

ESTUDIO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DE LOSAS CORTAS EN VÍAS DE TRÁFICO PESADO EN LA CIUDAD DE PORTOVIEJO

STUDY OF RIGID PAVEMENTS OF SHORT SLABS ON HEAVY TRAFFIC ROADS IN PORTOVIEJO CITY

Jorge Luis Intriago Moreira¹
Ricky Nelson Vera Mejía²

Resumen

Se presentan los resultados del estado tenso- deformacional obtenidos por medio del Software EverFE 2.26 para el estudio de pavimento rígido de losas cortas, con diferentes dimensiones, espesores y tipos de ejes, con los pesos máximos permitidos por el Ministerio de transporte y Obras Públicas, con un gradiente térmico estudiado en la ciudad de Portoviejo. Se procedió a obtener los resultados por puntos, de las tensiones y deformaciones máximas, para los ejes: simples rueda simple, simples ruedas duales y tándem con ruedas duales, con sus capacidades de carga máxima determinada por el MTOP, las dimensiones de losas utilizadas fueron de 1800mm x1500mm, 2000mm x 1500 y de 2200 mm x 1500mm, con espesores de 100mm, 150mm, 200mm y 250mm. Se trabajo con un módulo de reacción del suelo de 64MPa /m, un módulo de elasticidad del hormigón de 23585 (MPa) y un gradiente térmico de 11° en la losa de hormigón. Finalmente se elaboraron tablas con todos los resultados obtenidos mediante la modelación con el Software EverFE 2.26, para cada una de las geometrías y cargas estudiadas.

Palabras clave: Software EverFE 2.26, losas cortas, pavimento rígido.

Abstract

The results of the stress-strain state obtained through the EverFE 2.26 Software are presented for the study of rigid pavement of short slabs, with different dimensions, thicknesses and types of axles, with the maximum weights allowed by the Ministry of Transportation and Public Works. with a thermal gradient studied in the city of Portoviejo. The results were obtained by points, of the maximum stresses and deformations, for the axles: simple single wheel, simple dual wheels and tandem with dual wheels, with their maximum load capacities determined by the MTOP, the dimensions of the slabs used were 1800mm x1500mm, 2000mm x 1500 and 2200mm x 1500mm, with thicknesses of 100mm, 150mm, 200mm and 250mm. We worked with a soil reaction modulus of 64MPa/m, a concrete elasticity modulus of 23585 (MPa) and a thermal gradient of 11° in the concrete slab. Finally, tables were prepared with all the results obtained through modeling with EverFE 2.26 Software, for each of the geometries and loads studied.

Keywords: EverFE 2.26 software, short slabs, rigid pavement.

Recepción: 28 de Junio de 2024/ Evaluación: 15 de Julio de 2024/ Aprobado: 30 de Agosto de 2024

¹Ingeniero Civil, graduado en la Universidad Técnica de Manabí. Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil, Mención Vialidad. Constructor y Fiscalizador de obras civiles en el libre ejercicio de la profesión. Gerente General de la compañía de construcción CIVIL CONINSA S.A. Portoviejo. Manabí. Ecuador. Email: jorluintriago@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1140-5976>

²Ingeniero Civil, graduado en la Universidad Técnica de Manabí. Magister en Construcción de Obras Viales, graduado en la Universidad Técnica de Manabí. Director de Obras Publicas del Municipio del Carmen. El Carmen. Manabí. Ecuador. Email: rickarec21@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5663-0754>

Introducción

El sostenido crecimiento económico y poblacional de las ciudades, junto al aumento del tráfico vehicular, ha incrementado la demanda por infraestructuras viales eficientes y duraderas. En este contexto, los pavimentos rígidos de losas cortas se han convertido en una alternativa atractiva para vías de alto tráfico pesado, debido a su capacidad para soportar cargas elevadas y resistir condiciones climáticas adversas.

Las losas de geometría optimizada, también conocidas como losas cortas, son una innovación en el área de pavimentos de hormigón, que implica un cambio de paradigma respecto al diseño y construcción tradicional, donde usualmente se limitan el número de juntas (Pradera, 2019)

A nivel internacional, el uso de pavimentos rígidos de losas cortas ha sido ampliamente documentado en países con altos volúmenes de tráfico, como Estados Unidos, Alemania y Japón. Diversos estudios han demostrado su superioridad en términos de durabilidad, menor mantenimiento y costos de ciclo de vida en comparación con otros tipos de pavimentos.

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. (Lacunza, 2018)

Los pavimentos rígidos con el método TCP, (Thin Concrete Pavements), pavimentos de concreto delgado o también conocidos como losas cortas, tienen las características que las losas son más pequeñas, lo que genera una apertura de las grietas bajo los cortes de menor espesor. Estas grietas tienen una mejor transferencia de carga, lo que disminuye el escalonamiento. (Juan V, 2012)

Con el fin de reducir los efectos de la interacción de la carga y las tensiones de alabeo, se ha propuesto una nueva metodología de diseño de losas de hormigón mediante la optimización del tamaño de la losa, definiendo la geometría según el tráfico de camiones esperado (Covarrubias, 2012)

Este tipo de losas tienen un método de diseño, el cual permite optimizar las dimensiones de las mismas, para minimizar el espesor requerido. Además, esto reduce la tensión máxima el cual se da por el tráfico, dado que solo un set de ruedas se encuentra cargando cada losa. Con el software EverFE 2.26 se pueden simular diferentes condiciones con el fin de establecer un diseño que garantice el aumento de la vida útil del pavimento.

En Ecuador, la ciudad de Portoviejo, capital de la provincia de Manabí, cuenta con una población de 322925 habitantes y una superficie de 957 km², con una altitud media de 53 metros sobre el nivel del mar, su clima es semiárido cálido, con temperaturas que oscilan entre 20 a 32° C y precipitaciones anuales entre 500 y 1000mm.

La longitud total de las vías en el cantón es de 644,42 kilómetros, ocupando el octavo lugar en extensión en el país, lo que conlleva a un significativo tráfico vehicular pesado, debido a su importancia como centro comercial, agrícola y de transporte, así como un destino turístico por sus playas y balnearios de agua dulce. Lo que conlleva a la búsqueda de soluciones viales duraderas y de bajo mantenimiento impulsando el interés en el uso de pavimentos rígidos de losas cortas.

La necesidad de contar con vías que permitan una cómoda transitabilidad a los usuarios, impone la búsqueda de nuevas alternativas para la construcción de pavimentos, para el tráfico pesado en la ciudad de Portoviejo, lo que conduce a la implementación de una nueva metodología de pavimentos de concreto, y así mejorar las condiciones de los mismos, reduciendo tensiones y deformaciones, obteniendo como resultado menores espesores de losa.

El presente estudio nos llevara a determinar el estado tenso-deformacional de losas cortas con diferentes geometrías, tipos de ejes y cargas que nos conlleven a disminuir los espesores de losa de un pavimento rígido.

Metodología

Se trabajo con los pesos máximos permitidos por el Ministerio de Transporte y Obras públicas con los diferentes tipos de eje:

Simples rueda simple. – Se trata de un eje de dos llantas conectado por un solo dispositivo en su parte posterior y su capacidad máxima de carga es de 7 Tn.

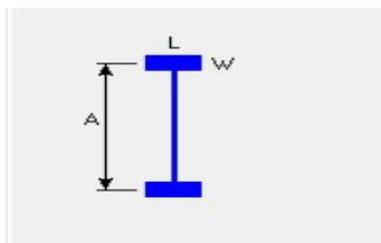


Imagen 1. Eje simple rueda simple.

Simples ruedas duales. – Se trata de un eje de cuatro llantas conectado por un solo dispositivo en su parte posterior y su capacidad máxima de carga es de 11 Tn.

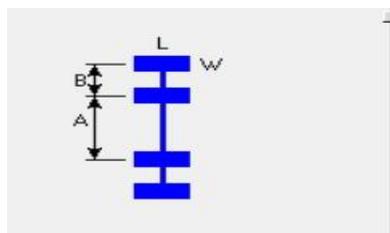


Imagen 2. Eje simple ruedas duales.

Tándem con ruedas duales. – Es el conjunto constituido por dos (2) ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes separados a una distancia determinada pudiendo ser motriz o no motriz, su capacidad de carga máxima es de 20 Tn.

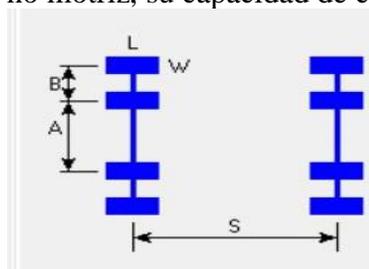


Imagen 3. Eje tándem ruedas duales.

Trídem. - Es el conjunto de tres (3) ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes separados a una distancia determinada pudiendo ser motriz o no motriz (**Por ser losas de dimensiones menores, al eje trídem no se lo estudio**).

La **modelación computacional** se realizará por medio del **software EverFE** desarrollado por (Davis, 1998), es una licencia de uso libre, forma parte de los programas usados como una

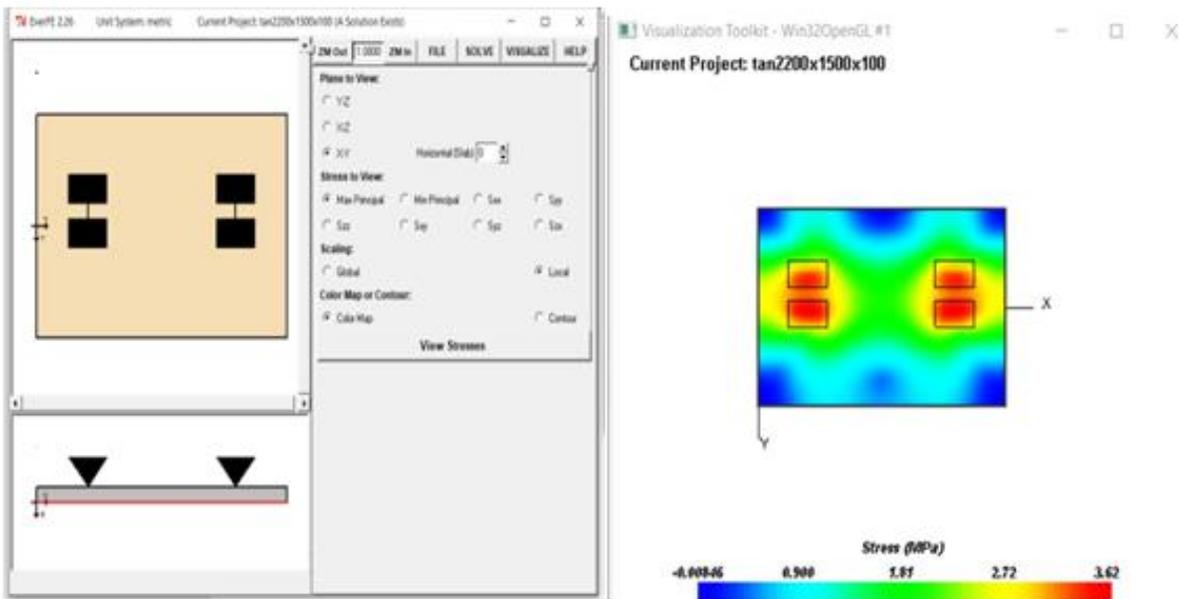
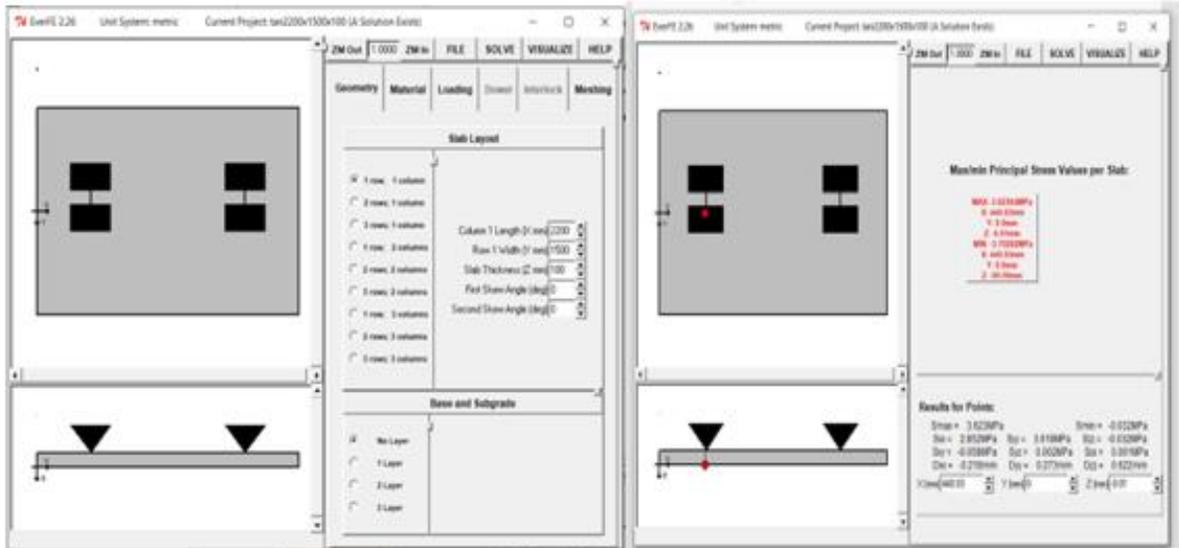
herramienta de análisis de pavimentos rígidos por la Guía de Diseño Empírico Mecanicista (MEPDG), que permite obtener los esfuerzos y deflexiones en la superficie y base del pavimento, (Alvarez, 2019).

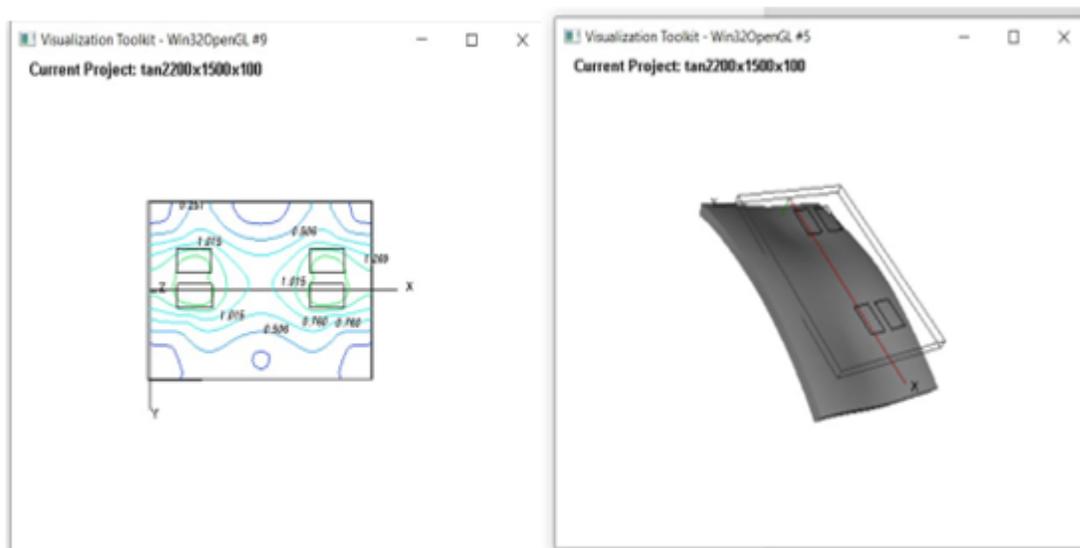
Este programa utiliza un modelo de elementos finitos estático 3D, para modelar la reacción del sistema de pavimento de hormigón simple ante las cargas del tráfico y los efectos ambientales.

El EverFE trabaja con mallados de distintos grados de refinamiento y se compone de seis interfaces que realizan diferentes funciones, según:

- a) **Geometría:** contiene una herramienta CAD que permite construir un modelo geométrico e introducir los datos característicos de las capas y definir las fronteras del dominio del modelo.
- b) **Material:** almacena los parámetros de rigidez de cada material, densidades, coeficiente de expansión térmica del concreto hidráulico y las condiciones de liga entre capas.
- c) **Cargas:** almacena los parámetros de carga, tipo de eje, lado y ancho del contacto de rueda (área de contacto rectangular), ubicación sobre el plano x-y de la(s) losa(s) y carga por temperatura.
- d) **Pasadores y barras de amarre:** contiene los parámetros de rigidez y geometría de las dovelas y barras de amarre, además, condiciones de liga entre dovelas y el hormigón de la(s) losa(s).
- e) **Trabazón de agregados:** almacena abertura de las juntas con su respectiva rigidez, acompañado de la opción de modelo lineal y no lineal.
- f) **Meshing:** determina los parámetros de mallado.
- g) **Solver:** ejecuta el solucionador de elementos finitos.
- h) **Resultados o pos-proceso:** permite obtener los resultados del análisis.

El empleo de esta herramienta en las investigaciones de pavimentos de hormigón está validado por experimentos y resultados de varios autores, (Colim, Balbo, & Khazanovich, 2011); W. G. Davids, Turkiyyah, & Mahoney, 1998; Muñoz & Díaz, 2017) los que mencionan múltiples ventajas en su aplicación. Las ventajas que ofrece el *software* unido a su sencillez en la interface hacen que sea de gran utilidad para la investigación en curso. (Edwin, 2023).





Imágenes 4. Programa EverFe 2.26 y resultados que se obtienen.

En los datos que ingresamos al programa, en la interfaz de geometría, lo realizamos con una sola losa de concreto, por ende, sin paseos de hormigón, ni pasadores, ni barras de amarre, con un ancho fijo de 1500mm y un largo variable de 1800mm, 2000 mm y 2200mm y con espesores de 100mm, 150mm, 200mm y 250 mm.

En el interfaz de materiales, en el concreto trabajamos una resistencia a la compresión de 30 Mpa, un Módulo de Elasticidad (E_c) calculado de 23585 E(MPa), un coeficiente de dilatación térmica de 1,1 E-005, densidad del concreto de 2400kg/m³ y un coeficiente de Poisson de 0,15.

Módulo de elasticidad del hormigón (E_c)

De acuerdo con la norma NEC (2014), el módulo de elasticidad para el hormigón, E_c (GPa), se puede calcular como la raíz cúbica del módulo de elasticidad del agregado E_a (GPa), por la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del hormigón f'_c (MPa) y por el factor 1,15, así como se muestra en la siguiente expresión 1:

$$E_c = 1,15 * \sqrt[3]{E_a} * \sqrt{f'_c}$$

En la siguiente tabla, se presentan valores típicos del módulo de elasticidad de los agregados E_a , que se encuentran en el Ecuador:

Tabla 1. Módulos de elasticidad de agregados, E_a

Tipo	Procedencia	E_a (GPa)
Tonalita	Pascuales – Guayas	74,9
Basalto (Formación. Piñón)	Picoazá – Manabí	52,5
Basalto	Pifo – Pichincha	27,2
Ígnea (Andesitas, basaltos, Granodioritas)	Río Jubones – El Oro	110,5
Volcánica	La Península – Tungurahua	17,5

En la Tabla 1 se muestran los módulos de Elasticidad (MPa) que pueden adoptarse en los diseños, teniendo en cuenta la resistencia del hormigón y la procedencia del agregado grueso.

Tabla 2. Módulos de Elasticidad del hormigón según tipo de árido y resistencia a compresión

Tipo de árido	Procedencia	Módulo de Elasticidad del agregado E_a (GPa)	Resistencia a compresión (MPa)			
			25,0	30,0	32,5	35,0
Tonalita	Pascuales – Guayas	74,9	24238	26551	27635	28679
Basalto (Formación. Piñón)	Picoazá – Manabí	52,5	21531	23585	24549	25475
Basalto	Pifo – Pichincha	27,2	17292	18943	19716	20461
Ígnea (Andesitas, basaltos, Granodioritas)	Río Jubones – El Oro	110,5	27592	30226	31460	32648
Volcánica	La Península – Tungurahua	17,5	14928	16353	17021	17664

El **módulo de reacción de la subrasante**, llamado también **Módulo de Westergaard**, representa la rigidez del material en que se apoya la losa. El valor k depende de la densidad, humedad y composición del suelo y su determinación se realiza mediante pruebas de placa directa. Fue desarrollado como una constante de resorte que recibe el soporte bajo la losa de hormigón, aplicando una presión mediante una placa de 76 cm de diámetro, sobre la superficie, para obtener una deflexión. La deflexión de los resortes es proporcional a la presión aplicada.

En el presente estudio trabajamos con un módulo de reacción del suelo (K) de **64 (MPa/m)** que viene dado en base a una prueba con el equipo de placa de carga, que se realizó en las instalaciones de la Universidad Técnica de Manabí, como la Figura 1. lo demuestra.



Figura 1. Ensayo de carga con placa para la medida del módulo de reacción

Así mismo en la interfaz Loading se colocan otros datos, como cargas máximas dependiendo el tipo de eje a estudiar, espacios entre ruedas y sus dimensiones, así como la longitud de contacto de la rueda con la losa, incluyendo los datos de temperatura que serán de 39° en la parte superior y de 28° en la parte inferior de la losa, que son las temperaturas más desfavorables obtenidas en el estudio, para una losa de hormigón rígido expuesta a la intemperie y que nos da un gradiente térmico de 11° , una vez cargando todos estos datos, procedemos a visualizar los resultados que

determinan las tensiones y deformaciones que se produce en una losa de pavimento rígido de losas cortas por medio del programa EverFe 2.26.

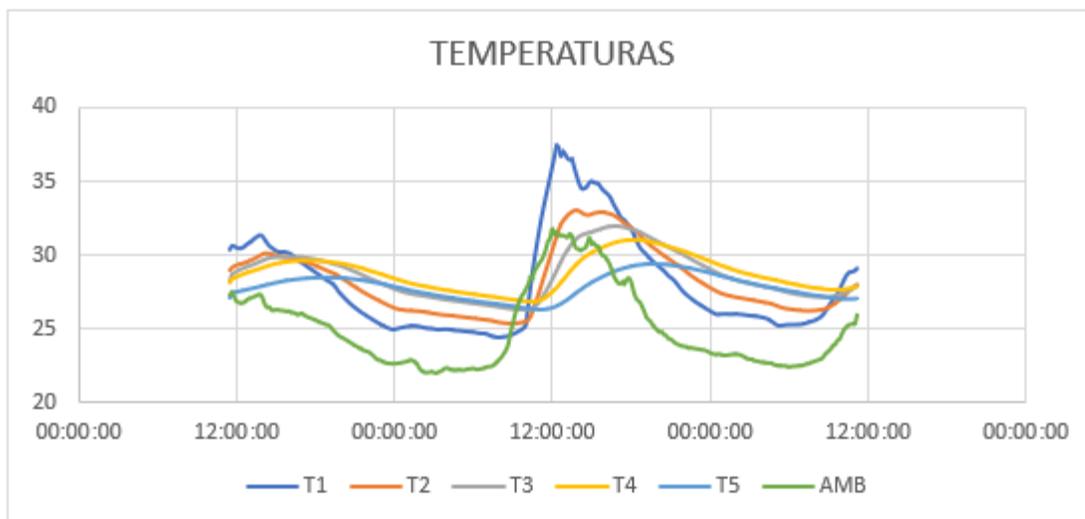


Figura 2. En el gráfico se muestran las temperaturas a diferentes alturas de la losa y a distintas horas del día. Se utilizaron sensores de medición RTD, cada uno distribuido a 0, 25 mm de separación entre ellas, lo que se realizó en las instalaciones de la Universidad Técnica de Manabí.



Figura 3. En el gráfico se puede observar los diferentes gradientes térmicos producidos durante un día, que fue el de mayor temperatura del año, observando que el mayor gradiente se produjo a las 13h00 aproximadamente. Y así mismo podemos observar que tanto a las 10h00 como a las 19h30 no existe gradiente térmico y su valor sería cero, debido a que las temperaturas en la parte superior e inferior de la losa se igualan, por lo que en este instante no existen tensiones por combado. (Edwin, 2023).

Resultados y discusión

Losas cortas

1. Ejes Simples rueda simple (ESRS). – Ingresamos los datos en el programa por el método Single Wheel (Rueda Única), entendiendo que al estudiar un solo paño de losa y por el concepto de ser losas de menores tamaños ingresa solamente un set de ruedas en la misma. Se trabajó con una carga de 35Kn tal como lo podemos apreciar en la imagen 5.

MTOP



Imagen 5. Camión de 2 ejes simples y 4 ruedas con su capacidad de carga según el MTOP.

RESULTADOS OBTENIDOS POR MEDIO DEL PROGRAMA EverFE 2.26			
SINGLE WHEEL (RUEDA UNICA) LOAD 35KN		TENSIONES MAXIMAS	DEFORMACIONES MAXIMAS
Dimensiones mm	Espesores mm	Resultados Mpa	Resultados mm
1800x1500	100	4,016	0,297
1800x1500	150	1,995	0,191
1800x1500	200	1,138	0,191
1800x1500	250	0,723	0.143
2000x1500	100	4,23	0,295
2000x1500	150	2,195	0,171
2000x1500	200	1,27	0,164
2000x1500	250	0,809	0,184
2200x1500	100	4,38	0,298
2200x1500	150	2,379	0,159
2200x1500	200	1,407	0,213
2200x1500	250	0,902	0,159

Tabla 3. Tensiones y deformaciones obtenidas para ejes simples rueda simple.

Esta tabla nos demuestra en base a los resultados obtenidos por medio del modelo computacional EverFE2.26 y con el tipo de eje estudiado (ESRS), que en paños de losa con geometría optimizada de dimensiones de 2200mm x1500mm y un espesor de 100mm, existe una tensión máxima de 4,38 Mpa, así como una deformación máxima de 0,298mm, que claramente refleja su mayor estado tenso-deformacional en relación a las otras losas de diferentes dimensiones y espesores que fueron estudiadas. Cabe destacar, que con una geometría optimizada en la losa de

1800mm x 1500mm y un espesor de 150mm podemos observar su disminución notoria en términos de los resultados de las tensiones (1,995 Mpa) y deformaciones (0,191mm), con las máximas que nos dio el programa, los que nos puede llevar a conclusiones importantes en el momento de decidir por el tipo de geometría y diseño a utilizar en un proyecto, que nos permita disminuir espesores, manteniendo las ventajas de lo que representa construir una vía o carretera con pavimentos de hormigón rígido.

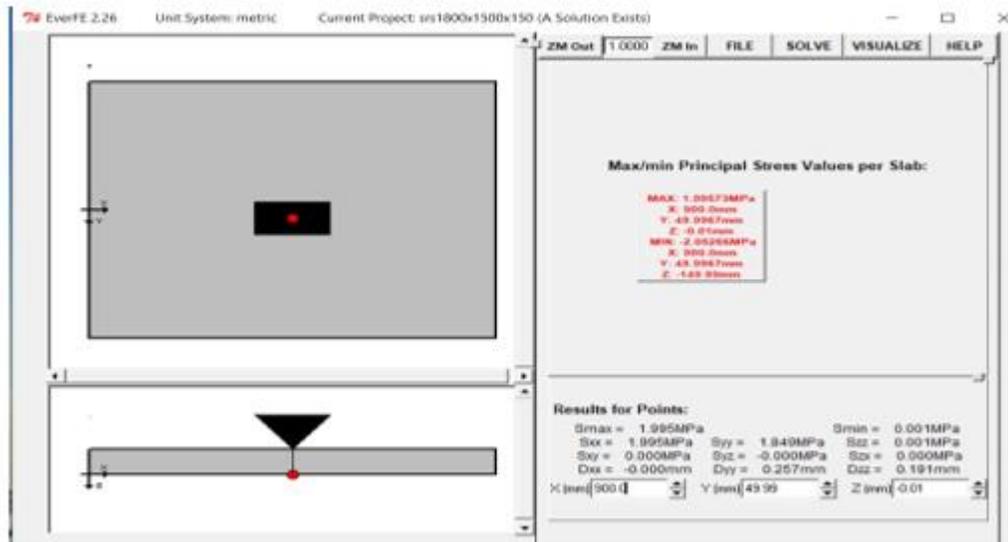


Imagen 6. Resultados por puntos, obtenidos por medio del programa EverFe 2.26 en una losa de 1800mm x 1500mm x 150mm y una carga de 35KN.

2. Ejes Simples ruedas duales (ESRD). – Ingresamos los datos en el programa por el método DUAL WHEEL AXLE (Eje de doble rueda), entendiendo que al estudiar un solo paño de losa y por el concepto de ser losas de menores tamaños ingresa solamente un set de ruedas en la misma. Se trabajo con una carga de 55Knm tal como lo podemos apreciar en la imagen 7.

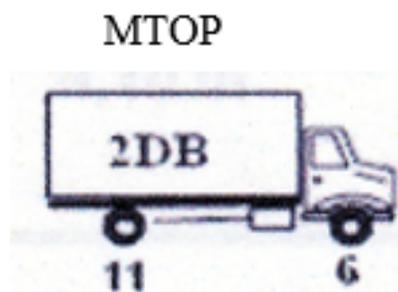


Imagen 7. Camión de 2 ejes simples y 6 ruedas con su capacidad de carga determinada por el MTOP.

Datos:

Geometry

1 row; 1 column

No Layer

(Xmm) 1800-2000-2200

(Ymm) 1500

(Zmm) 100-150-200-250

Material

E (MPa)= 23585 módulo de elasticidad del Hormigón

nu=0.15

alpha(per deg C) 1.1e-005

density(kg/m3) = 2400

K(MPa/mm)= 0.064

Loading

Single Wheel axle

Load (KN) = 55kn

x(mm)= 1100

y(mm)= -100

L(mm)= 340

W(mm)= 200

A(mm)= 300

#of Temp. Changes = 2

Temp. Chang 1 (deg C) = 39

Temp. Chang 2 (deg C) = 28

RESULTADOS OBTENIDOS POR MEDIO DEL PROGRAMA EverFE 2.26

DUAL WHEEL AXLE (EJE DE DOBLE RUEDA) LOAD 55KN		TENSIONES MAXIMAS	DEFORMACIONES MAXIMAS
Dimensiones mm	Espesores mm	Resultados Mpa	Resultados mm
1800x1500	100	4.883	0.523
1800x1500	150	2.511	0.369
1800x1500	200	1.463	0.351
1800x1500	250	0.946	0.286
2000x1500	100	5.098	0.522
2000x1500	150	2.749	0.344
2000x1500	200	1.632	0.314
2000x1500	250	1.06	0.324

2200x1500	100	5.24	0.526
2200x1500	150	2.963	0.329
2200x1500	200	1.799	0.365
2200x1500	250	1.178	0.291

Tabla 4. Tensiones y deformaciones obtenidas para ejes simples ruedas duales.

Esta tabla nos demuestra en base a los resultados obtenidos por medio del modelo computacional EverFE2.26 y con el tipo de eje estudiado (ESRD), que en paños de losa con geometría optimizada de dimensiones de 2200mm x1500mm y un espesor de 100mm, existe una tensión máxima de 5,24 Mpa, así como una deformación máxima de 0,526mm, que claramente refleja su mayor estado tenso-deformacional en relación a las otras losas de diferentes dimensiones y espesores que fueron estudiadas. Cabe destacar, que con una geometría optimizada en la losa de 1800mm x 1500mm y un espesor de 150mm podemos observar su disminución notoria en términos de los resultados de las tensiones (2,511 Mpa) y deformaciones (0,369mm), con las máximas que nos dio el programa, los que nos puede llevar a conclusiones importantes en el momento de decidir por el tipo de geometría y diseño a utilizar en un proyecto, que nos permita disminuir espesores, manteniendo las ventajas de lo que representa construir una vía o carretera con pavimentos de hormigón rígido.

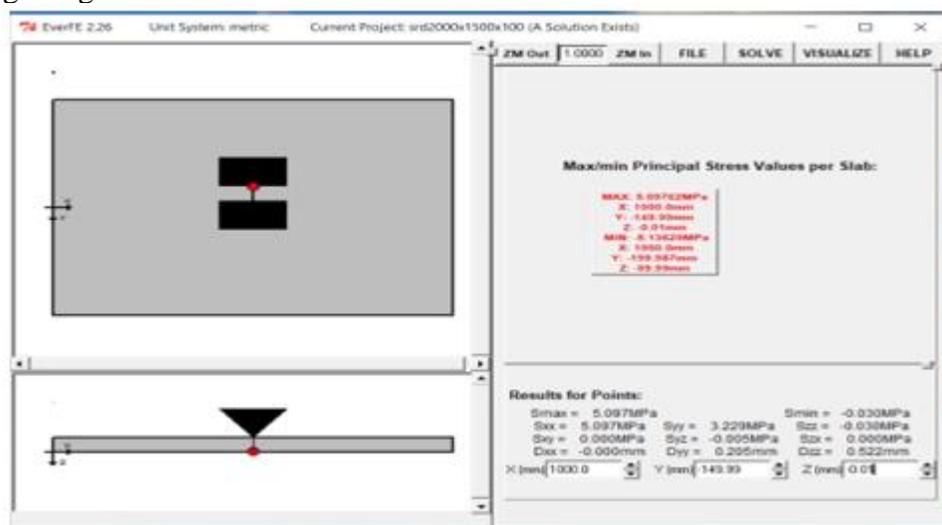
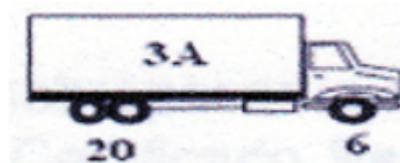


Imagen 8. Resultados por puntos, obtenidos por medio del programa EverFe 2.26 en una losa de 2000mm x 1500mm x 100mm y una carga de 55KN.

3.- Eje Tándem con ruedas duales (ETRD). – Continuando con el trabajo en el programa ingresamos los datos por el método DUAL WHEEL TANDEM (Tándem de dos ruedas), entendiendo que al estudiar un solo paño de losa y por el concepto de ser losas de menores tamaños ingresa solamente un set de ruedas en la misma. Se trabajo con una carga de 100Kn tal como lo podemos apreciar en la imagen 9.



Datos:

Geometry

1 row; 1 column

No Layer

(Xmm) 1800-2000-2200

(Ymm) 1500

(Zmm) 100-150-200-250

Material

E (MPa)= 23585 módulo de elasticidad del Hormigón

nu=0.15

alpha(per deg C) 1.1e-005

density(kg/m3) = 2400

K(MPa/mm)= 0.064

Loading

Single Wheel tandem

Load (KN) = 100

x(mm)= 900

y(mm)= -100

L(mm)= 340

W(mm)= 200

A(mm)= 300

S(mm)= 1300

#of Temp. Changes = 2

Temp. Chang 1 (deg C) = 39

Temp. Chang 2 (deg C) = 28

RESULTADOS OBTENIDOS POR MEDIO DEL PROGRAMA EverFE 2.26			
DUAL WHEEL TANDEM (TANDEM DE DOS RUEDAS) LOAD 100KN		TENSIONES MAXIMAS	DEFORMACIONES MAXIMAS
Dimensiones mm	Espesores mm	Resultados Mpa	Resultados mm
1800x1500	100	4.305	1.077
1800x1500	150	2.158	0.837
1800x1500	200	1.248	0.761
1800x1500	250	0.812	0.778
2000x1500	100	3.837	0.751
2000x1500	150	1.889	0.659
2000x1500	200	1.082	0.631

2000x1500	250	0.696	0.631
2200x1500	100	3.624	0.622
2200x1500	150	1.756	0.543
2200x1500	200	0.999	0.533
2200x1500	250	0.639	0.529

Tabla 5. Tensiones y deformaciones obtenidas para un eje tándem.

Esta tabla nos demuestra en base a los resultados obtenidos por medio del modelo computacional EverFE2.26 y con el tipo de eje estudiado (ETRD), que en paños de losa con geometría optimizada de dimensiones de 1800mm x1500mm y un espesor de 100mm, existe una tensión máxima de 4,305 Mpa, así como una deformación máxima de 1,077mm, que claramente refleja su mayor estado tenso-deformacional en relación a las otras losas de diferentes dimensiones y espesores que fueron estudiadas. Cabe destacar, que con una geometría optimizada en la losa de 2200mm x 1500mm y un espesor de 150mm podemos observar su disminución notoria en términos de los resultados de las tensiones (1,756 Mpa) y deformaciones (0,543mm), con las máximas que nos dio el programa, los que nos puede llevar a conclusiones importantes en el momento de decidir por el tipo de geometría y diseño a utilizar en un proyecto, que nos permita disminuir espesores, manteniendo las ventajas de lo que representa construir una vía o carretera con pavimentos de hormigón rígido.

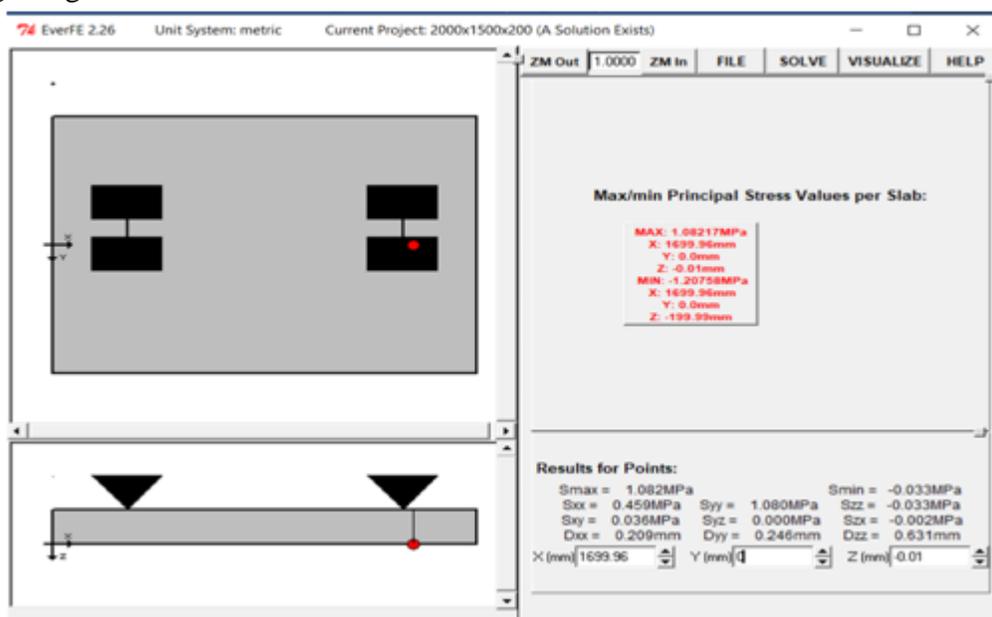


Imagen 10. Resultados por puntos, obtenidos por medio del programa EverFe 2.26 en una losa de 2000mm x 1500mm x 200mm y una carga de 100KN.

RESULTADOS COMPARATIVOS				
TIPOS DE EJES	GEOMETRIA DE LA LOSA		TENSIONES MAXIMAS	DEFORMACIONES MAXIMAS
	Dimensiones mm	Espesores mm	Resultados Mpa	Resultados mm
SINGLE WHEEL (ESRS)	2200x1500	100	4,38	0.298
	1800x1500	150	1,995	0,191
	1800x1500	250	0.723	0.143
DUAL WHEEL AXLE (ESRD)	2200x1500	100	5.24	0.526
	1800x1500	150	2,511	0,369
	1800x1500	250	0.946	0.286
DUAL WHEEL TANDEM (ETRD)	1800x1500	100	4.305	1.077
	2200x1500	150	1,756	0,543
	2200x1500	250	0.639	0.529

Tabla 6. Tensiones y deformaciones obtenidas en cada uno de los ejes estudiados.

Una vez obtenidos los resultados de las diferentes tensiones y deformaciones en base a los ejes estudiados, podemos realizar esta tabla comparativa, que nos indica que la mayor tensión (5,24Mpa) obtenida en el presente estudio, se encuentra en la losa de geometría optimizada de dimensiones 2200mm x1500mm y un espesor de 100mm del eje simple rueda doble y la mayor deformación (1,077mm) en la losa de geometría optimizada de dimensiones 1800mm x1500mm y un espesor de 100mm del eje tándem rueda doble.

Resultados de la Investigación: El estudio de Pavimentos Rígidos de Losas Cortas en Vías de Tráfico Pesado en la Ciudad de Portoviejo, brindo como resultado que:

1. Viabilidad técnica de losas cortas en Portoviejo. - El estudio confirmó que los pavimentos rígidos de losas cortas representan una alternativa técnica favorable para vías de alto tráfico pesado en la ciudad de Portoviejo, ya que una vez obtenidos y validados cada uno de los resultados del estado tenso-deformacional del comportamiento de la losas con los diferentes tipos de ejes y cargas, podemos notar que las tensiones y deformaciones en las losas se encuentran dentro de los límites admisibles, que nos conllevan a poder disminuir los espesores de losas, manteniendo las ventajas de lo que representa construir una vía o carretera con pavimentos de hormigón rígido.

Los datos que se ingresaron como el gradiente de temperatura 11° fue el más desfavorable en una época y día del año, en un horario entre las 12h30 a 13h00 , para determinar el módulo de elasticidad del hormigón se lo realizo por medio de la expresión que resulta de utilizar el módulo de elasticidad del agregado grueso que en el presente estudio fue de la cantera de Picoaza de tipo basalto de 52,5 GPa y una resistencia a la compresión del hormigón asumida de 30 Mpa, dándonos de resultado un módulo de elasticidad del hormigón de 23585 Mpa , en los datos el posicionamiento de la llanta del vehículo se la realizo dejando 600mm del borde libre de la losa.

2. Análisis computacional con EverFe 2.26

El modelo computacional EverFe 2.24 permitió evaluar aspectos fundamentales en el diseño de losas cortas: como las tensiones y deformaciones.

Los resultados indicaron que:

Las tensiones en las losas se encuentran dentro de los límites admisibles, asegurando la integridad estructural del pavimento.

La máxima tensión 5,24Mpa obtenida en el presente estudio, se encuentra en la losa de geometría optimizada de dimensiones 2200mm x1500mm y un espesor de 100mm del eje simple rueda doble.

Las deformaciones de las losas son mínimas, lo que contribuye a un buen confort de la rodadura y reduce el riesgo de agrietamiento.

La máxima deformación obtenida fue de (1,077mm) en la losa de geometría optimizada de dimensiones 1800mm x1500mm y un espesor de 100mm del eje tándem rueda doble.

Utilizando el modelo computacional EverFe 2.26, los resultados de este análisis proporcionaron datos detallados sobre el comportamiento de las losas bajo diferentes condiciones de carga y temperaturas, permitiendo una optimización del diseño que garantice su resistencia y estabilidad.

3. Distribución de cargas por eje

Se determinó la distribución de cargas por eje utilizando el criterio de que en un solo paño ingresa un set de ruedas con los diferentes pesos permitidos por el Ministerio de Transporte y Obras públicas. Este análisis fue crucial para validar el desempeño de las losas cortas, asegurando que puedan soportar eficientemente las cargas impuestas por el tráfico pesado y minimizando el riesgo de fallas prematuras por tensiones y deformaciones elevadas.

4. Reducción de dimensiones del pavimento rígido

El estudio demostró que es posible reducir las dimensiones del pavimento rígido tradicional para las vías de tráfico pesado en Portoviejo, sin comprometer su desempeño estructural. Esto se logra mediante un diseño optimizado que considera las características del tráfico, las propiedades de los materiales y las condiciones climáticas de la ciudad. Al reducir las tensiones y deformaciones en las losas, se espera que las losas cortas no solo sean más resistentes y duraderas, sino también más económicas en términos de materiales y costos de construcción. Esta reducción en las dimensiones podría resultar en una solución más eficiente y viable para las vías de tráfico pesado en Portoviejo.

Estos resultados proporcionarán una base sólida para la implementación de pavimentos rígidos de losas cortas en Portoviejo, ofreciendo una solución innovadora y sostenible para mejorar la infraestructura vial y contribuir al desarrollo urbano y económico de la ciudad.

Conclusiones

Los resultados de la investigación respaldan la implementación de pavimentos rígidos de losas cortas en vías de alto tráfico pesado en la ciudad de Portoviejo, ya que una vez obtenidos los mismos, por medio del programa EverFE 2.26 y con las condiciones de temperatura y materiales del cantón Portoviejo, se pudo demostrar que el estado tenso-deformacional del comportamiento de la losa estudiada con los diferentes tipos de ejes y cargas se encuentran dentro de los rangos admisibles, donde se puede considerar la disminución de los espesores de los llamados

tradicionales, ya que esto no afectaría a algunas de las ventajas que nos da construir una vía o carreteras con pavimento rígido, como lo es: su mayor duración, mayor soporte a cargas pesadas, menor gasto de mantenimiento, mayor confort y seguridad, entre otras .

Se logro determinar que la mayor tensión (5,24Mpa) se produce en el eje simple rueda doble de dimensiones de 2200mm x1500mm y un espesor de 100mm.

De la misma manera podemos observar que las losas con una geometría optimizada de 1800mm x 1500mm y un espesor de 150mm podrían dar excelentes resultados, ya que es notaria su disminución en lo que respecta a las tensiones y deformaciones en referencia o comparación con las máximas obtenidas por el programa. Como ejemplo la que se estudió de un ESRD que su tensión es de 2,511 Mpa y su deformación de 0,369mm.

Se recomienda la implementación de pavimentos rígidos de losas cortas en nuevas vías y en la rehabilitación de vías existentes en Portoviejo, considerando los resultados y recomendaciones presentados en este estudio.

Referencias Bibliográficas

- Alvarez, B. (2019). Modelación de pavimentos rígidos con elementos finitos aplicación de EVERFE. (*Tesis de Maestría*), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad de Ingeniería.
- Colim, Balbo, & Khazanovich. (2011). Estudio dos fatores que afetam a transferência de carga em juntas de pavimentos de concreto simples.
- Covarrubias, J. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-50732012000300005&script=sci_arttext&tlng=p
- Davis. (1998). Modeling of Rigid Pavements: Joint Shear Transfer Mechanisms and Finite Element Solution Strategies. (*Ph.D. dissertation*), University of Washington.
- Edwin. (2023). A. Rodríguez (2023) Procedimiento para diseño de pavimentos de hormigón simple empleando técnicas de modelación computacional en las condiciones del cantón portoviejo. Obtenido de <https://ojs.uc.cl/index.php/RDLC/issue/view/970>
- Juan V. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-50732012000300005&script=sci_arttext&tlng=p
- Lacunza, G. (2018). Losas cortas versus asfalto en el armado de vías y carreteras. *Cimientos*. Obtenido de <https://revistacimientos.com/blog/2018/10/26/losas-cortas-versus-asfalto-en-el-armado-de-vias-y-carreteras/>
- Pradera, M. (2019). Analisis estructural de pavimentos de hormigon. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292019000300045