultados de F_s (Cortante Máximo en las dovelas) y M_s (Momento máximo) en cada dovela, la distancia de las cargas se presenta en el centro, esquina y en el interior de losa.

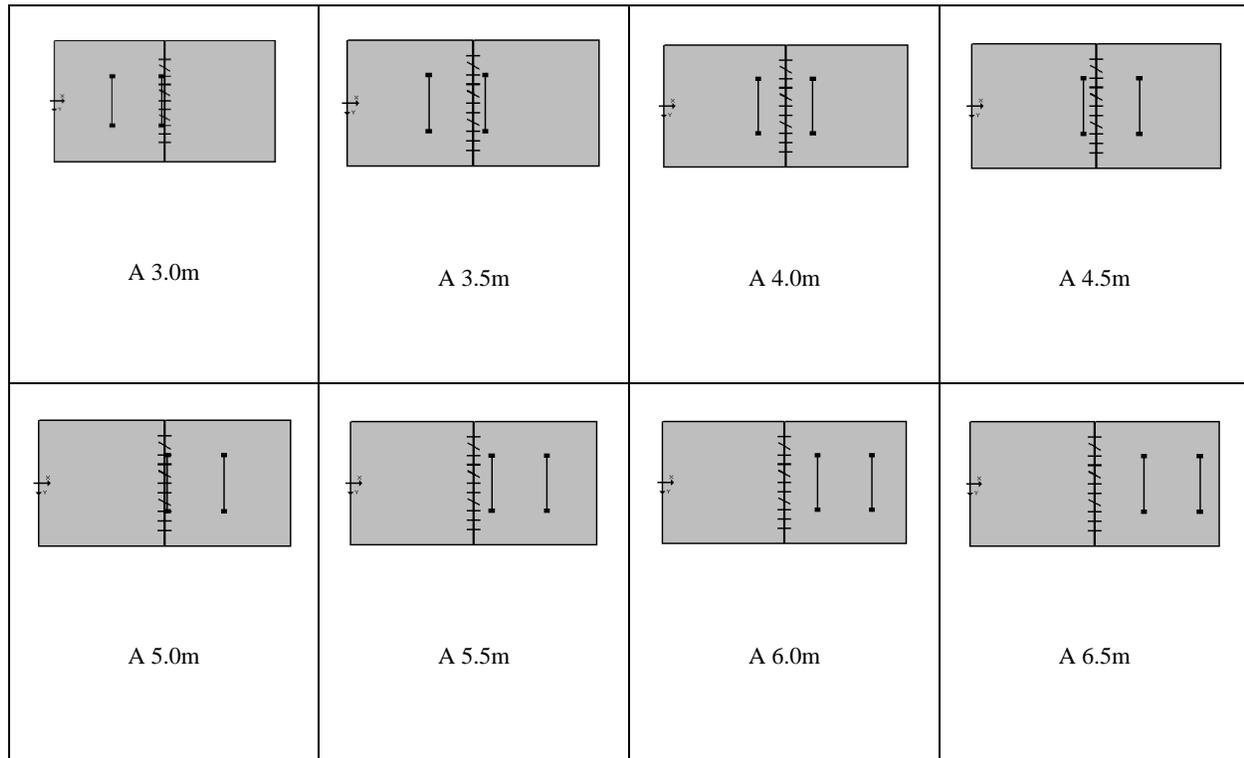


FIGURA 5. Desplazamiento de la carga. Fuente: Propia.

Tipo de carga: Tandem Sencillo 120Kn												
Sin alteracon de dovelas												
N° Dovela sin alterar												
FILE AAAA												
Posicion de	DOVELA N°											
Carga (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1,0	23,62	23,95	24,24	24,43	24,55	24,59	24,55	24,43	24,24	23,95	23,62	
1,5	23,27	23,66	23,96	24,17	24,24	24,31	24,28	24,17	23,96	23,66	23,27	
2,0	15,90	16,89	17,38	17,09	16,64	16,50	16,64	17,07	17,37	16,88	15,90	
2,5	15,91	18,29	18,35	16,63	12,18	11,70	12,16	16,60	18,32	18,28	15,89	
3,0	41,93	50,71	100,16	52,16	45,02	43,83	45,02	52,16	100,17	50,71	41,93	
3,5	30,25	32,49	31,01	33,00	31,62	31,44	31,62	33,00	31,01	23,49	30,25	
4,0	34,13	33,21	33,86	33,70	34,95	35,91	34,95	33,70	33,86	33,21	34,13	
4,5	34,92	35,94	35,92	37,69	36,41	35,73	36,42	37,70	35,92	36,94	34,93	
5,0	42,81	52,37	91,31	53,88	45,61	44,16	45,61	53,88	91,28	52,37	42,81	
5,5	20,31	23,90	24,42	22,48	19,36	19,09	19,48	22,45	24,39	23,88	20,30	
6,0	15,50	16,55	17,16	16,80	16,31	16,06	16,30	16,79	17,15	16,55	15,50	
6,5	19,16	19,51	19,78	19,90	19,92	19,92	19,92	19,90	19,77	19,51	19,16	
7,0	23,62	23,93	24,24	24,43	24,54	24,56	24,54	24,43	24,24	23,93	23,62	

FIGURA 6. Cortantes max. Dovelas sin cambio.Fuente: Propia.

Se observa que al modelar en el software EverFe 2.24, los cortantes máximos cuando se colocan dos dovelas dan mayor momento máximo cuando la carga es de 1,0 m y cuando se colocan en el programa 8 dovelas, da un mayor momento máximo cuando la posición de la carga para un eje tándem es de 12 toneladas.

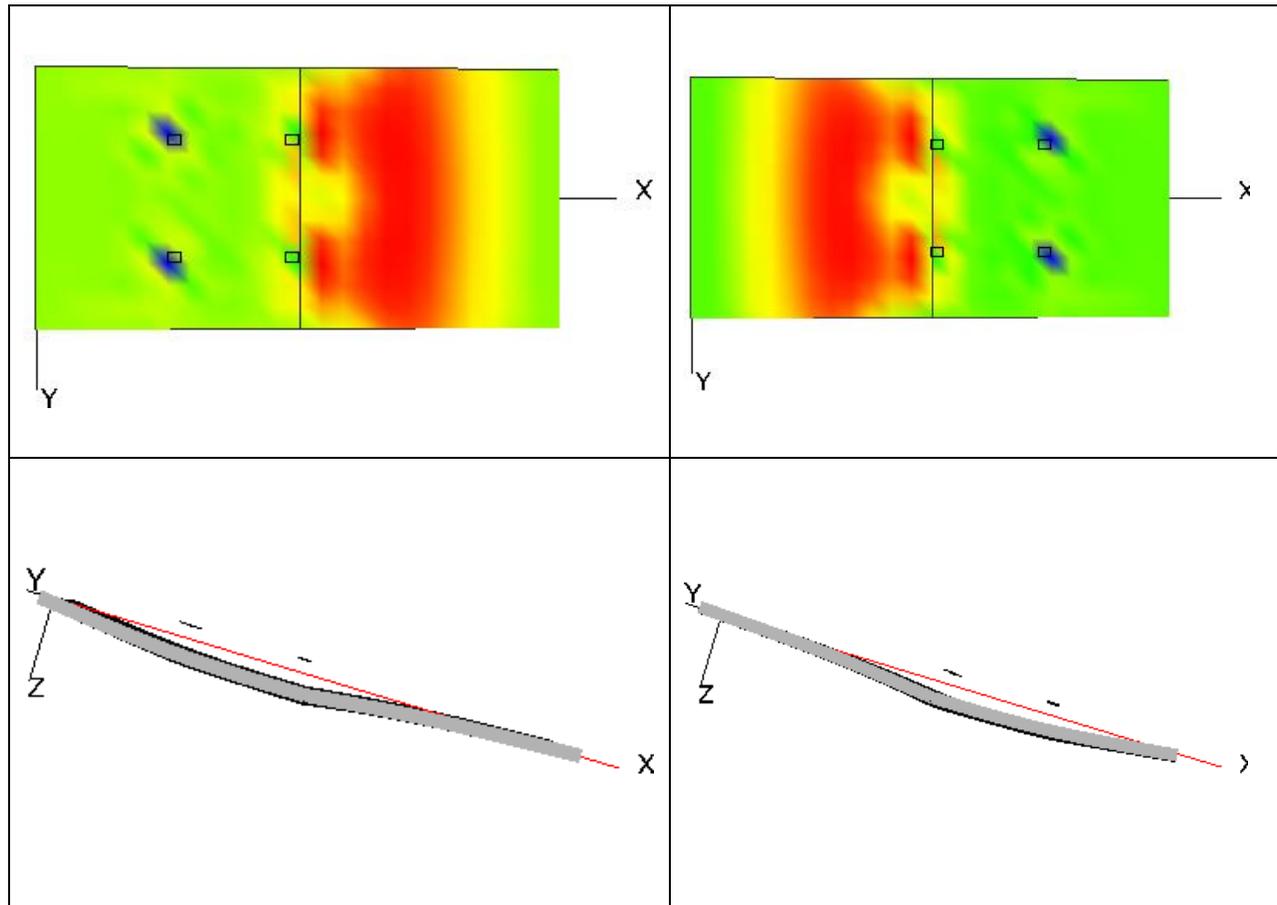


FIGURA 8. Esfuerzos y deformaciones Fuente: Propia.

En este escenario patrón se evidencia uniformidad en los esfuerzos cortantes de todas las dovelas, oscilando 10 de las dovelas entre 50N para su punto máximo y 20N para el mínimo.

Se observa que, en el gráfico de elementos finitos, existen un mayor esfuerzo en la zona roja por tanto se presenta una mayor deformación en cuanto al desplazamiento en cuanto a la posición de la carga.

LOSAS CORTAS

- Losa corta espesor 8cm con una carga en la parte inferior de la primera losa.

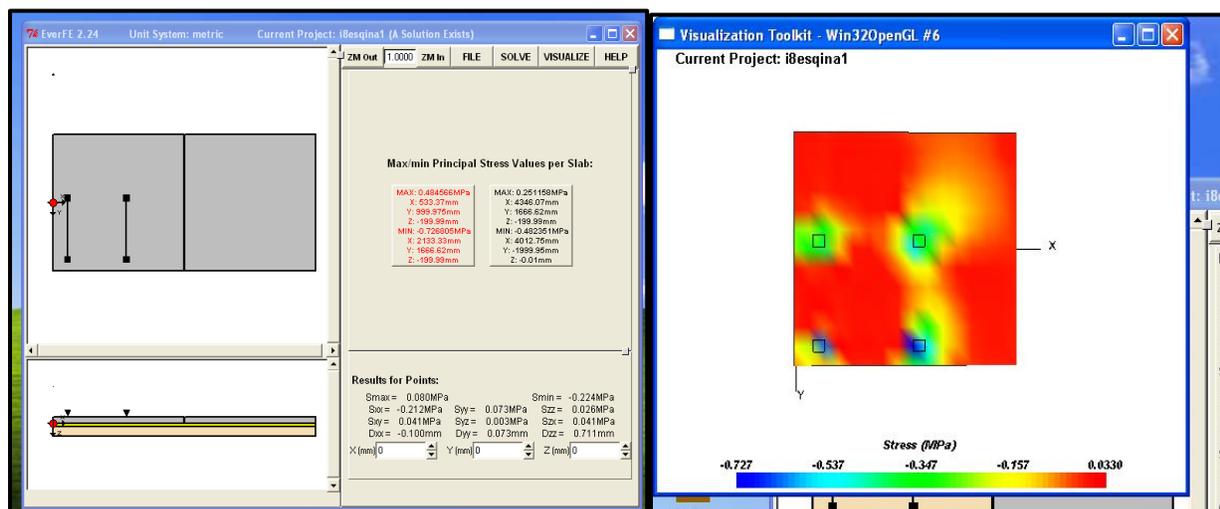


FIGURA 9. Espesor de losa corta 8cm y con sus respectivos esfuerzos mínimos. Fuente: Propia.

En la losa corta cuando la posición de desplazamiento de la carga del eje tándem es de 12 toneladas, se observa que existen un esfuerzo máximo que representa la posición donde se encuentra los esfuerzos que interactúan la carga en la losa, además existe mayor esfuerzo en 0,033.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0,360	0,485
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0,727	0,0330

La modelación se realizó desplazando la carga de diseño (Tándem sencillo de 12T) 50cm a la vez verificando los resultados de F_s (Cortante Máximo en las losas cortas) y M_s (Momento máximo) en cada dovela, la distancia 0.00 en el borde izquierdo en la parte inferior de la losa en el cual se da un cortante máximo y mínimo, con una distancia de la carga de diseño de 1800mm, se identifica que hay unos esfuerzos que se encuentra a compresión y tracción, además existe un momento máximo que es donde más afecta la carga como es 0,484 Mpa y un esfuerzo mínimo -0,726 Mpa.

Por consiguiente, se concluye que esta modelación de esta losa con un espesor de 8cm tal como se muestra en la figura 9, lo de que se encuentra de color rojo representa la tracción que se distribuye en toda la losa en la parte inferior.

- Centro de la losa con un espesor 8cm

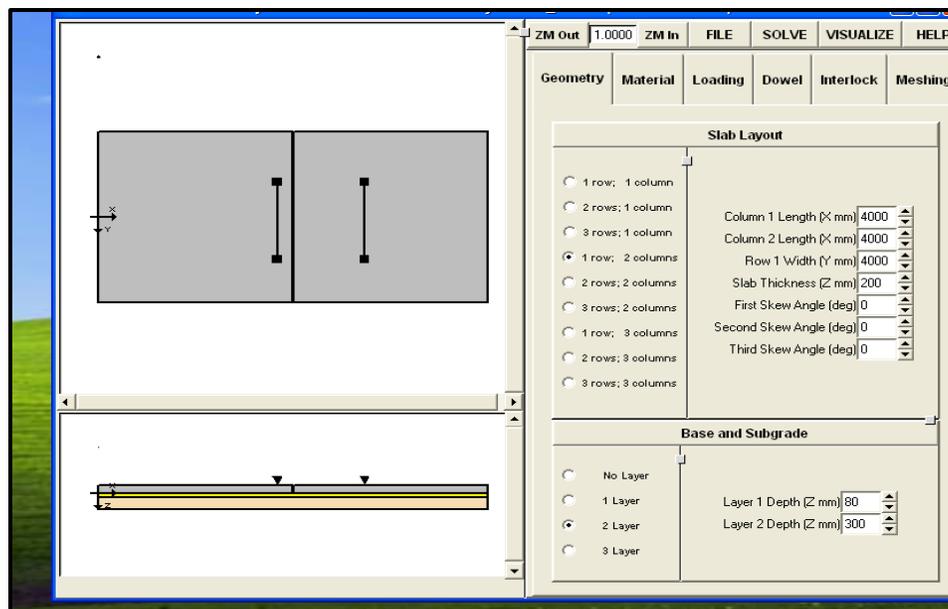


FIGURA 10. Parámetros Geométricos. Fuente: Propia.

En la losa corta se observa que se diseña con los parámetros 4.0 x 4.0, en el cual se busca reducir, el espesor a 8 cm ubicando el desplazamiento del eje tándem en el centro de la junta de la losa.

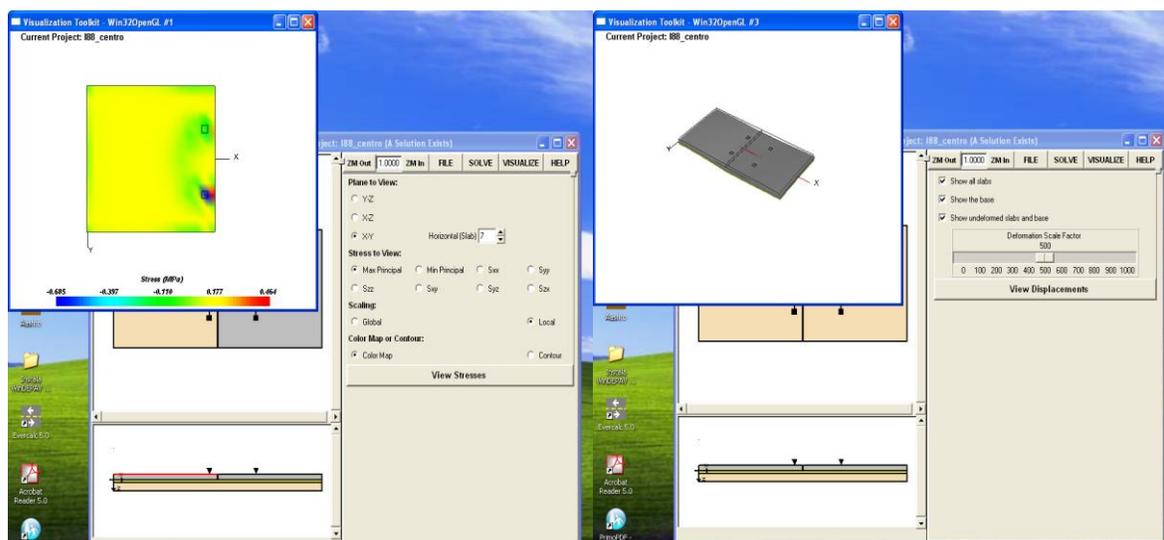


FIGURA 11. Cortantes máximo y deformación cuando la carga se encuentra centro. Fuente: Propia.

Se observa que hay un esfuerzo máximo 0,464 tal como se muestra en el programa de elementos finitos y presenta poca deformación al momento de aplicar la carga.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0,685	0,464
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0,847	0,0155

La modelación se realizó desplazando la carga de diseño (Tándem sencillo de 12T) 50cm a la vez verificando los resultados de F_s (Cortante Máximo en las losas cortas) y M_s (Momento máximo), la distancia 1.8 m en el centro de la losa en la parte inferior de la losa en el cual se da un cortante máximo y mínimo, con una distancia de la carga de diseño de 1800mm, se identifica que hay unos esfuerzos que se encuentra a compresión y tracción, además existe un momento máximo que es donde más afecta la carga como es 0.355 Mpa.

Por consiguiente, se concluye que esta modelación de esta losa con un espesor de 8cm tal como se muestra en la figura 11, lo de que se encuentra de color rojo representa la tracción que se distribuye en toda la losa en la parte inferior de la losa.

Además, la distancia de la carga es de 1800mm, por lo que se identifica que el desplazamiento max 0,055 Mpa y el desplazamiento mínimo es 0,166 Mpa.

- Espesor de 8cm en la tercera losa en la parte inferior

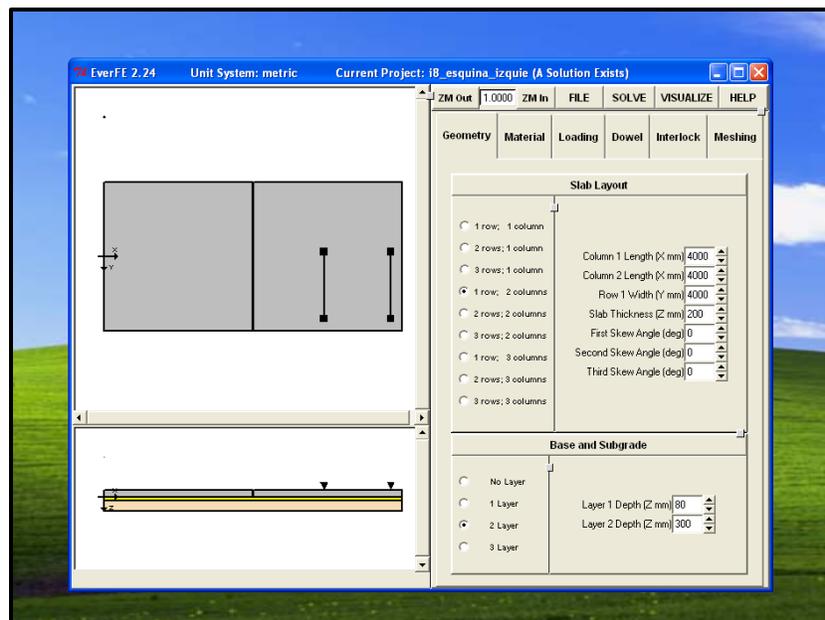


FIGURA 12. Parámetros Geométricos en la parte inferior de losa. Fuente: Propia.

La losa con una relación de esbeltez de 4.0x4.0, con un espesor de 8 cm.

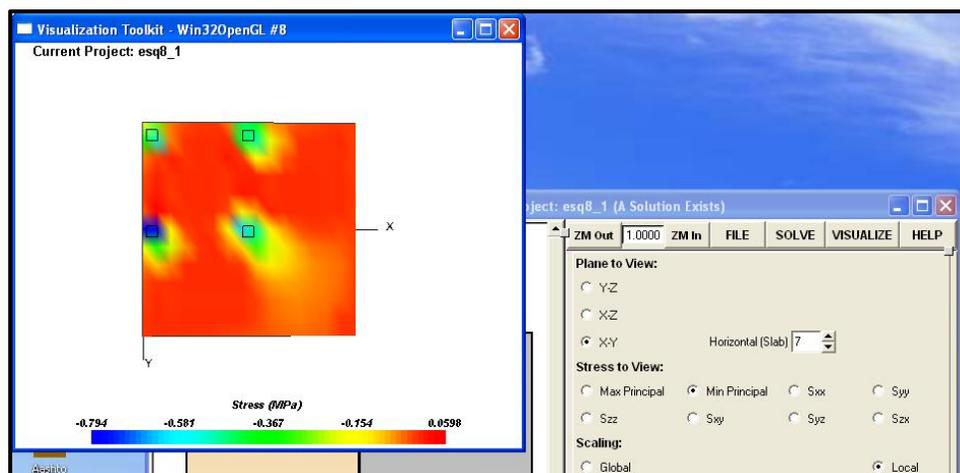


FIGURA 13. Momento mínimo de la losa parte inferior. Fuente: Propia.

Se presenta un momento máximo de 0.0589 Mpa cuando hay unos esfuerzos en el cual se encuentra la carga de la losa.

Esfuerzo máximo (Mpa)	0,00779	0,229
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0,0296	0,00265

Se observa que al modelar esta losa con un espesor de 8cm, pero a cambiarla de sentido en la parte de la esquina va disminuyendo, el esfuerzo máximo y el mínimo, en el diagrama de cortante, además el desplazamiento máximo, también disminuye ya que se obtuvo un valor de 0,053 Mpa y un esfuerzo mínimo aumenta el esfuerzo de compresión -0,169 Mpa, en la losa cortas.

Por la tanto, para comparar esta losa corta se va a cambiar la posición y la distancia de 1800mm

a 1000 mm que se encuentra a partir de la carga, por lo cual se va a mirar los esfuerzos cortantes que se encuentra la losa corta sometida a dicha carga del eje tándem de 12 toneladas.

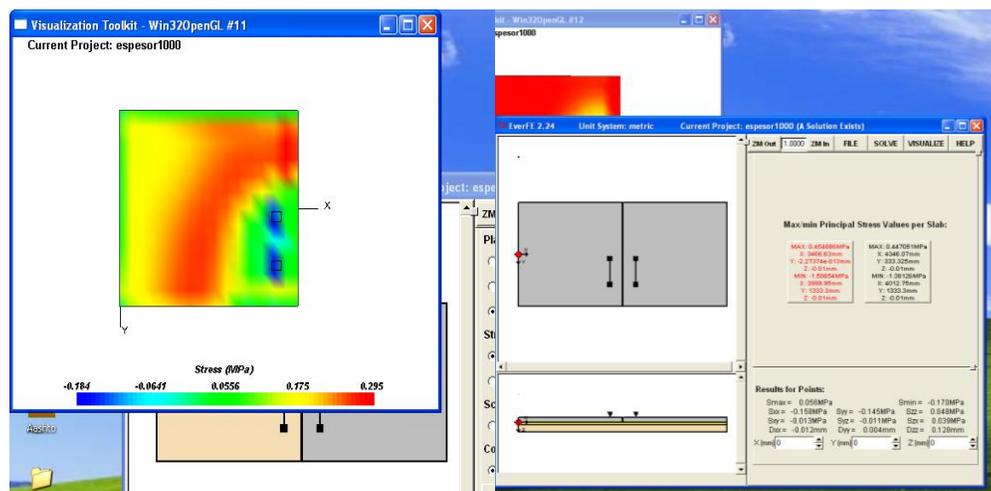


FIGURA 14. Momento máximo de una distancia A: 1000mm.

Representa el esfuerzo en que interactúa, la carga en su respectiva posición siendo, la parte roja la parte máxima del cortante.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0,184	0,295
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0,750	0,00988

Al disminuir la distancia con respecto a la carga se observa que se disminuye, el cortante máximo con respecto a la distancia 1000mm, por lo cual se concluye que se va disminuyendo el esfuerzo de tracción.

Se compara al aumentar a una distancia de 1500mm con respecto a la carga que se encuentra en el centro de la losa como se muestra a continuación:

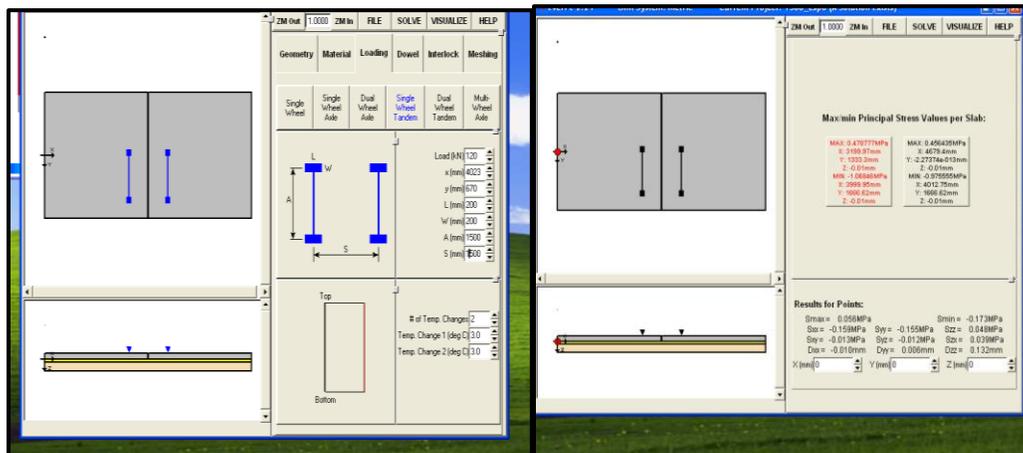


FIGURA 15. Esfuerzos máximos a una distancia 1500 mm. Fuente: Autor.

Se deja una carga, pero esta se encuentra en diferente posición de la carga del eje, además también depende de la posición de la distancia de la carga.

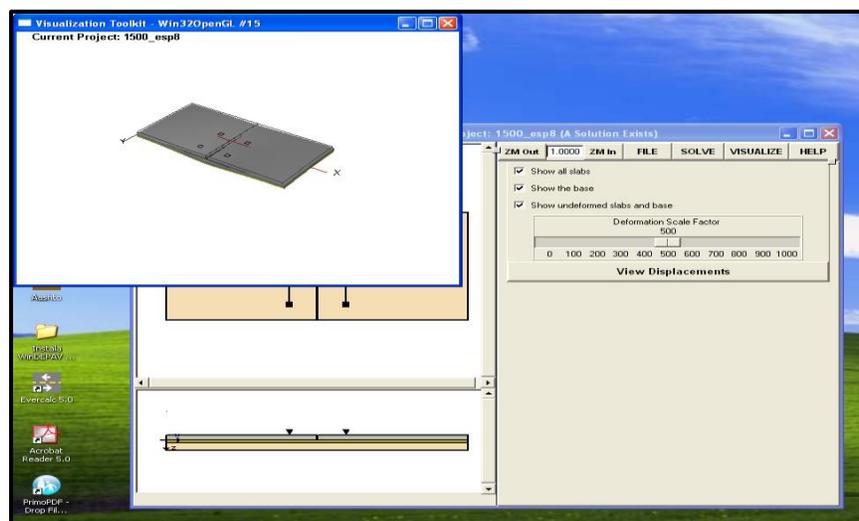


FIGURA 16. Deformación a una distancia 1500mm. Fuente: Autor.

Se observa que en el momento de la deformación de la losa se presenta de forma cóncava en donde se aplicó la carga.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0,449	0,260
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0,892	0,0067

Al aumentar la distancia de la carga los cortantes máximos van disminuyendo, el momento máximo en la losa va aumentando 0,478 Mpa y el esfuerzo Mínimo por compresión va disminuyendo.

Se compara al aumentar a una distancia de 3000 mm con respecto a la carga que se encuentra en el centro de la losa como se muestra a continuación:

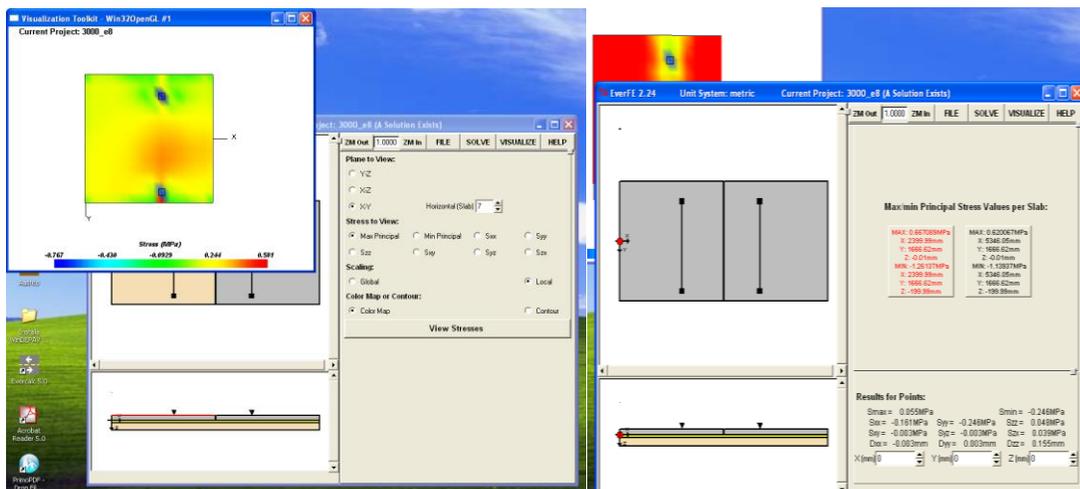


FIGURA 17. Cortante máximo y esfuerzo máximo. Fuente: Propia.

Se observa que donde mayor se registra esfuerzos en el centro de la losa, y esto también depende de la posición de la posición de la carga del eje que se encuentra el vehículo.



FIGURA 18. Deformación de la losa $e:8\text{cm}$ con el aumento de la distancia. Fuente: Propia.

Esta deformación se observa que ocurre proceso de alabeo ya que aumenta el esfuerzo máximo y el mínimo, a los otros casos que se mencionaron anteriormente.

Cambia el espesor a 12 cm

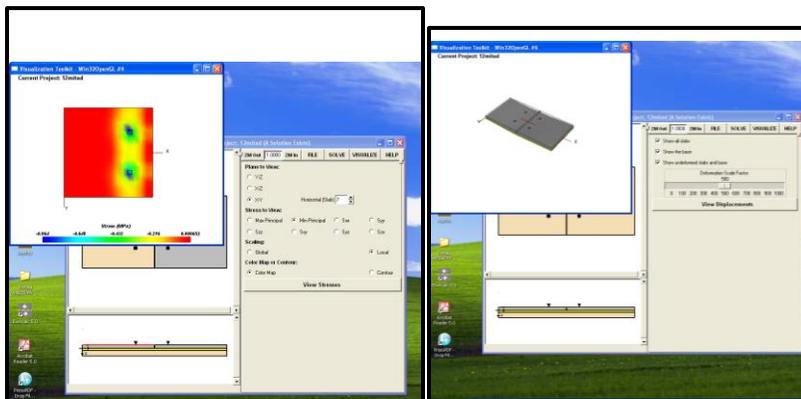


FIGURA 19. Centro de la losa $e:12\text{ cm}$ y su respectiva deformación. Fuente: Propia.

Se observa al modelar esta losa con menor espesor, se observa que losa representa menores esfuerzos máximos y menor deformación tal como se observa en la figura 19.

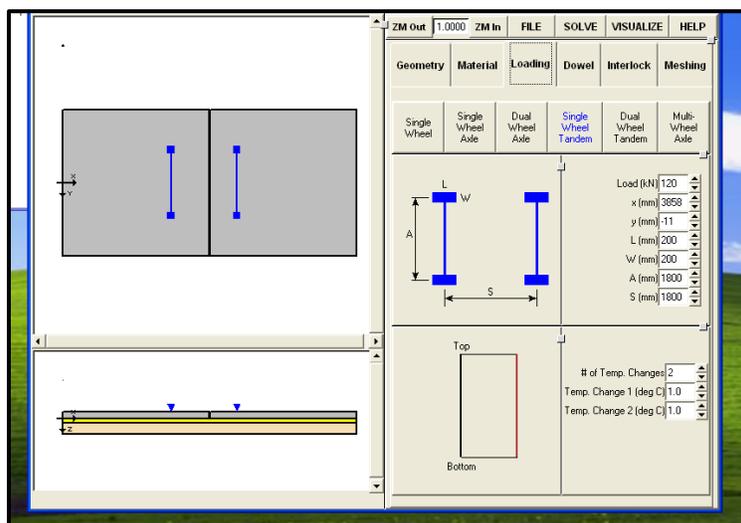


FIGURA 20. Parámetros geométricos de la losa. Fuente: Propia.

Al colocar en la losa a una distancia de 1800mm en el centro de la junta de la losa.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0,487	0,08
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0,864	0,000

Con una distancia de la carga de 1800 mm , se observa que el aumentar el espesor el esfuerzo por compresión disminuye comparada con el centro de espesor de 12cm como se observó en el caso anterior.

- Losa cuando se encuentra en una esquina con una distancia 1800 mm.

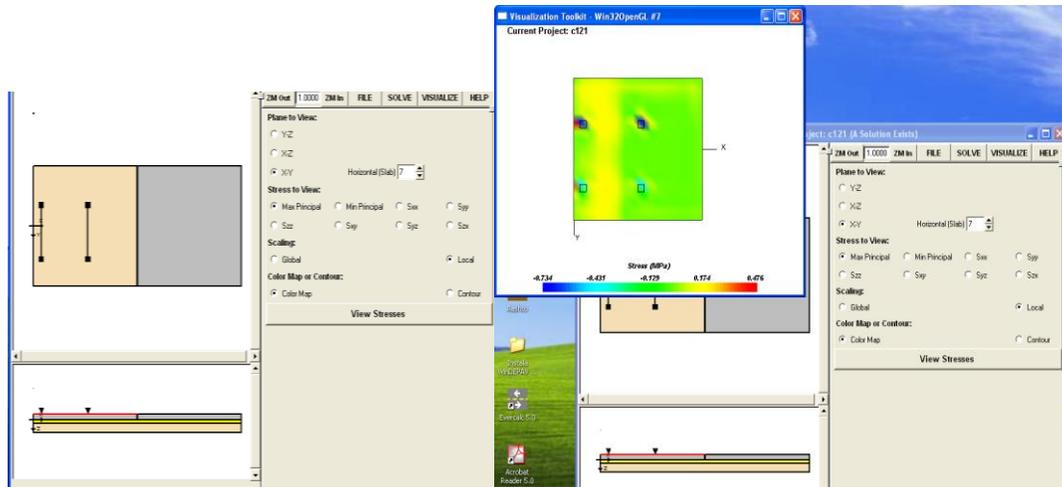


FIGURA 21. Cortante máxima e:12 cm. Fuente: Propia.

Cuando la carga se representa a una distancia de 1800 mm en el interior de la losa, se observa que representa un esfuerzo máximo, interactúa más en la zona roja.

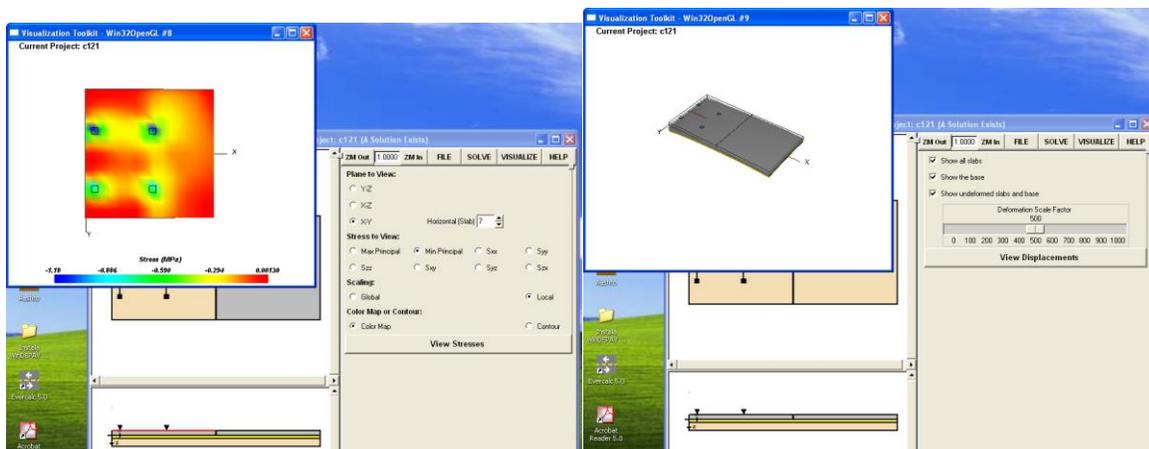


FIGURA 22. Esfuerzo cortante mínimo con su respectiva deformación.

Presenta muy poca deformación en el borde interior de la losa, y mayor esfuerzo en la carga a una determinada distancia.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0,734	0,476
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.18	-0.294

Se observa que el momento máximo aumenta con respecto al anterior ya que se encuentra en el borde de la losa, además la losa en el borde no sufre proceso de alabeo ya que no se tuvo en cuenta el gradiente de temperatura a las cargas .

- Losa que se encuentra ubica en la parte izquierda con una distancia de 1800 mm con respecto a la carga.

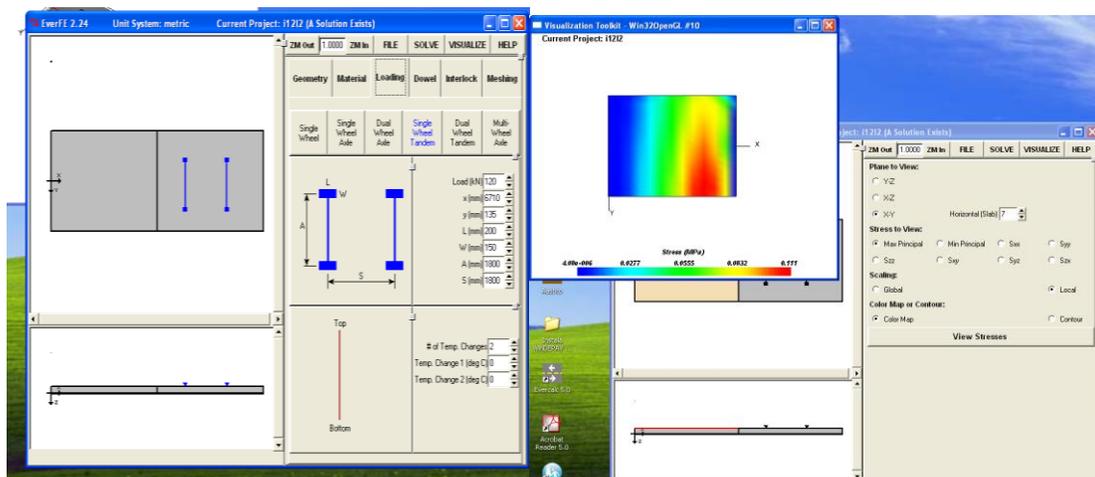


FIGURA 23. Cortante máximo. Fuente: Propia.

Se presenta mayor esfuerzo en la parte roja del grafico de los elementos finitos tal como se observa en la figura 23.

Esfuerzo máximo (Mpa)	4,08 e-006	0,111
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0.0433	0.00016

Se observa que la losa no produce alabeo con respecto a la deformación, además se presenta esfuerzos máximos y mínimos muy pequeños al momento de carga tal como se observa en la figura 23.

Por la tanto, para comparar esta losa corta se va a cambiar la posición del desplazamiento a una distancia de 1800mm a 1000 mm que se encuentra a partir de la carga, por lo cual se va a mirar los esfuerzos cortantes que se encuentra la losa corta sometida a dicha carga del eje tándem de 12 toneladas.

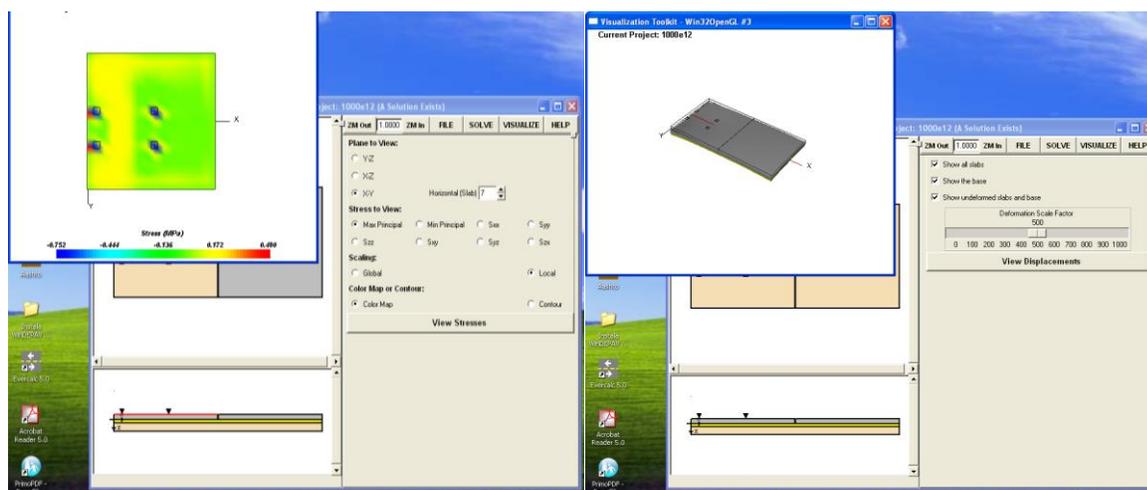


FIGURA 24. Máxima carga con una distancia 1000mm con su respectiva deformación. Fuente: Autor.

En el centro de la losa no representa esfuerzos máximos, ni desplazamiento al cambiar el desplazamiento del eje tándem a 1000mm.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.752	0,480
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.42	0.0000534

Se observa en la figura 24 que donde más ocurre esfuerzo es en todo el color verde por lo tanto esto se encuentra a compresión -0,136, el desplazamiento es mayor comparado con la distancia a 1800mm.

Por la tanto, para comparar esta losa corta se va a cambiar la posición y la distancia de 1000 mm a 2000 mm que se encuentra a partir de la carga, por lo cual se va a mirar los esfuerzos cortantes que se encuentra la losa corta sometida a dicha carga del eje tándem de 12 toneladas.

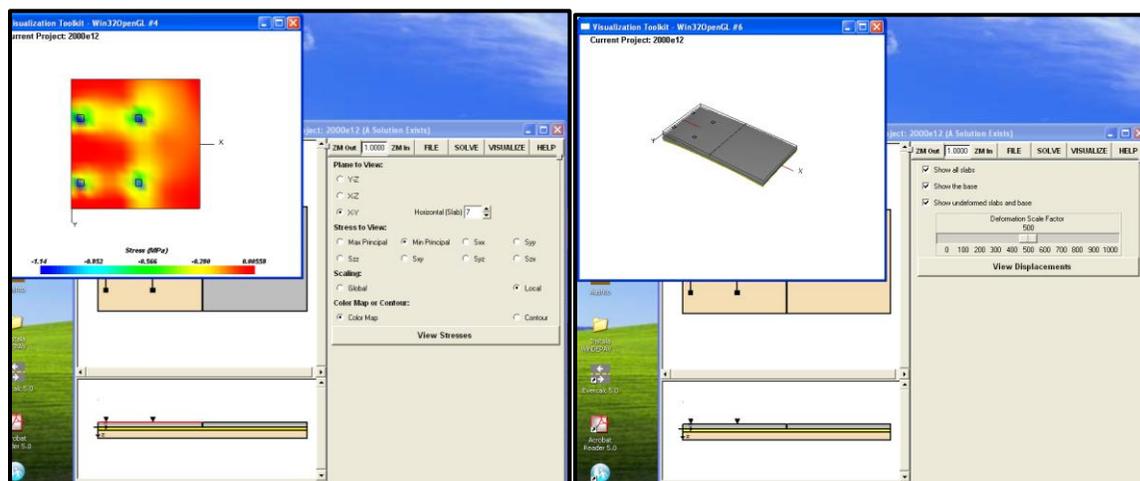


FIGURA 25. Esfuerzo mínimo a una distancia 2000mm con su deformación. Fuente: Propia.

Existen mayores esfuerzos máximos en el centro de la losa cuando hay menores esfuerzos, además no se presenta deformaciones.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.741	0,478
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.14	0.00558

En la parte roja tal como se observa en la figura 26, se observa que se encuentra involucrado todos los esfuerzos mínimos en esta zona.

Por la tanto, para comparar esta losa corta se va a cambiar la posición y la distancia de 1000 mm a 3000 mm que se encuentra a partir de la carga, por lo cual se va a mirar los esfuerzos cortantes que se encuentra la losa corta sometida a dicha carga del eje tándem de 12 toneladas.

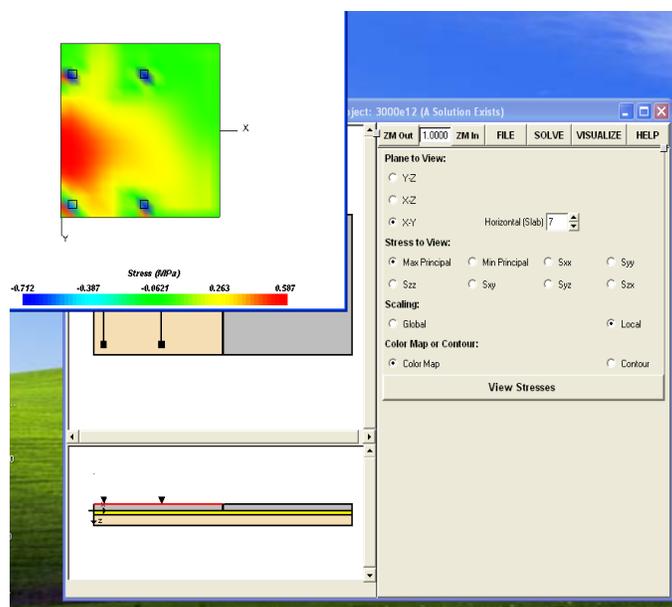


FIGURA 26. Cortante máximo y mínimo con una distancia 3000mm. Fuente: Propia.

Se observa en la figura que la posición de desplazamiento de acuerdo con el programa de elementos finitos no representa esfuerzos significativos en la losa.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.00278	0,104
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0.204	0.00404

En la parte roja tal como se observa en la figura 28, se observa que se encuentra involucrado todos los esfuerzos mínimos en esta zona como es 0.00404 Mpa y en la parte roja de los momentos máximos 0.104 donde se ubicada la carga.

- Espesor de 16 cm de losa corta

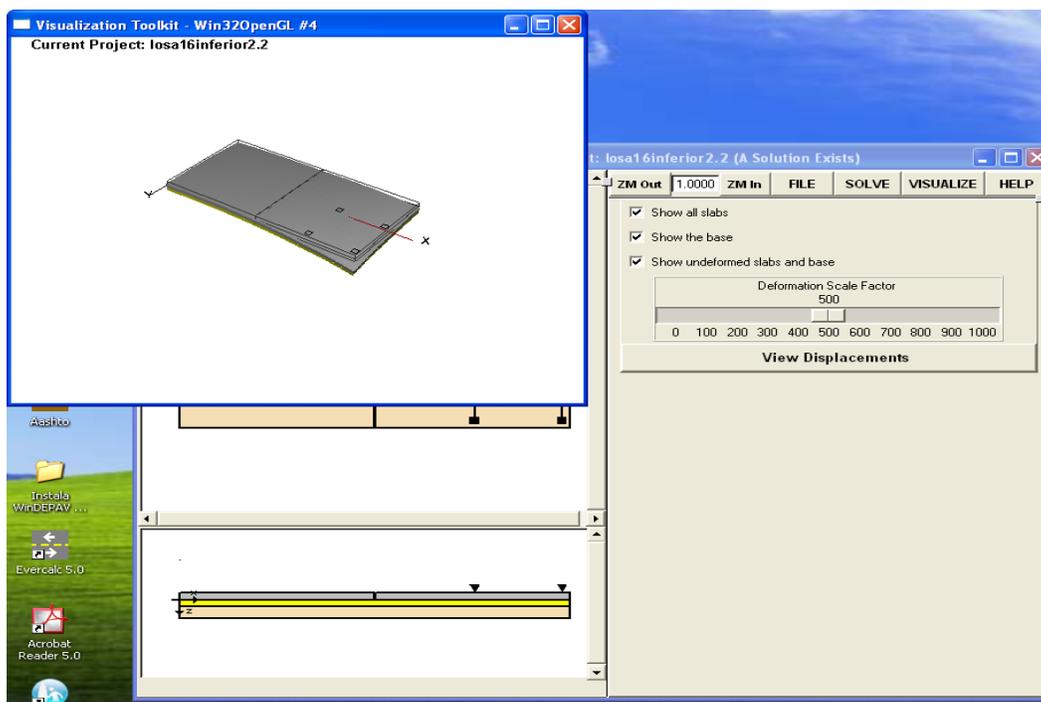


FIGURA 27. Cortante máximo y deformación. Fuente: Propia.

Se observa una deformación al momento de colocar la carga en el interior de la losa.

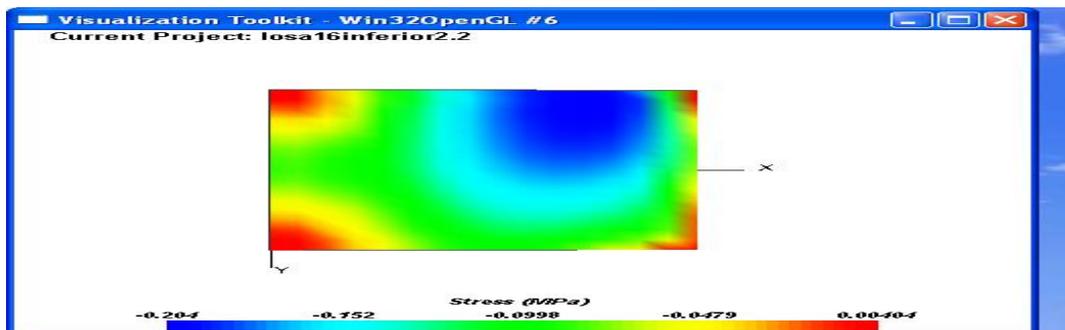


FIGURA 28. Cortante mínimo. Fuente: Propia.

Se presenta menor esfuerzo cuando el espesor es de 16 cm, por lo tanto, hay distribución de cargas.

La ubicación de la carga en la esquina de la losa, el cortante mínimo es de -0.204 Mpa.

- Parte superior de la losa e: 16 cm

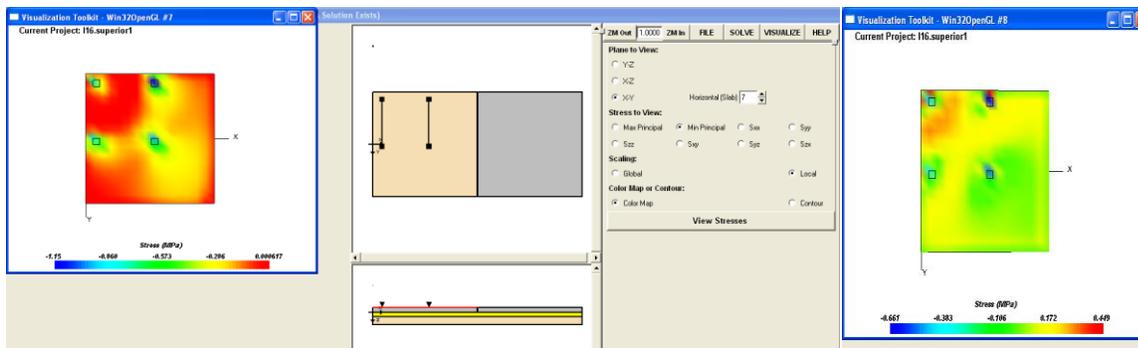


FIGURA 29. Esfuerzo minimos y maximos en la parte superior derecha de la losa.

En la esquina se observa que representa esfuerzos mínimos, por lo tanto, se observa mayor distribución de carga en la losa.

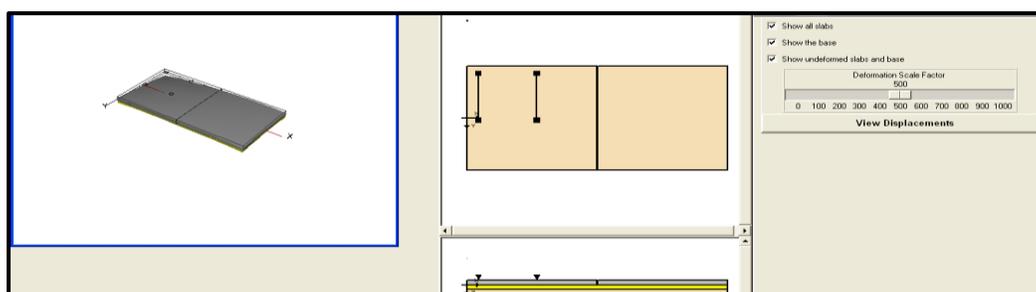


FIGURA 30. Deformación de la losa. Fuente : Autor.

Se observa que existía una mínima deformación parte esquina de la losa en el cual aumenta, el esfuerzo máximo.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.661	0,449
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.15	0.000617

Deformación de la esquina de la losa por la carga sometida, se observa que en los esfuerzos mínimos se aumenta el esfuerzo de compresión y aumenta el esfuerzo máximo.

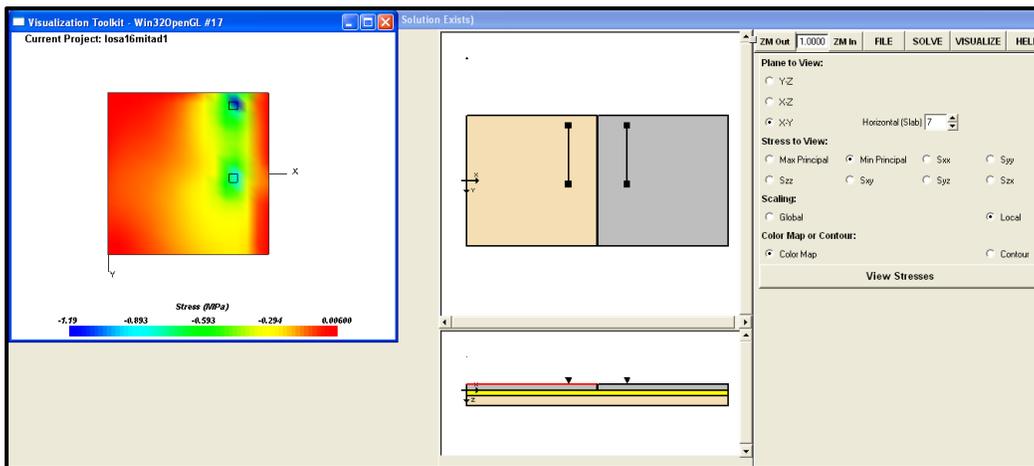


FIGURA 31. Cortante máximo y mínimo en el centro de la losa. Fuente: Propia.

En el centro de la losa se observa menor esfuerzo en la losa por lo tanto se presenta menor deformación por alabeo.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.475	0,340
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.19	0.006

Se observa que con respecto al ejemplo anterior, el centro de la losa momento máximo van disminuyendo, existen más concentración en la carga en la mitad del cortante mínimo tal como se observa en la figura ya que es un valor de -0.593 Mpa, además no existen mucha diferencia entre el momento máximo de la losa cuando es 0.66 Mpa .

Por la tanto, para comparar esta losa corta se va a cambiar la posición y la distancia de 1800 mm a 1000 mm que se encuentra a partir de la carga, por lo cual se va a mirar los esfuerzos cortantes que se encuentra la losa corta sometida a dicha carga del eje tándem de 12 toneladas.

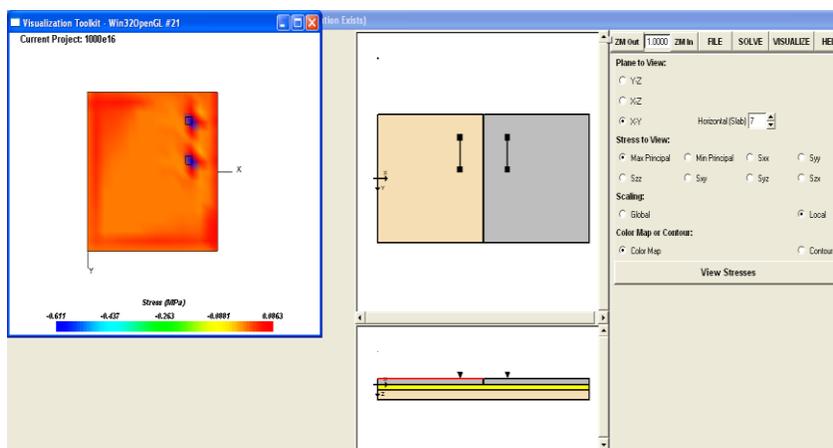


FIGURA 32. Cortante máximo y mínimo . Fuente: Propia.

Representa menor esfuerzo de 0,08 Mpa en el centro de la parte superior de la losa, ya que esto representa que existen mayores esfuerzos en donde se observa con mayor color los esfuerzos que se involucran.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.611	0,0863
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.17	0.005

Los cortantes representa en el momento máximo más esfuerzo, por lo cual se encuentra más sometidos a estas cargas en cambio el esfuerzo mínimo es menor la carga la cual se encuentra sometido, se encuentra más a tracción en la zona roja y en la parte que es donde se encuentra los

ejes se encuentra sometido a compresión.

Por consiguiente, para comparar esta losa corta se va a cambiar la posición y la distancia de 1800 mm a 2000 mm que se encuentra a partir de la carga, por lo cual se va a mirar los esfuerzos cortantes que se encuentra la losa corta sometida a dicha carga del eje tándem de 12 toneladas.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.607	0,198
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.25	0.0066

Al aumentar la distancia con la carga se observa que los cortantes máximos y mínimos se va aumentando, con respecto al ejercicio anterior aumenta, además se observa que en los cortantes mínimos -0.307 se distribuye la carga que está aplicando los ejes a la losa.

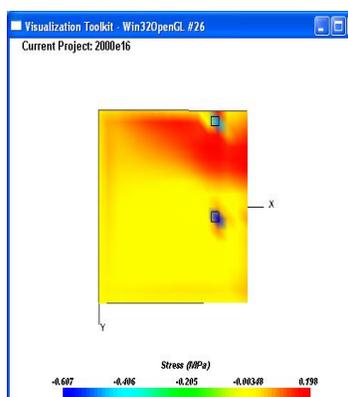


FIGURA 33. Cortantes máximos y mínimos. Fuente: Autor.

Representa un esfuerzo, aunque esto también depende donde se encuentra la posición de la carga porque así dará mayor o menor esfuerzo en la losa.

LOSA 20 CM DE ESPESOR

- Espesor de la losa a 20 cm con una distancia a la carga de 1800mm

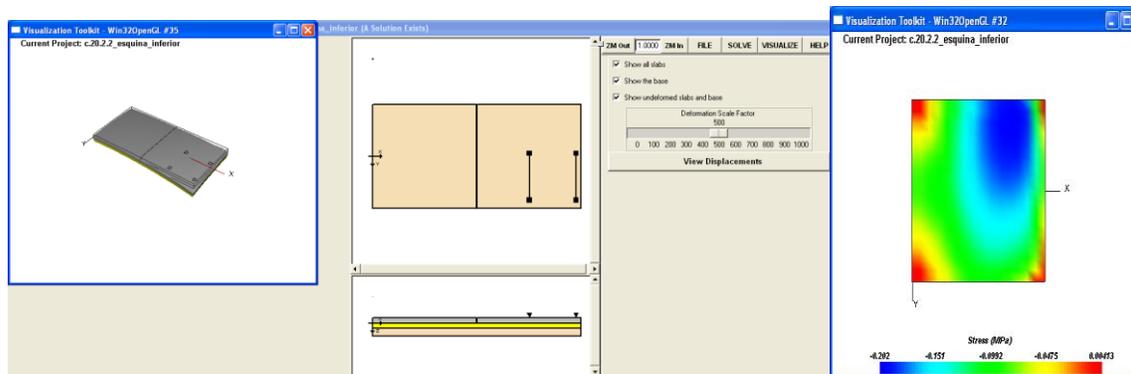


FIGURA 34. Deformación de losa esquina y cortante mínimo. Fuente: Propia.

Cuando se aplica en la carga en la esquina esto representa que haya un menor esfuerzo tal como se muestra en la figura 34.

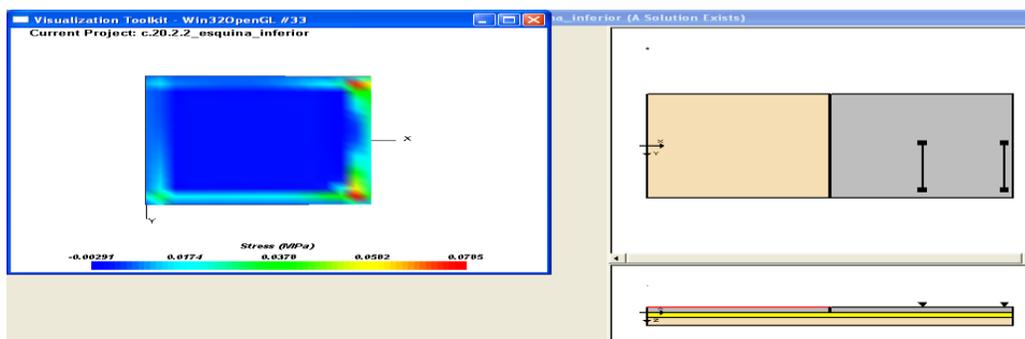


FIGURA 35. Cortante máximo. Fuente: Propia.

Al optimizar en una losa corta su geometría esta hace que disminuya su esfuerzo tal como se observa en la figura 35.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.00291	0,0785
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0.202	0.00413

Al aumentar la distancia a 1800mm , se observa que el cortante minimo se distribuye en la losa , en cambio el esfuerzo maximo cortante se distribuye donde soporta la carga los ejes ya que se encuentra a tracción, además el momento maximo es 0,483 Mpa este se encuentra ha tracción y el esfuerzo minimo de la losa es -0.979 Mpa se encuentra a compresión.

- Cambio de posición en la esquina de la losa de la izquierda con un espesor 20 cm

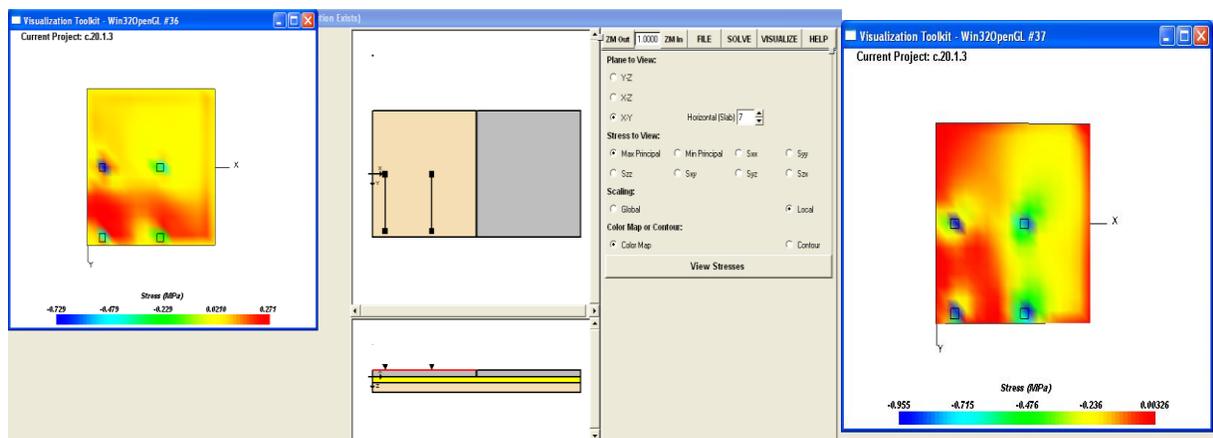


FIGURA 36 . Cortante maximo y minimo. Fuente. Propia.

Al aumentar el espesor de la losa corta se observa como en la figura 36 que se va a obtener mayores esfuerzos tal como se determinó en la losa.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.729	0,271
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-0.955	0.00326

Se observa que al cambiar de posición se aumenta, los cortantes máximos y mínimos en la losa con respecto a la losa anterior, además en el cortante máximo se observa que la carga se distribuye a tracción con 0,271 Mpa. Por otra parte, el momento máximo que se encuentra sometida la losa con respecto a la carga es de 0,526 Mpa y el momento mínimo es de -0,9550 Mpa, con un desplazamiento máximo de 0,123 Mpa.

- Cambio de posición al centro de la losa espesor de 20 cm

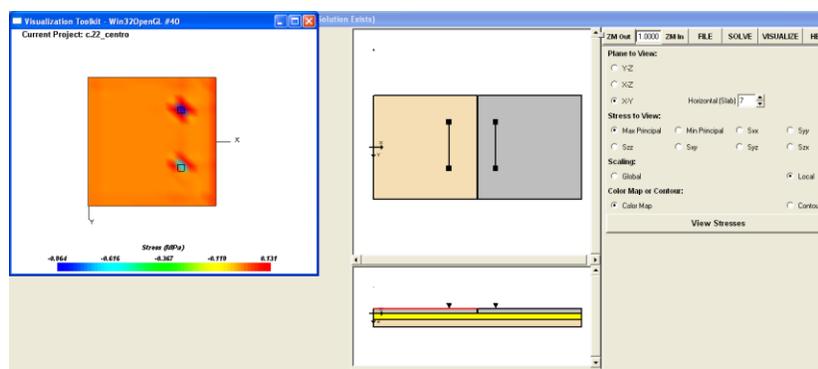


FIGURA 37. Cortante maximo y minimo. Fuente: Propia.

Se evidencia que hay menor esfuerzo en el centro de la losa, tal como se muestra en la figura 37.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.864	0,131
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.24	0.00530

Se observa que al cambiar de posición se aumenta, los cortantes máximos y mínimos en la losa con respecto a la losa anterior, además en el cortante máximo se observa que la carga se distribuye a tracción con 0,131 Mpa, en el grafico se representa de color naranja. Por otra parte, el momento máximo que se encuentra sometida la losa con respecto a la carga es de 0,573 Mpa y el momento mínimo es de -1.236 Mpa, con un desplazamiento máximo de 0,017 Mpa.

Por consiguiente, para comparar esta losa corta se va a cambiar la posición y la distancia de 1800 mm a 1000 mm que se encuentra a partir de la carga, por lo cual se va a mirar los esfuerzos cortantes que se encuentra la losa corta sometida a dicha carga del eje tándem de 12 toneladas

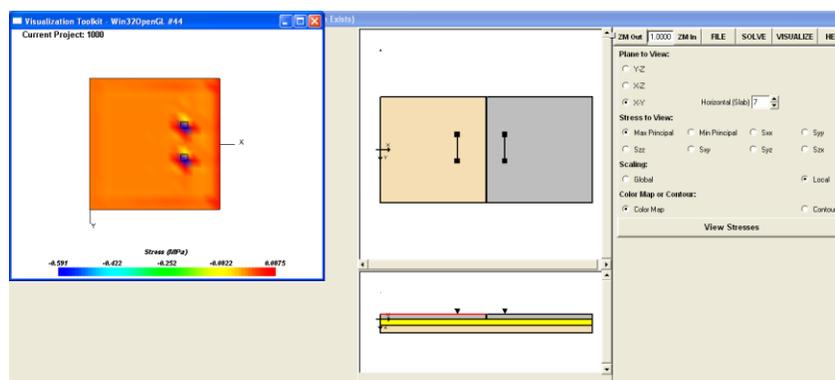


FIGURA 38. Cortantes maximos y minimos. Fuente: Propia.

Al disminuir la distancia de la carga se observa que existe menores esfuerzo tal como se observa en el centro de la losa.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.591	0,0875
Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.16	0.005

A menor distancia como en este caso menor esfuerzo en los cortantes, ya que el momento máximo es 0,576 Mpa y el momento mínimo es -1,21 Mpa.

Por consiguiente, para comparar esta losa corta se va a cambiar la posición y la distancia de 1800 mm a 2000 mm que se encuentra a partir de la carga, por lo cual se va a mirar los esfuerzos cortantes que se encuentra la losa corta sometida a dicha carga del eje tándem de 12 toneladas

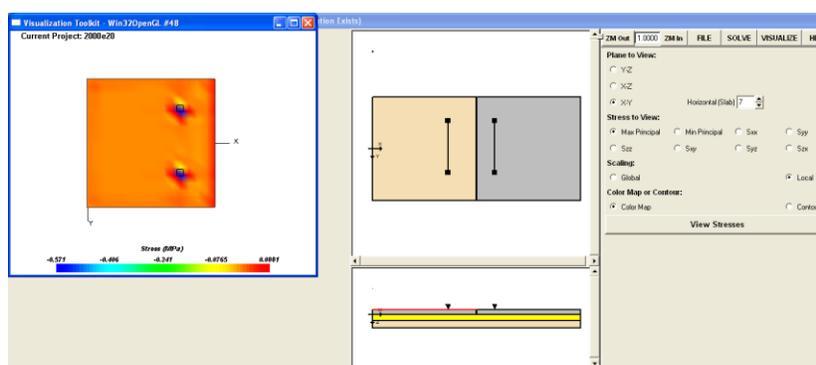


FIGURA 39. Cortantes maximos y minimos. Fuente: Propia.

Se presenta menor esfuerzo en el centro de la losa de acuerdo con la figura 39.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.571	0,0881
-----------------------	--------	--------

Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.10	0.005
-----------------------	-------	-------

Al aumentar la distancia a la carga, se observa que el momento cortante máximo que se distribuye por la losa es 0,0881 Mpa y el desplazamiento máximo es 0,540 Mpa por lo tanto se observa que este va disminuyendo hasta los momento mínimos ya que donde se tiene que afectando la carga por compresión en el cortante mínimo es de -0,546 Mpa.

ESPESOR 22 CM

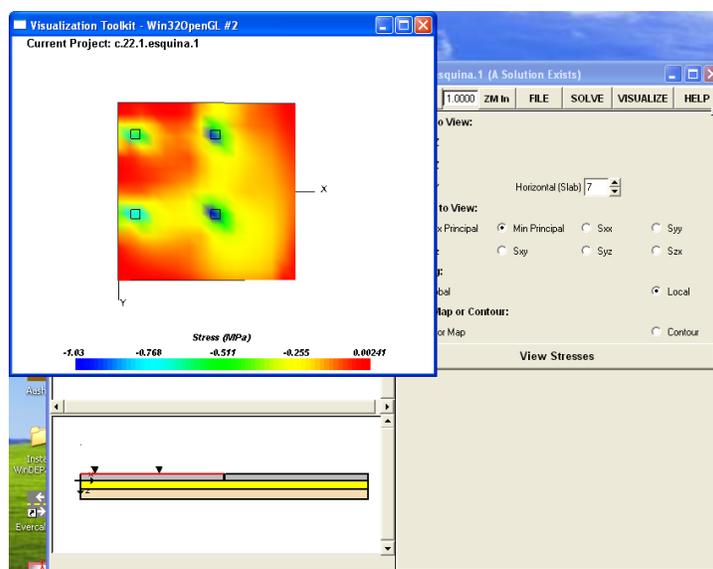


FIGURA 40. Cortante máximo y mínimo

En el centro se presenta menor esfuerzo tal como se observa en la figura 41.

Esfuerzo máximo (Mpa)	-0.716	-0.0948
-----------------------	--------	---------

Esfuerzo mínimo (Mpa)	-1.03	0.0024
-----------------------	-------	--------

El espesor al compararlo con otros espesores se observa que el esfuerzo máximo disminuye, pero el cortante máximo está dando bastante alto.

Conclusiones y recomendaciones.

- Con este método de diseño el cual optimiza las dimensiones de las losas cortas para minimizar el espesor requerido, la tensión máxima se reduce considerablemente, dado que solo un set de ruedas se encuentra cargando en cada losa, además este nuevo concepto de diseño de losas cortas pueden ser diseñadas con espesores de apenas 8 cm de espesor como se observó de acuerdo a lo analizado en los resultados sobre la base granular.
- De acuerdo a la reducción en el espesor de entre 8 y 22 cm en comparación con pavimentos de losas cortas diseñada por el método AASHTO tradicional, reduciendo el costo de construcción en aproximadamente un 20% del costo inicial, con una vida de diseño similar a las losas convencionales.
- Debido a que las losas son más cortas, las condiciones climáticas son menos importantes ya que el alabeo es menor y la transferencia de carga aumenta en comparación con las losas convencionales de 4,5 m de largo. Por lo tanto, el desempeño de las losas cortas en condiciones climáticas extremas es mejor que en las losas convencionales (4,5m).
- Que a menor espesor en la losa convencional aumenta las deformaciones verticales en cambio en una losa corta no va a aumentar las deformaciones verticales por que estas no tienen dovelas instaladas en las juntas de las losas.
- Que a menor espesor de las losas cortas menos esfuerzos va a representar en la losa y menor

deformación.

- En este caso al momento de hacer la modulación con las losas cortas con las losas convencionales no se tuvo en cuenta el gradiente térmico de las losas por lo tanto se obtuvieron en las dos menores esfuerzo.
- El desarrollo de las losas cortas en el cual permite optimizar su geometría, por lo tanto, el principio del sistema dimensionar las losas cortas de tal manera que solo exista un juego de ruedas sobre cada losa, en el cual se distribuyó de mejor manera la carga en el pavimento para evitar el agrietamiento por flexión, lo cual ayuda a mejorar la calidad, en la extensión de la vida útil del pavimento y en menor espesor del pavimento.
- Como en el programa Everfe 2.24 no se obtuvo, el gradiente térmico por lo cual no se observó una deformación diferencial entre la superficie de la base granular y el fondo de la losa, por lo tanto, no se produjo ninguna deformación cóncava.

Bibliografía

- Avila, L. R. (2008). "Método constructivo de losas en pavimentos de concreto hidraulico". *Universidad de San Carlos de Guatemala*, 145.
- Br Roger Antonio López, Br Manuel Salvador Uriarte. (2013). "Método Constructivo de losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico". *Universidad Nacional de Ingenieria*, 194.
- Camarena, A. (2017). Losas Optimizadas. *Cemex*, 34.
- Gómez, E. L. (2012). *Losas Pequeñas con Grandes Ventajas*. Medellin: Blog de 360°

concreto Argos.

- Ordoñez, J. D. (2015). Pavimentos de losas cortas de concreto para vias terciarias en Colombia. *Universidad Militar Nueva Granada*.
- Ordoñez, J. D. (2015). *Pavimentos de Losas Cortas de Concreto para Vias Terciarias en Colombia*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Salgado, M. (2016). Analisis de Costo del Ciclo de Vida de Pavimentos. *Instituto Chileno de Hormigón*, 35.
- Salgado, M. (2017). Pavimentos de hormigon de clase mundial. *EMB Construccion*, 1-2.
- T., J. P. (1988). Comportamiento de Hormigón en Chile. *Ingenieria de Construcción*, 10.
- TC Pavements innovación en Pavimentos. (08 de 04 de 2018). *TC Pavement*. Obtenido de TC Pavement: <http://www.tcpavements.cl/esp/tecnologia>
- Vaerela, L. V. (2018). "Comportamiento de Pavimento de Concreto Simple con juntas de losas Convencionales". *researchgate*, 12.
- www.hiteck.cl. (2013). Tecnologia. *BIT*, 6.