

**“EFECTOS DE LA MODULACIÓN DE LOSAS EN LAS FALLAS  
TRANSVERSALES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS. CASO DE ESTUDIO: VÍAS  
PRINCIPALES BARRIO MANGA”.**



**Universidad de  
Cartagena**

Fundada en 1827



**Facultad de  
Ingeniería**

Fundada en 1949

**ROXANA ALCALÁ BRICEÑO  
JOSÉ MAURICIO MORALES PUERTA**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
CARTAGENA D.T. Y C.**

**2017**



EFFECTOS DE LA MODULACIÓN DE  
LOSAS EN LAS FALLAS



TRANSVERSALES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS. CASO DE ESTUDIO: VÍAS  
PRINCIPALES BARRIO MANGA

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN GEOTECNIA, MATERIALES, VÍAS, TRANSITO Y  
TRANSPORTE (GEOMAVIT)

ROXANA ALCALÁ BRICEÑO Cod. 0211210011

JOSÉ MAURICIO MORALES PUERTA Cod. 0211210032

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director: Msc. Ramón Torres Ortega

Universidad de Cartagena  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Civil  
Cartagena, Febrero de 2017



Inicialmente queremos darle gracias a Dios por permitirnos lograr esta meta.

A nuestras familias porque la formación comienza en casa. Gracias a ustedes por apoyarnos e impulsarnos a luchar por nuestros sueños.

A nuestra alma mater por albergarnos durante estos 5 años de formación académica y personal, convirtiéndonos en profesionales éticos preparados para una sociedad que se encuentra en continuo cambio.

De manera especial, queremos darles infinitas gracias a nuestros docentes que nos acompañaron durante todo este proceso. A todos los que fueron más que solo profesores, gracias maestros.

A nuestro director de tesis el ingeniero Ramón Torres Ortega por depositar su confianza en nosotros para llevar a cabo esta investigación y por estar siempre disponible para atender nuestras dudas.

Agradecemos a los estudiantes de la asignatura Taller de Ingeniería, los cuales fueron de gran ayuda para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto.

Finalmente, queremos darle gracias a todos nuestros compañeros de clase que poco a poco se convirtieron en más que solo eso y que hoy en día somos grandes amigos y colegas. Ustedes fueron una pieza clave en este camino.

*Roxana y Mauricio*



Primero que todo quiero darle gracias a Dios porque ha sido él el arquitecto de mi vida. Él ha hecho sus planos perfectos y me ha permitido irlos ejecutando poco a poco a su tiempo. A Jesús por ser mi modelo de vida y por permitirme llevar en alto su ideal convirtiéndome en un profesional integral y a mi Santa Madre María por ser mi protectora. Solo por su gracia y misericordia, he llegado hasta aquí.

A mi madre Viviana que ha dedicado su vida a que yo cumpla mis sueños y a impulsarme a ser mejor cada día. Tú eres mi modelo a seguir, infinitas gracias por tanto. Gracias a mi padre por forjar mi carácter y siempre creer en mí. Desde niña me enseñaste a luchar por lo que quiero y a ser mejor cada día.

A mi compañero de tesis Mauricio, porque a pesar de que todos decían que no íbamos a poder trabajar juntos, fuimos el complemento del otro. Gracias por abrirme tu corazón.

A Mario porque desde que nos conocimos, no han parado de caer bendiciones sobre nosotros; gracias por impulsarme cada día a superar los obstáculos que se han presentado y por recordarme que, a pesar de todo, el amor siempre pondrá una sonrisa en nuestro corazón.

Gracias a la Nube Voladora, que más que un grupo de estudio, se convirtieron en mis amigos y hermanos. Gracias por dejarme ser yo misma, por enseñarme a no tener miedo y por demostrarme que soy una mujer igual de capaz que cualquiera de ustedes.

Gracias a mis dos ángeles maravillosos que Dios envió para acompañarme en este largo camino, gracias por estar en todos los momentos. Este logro no hubiese sido posible sin ustedes, mis mejores amigos Luz y Jorge.

Finalmente quiero dedicarle este logro a mis hermanas Sylvana y Susana para que tengan fe en que sus sueños pueden convertirse en metas y luego, con mucho esfuerzo, en realidades. Ustedes han sido mi más grande motivación para esforzarme siempre por más. Las amo.

*Roxana Alcalá Briceño*



Quiero dar mi más grande agradecimiento en primera instancia a mi padre que siempre ha estado presente en los momentos que lo he necesitado, dándome un apoyo incondicional a pesar de todas las adversidades; y a mi madre que a pesar de todo su carácter y su manera de comunicarse, siempre ha estado presente haciéndome seguir adelante.

Agradezco a la Nube Voladora, ese grupo de estudio, que más que un grupo de estudio se convirtió en una familia, sé que si algún día necesito de ustedes, habrá alguno que quiera ayudarme.

Gracias a Daniela Pacheco, que aunque hace poco tiempo que llegó a mi vida, llegó en el momento más indicado, dándome su cariño y su apoyo cuando estuve a punto de dejar todo a un lado.

Indudablemente quiero dar un agradecimiento especial a mi compañera Roxana Alcalá, porque fue gracias a ella, que aprendí en gran parte a llevar un orden en las cosas, la que ha soportados mis niñeces y mis resabios, y que aunque un par de veces fui muy grosero hasta tal punto de hacerle llorar, nunca dejó de lado sus ganas de seguir conmigo en este proceso, hasta que alcanzamos nuestro objetivo, obtener el tan anhelado Título de Ingeniero Civil.

Por ultimo quiero dedicar este pequeño, pero anhelado logro a todas las personas que NO tuvieron fe en mí, que me dijeron que no sería capaz de lograrlo, pero aun así, pude hacerlo con el apoyo de mis compañeros.

*José Mauricio Morales Puerta*



## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>1. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.1. Definición de pavimento. ....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2. Tipos de pavimentos rígidos.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.3. Tipo de grietas en los pavimentos rígidos. ....</b>	<b>26</b>
<b>1.2.4. Método AASHTO para dimensionamiento de pavimentos rígidos. 30</b>	
<b>1.2.5. Esfuerzos en los pavimentos rígidos.....</b>	<b>40</b>
<b>1.2.6. Cálculo de esfuerzos en los pavimentos por medio del programa EVERFE.....</b>	<b>46</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>47</b>
<b>2.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>47</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPEFICICOS .....</b>	<b>47</b>
<b>3. ALCANCE.....</b>	<b>48</b>
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>51</b>



<b>4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2. ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3. DELIMITACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO. ....</b>	<b>52</b>
<b>4.4. AUSCULTACIÓN E INVENTARIO DE LOSAS EXISTENTES.....</b>	<b>52</b>
<b>4.5. ANÁLISIS CUALITATIVO .....</b>	<b>53</b>
<b>4.6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS LOSAS. ....</b>	<b>54</b>
<b>4.6.1. Cálculo de los esfuerzos máximos presentes en las losas.....</b>	<b>54</b>
<b>4.7. DISCUSIÓN DE LA INFORMACION Y RECOMENDACIONES... 61</b>	
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1. AUSCULTACIÓN Y SELECCIÓN DE LOSAS TIPO.....</b>	<b>62</b>
<b>5.2. MODELACIÓN EN EVERFE 2.25.....</b>	<b>68</b>
<b>5.3. CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LAS     LOSAS TIPO .....</b>	<b>74</b>
<b>5.4. OPTIMIZACIÓN.....</b>	<b>84</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>7. RECOMENDACIÓN .....</b>	<b>88</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>89</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>93</b>



**TABLA DE FIGURAS.**

<b>Figura 1. Construcción de una calzada romana.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2. Estructura del pavimento rígido y distribución de esfuerzos con relación a la profundidad. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3. Características estructurales, y propiedades típicas de pavimentos... </b>	<b>23</b>
<b>Figura 4. Descripción de una losa de concreto simple. ....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5. Descripción de una losa de concreto reforzado.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6. Vista en planta: Grieta de esquina.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 7. Características de las grietas longitudinales. ....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8. Vista en planta de las grietas transversales.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 9. Vista en planta de grietas de los extremos de los pasadores. ....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 10. Circuitos de prueba de AASHO Road Test .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 11. Relación Entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y k ...</b>	<b>36</b>
<b>Figura 12. Esquema de transferencia de cargas por medio de barras. ....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 13. Curvatura debido al gradiente de temperatura.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 14. Esfuerzos y deformaciones en pavimentos rígidos por cargas. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 15. Método para convertir llantas duales en área circular. ....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 16. Delimitación del estudio. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 17. Calles estudiadas en la investigación. ....</b>	<b>49</b>





<b>Figura 18. Creación de nuevo proyecto en EverFe 2.25. ....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 19. Cuadro de dialogo Save as en EverFe 2.25.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 20. Opción Geometría en programa EverFe 2.25. ....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 21. Panel “Materiales” en el programa EverFe 2.25. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 22. Interfaz “Cargas” en el programa EverFe 2.25. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 23. Opción “Dowel” en el Programa EverFe 2.25. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 24. Cuadro “trabazón de agregados” en el programa EverFe 2.25. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 25. Mallado del pavimento en el programa EverFe 2.25. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 26. Especificaciones de los ejes sencillos rueda doble.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 27. Seguimiento climatológico, mes de agosto de 2016.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 28. Datos de entrada de las Dovelas en EverFE 2.25.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 29 Ilustración de los esfuerzos máximos y mínimos de las imágenes utilizadas .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 30 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #1 ubicados en el borde .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 31 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #1 ubicado a una esquina .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 32 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #1 ubicados en el interior .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 33 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #2 ubicado en el borde .....</b>	<b>78</b>



<b>Figura 34 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #2 ubicado a una esquina .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 35 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #2 ubicado en el interior .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 36 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #3 ubicado en el borde .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 37 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #3 ubicado en la esquina.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 38 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #3 ubicado en el interior .....</b>	<b>83</b>



## **LISTADO DE CUADROS**

<b>Cuadro 1. Confiabilidad recomendada por guía AASTHO 93.....</b>	<b>34</b>
<b>Cuadro 2. Valores de desviación normal estándar (<math>Z_r</math>) .....</b>	<b>34</b>
<b>Cuadro 3. Valor de k para la base respecto al valor de k para la subrasante....</b>	<b>36</b>
<b>Cuadro 4. Valores de <math>P_t</math> Recomendadas por AASTHO .....</b>	<b>37</b>
<b>Cuadro 5. Valores de <math>M_R</math> recomendados.....</b>	<b>38</b>
<b>Cuadro 6. Valores del coeficiente J de transmisión de cargas.....</b>	<b>39</b>
<b>Cuadro 7. Calidad del drenaje en la estructura de pavimento.....</b>	<b>39</b>
<b>Cuadro 8. Coeficiente de drenaje para pavimentos.....</b>	<b>40</b>
<b>Cuadro 9. Formato de auscultación.....</b>	<b>53</b>
<b>Cuadro 10. Resumen de losas falladas Calle de la Asamblea.....</b>	<b>62</b>
<b>Cuadro 11. Resumen de losas falladas Calle Real.....</b>	<b>63</b>
<b>Cuadro 12. Resumen de losas falladas Avenida Jiménez.....</b>	<b>63</b>
<b>Cuadro 13. Resumen de losas falladas Avenida Miramar.....</b>	<b>64</b>
<b>Cuadro 14 Resumen de losas falladas Cuarta Avenida.....</b>	<b>65</b>
<b>Cuadro 15. Losas Tipo #1 Calle de la Asamblea.....</b>	<b>66</b>
<b>Cuadro 16 Losas Tipo #2 Calle de la Asamblea.....</b>	<b>66</b>
<b>Cuadro 17 Losas Tipo #3 Calle de la Asamblea.....</b>	<b>66</b>
<b>Cuadro 18. Losas tipo Calle Real.....</b>	<b>67</b>



<b>Cuadro 19. Losa tipo Avenida Jiménez.....</b>	<b>67</b>
<b>Cuadro 20. Resumen de losas tipos objeto de investigación.....</b>	<b>68</b>
<b>Cuadro 21 Resumen de esfuerzos máximos y mínimos en las losas tipo .....</b>	<b>83</b>
<b>Cuadro 22 Esfuerzos en la losa tipo de 3m con espesor y ancho variable. ....</b>	<b>84</b>
<b>Cuadro 23 Esfuerzos en la losa tipo de 3.5m con espesor y ancho variable .....</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro 24 Relaciones L/e y L/A para losa de 3 metros.....</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro 25 Relaciones L/e y L/A para losa de 3,5 metros.....</b>	<b>85</b>

#### **LISTADO DE GRÁFICAS**

<b>Gráfica 1 Inventario de losas Calle de la Asamblea .....</b>	<b>62</b>
<b>Gráfica 2 Inventario de losas Calle Real.....</b>	<b>63</b>
<b>Gráfica 3 Inventario de losas Avenida Jiménez .....</b>	<b>64</b>
<b>Gráfica 4 Inventario de losas Avenida Miramar .....</b>	<b>64</b>
<b>Gráfica 5 Inventario de losas Cuarta Avenida .....</b>	<b>65</b>



## **RESUMEN**

En el presente trabajo de grado se analizaron los efectos de la modulación de losas de pavimentos rígidos con el fin de que estas no presenten fallas transversales. Para lo cual se realizó un inventario y auscultación de las losas de cinco calles principales del caso de estudio en el barrio Manga de la ciudad de Cartagena en Colombia sur de América, y se complementa con una modelación a través del software EverFE 2.25 que permitió cuantificar los esfuerzos de las losas que presentaban dichas fallas.

La teoría utilizada para controlar los esfuerzos sobre las losas y evitar su afectación se da mediante la modificación de la geometría de la losa o su modulación, siendo utilizada como una herramienta para determinar el ancho y la longitud de las losas, basados en espesores y capa de soporte, módulo de reacción del conjunto (base + losa), módulo de rotura del concreto, variación de temperatura, cargas de tránsito con el fin de determinar los esfuerzos compatibles con la relación de esbeltez y compararlos con las estadísticas de las calles objetos de estudio de caso para la validación de las causas de las fisuras transversales.

Luego de realizar la auscultación correspondiente se encontró que la relación Largo/ancho presente en la zona fue entre 1,7 y 2,2 m/m, y que con esta relación se obtuvo esfuerzos en las losas superiores a 2.10 MPa, corroborando así la fracturas de las losas existentes.

Comparando los valores de Largo/ espesor, se recomienda que los próximos diseños se hagan teniendo en cuenta el predimensionamiento con valores de esta relación no superiores a 18 m/m.



## **ABSTRACT**

In the present document an analysis is made about the effects of modulation of rigid concrete slabs so that these do not present cross faults. For which, was made an inventory and auscultation slabs main streets of study case, Manga neighborhood, continuing a modeling through software EverFE 2.25 that allowed to quantify efforts of the slabs that had such failures.

The theory used to monitor efforts on the slabs and to avoid involvement occurs by modifying the geometry of the slab or a modulation, being used as a tool to determine the width and length of the slabs so it`s do not generate the efforts that can cause this type of cracks, the width and the length of the slabs, based on thicknesses and layer (Base + slab), concrete rupture modulus, temperature variation, traffic loads in order to determine the stresses compatible with the slenderness ratio and compare them with the statistics of the objects' streets Case study for the validation of the causes of cross-fissures.

After the corresponding auscultation, it was found that the length / width ratio present in the area was between 1.7 and 2.2 m / m, and that with this relation, efforts were obtained in slabs greater than 2.10 MPa, thus corroborating Fractures of existing slabs.

Comparing the values of length / thickness, it is recommended that the next designs be made taking into account the pre-dimensioning with values of this ratio not exceeding 18m/m.



## **INTRODUCCIÓN**

La vida útil de los pavimentos siempre ha sido un factor determinante en el diseño y ejecución de este tipo de obras, precisamente, porque afecta diferentes aspectos tanto económicos como sociales para una población; es allí donde nace la necesidad de prolongar dicha propiedad. Aumentar la vida útil de los pavimentos de concreto hidráulico se ha convertido en un tema de estudio de investigación en busca de métodos innovadores capaces de redistribuir las cargas y evitar patologías no deseables. Es por esto que instituciones como el Instituto del Cemento y Hormigón de Chile han innovado en el diseño de este tipo de pavimento, específicamente en las dimensiones superficiales de las losas con el objetivo de prevenir fisuras transversales y lograr la distribución óptima de esfuerzos sobre ellas considerando la combinación más desfavorable de cargas. Todo esto con el fin de prevenir las fallas que luego generarían costos adicionales de reparación y mantenimiento para el municipio e incomodidad en los usuarios.

Es muy común encontrar diversos tipos de fisuras en los pavimentos causados por el alto tráfico, la cercanía de las viviendas a las vías y la intervención de las empresas de servicios públicos, pero una de las principales patologías que presenta el pavimento rígido son las fisuras transversales causadas por factores ambientales, de tráfico vehicular y de diseño. Un factor sumamente pertinente en el deterioro de las losas de pavimento rígido es el diseño o modulación de dichas losas, la cual busca definir la forma que tendrán las losas de concreto que estarán en el pavimento. En este sentido se define o se diseña la separación entre juntas tanto transversales como longitudinales (CEMEX, 2010)

Un factor que a su vez se suma a los problemas de modulación es el tránsito el cual, dependiendo de la zona, puede generar fallas de mayor índole sobre el pavimento. Es así como la malla vial del barrio Manga, ubicado en la zona franca y foco de esta investigación, no es excepción a esta problemática. Los niveles de tráfico a los cuales se encuentra expuesto, debido a la cercanía de este barrio con el Centro Histórico y la conexión con el Corredor de Carga, generan un tráfico pesado siendo este uno de los más perjudiciales para una vía



afectando diariamente su funcionamiento y agilizando su deterioro causando diferentes tipos de daños.

Desde el 2006 se ha iniciado con el estudio de los diferentes factores que afectan directamente la relación de esbeltez como la carga aplicada, el espesor de la losa y su módulo de elasticidad (Higuera Sandoval, 2006) y se estudiaron aspectos referente a las fisuras transversales (Mills, Attoh-Okine, & McNeil, 2012). Los software de modelación han representado una herramienta primordial al momento de modelar las losas evaluando el rendimiento de estas estructuras comparando el rendimiento y el espesor para este nuevo método (Wu, Xiao, Zhang, & Temple, 2014).

Establecer la relación óptima de largo-ancho-espesor para las losas de pavimento rígido para la ciudad, no solo beneficiará a los ingenieros civiles que se dediquen al diseño de vías terrestres, sino que a su vez traerá beneficios al municipio debido a que al existir dicha aproximación la posibilidad de errores en el diseño de las vías de Cartagena se verían disminuidos notablemente, por lo que hacer unas vías óptimas prevendrían el daño de las calzadas, manteniendo una movilidad constante en las carreteras de la ciudad.

Aunque el proyecto actualmente se encontró limitado al barrio Manga de la ciudad de Cartagena, la recomendación se extiende a toda la ciudad ya que el estudio se realizó en un sector que, desde hace 30 años, ha estado expuesto a todo tipo de tráfico para el cual no fue diseñado ya que inicialmente este fue concebido como una zona residencial (FONSECA, 2012) y se considera a su vez, la incidencia de la Terminal Portuaria en los problemas de movilidad y contaminación como factores que hicieron del caso de estudio una de las condiciones más desfavorables tanto de tránsito como de factores ambientales.

Aforos realizados en el año 2011 cerca de la Terminal Portuaria de Cartagena indicaron el tránsito de 31 333 vehículos mixtos con una composición de autos de 86%, buses de 6% y camiones del 8%), por los diferentes accesos, ya sea entrando a la ciudad, o saliendo de ella; y aún más alarmante es que el 80% de las calles se encuentran en deterioro como lo afirma el presidente de Asomanga Fabián Alvarado (Alvarez, 2011).





Por todo lo anterior expuesto, este proyecto de investigación estableció la relación óptima de largo-ancho para evitar fallas transversales en las losas de pavimento rígido para la ciudad partiendo de las condiciones del caso de estudio: Barrio Manga. Dicha relación fue establecida por medio de la auscultación detallada de las vías del caso de estudio cuyos datos arrojados fueron analizados para calcular esfuerzos para, finalmente, establecer la modulación óptima de las losas utilizando el software EverFe 2.25. Teniendo en cuenta que a nivel local ni nacional se han hecho estudios al respecto, se generó un aporte de gran ayuda para los ingenieros civiles y funcionarios públicos de la ciudad ya que el uso de este tipo de losas generará una disminución significativa de los costos de mantenimiento y conservación así como prolongaría la vida útil de la estructura. Y a su vez, se dio respuesta a los siguientes interrogantes ¿Cómo afecta la relación de esbeltez en las fallas transversales en el pavimento rígido? ¿Cuál es la relación de esbeltez óptima para la ciudad de Cartagena, para evitar las fallas transversales causadas por el diseño de los pavimentos rígidos?



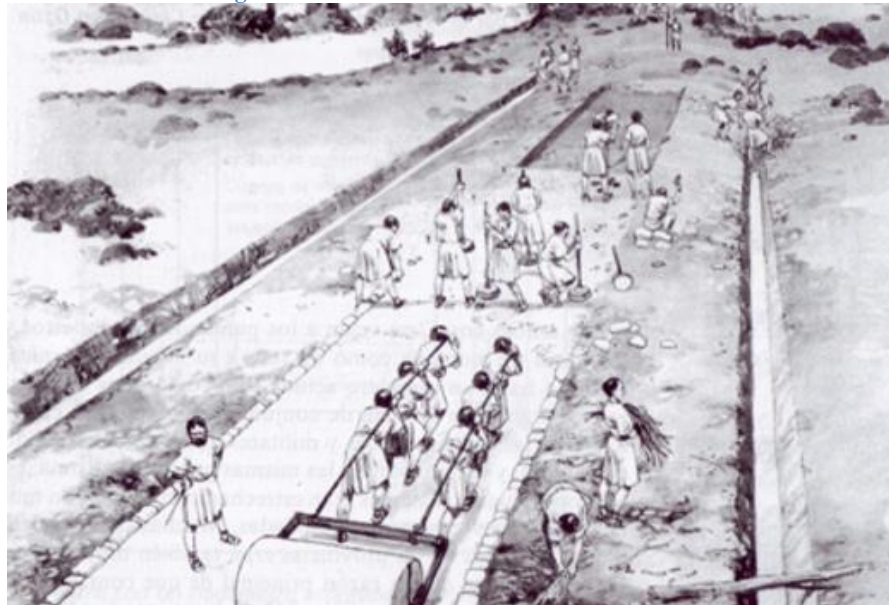
## **1. MARCO DE REFERENCIA**

Al nacer la necesidad de lograr que las vías de la ciudad se desarrollen con la calidad necesaria, es indispensable estudiar el estado de las carreteras construidas en pavimentos rígidos y la inspección visual de los problemas que se están presentando en las vías de la ciudad, en especial el caso de las fisuras transversales, objeto de estudio de la investigación, para proponer un dimensionamiento óptimo para las losas, conociendo que las fisuras transversales son una de las principales patologías que se presentan en ellas. En este capítulo se presentan estudios referentes al tema de investigación junto con la información teórica complementaria del proyecto.

### **1.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.**

Muchas civilizaciones del mundo antiguo fueron pioneras en la construcción de pisos de piedra para su transporte como fue Mesopotamia, Egipto y Creta, cerca de los años 3000 A.c. para el año 500 A.c. en Roma (ver Figura 1) Ya había desarrollado caminos pavimentados con bases granulares estabilizadas y rodadura de piedra sobre las cuales iba piedra tallada. (Muniz San Segundo, 2006)

**Figura 1. Construcción de una calzada romana.**



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, INVIAS.



El uso de los pavimentos rígidos se dio en Estados Unidos por la necesidad de poseer caminos y rutas transitables para el transporte masivo ya que su crecimiento demográfico durante el siglo XIX requería nuevas vías de transporte.

Y es a partir de 1905 cuando se inicia la implementación del concreto como material para la construcción de carreteras, dando lugar al proyecto de obras públicas más importante de la historia que fue el sistema interestatal de carreteras con una longitud de 28 000 km.

El final del siglo XX trajo consigo el desarrollo de nuevas técnicas que mejoraron la adherencia y la capacidad de drenaje ante situaciones climáticas adversas. (Arkiplus, 2013).

En Colombia, en el año 1999 existía una red principal de 14 721 kilómetros conformada por 11 059 kilómetros con superficie pavimentada (98.8% de ellos con pavimento asfáltico y el resto con pavimento rígido) y 3 662 kilómetros de vías sin pavimentar.

En los años posteriores se redactó el COMPES 3195 en julio de 2002 en el cual se exponía la importancia del mantenimiento y rehabilitación del pavimento, la terminación de los proyectos en ejecución y los procesos de vinculación del capital privado.

### **El desarrollo de la infraestructura vial**

En la ciudad de Cartagena en el año 2006 fue registrada por la Secretaria de Infraestructura, una malla vial de 750 Km excluyendo el Corredor de Carga y el Anillo Vial, de los cuales solo el 28% se encontraba en Buen estado, 14% regular y 58% malo. Dichos porcentajes se mantuvieron hasta el 2007 ya que la inversión de obras viales fue destinada para las vías de acceso a los Juegos Centroamericanos, Vía Perimetral y Transcaribe.

En 2010 la malla vial aumentó a 759 kilómetros, de los cuales 656 son urbanos y 103 rurales. Los nueve kilómetros nuevos de vías se construyeron en la Localidad Industrial y de la Bahía. También aumentó en 3 puntos porcentuales la proporción de vías en Buen estado y disminuyó en 4 puntos porcentuales la de mal estado. Según Infraestructura esto se derivó de la ejecución de 135 obras viales por un monto de \$14 600 millones, priorizando vías de acceso a instituciones educativas, hospitales y luego conectoras del sistema de transporte. En



términos globales, aún sigue registrándose una malla vial mayoritariamente en mal estado. Por Localidades, las proporciones se mantienen parejas, aunque es la Localidad I la que tiene mayor porcentaje de vías en buen estado. (Alcaldía Distrital de Cartagena, 2011).

El barrio Manga consta de aproximadamente cinco kilómetros de la malla vial urbana en pavimento rígido, los cuales han sido expuestas a un constante deterioro por la cantidad de intervenciones que se realizan sobre ellas y la mayor parte del flujo vehicular que se desplaza de la parte sur de la ciudad al norte de ella.

La conservación e intervención son aspectos importantes en la vida útil de una estructura de pavimento pero es la prevención la solución más acertada a las diferentes patologías que se presentan sobre estas. Es por esto que día a día se desarrollan estudios e investigaciones sobre los diferentes aspectos que infieren en el deterioro, y en este caso, en la aparición de fisuras transversales, ya que su intervención traería consigo aislamientos del área, remoción del concreto, reparación de la base y drenaje, analizar las transferencias de cargas de las juntas, etc. (Duque Sanabria & Tibaquirá García, 2010)

Una línea de investigación muy importante es la de las variables de diseño desde el punto de vista de la mecánica del pavimento rígido, especialmente aquellas que inciden en la deflexión. Al analizar la carga aplicada, el espesor de la losa, el radio de carga, el módulo de elasticidad, la relación del conjunto de apoyo y la fundación de la losa; se abarca en gran medida las distintas variables de diseño. Higuera permitió definir un escalafón de las variables según la afectación del grado de deflexión de la estructura, permitiéndole a los ingenieros de diseño tener claridad de cuáles son las variables que deben modificarse para conseguir el diseño que cumpla con los requisitos de deflexión, en este caso en el interior de la losa. La investigación arrojó como resultado que la carga vertical (P) es la variable con mayor incidencia en la deflexión en una estructura de pavimento rígido (Higuera Sandoval, 2006).

Asimismo, es necesario estudiar todos los aspectos pertinentes respecto a la patología que se está trabajando, fisuras transversales, sobre las cuales se han hecho estudios encaminados a



la causalidad y a la propagación de dicha patología lo que representa una gran fuente de información para su prevención.

El desarrollo de las fisuras transversales como una de las patologías del pavimento rígido es de suma importancia ya que su iniciación y propagación afectan la estabilidad y la integridad estructural de la carretera. Estas grietas son causadas por la carga, la humedad, la temperatura, defectos de construcción o una combinación de todos estos aspectos. El agrietamiento de la losa de pavimento rígido conlleva al aumento brusco de la humedad de infiltración, así como de la formación de un estrés sobre el pavimento que afecta su rugosidad generando problemas a los organismos viales y usuario. Estas fisuras pueden aparecer en cualquier instante de la vida útil de la losa de concreto y de una forma muy espontánea, es por esto que el uso de la estadística para modelar la propagación de grietas en pavimentos de carreteras es importante (Mills, Attoh-Okine, & McNeil, 2012).

La modelación en software de diseño presenta un abanico de posibilidades para el estudio y la comparación con casos existentes. Este tipo de software ha sido utilizado para evaluar el rendimiento de las estructuras de pavimento rígido típico en Luisiana, Estados Unidos donde comparó el método mecanicista de la AASHTO con un diseño arrojado por PavementMe<sup>tm</sup>, que es uno de estos software's. Los resultados indicaron que el modelo nacional predice la aparición excesiva de fisuras transversales y baja probabilidad de que las fallas ocurran por las juntas. Por tanto, se llevó a cabo una calibración para ajustar los resultados generados por el software para la condición del estado de Luisiana. Además de comparar el rendimiento medido y estimado, también se comparó el espesor recomendado para los actuales y nuevos métodos de diseño. Se encontró que la diferencia era de 2 cm o 7% ya que PavementMe<sup>tm</sup> requiere un pavimento más delgado. (Wu, Xiao, Zhang, & Temple, 2014)



## 1.2.MARCO TEÓRICO.

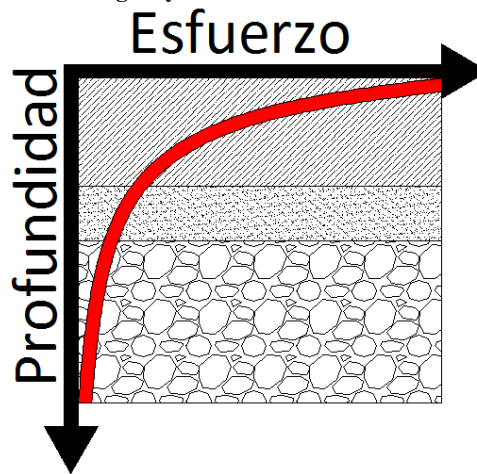
### 1.2.1. Definición de pavimento.

Se le llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben de forma directa las cargas del tránsito y que transmiten estas a los estratos inferiores en menor magnitud, dando así una superficie de rodamiento cómoda y eficiente con la cual realizar el transporte, tanto de personas, como de mercancía y otros elementos que necesiten un espacio en el cual desplazarse.

Las condiciones necesarias para que el pavimento tenga un funcionamiento adecuado están relacionadas a la anchura, al largo y a los espesores, una resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos de esta, además de una adherencia eficaz entre las llantas del vehículo y el pavimento, aun estando en condiciones saturadas, deberá presentar una resistencia a los esfuerzos destructivos del tránsito a la cual se va a diseñar, como también a agentes externos como la intemperie y el agua. Debe, además, poseer una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas en los usuarios que utilicen estas vías.

En un análisis rápido de los esfuerzos en un pavimento con respecto a la profundidad, se nota que los esfuerzos de estos decrecen al aumentar la profundidad de la capa de rodadura como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Estructura del pavimento rígido y distribución de esfuerzos con relación a la profundidad.

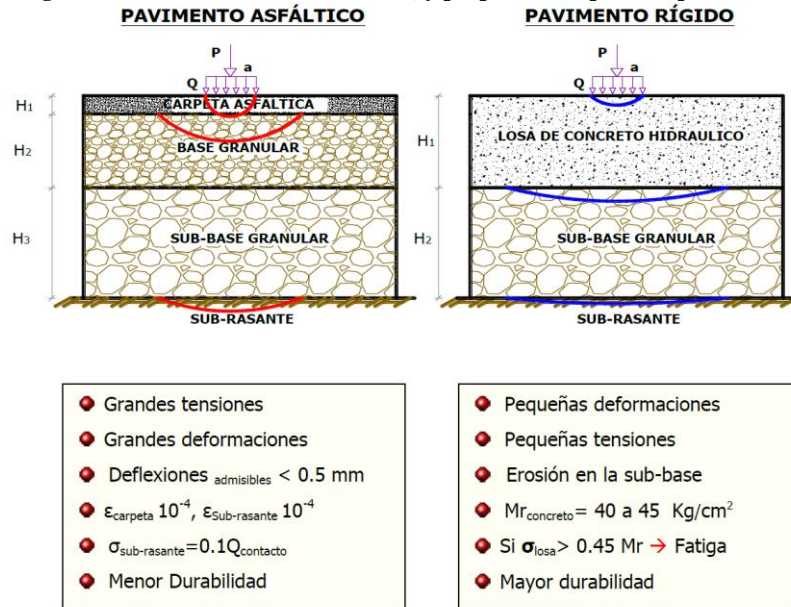


Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, INVIAS.



Cabe diferenciar que en el pavimento rígido, el concreto absorbe una gran parte de los esfuerzos que las ruedas y el peso de los vehículos ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible el esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores (base, sub-base y subrasante), las distribuciones de carga y las características típicas de los pavimentos rígidos y flexibles como se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Características estructurales, y propiedades típicas de pavimentos.



Fuente: Torres Ortega, Ramón (Diapositivas).

Los elementos constituyentes de los pavimentos rígidos, básicamente son la subrasante, la sub-base y la carpeta de rodadura o losa de concreto.

La sub-rasante y la sub-base, son las capas de terreno o terrenos de fundación sobre el cual se construye una carretera, la cual soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

La capa de rodadura, como su nombre lo dice, es la capa superior de la estructura del pavimento, por lo tanto es la que recibe las cargas directamente del tránsito. Estos pavimentos están sujetos a una serie de esfuerzos, por lo que se hace necesario que estos cumplan de forma satisfactoria y económica la vida útil que de ellos se espera, el diseño de esta se basa principalmente por los siguientes factores:



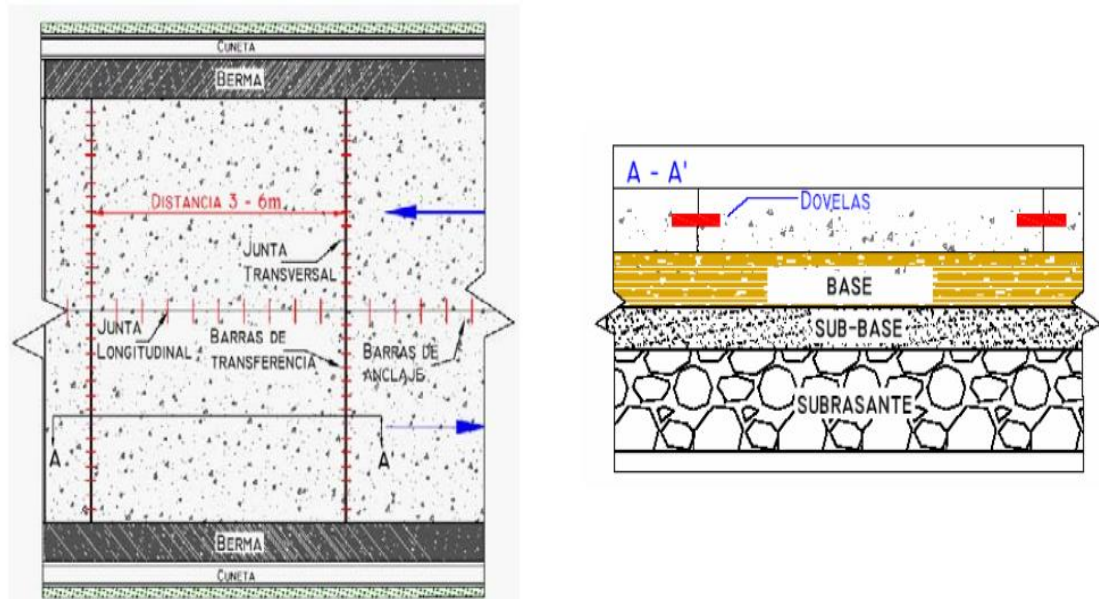
- Volumen, tipo y peso del tránsito a servir.
- Valor relativo de soporte y características de la subrasante.
- Características meteorológicas de la zona
- Resistencia y calidad del concreto que va a ser empleado.

### 1.2.2. Tipos de pavimentos rígidos.

#### - Losas de concreto simple

Este sistema utiliza losas de concreto sin refuerzo. Las juntas de contracción transversal son el general construidas a intervalos entre 3 y 6 m (ver Figura 4), con el fin de controlar la figuración de las losas. Dependiendo del diseño de las losas, estas se pueden unir mediante dovelas o barras de transferencias colocadas en las juntas transversales, asegurando la transferencia de carga entre estas; además se colocan barras de anclaje en las juntas longitudinales, en dirección perpendicular al eje de la vía.

Figura 4. Descripción de una losa de concreto simple.



a. Vista en planta

b. Vista en perfil (Sección A-A')

Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, INVIAS.





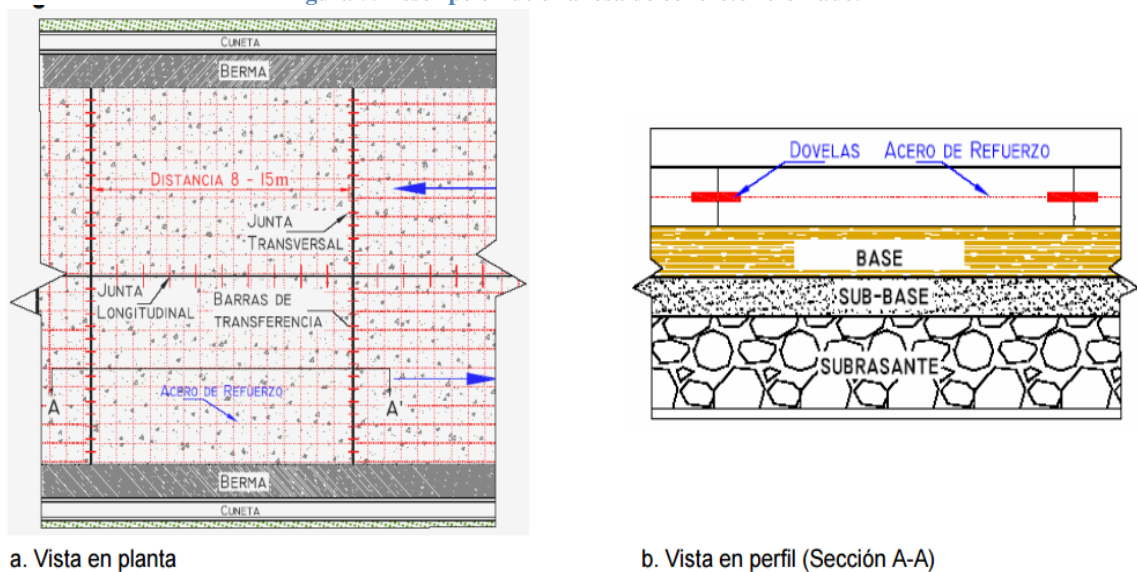
Las características esenciales para este tipo de pavimento es el control de fisuras, que se hace por medio de las juntas de contracción transversal, y longitudinal, estas juntas, obedecen a una relación de esbeltez, mediante la cual se estima que las juntas transversales deben construirse como máximo 1,25 veces el ancho de la losa; asimismo, las juntas longitudinales deben ser construidas si el ancho de la calzada tiene una longitud mayor 25 veces el espesor de la losa.

La transferencia de cargas se hace por trabazón de agregados, si la vía es de bajo volumen de tránsito, sin embargo, se recomienda sistema de dovelas cuando los volúmenes de tránsito son elevados.

- **Losas de concreto reforzado.**

Debido a que el espaciamiento de las juntas transversales es mayor que el de las losas de concreto simple, con rangos típicos entre los 7 y los 15 metros, este sistema utiliza juntas de contracción y adicionalmente aceros de refuerzo para controlar la fisuración de las losas (ver Figura 5). Las dovelas son usadas en las juntas transversales para asegurar la transferencia de cargas entre las losas.

Figura 5. Descripción de una losa de concreto reforzado.



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, INVIAS.



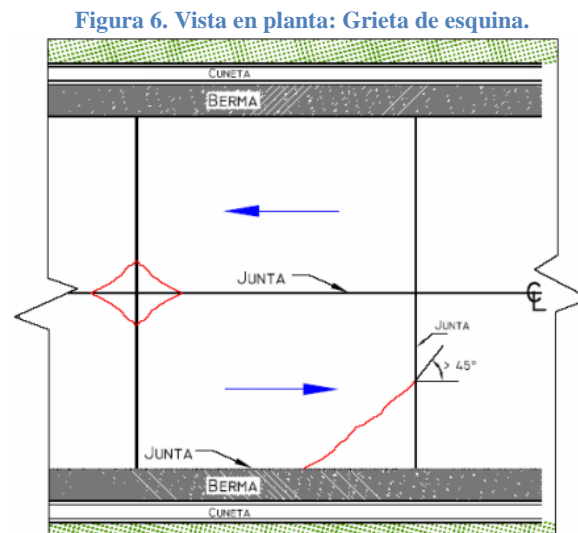
### 1.2.3. Tipo de grietas en los pavimentos rígidos.

Por motivo de aclaración se dice que las grietas con anchos menores a los 0.03 milímetros son denominadas fisuras. Las grietas son las discontinuidades y fracturas que afectan las losas de concreto. Existen varios tipos de fisuras como son:

- **Grietas de esquina (GE).**

Este tipo de deterioro genera un bloque de forma triangular en la losa, se presenta generalmente al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor a  $45^\circ$ , con respecto a la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre los 0.3 m y la mitad del ancho de la losa. (Ver Figura 6). Este tipo de daño se presenta en losas de concreto simple y losas de concreto reforzado.

Las principales causas de la formación de grietas de esquina son el asentamiento de la base y/o la subrasante, la falta de apoyo de la losa, producto de la erosión de la base, el alabeo térmico. La sobrecarga en las esquinas y la deficiente transmisión de cargas entre las losas adyacentes. La evolución probable de este daño se traduce al incremento de los escalonamientos y la producción de fracturas múltiples en la losa.



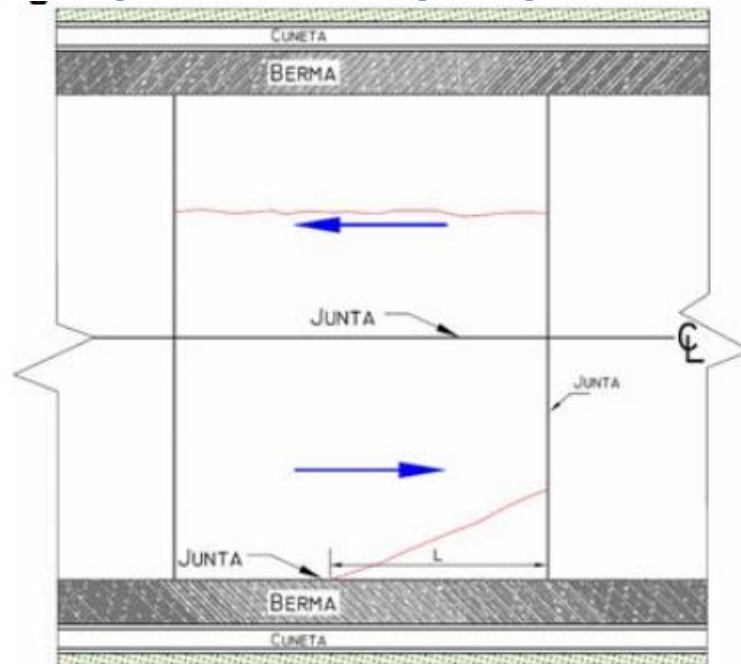
Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, INVIAS.



- **Grietas longitudinales (GL).**

Son grietas predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde la junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia ( $L$ ) mucho mayor que la mitad de la longitud de la losa (ver Figura 7), este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Figura 7. Características de las grietas longitudinales.



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, INVIAS.

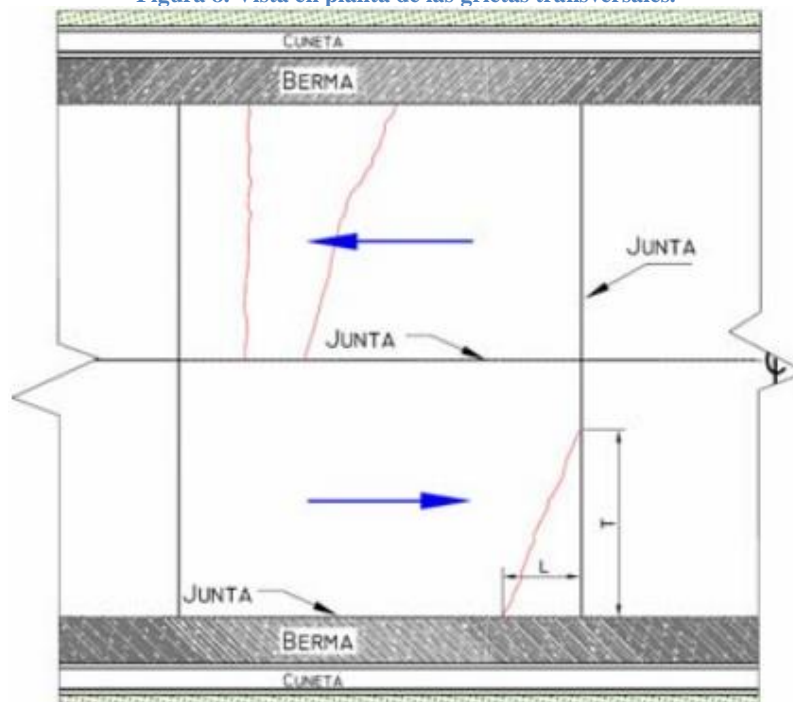
Las principales causas de las grietas longitudinales son el asentamiento de la base y/o la subrasante, la falta de apoyo de la losa, originado por la erosión de la base, por alabeo térmico, si la losa posee ancho excesivo, como es el caso de la modulación de losa en el sentido transversal al flujo, por la carencia de junta longitudinal, el mal posicionamiento de las dovelas y/o las barras de anclaje, por aserrado tardío de la junta y por la contracción propia del concreto. Estas fallas al igual que las grietas de esquina, pueden convertirse en incremento de los escalonamientos y también en fracturas múltiples en la losa.



- **Grietas transversales (GT).**

Son grietas que se presentan perpendiculares al eje de circulación de la vía (ver Figura 8). Pueden extenderse desde la junta transversal hasta la junta longitudinal, siempre y cuando la intersección con la junta transversal esté a una distancia del borde (T) mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con la junta longitudinal se encuentra a una distancia inferior que la mitad del largo de la losa (L). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Figura 8. Vista en planta de las grietas transversales.



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, INVIAS.

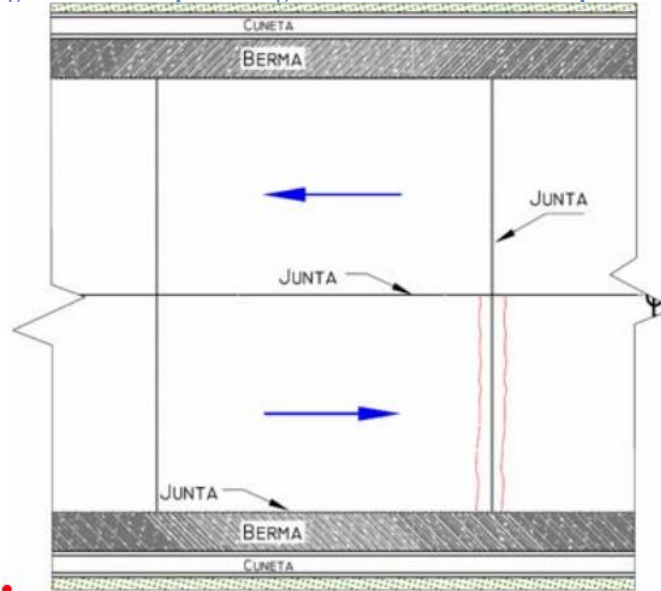
Las principales causas de las grietas transversales son el asentamiento de la base o la subrasante, la longitud excesiva de las losas. El aserrado o formación tardía de las juntas de contracción, el espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones, o las cargas excesivas en el pavimento, el problema de drenaje y el gradiente térmico que origina alabeo. El daño con mayor probabilidad de aparición, como consecuencia de la evolución de las grietas transversales son las grietas en bloque y el escalonamiento por la entrada de agua.



- **Grietas en los extremos de los pasadores (GP).**

Cercana al extremo de los pasadores o dovelas. Pueden ser ocasionadas por la mala ubicación de los pasadores o por su movimiento durante el proceso constructivo, la aparición de estas grietas son transversales si ocurren por mala colocación de las dovelas de transferencia (ver Figura 9), y longitudinalmente, si hay errores en la colocación de los aceros de amarre. Este tipo de daño se presenta en losas de concreto simple y losas de concreto reforzado.

Figura 9. Vista en planta de grietas de los extremos de los pasadores.



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, INVIAS.

Las principales causas de las grietas en los extremos de los pasadores se deben a la mala ubicación de los pasadores, por la corrosión o desalineamiento de los pasadores, o por movimientos durante el proceso constructivo, también por causas geométricas como el diámetro de las barras al ser muy pequeño o de tránsito cuando el flujo es muy elevado. Con el tiempo en estas grietas se pueden generar escalonamientos y/o agrietamiento en bloque.

Se debe tener en cuenta la diferencia entre las grietas por pasadores y las grietas transversales por esfuerzo, las grietas en los extremos no se debe directamente a los sobre esfuerzos por alabeos o cargas de tránsito, estas se ven principalmente ligadas a la mala colocación de las dovelas de transferencia de carga, por lo que se separan de las grietas transversales.



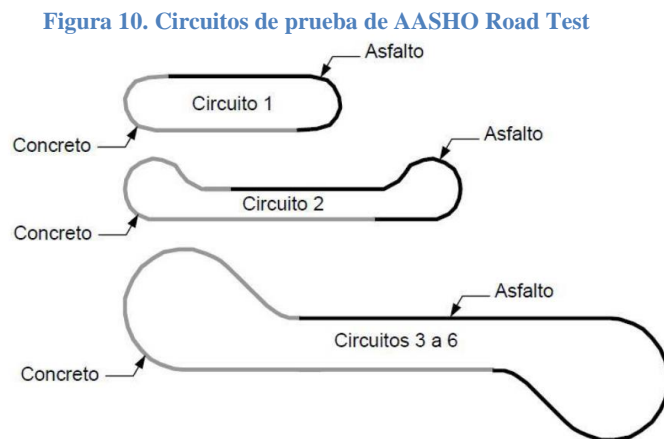
## 1.2.4. Método AASHTO para dimensionamiento de pavimentos rígidos.

### 1.2.4.1. Generalidades del método AASHTO

El método de diseño para las estructuras del pavimento que propone la asociación, ya sea en pavimentos flexibles o rígidos, están basados en la información y en datos empíricos, obtenidos de la prueba de AASHTO Road Test, que fue llevada a cabo durante el periodo de 1958 y 1960 en Ottawa Illinois, “el objetivo principal de esta prueba fue determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre ellas que pudieren ser usadas en el desarrollo de criterios y procedimiento de diseño de pavimentos”.

En la prueba AASHTO Road Test se realizaron 6 circuitos de prueba doble carril, cada circuito contaba con la mitad del tramo en pavimento rígido y la otra con pavimento flexible, se experimentaron 836 secciones con cerca de 200 combinaciones diferentes de superficies, bases y sub-bases.

La planeación empezó en 1951, la construcción del proyecto en 1956 y el tráfico controlado se aplicó en octubre de 1958 a noviembre del 1960. Cada circuito consistía de dos carreteras paralelas conectadas en sus extremos por retornos, como se muestra en la Figura 10, cabe mencionar que las secciones de prueba solamente estaban localizadas en los tramos en tangente del circuito.



Fuente: (SÁNCHEZ CAMPOS, 2014)



La publicación de la AASHTO edición 1998 es una guía suplementaria de la guía para diseño de pavimentos proporcionado por la AASHTO de la edición 1993, contiene un procedimiento alternativo para diseño de pavimentos rígidos y diseño de juntas, correspondientes a las secciones 3.2 y 3.3 de la parte II de la edición 1993, en esta edición de la guía se incorporan factores como la relación de Poisson, características de la sub-base, condiciones climáticas de la zona y cambios en la determinación del módulo de reacción de la subrasante, (K), así como también un procedimiento para verificar la aparición de fallas en las juntas, como el escalonamiento de las losas del pavimento.

En el año 2004 la AASHTO publicó la guía Mecanicista-Empírica edición 2002, la cual incorpora entre otros las propiedades significativas del comportamiento de los materiales en el procedimiento de diseño, esta guía supera algunas de las deficiencias que tenían las anteriores publicaciones de la guía AASHTO con lo que respecta a: El incremento del tráfico y su caracterización (configuración de ejes, tipo y presión de neumáticos); Deficiencias climáticas; Deficiencias de construcción; Deficiencias de desempeño (falla de juntas, grietas por temperatura, etc.); Deficiencias de confiabilidad, en la actualidad se diseña para cantidades de tráfico mucho mayores a los de décadas anteriores, por lo que al multiplicarlos por valores grandes, como los que resultan de los procedimientos de ediciones previas, los espesores de los pavimentos resultarían sobre diseñados.

Esta guía también incluye tecnología que considera directamente el comportamiento de los materiales a usar durante la vida útil y una relación directa entre construcción y especificaciones de los materiales y estructura de pavimento

#### **1.2.4.2. Factores de diseño en el método AASHTO 93**

La realización de múltiples ensayos en el ASSHO Roas Test, a base de conocimiento empírico, se propone en la guía de ASSHTO 93 la fórmula para el diseño del espesor de la losa de pavimento rígido, como se muestra en la ecuación 2.1.



$$\text{Log}(N) = Z_r \times S_0 + 7.35 \text{Log}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \text{Log}\left(\frac{S_c \cdot C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/K)^{0.25}}\right)}\right) \quad \text{Ec. 2.1}$$

Dónde:

N= Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño.

$Z_r$ = Desviación normal estándar.

$S_0$ = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D= Espesor del pavimento, en pulgadas.

$\Delta \text{PSI}$ = Diferencia entre los índices de serviciabilidad inicial y final.

$P_t$ = Índice de serviciabilidad o servicio final.

$M_r$ = resistencia media del concreto, en PSI.

$C_d$ = Coeficiente de drenaje.

J= Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas

$E_c$ = Modulo de elasticidad del concreto, en PSI.

K= Modulo de reacción, dado en PCI de la sub-base, en la que se apoya el pavimento de concreto

La guía de AASTHO sugiere que la ecuación anterior sea solucionada por medio de un nomograma, con el cual se obtiene directamente el espesor de la capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido. Actualmente existen muchas herramientas computacionales para el diseño de pavimentos, como el WinPAS, desarrollado por la ACPA hecho especialmente para el método AASHTO 93 y el DARwin Desarrollado por la AASTHO.

Las variables utilizadas en la ecuación dependen de ciertos factores ambientales, estructurales y funcionales del pavimento, la forma de dimensionar las variables se muestra a continuación.





- a) **Espesor. (D):** Es la variable objeto de investigación de la ecuación al realizar un diseño estructural de un pavimento rígido, el valor de D, define solamente al espesor de la capa de concreto hidráulico que se coloca sobre la sub-base.
- b) **Trafico. (N):** los resultados obtenidos de la AASHO Road Test demostraron que el efecto dañino del paso de un eje de cualquier peso, puede ser representado por un numero de repeticiones de cargas, equivalentes a un eje de 8.2 toneladas (ESAL's), aplicadas en el carril diseñado durante el tiempo de diseño del pavimento. Esta simplificación se realizó debido a que en la época de estudio del AASHO Road Test, a comienzos del 1960, era más sencillo utilizar solo un número para representar toda la carga de tránsito, en las ecuaciones dadas para predecir la vida del pavimento.

El tráfico es una de las variables más relevantes del diseño de los pavimentos, y es una de la que más fluctuaciones presenta al momento de calcular, normalmente su determinación se hace por medio de estudios estadísticos y de regresión. La guía AASHTO 93 propone el uso de niveles de confiabilidad, los cuales contemplan las incertidumbres en la predicción de los niveles de tráfico y el comportamiento.

Las categorías de tráfico deben convertirse en ESAL's por medio de la ecuación 2.2.

$$ESAL's = \sum (N^{\circ} \text{ vehiculos de la categoria} \times F_{sentido} \times F_{carril} \times F_{eje}) \text{Ec. 2.2.}$$

Donde  $F_{sentido}$  es el porcentaje de vehículos que circulan en el sentido;  $F_{carril}$  es el porcentaje de vehículos que circulan por el carril en el sentido;  $F_{eje}$  corresponde al factor de equivalencia del vehículo, este último, convierte los pesos según cada eje de los vehículos a pesos normalizados de 8.2 toneladas, considerando el daño que causa el paso de un eje estándar.

- c) **Coeficiente de confiabilidad. (R) y error estándar (S0):** La confiabilidad es la probabilidad que la serviciabilidad o desempeño del pavimento se mantenga en los niveles adecuados para las cargas del tráfico y otras condiciones, así como también se mantengan en niveles adecuados desde el punto de vista del usuario durante el periodo de diseño. La confiabilidad



depende de diversas circunstancias que intervienen en su elección, como lo es la incertidumbre del volumen de tráfico en los incrementos que pudiesen surgir en el periodo para el cual se diseña una vía. La guía AASTHO 93 estima un rango de confiabilidades recomendadas, dependiendo la clasificación funcional de la vía y también depende si la vía a ser construida se encuentra en el casco urbano o rural, los rangos de confiabilidad se muestran en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Confiabilidad recomendada por guía AASTHO 93.**

CONFIABILIDAD RECOMENDADA POR AASHTO 93.		
CLASIFICACION FUNCIONAL	URBANO	RURAL
Autopistas	85%-99%	80%-99%
Arterias Principales	80%-99%	75%-99%
Colectoras	80%-95%	75%-95%
Locales	50%-80%	50%-80%

Fuente: AASTHO, 1993.

Luego de decidido el valor de la confiabilidad, calcula el valor de la desviación estándar que corresponde al punto en el cual, el área bajo la curva en la campana da gauss a la derecha de este, corresponde el porcentaje de confiabilidad escogido, para facilitar los cálculos de estos valores, la guía AASHTO 93 propone los valores de estas desviaciones estándar, como se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Valores de desviación normal estándar (Zr)**

Confiabilidad R (porcentaje)	Desviación Normal Estándar, Zr
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751



97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3-750

Fuente: AASTHO, 1993

El error estándar combinado ( $S_0$ ) está ligada íntimamente a las condiciones locales, y otros factores que afectan el comportamiento normal del pavimento, tales como las incertidumbres en el tránsito, medio ambiente, materiales de construcción, y otros factores. Se debe emplear un valor del error estándar entre 0,30 y 0,40 para los pavimentos rígidos, según las recomendaciones de la guía AASTHO 93. Sin embargo, se recomienda que el error estándar sea de 0,34 si la variación en la predicción del comportamiento no contempla que haya errores en el tránsito, y de 0,39 si se contempla que haya errores en el tránsito.

**d) Módulo de reacción de la subrasante-(sub-base). (k):** El módulo de reacción de la subrasante-(sub-base), es la constante elástica que relaciona el esfuerzo aplicado con respecto a su deformación, El objetivo de este parámetro es el de reemplazar una masa de suelo por resortes elásticos equivalentes, con el valor de una constante (k), lo que realmente es una conveniencia matemática que facilita los cálculos de esfuerzos y deformaciones en las interfaces estructura-suelo, puesto que las deformaciones se hacen directamente proporcionales a los esfuerzos aplicados. (Escuela Colombiana de Ingeniería, 1993)

El valor de k depende en gran parte, del tipo de material que se encuentra en la sub-base y en la subrasante, pero también dependerá, de otro factor importante que es el espesor de la losa de concreto. Otro factor que juega un papel importante es la pérdida de soporte del conjunto, lo cual indica la pérdida de apoyo de las losas debido a los asentamientos de la subrasante o la erosionabilidad de la sub-base, la cual actúa en la reducción del módulo de reacción de la Subrasante. La guía AASTHO establece unas correlaciones para hallar el módulo de reacción de la subrasante, dependiendo del CBR como se muestra en la Figura 11; Sin embargo, se puede estimar el valor del módulo de reacción de la sub-base final, si la base es granular, por interpolación o extrapolación a partir del Cuadro 3.

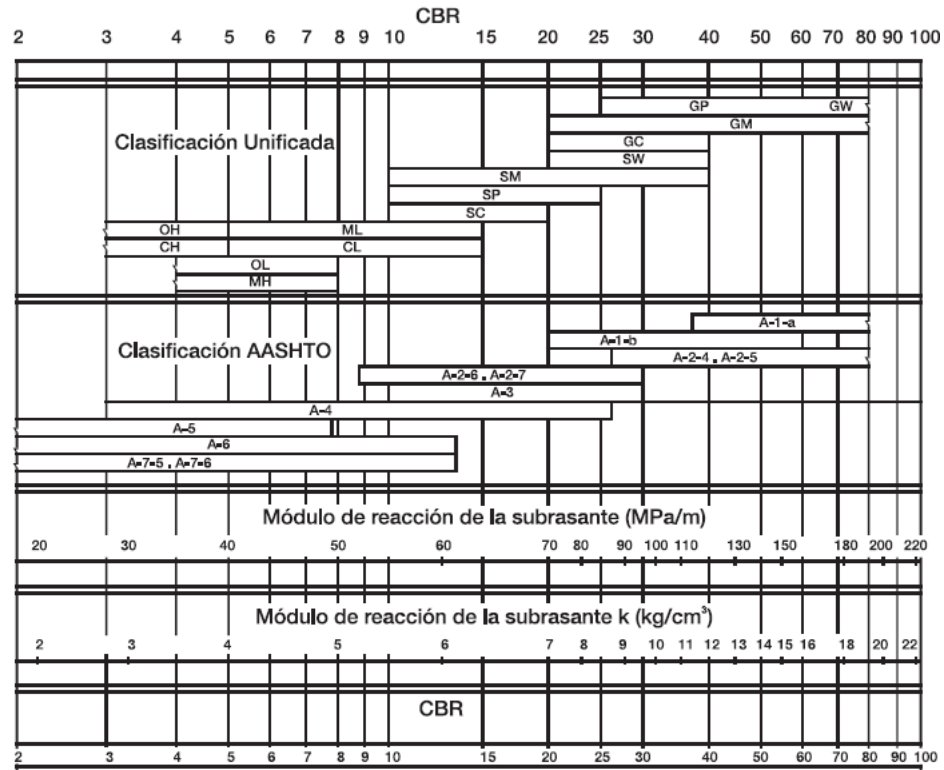


**Cuadro 3. Valor de k para la base respecto al valor de k para la subrasante.**

Valor de k para la subrasante	Valor de k para la base			
	100 mm	150 mm	225 mm	300 mm
MPa/m	MPa/m	MPa/m	MPa/m	MPa/m
20	23	26	32	38
40	45	49	57	66
60	64	66	76	90
80	87	90	100	117

Fuente: documentos entregados por director.

**Figura 11. Relación Entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y k**



Fuente: (AASHTO, 1993)

- e) **Perdida de serviciabilidad. ( $\Delta PSI = P_0 - P_t$ ):** A serviciabilidad se refiere la capacidad del que tiene la estructura del pavimento, para funcionar de manera adecuada, ante todo tipo de tráfico vehicular en la vía, esta serviciabilidad, se mide en escala de cero al cinco, en la cual cero, significa que la vía se encuentra en estado deplorable y sin posibilidad de transito alguna, y cinco, significa que la vía se encuentra en las máximas condiciones de movilidad.



La serviciabilidad inicial  $P_0$  es la condición que tiene el pavimento inmediatamente después de la construcción de éste, la guía AASTHO 93 sugiere que para pavimentos rígidos, la serviciabilidad inicial sea de 4,5, y para pavimentos flexibles de 4,2. La serviciabilidad final  $P_t$  está relacionada con la condición que se espera que tenga el pavimento al final de su vida útil, asimismo, la guía AASTHO recomienda unos valores dependiendo de la importancia de la vía, como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Valores de  $P_t$  Recomendadas por AASTHO

TIPO DE VIA	S. FINAL $P_t$
Autopistas	2,5 a 3,0
Carreteras	2,0 a 2,5
Z. Industrial	2,0 a 3,0
Urbano Principal	1,5 a 2,0
Urbano Secundario	1,5 a 2,0

Fuente: (AASTHO, 1993), editada.

Teniendo el valor de la serviciabilidad inicial, y el valor de la serviciabilidad final, se puede calcular muy fácilmente el valor de  $\Delta PSI$  haciendo la resta entre estos dos valores.

- f) **Módulo de elasticidad y de ruptura. ( $E_c$  y  $M_r$ ):** El módulo de elasticidad se define como la relación que existe entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria axial a la carga aplicada, es decir que es la pendiente de la línea definida por dos puntos de la curva esfuerzo-deformación, dentro del régimen elástico. El valor del módulo de elasticidad, puede ser estimado, según la AASTHO, en función del esfuerzo a compresión ( $F'_c$ ) a una edad de 28 días, mediante la ecuación 2.3 que sugiere la American Concrete Institute (ACI).

$$E_c = 57\,000 \times F'_c{}^{0,5} \text{ (PSI)} \quad \text{Ec. 2.3}$$

En los pavimentos de concreto las cargas generan principalmente esfuerzos a tensión, por lo que es recomendable que la especificación de su resistencia sea acorde con esto, la resistencia del concreto trabajando a flexión, se le conoce como resistencia a la flexión por tensión, o módulo de ruptura ( $M_r$ ) normalmente especificada a los 28 días.

El módulo de ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto, aplicándoles carga a los tercios de su luz; esta prueba es estandarizada por la ASTM C78. Existe una prueba



similar con la aplicación de la carga en el centro de la luz, que genera resultados un poco diferentes de resistencia a la tensión (aproximadamente de 15% a 20% mayores) pero esta no es la que considera AASTHO para el diseño de los pavimentos; los valores recomendados de módulo de ruptura, según la AASTHO, se muestran en el Cuadro 5. (CEMEX)

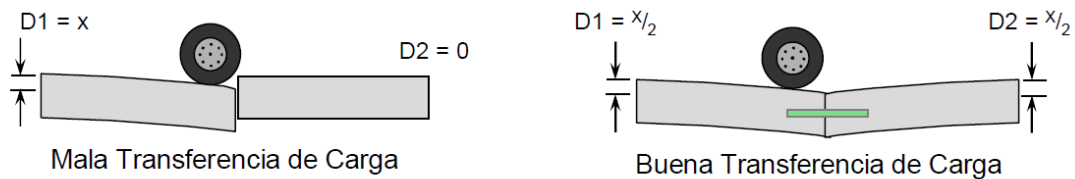
Cuadro 5. Valores de  $M_r$  recomendados.

TIPO DE PAVTO	M. RUPTURA MPa
Autopistas	4,8
Carreteras	4,8
Z. Industrial	4,5
Urbano Ppal.	4,5
Urbano Sdrio.	4,2

Fuente: (AASTHO, 1993)

- g) **Coefficiente de transferencia de cargas. (J):** La transferencia de carga, es la capacidad de una losa de transmitir su carga a una losa vecina, con el objetivo de disminuir los esfuerzos generados en la propia losa; la transferencia de las cargas se da comúnmente por medio de una serie de barras lisas, colocadas en el sentido longitudinal al flujo vehicular principal, aunque también hay otros métodos de transferencia de carga, como lo es el método de trabazón de agregado, las características de la transferencia de las cargas se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Esquema de transferencia de cargas por medio de barras.



Fuente: Adaptado del Instituto de cemento portland Argentino ICPA

El coeficiente de transferencia de carga (J) es un factor usado en pavimentos para tener en cuenta la capacidad de la estructura de éste, para transferir fuerzas cortantes a sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar los esfuerzos y deformaciones en la estructura. El valor de este coeficiente, depende de factores tales como el tipo de pavimento, ya sea en masa, armado con juntas, armadura continua, depende también de la existencia o no de



dispositivos de transmisión de cargas, tales como pasadores, armaduras en los pavimentos armados continuos, entre otros, y del tipo de acotamiento, como concreto cosido al pavimento, o flexible. En función de estos parámetros se calcula los valores del coeficiente J, como se muestran en el Cuadro 6. (Universidad de Sonora)

**Cuadro 6. Valores del coeficiente J de transmisión de cargas.**

Tipo de berma	Concreto Asfáltico		Vinculado a calzada	
Mecanismo de transferencia	SI	NO	SI	NO
Concreto simple o armado con juntas	3,2	3,8 a 4,4	2,5 a 3,1	3,6 a 4,2
Concreto armado continuo	2,9 a 3,2	---	2,3 a 2,9	---

Fuente: Adaptado de (AASHTO, 1993).

Dentro de los intervalos, se recomienda tomar los valores más altos, cuando menor es el módulo de reacción “K” más elevado se hace el coeficiente de dilatación térmica del concreto y más amplias las variaciones de temperatura, sin embargo, en los casos de carreteras de poco tráfico soportando un número reducido de camiones puede tomarse el valor más bajo de J, puesto que entonces habrá menos pérdida del efecto de engranaje entre los agregados. (Universidad de Sonora)

**h) Coeficiente de drenaje. (Cd):** El coeficiente de drenaje, Fue incorporado en la guía AASTHO, para el diseño de los pavimentos debido a los efectos que el drenaje tiene en el desempeño de la estructura, a lo largo de su vida útil, tales como el efecto de la humedad en la resistencia de la subrasante y de la erosionabilidad en la sub-base.

La calidad del drenaje considera de excelente a muy pobre dependiendo del tiempo para la remoción del agua en la estructura, como se muestra en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Calidad del drenaje en la estructura de pavimento.**

CALIDAD DEL DRENAJE	EVACUACIÓN DEL AGUA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	No hay drenaje

Fuente: (AASHTO, 1993).



Teniendo en cuenta la calidad del drenaje, la guía AASTHO, sugiere valores del coeficiente de drenaje, dependiendo netamente de la calidad del drenaje que se tenga en la vía, y del porcentaje de tiempo en el que el pavimento se encuentra expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, dichos valores del coeficiente Cd, se recopilan en el Cuadro 8.

**Cuadro 8. Coeficiente de drenaje para pavimentos.**

CALIDAD DE DRENAJE	EXPOSICION A NIVELES DE SATURACION			
	< 1%	1% a 5%	5% a 25%	>25%
EXCELENTE	1,25 a 1,20	1,20 a 1,15	1,15 a 1,10	1,10
BUENO	1,20 a 1,15	1,15 a 1,10	1,10 a 1,00	1,00
REGULAR	1,15 a 1,10	1,10 a 1,00	1,00 a 0,90	0,90
Malo	1,10 a 1,00	1,00 a 0,90	0,90 a 0,80	0,80
Muy malo	1,00 a 0,90	0,90 a 0,80	0,80 a 0,70	0,70

Fuente: (AASTHO, 1993).

### 1.2.5. Esfuerzos en los pavimentos rígidos.

**1.2.5.1. Esfuerzos por cambios de temperatura:** Los pavimentos, al estar expuestos constantemente a la intemperie, presenta cambios de temperatura en diferentes etapas del día, este ciclo térmico, genera un gradiente térmico en la losa, que a su vez, produce un alabeo en esta. El peso propio de la estructura y el contacto con la superficie de apoyo, restringen el movimiento normal, entonces se generan esfuerzos. Dependiendo de la hora del día, estos esfuerzos se pueden sumar o restar de los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito; cuando la temperatura en la superficie es superior que en la base de la losa, las fibras superiores al eje neutro se dilatan, mientras que las fibras inferiores se contraen, haciendo así, que la losa se vuelva a un plano convexo, caso contrario ocurre cuando la temperatura inferior es superior a la de la superficie, que se forma un plano cóncavo en la losa, como se muestra en la Figura 13.

Otra explicación de los esfuerzos debido al alabeo puede ser hecha por la teoría de losa sobre una fundación líquida (Winkler). Las fundaciones líquidas se caracterizan por comportarse como una serie de resortes anexos a las losas. Cuando la temperatura en la superficie es más alta que en el inferior, la losa se curva hacia abajo; en esa posición los resortes de los extremos de la losa están sometidos a compresión y empujan la losa hacia arriba, mientras que los que están dentro de la curvatura están sometidos a tracción, por lo tanto halan la losa. Westergaard

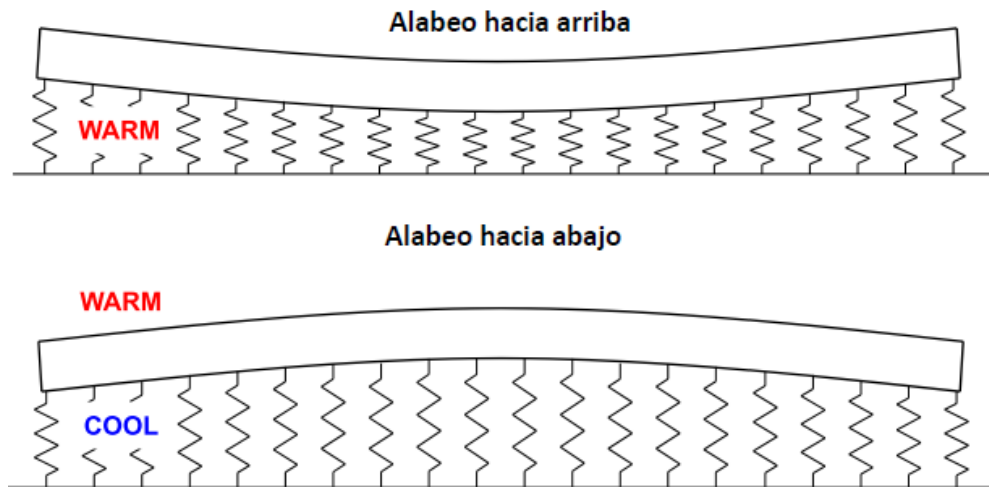




en 1926 desarrolló las ecuaciones para determinar los esfuerzos por alabeo en los pavimentos de concreto, basado en la teoría de losa.

Bradbury en 1938, realizó estudios empíricos a las ecuaciones de Westergaard y añadió a las ecuaciones, correcciones, en resumen las ecuaciones corregidas de Bradbury se muestran en las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.6.

Figura 13. Curvatura debido al gradiente de temperatura.



Fuente: (SÁNCHEZ CAMPOS, 2014)

$$\text{Borde de la losa} \rightarrow \sigma_b = \frac{C \alpha E \Delta t}{2} \text{Ec. 2.4}$$

$$\text{Interior de la losa} \rightarrow \sigma_i = \frac{E \alpha \Delta t}{2} \left[ \frac{C_1 + \mu C_2}{1 - \mu^2} \right] \text{Ec. 2.5}$$

$$\text{Esquina de la losa} \rightarrow \sigma_e = \frac{E \alpha \Delta t}{3x(1-\mu)} \left( \sqrt{\frac{a}{l}} \right) \text{Ec. 2.6}$$

Dónde:

$\sigma_b, \sigma_i$  y  $\sigma_e$ , corresponden a los esfuerzos de borde, interior y esquina.

E, Modulo elástico del concreto.

$\alpha$ , coeficiente de dilatación térmica del concreto ( $5 \times 10^{-6}/^\circ\text{F}$ ).

$\Delta t$ , Diferencia de temperatura entre las dos caras de la losa.

C, Factor de corrección, depende de longitud de la losa y radio de rigidez relativa



$C_1$ , Coeficiente de corrección en la dirección en la cual se calcula el esfuerzo

$C_2$ , Coeficiente de corrección en la dirección perpendicular a  $C_1$

$\mu$ , Relación de Poisson del concreto (0,15 normalmente)

$a$ , Radio del área cargada en el borde de la losa.

$l$ , Radio de rigidez relativa.

Los valores de  $C$  son directamente proporcionales al módulo de reacción del soporte ( $k$ ), los esfuerzos por alabeo aumentan a medida que es más rígida la base, puesto que no puede asumir la forma que toma el pavimento; los valores de  $C$  también son directamente proporcionales a la longitud de la losa, por ende, a mayor longitud de la losa, los esfuerzos por alabeo térmico van a ser mayores.

Bradbury, basado en el análisis de Westergaard, desarrolló una carta simple para determinar los valores de las constantes  $C$ , dependiendo del factor  $L/l$ , siendo  $L$  la longitud de la losa en la dirección de análisis, y  $l$  el radio de rigidez relativa (stiffness), que se define como se muestra en la ecuación 2.7.

$$l = \sqrt[4]{\frac{E x h^3}{12(1-\mu^2)k}}; \text{ Ec. 2.7}$$

Donde  $h$  corresponde al espesor de la losa y  $k$  es la constante de reacción de la sub-base.

Se debe tener en cuenta que los esfuerzos por alabeo pueden superar a los producidos por cargas del tránsito; sin embargo, estos esfuerzos no son considerados en el instante de determinar el espesor del pavimento, debido a que para consideraciones de diseño, las juntas y el acero son empleadas para aliviar o disminuir los esfuerzos por alabeos, y el espesor se determina con base a las cargas del tránsito.

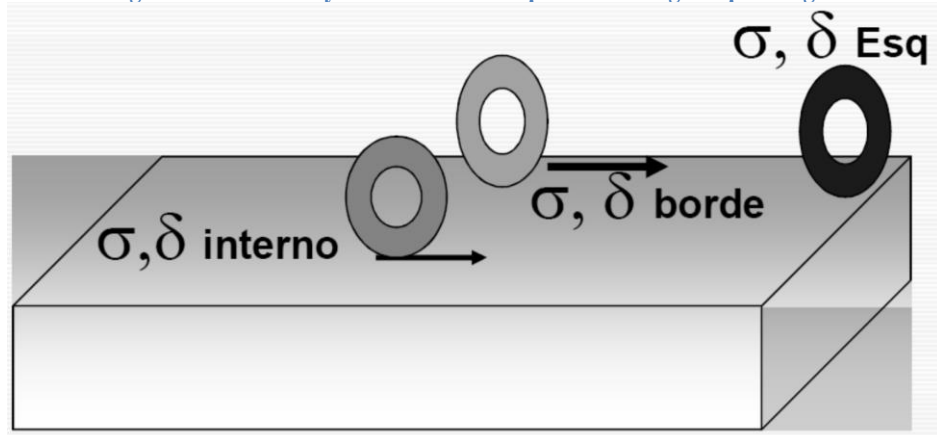
### **1.2.5.2.Esfuerzos debido a cargas de tránsito.**

Los vehículos, al igual que la temperatura, generan esfuerzos, las cargas del tránsito, pueden generar esfuerzos tan grandes que pueden fracturar la losa con el paso de solo una carga lo suficientemente pesada, en la misma losa, pueden generarse diferentes tipos de esfuerzos,



dependiendo de la localización de la carga en la losa; para efectos de cálculos, se tienen en cuenta las localizaciones críticas de las cargas, que generan los esfuerzos críticos en la estructura, el esfuerzo en el interior, ocurre cuando la carga es aplicada en el interior de la superficie de la losa, alejada de los bordes, el esfuerzo de borde, ocurre cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa, alejada de las esquinas y el esfuerzo de esquina, ocurre cuando el centro de la carga está en la bisectriz del ángulo de la esquina, la localización de los esfuerzos, se muestran en la Figura 14.

Figura 14. Esfuerzos y deformaciones en pavimentos rígidos por cargas.



Fuente: Adaptada de documentos entregados por director de tesis.

Las formulas originalmente desarrolladas por Westergaard pueden ser aplicadas solamente por una carga de una llanta simple con un área de influencia circular, semicircular, elíptica o semi-elíptica; este método puede ser aplicado solamente para una losa larga y con una fundación liquida, la base liquida asume la función de la subrasante que pasa a ser un conjunto de resortes. Si las cargas son aplicadas para losas múltiples sobre una fundación liquida, solida o fundación de capas con transferencia de carga a través de juntas, podría ser usado el método de elementos finitos. (SÁNCHEZ CAMPOS, 2014)

Westergaard con sus respectivos ensayos de campo y demostraciones empíricas, desarrolló, por método de aproximaciones sucesivas, las fórmulas de los tipos de esfuerzos en las localizaciones críticas, es decir los esfuerzos de borde, interior o centro, y de esquina, como se puede ver en las ecuaciones 2.8, 2.9 y 2.10.



$$\text{Borde} \rightarrow \sigma_b = \frac{0,572 \times P}{h^2} \left[ 4 \text{Log} \left( \frac{l}{b} \right) + 0,359 \right] \text{Ec. 2.8}$$

$$\text{Interior} \rightarrow \sigma_i = \frac{0,316 \times P}{h^2} \left[ 4 \text{Log} \left( \frac{l}{b} \right) + 1,069 \right] \text{Ec. 2.9}$$

$$\text{Esquina} \rightarrow \sigma_b = \frac{3 \times P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0,6} \right] \text{Ec. 2.10}$$

Dónde:

$\sigma_i, \sigma_b, \sigma_e$  corresponden a esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas

P = carga por rueda,

h = espesor de la losa

a = radio del área cargada

l = Radio de rigidez relativa

b = Radio de la sección resistente

b = a, cuando  $a \geq 1,724$

b =  $(1,6a^2 + h^2)^{0,5} - 0,675h$  cuando  $a \leq 1,724$

Las cargas de interior y de borde, generan tensiones en el fondo de la losa, mientras que las cargas en las esquinas, generan esfuerzos de tensión en la parte superior de la losa; la presencia del término  $h^2$  en el denominador de las tres ecuaciones de esfuerzo, sugiere que los espesores de la losa es crítico en la reducción de esfuerzos por carga a niveles aceptables; se debe tener en cuenta que las ecuaciones anteriormente mencionadas de esfuerzo están dadas para una relación de Poisson de concreto de 0,15, que es el valor estándar del material.

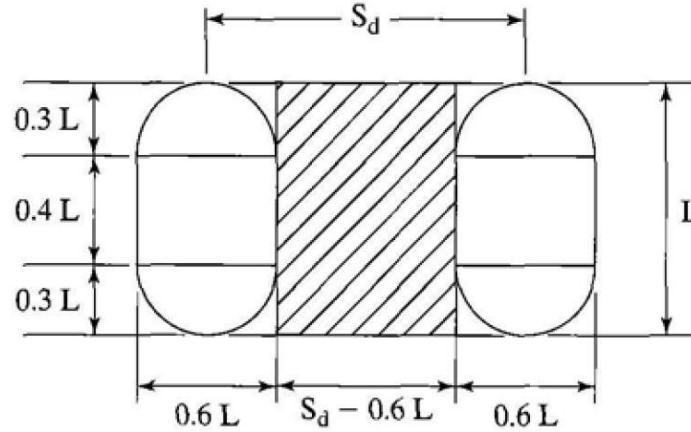
Las ecuaciones de Westergaard están estandarizadas para un área de contacto totalmente circular, por lo tanto debe corregirse el valor del área, cuando se analizan cargas a través de llantas duales.

Se ha encontrado, que la huella que toma la llanta se compone de una zona cuadrada que adquiere el 40% de la longitud total de la huella, y que en los extremos se forman semicírculos, también está demostrado que se pueden obtener resultados satisfactorios si el



círculo equivalente tiene un área igual al área de contacto de las llantas duales sumado del área entre estas llantas, como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Método para convertir llantas duales en área circular.



Fuente: (SÁNCHEZ CAMPOS, 2014)

Si  $P_d$  es la carga aplicada sobre una llanta, y que  $q$  es la presión de contacto entre las llantas y el pavimento, se demuestra el área de cada llanta a través de la ecuación 2.11.

$$\frac{P_d}{q} = (0,3L)^2 \times \pi + (0,4L)(0,6L) = 0,5227L^2 \text{ Ec. 2.11}$$

Despejando  $L$  se tiene que:  $L = \sqrt{\frac{P_d}{0,5227q}} \text{ Ec. 2.12}$

Por tanto igualando el área de un círculo equivalente con el área de las llantas duales y el área entre estas llantas se obtiene la ecuación 2.13.

$$\pi \times a^2 = 2 \times 0,5227L^2 + (S_d - 0,6L)L = 0,4454L^2 + S_d \times L \text{ Ec. 2.13}$$

Sustituyendo la Ec. 2.12 en la Ec. 2.13 se tiene que:

$$\pi \times a^2 = \frac{0,8521P_d}{q} + S_d \times \sqrt{\frac{P_d}{0,5227}} \text{ Ec. 2.14}$$

Finalmente, despejando el radio ( $a$ ) de la ecuación 2.14, se tiene que:



$$a = \sqrt{\frac{0,852 P_d}{q\pi} + \frac{S_d}{\pi} \left(\frac{P_d}{0,522 7q}\right)^{1/2}} \quad \text{Ec. 2.15}$$

Las limitaciones de la ecuación 2.15 es que estas conversiones, solo son aplicables a carga de rueda individual con zona de contacto circular, las ubicaciones de las cargas son fijas, es decir, que las cargas se encuentran en el centro, en el borde o en la esquina, el método es aplicado sólo a grandes losas, se asume un soporte completo de la subrasante y no se tiene en cuenta la transferencia de cargas a través de las juntas.

#### **1.2.6. Cálculo de esfuerzos en los pavimentos por medio del programa EVERFE.**

EverFe 2.25 es una herramienta de análisis de pavimentos rígidos con un mediante la tecnología innovadora de los elementos finitos. EverFE permite al usuario especificar todos los parámetros del problema de manera interactiva, con una retroalimentación inmediata. Una vez que los parámetros han sido configurados y el programa corre a resolverlo de manera inmediata, EverFE permite al usuario ver las deformaciones y los esfuerzos tanto de forma gráfica (a través de wireframes y mapas de colores de esfuerzos) como numéricamente. (University of Washington)

EverFe 2.25., es una herramienta de análisis de elementos finitos tridimensionales fácil de utilizar, para simular las respuestas de los sistemas articulados con juntas en los pavimentos rígidos (JPCP), tanto para los efectos de carga, como los efectos ambientales. (University of Maine)



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación de esbeltez de las losas de pavimento rígido en las calles principales del Barrio Manga de la ciudad de Cartagena, a través de la auscultación detallada de cada losa, y comparando los resultados con la modelación de estas, con el fin de estimar el nivel de deterioro de las vías y recomendar valores de esbeltez óptimos a las condiciones locales.

### **2.2.OBJETIVOS ESPEFICICOS**

- Determinar las dimensiones de las losas, hallando losas tipos, y el porcentaje de distribución de estas y la presencia de fisuras transversales.
- Estandarizar la secuencialidad con las cuales se presentan las fallas transversales en las losas de la zona de estudio.
- Determinar los esfuerzos producidos en las losas de pavimentos, por medio del programa computacional EverFE 2.25.
- Recomendar una relación de largo y ancho óptimo especial para las condiciones ambientales y de tráfico de la ciudad para que no se presenten fisuras transversales.



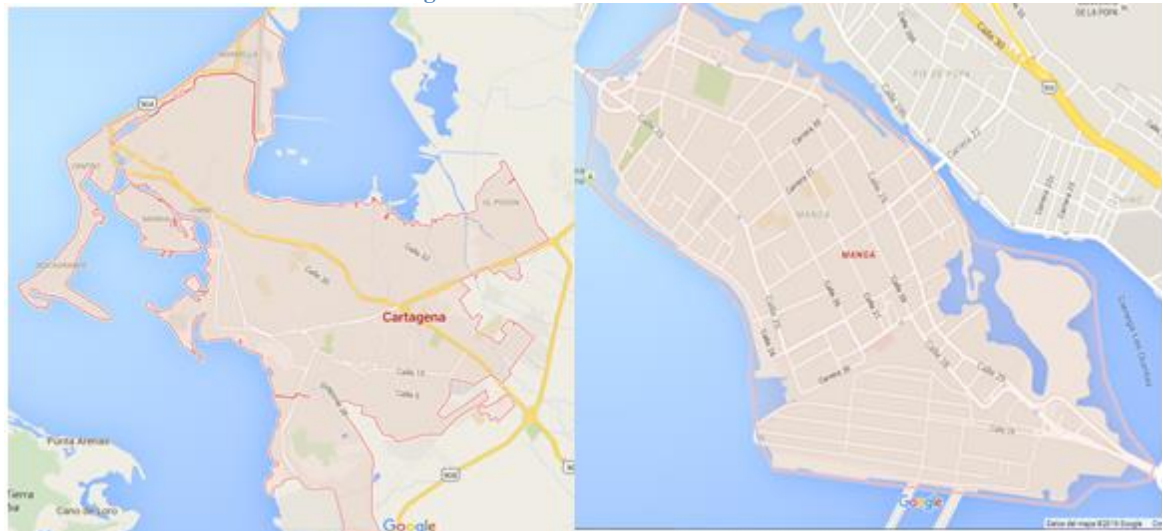
### 3. ALCANCE

En el proyecto de investigación, se obtuvo la relación óptima de esbeltez para que las losas de pavimento rígido no presenten fallas transversales. Esta se realizó en el caso de estudio descrito a continuación.

El área de estudio estuvo comprendida en la ciudad de Cartagena (ver Figura 16) específicamente dentro de la isla conocida como Barrio Manga, del cual fueron fuente de dicho estudio las siguientes cinco calles principales: Cuarta Avenida, Avenida Jiménez, Avenida Miramar, Calle Real y la Calle de la Asamblea, los trazados de las vías se ilustran en la Figura 17.

Este proyecto se limitó solo a las calles principales, porque se tiene proyectado que esta investigación sea la base para futuras investigaciones, y posteriormente, hacer un enlace con los siguientes proyectos en la ciudad de Cartagena, para tener así una base de datos integral de toda la ciudad.

**Figura 16. Delimitación del estudio.**



Fuente: adaptada de Google Maps





Fuente: Adaptada de Google Maps.

Para efecto de la investigación, la recolección de datos se llevó a cabo durante dos meses que comprendieron la auscultación de losas existentes, los estudios vehiculares y de factores ambientales, en la zona de estudio. Posteriormente, los análisis de los datos recolectados y la correlación de ellos, los cuales se llevaron a cabo en aproximadamente tres meses logrando que el producto final se entregara en el tiempo estimado de la materia trabajo de grado.

En el estudio, se tuvo en cuenta el número de losas presentes, considerando las dimensiones de cada una de ellas, las fisuras transversales que se encuentren y a la distancia que se encuentra del borde de cada losa, la temperatura registrada en la época del estudio y finalmente, el flujo vehicular la cual representa una variable de gran relevancia para la investigación, observando qué tipos de vehículos y que tan expuesta se encontraba la estructura.

Con esta investigación, se pretendió encontrar una relación de esbeltez, que sea aplicable en la ciudad de Cartagena, para que las losas no fallen a temprana edad por fisuras transversales entregando valores estandarizados para la zona para evitar mantenimientos costosos. Además



con esto, se pueden realizar estudios futuros en otras zonas de la ciudad, para verificar la validez de esta investigación, y obtener una base de datos más integral, de toda la ciudad de Cartagena.

Debido a que no se pueden realizar ensayos destructivos, las profundidades de las losas, y de la subestructura, dependieron de los diseños conceptuales de las vías a estudiar. Por el mismo motivo, el método de análisis fue netamente conceptual, por lo cual no se realizaron ensayos con las losas existentes sino que solo se compararon los valores de cada losa con los datos arrojados por el programa. Además de esto, el estudio únicamente se refirió a las fallas de forma transversal, debido a que el principal motivo de aparición de estas se debe a la fatiga que sufren las losas al paso vehicular.



#### **4. METODOLOGÍA**

Este trabajo de grado adoptó un enfoque mixto mediante dos fases simultáneas (Jick, 1979). El proceso de auscultación se realizó de forma cualitativa, observando la presencia o ausencia de las fisuras transversales e inmediatamente, de forma cuantitativa, se midieron las distancias a las cuales se presentaba la patología. Así mismo, se analizaron aforos de flujo vehicular de la zona suministrados por las entidades correspondientes.

Luego de terminar el proceso de recolección de datos, se aplicaron metodologías cuantitativas para calcular los esfuerzos y su posterior ubicación en la losa y para finalmente establecer una modulación óptima para el caso de estudio y la ciudad de Cartagena con el fin de que las losas de pavimento rígido no presenten fisuras transversales.

La investigación que se llevó a cabo es de tipo correlacional y estudio de caso (Altamirano, 1991), teniendo en cuenta que se obtuvo la relación óptima de esbeltez (largo-ancho) de la losa y a su vez, fue comparada con los valores estándares y los implementados en el caso de estudio mediante el uso de un software de diseño (EverFe 2.25) Además, la investigación se llevó a cabo a un caso de estudio el cual corresponde a cinco avenidas principales ubicadas en el barrio Manga que simulan las condiciones de flujo vehicular que son las más desfavorables para la ciudad.

En este capítulo, se detallarán los pasos seguidos con los cuales se lograron los objetivos planteados en la investigación, dichos pasos son enlistados a continuación:

- Revisión bibliográfica.
- Análisis de la bibliografía escogida.
- Delimitación del área de estudio.
- Auscultación e inventario de losas existentes.
- Análisis estructural de las losas en EverFe 2.25.
- Discusión de la información y recomendaciones.



#### **4.1.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Para fundamentar adecuadamente el proyecto de grado, se realizó primeramente, una revisión en las bases de datos, tanto de la Universidad de Cartagena, como otras fuentes de información; como periódicos, artículos, e información secundaria, que fue útil en la investigación; no obstante, se hizo necesaria la revisión constante de bibliografía a lo largo del desarrollo del proyecto y la consulta de ingenieros y docentes para aclarar dudas.

#### **4.2.ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA.**

Consecuentemente, se hizo selección directa de la bibliografía que fue necesaria, excluyendo artículos que no están directamente relacionados con la problemática de la investigación presente. Siguiendo a esto, se analizaron los resultados y las conclusiones de los artículos, tesis y archivos recolectados, donde se observó los datos arrojados en otros estudios, y dependiendo de las técnicas que fueron utilizadas en estos.

#### **4.3.DELIMITACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.**

Para seleccionar el área de estudio se hizo necesaria la información primaria de aforos vehiculares y datos de la zona en la cual se realizó el estudio. En primera instancia, se realizó una revisión visual preliminar de todas las vías presentes en la zona, donde se identificó cuáles eran las vías principales presentes ya que estas fueron el foco de la investigación en las cuales se encontraron los flujos más relevantes de carga y de tránsito.

#### **4.4.AUSCULTACIÓN E INVENTARIO DE LOSAS EXISTENTES.**

Para llevar a cabo el proceso de auscultación e inventariado, se hizo necesaria la creación de un formato, para la recolección de los datos obtenidos en el campo (ver Cuadro 9).



Cuadro 9. Formato de auscultación.

<b>CALLE:</b>									
# PAR LOSAS	LOSA A					LOSA B			
	ABSC	ANCHO	FISURA		Af	ABSC	ANCHO	FISURA	
			SI	NO				SI	NO

Donde, la losa A corresponde a la losa ubicada al lado derecho del sentido del recorrido, la losa B al lado izquierdo de este, Af es la abscisa de la fisura en la losa inspeccionada y ABSC es la abscisa de la junta transversal donde inicia la losa.

La auscultación se hizo en cada una de las losas, de ambos carriles, que comprenden la zona de estudio, tomando los datos de abscisado con un odómetro y anchos de cada una con un flexómetro. A su vez, se observó la presencia de fisuras transversales, la cual es la patología objeto de estudio de la investigación. Al ser encontrada una fisura transversal, se midió el abscisado de dicha fisura (Af) y se consignó en el formato. Este procedimiento se realizó en cada una de las vías.

El inventario se tabuló de la misma manera que la recopilación de los datos, calculando la longitud de la losa, utilizando la ecuación 6.1.

$$L = ABSC_n - ABSC_{n-1} \text{Ec. 4.1.}$$

Donde,  $ABSC_n$  : abscisa de la losa y  $ABSC_{n-1}$ : abscisa de la losa anterior.

#### 4.5. ANÁLISIS CUALITATIVO

Realizado el proceso de auscultación el inventariado, la primera fase del trabajo de oficina consistió en analizar varios aspectos generales en la vía, tales como identificación de losas típicas encontradas en la zona, análisis rápido de cuáles eran las losas que están fallando, con



su respectiva distancia de falla al origen de la losa, y un listado de estas fallas, para llevar a cabo el análisis estructural, además de esto, se hizo una inspección en los datos recolectados, para identificar, en el caso de que la haya, la secuencialidad de las fallas en las losas, ya sean losas consecutivas o cada cierta cantidad de losas.

#### **4.6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS LOSAS.**

##### **4.6.1. Cálculo de los esfuerzos máximos presentes en las losas.**

Al realizar el cálculo de espesor de la losa, se procedió con el análisis estructural con la ayuda del programa EverFE 2.25. El método considera que los esfuerzos de un pavimento son el resultado de la interacción de varios factores, para la etapa de análisis del cálculo de esfuerzos se contemplaron los siguientes aspectos:

- Se ingresaron todos los datos requeridos por el programa.
- Se modeló una estructura de pavimento que contemple esfuerzos por temperatura y esfuerzos por carga.
- Se hizo una revisión que los esfuerzos máximos en la losa no sean mayores al 50% del Módulo de Rotura (MR) del concreto.

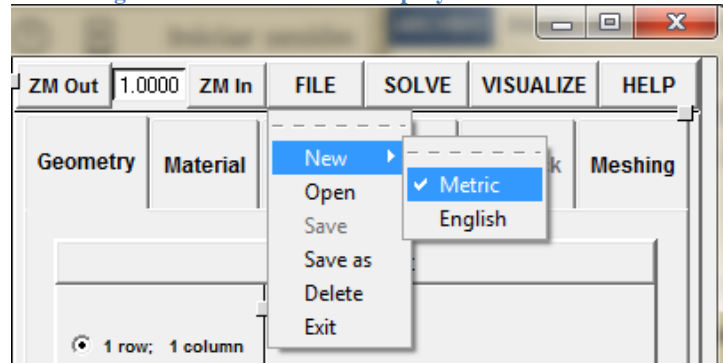
El procedimiento a seguir para realizar un proyecto en el programa EverFE 2.25 es:

- **Crear un nuevo proyecto.**

Para comenzar con el programa, lo inicial es crear el proyecto en el cual se va a trabajar, en primera instancia se presiona el Slayer **Nuevo (New)** en el menú **Archivo (file)**, en ese momento, el programa abrirá un cuadro de dialogo (ver Figura 18) que contiene las opciones de las unidades que se quiera trabajar el programa. Escogida la unidad de diseño deseada, se iniciara el nuevo proyecto, sin título.



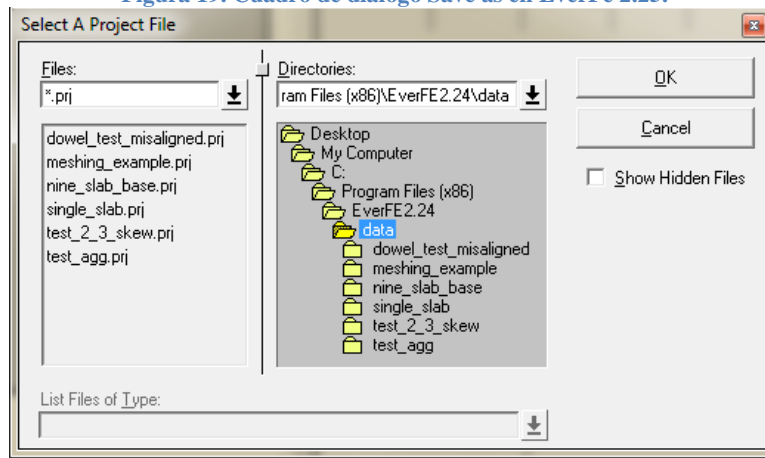
Figura 18. Creación de nuevo proyecto en EverFe 2.25.



- **Guardar el proyecto.**

Como cualquier programa, hay dos opciones de guardado: **Guardar (Save)** y **Guardar como (Save as)**; la opción **Guardar como** debe utilizarse al guardar un proyecto sin título que se ha iniciado con el paso anterior, o para guardar el proyecto con otro nombre y/u otra ubicación como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Cuadro de dialogo Save as en EverFe 2.25.

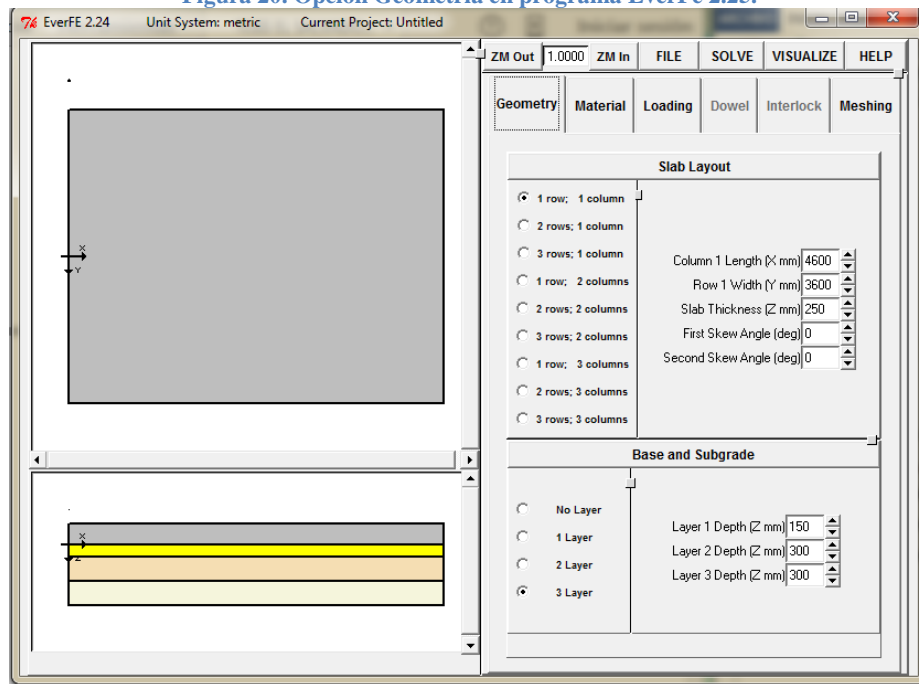


- **Geometría del proyecto.**

El panel de geometría, permite incluir todas las especificaciones en las unidades de diseño escogida, para el sistema de pavimento rígido, esta opción se divide en dos grupos de datos, geometría de la losa se diseño y geometría de la base/subrasante como se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Opción Geometría en programa EverFe 2.25.



Cualquier cambio realizado en la geometría de la estructura, inmediatamente en la planta y la elevación que se muestra en la parte izquierda del panel de entrada de EverFE se va a reflejar el cambio

- **Propiedades de los materiales utilizados.**

Al hacer clic en el panel **Material** se despliega el panel en el cual se agregaran los materiales de diseño, tales como el módulo de elasticidad del concreto, el coeficiente de poisson, coeficiente de expansión térmica, densidad , la constante K de la sub-base, para futuros cálculos del programa, el panel **Material**, se observa en la Figura 21.





Figura 21. Panel “Materiales” en el programa EverFe 2.25.

Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing
<b>Slab:</b>					
E (MPa)		28000			
nu		0.2			
alpha (per deg C)		1.1e-005			
density (kg/m <sup>3</sup> )		2400			
<b>Base:</b>					
E (MPa)		5000			
nu		0.2			
density (kg/m <sup>3</sup> )		0			
<b>Subgrade 1:</b>					
E (MPa)		200			
nu		0.2			
density (kg/m <sup>3</sup> )		0			
<b>Subgrade 2:</b>					
E (MPa)		100			
nu		0.2			
density (kg/m <sup>3</sup> )		0			
<b>Slab/Base Interface:</b>					
		<input checked="" type="checkbox"/> Bonded Base			
		<input type="checkbox"/> Tensionless			
<b>Dense Liquid Subgrade:</b>					
K (MPa/mm)		0.03			

- Cargas de ejes de ruedas y Temperaturas.

En la pestaña de **Loading**, se pueden incluir las especificaciones de las cargas de tránsito con las cuales se va a diseñar o verificar, en esta etapa del diseño, se puede agregar el peso que está soportando la rueda, el tipo de rueda que va a pasar, ya sea sencilla o dual, o de varios ejes, como el tándem; además de las cargas de tránsito, también se pueden las condiciones climáticas, que también generan esfuerzos en la losa, la interface permite colocar la temperatura de hasta 4 puntos en la estructura del pavimento, como se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Interfaz “Cargas” en el programa EverFe 2.25.

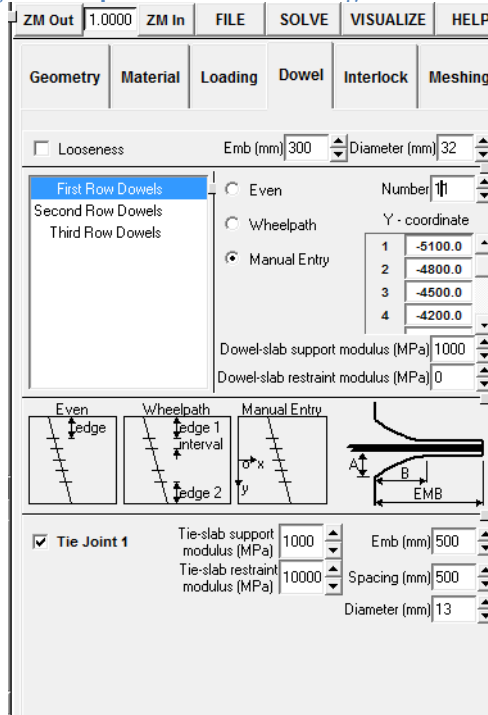
ZM Out	1.0000	ZM In	FILE	SOLVE	VISUALIZE	HELP
Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing	
Single Wheel	Single Wheel Axle	Dual Wheel Axle	Single Wheel Tandem	Dual Wheel Tandem	Multi-Wheel Axle	
Top						
Bottom						
# of Temp. Changes 4						
Temp. Change 1 (deg C) 0						
Temp. Change 2 (deg C) 0						
Temp. Change 3 (deg C) 0						
Temp. Change 4 (deg C) 0						



- **Propiedades de las barras de amarre.**

Para hacer la configuración de las dovelas, tanto de amarre como de transferencia se debe hacer clic en la pestaña **Dowel**, el programa permite varios métodos de colocación de las dovelas en la estructura, y permite colocar las dovelas al acomodo de usuario, dado el caso no le sea útil las opciones rápidas de dovelas la opción de dovelas se muestra en la Figura 23.

Figura 23. Opción “Dowel” en el Programa EverFe 2.25.



- **Trabazón de agregados.**

El programa posee dos opciones básicas para especificar el comportamiento del trabazón de los agregados en las juntas transversales, ya sea por modelo lineal, mediante el cual se requiere únicamente el valor global para la rigidez de las juntas, parámetro que se aplica para cada una de las juntas transversales en el modelo realizado o puede ser también por el modelo no lineal mediante el cual la rigidez de las juntas varía a lo largo de la estructura, estos valores son calculados de acuerdo a modelos no lineales, el cuadro de Trabazón de agregados (**Interlock**) se muestra en la Figura 24.



Figura 24. Cuadro “trabazón de agregados” en el programa EverFe 2.25.

Geometry Material Loading Dowel **Interlock** Meshing

Linear Model  Nonlinear Model

Opening between Column 1 and Column 2 (mm) 0.5  
Model Name |hard

Sigma PU (MPa) 50.0  
mu 0.4  
Pk 0.75  
D max (mm) 20.0

Model Name: new

OK CANCEL

Create Nonlinear Model

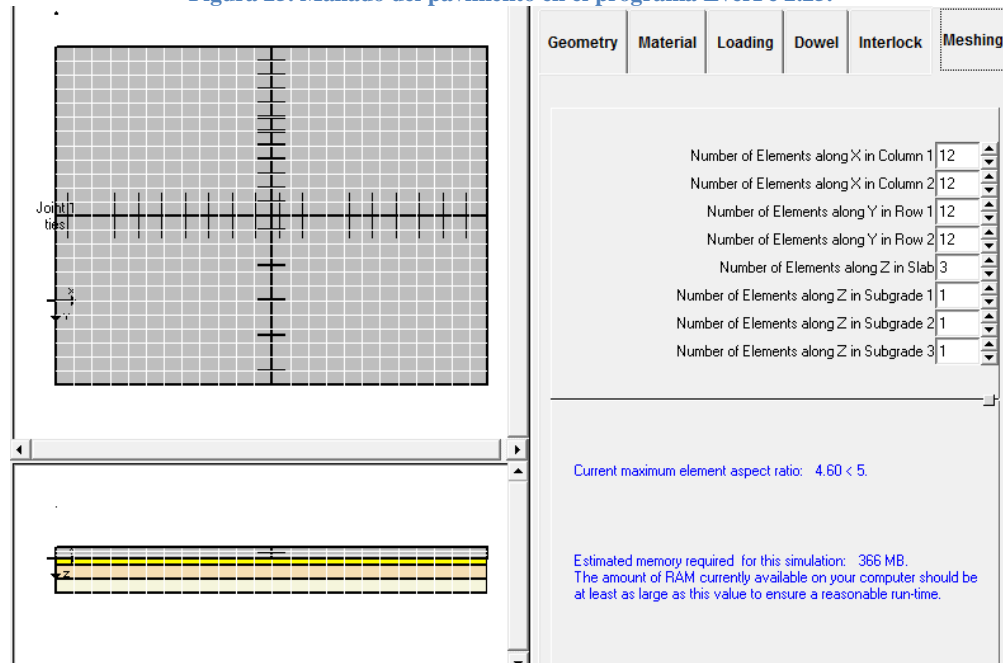
- **Mallado o división del pavimento.**

El programa tiene una ventaja significativa, y es que permite la elección del número de divisiones de los elementos en fila y en columna, que puede ser muy útil cuando se modelan losas que no tengan prioridad en el cálculo, tales como calles y callejones, que no requieren de estudios a fondo, como se requirieren en las vías principales o arterias viales.

EverFE, además permite dar un espaciamiento del mallado diferente en cada losa (ver Figura 25), por lo que puede ayudar a comparar valores y exactitudes en los cálculos de los esfuerzos y deformaciones



Figura 25. Mallado del pavimento en el programa EverFe 2.25.



- **Resolver (Solve)**

Hecho todo el procedimiento anterior, se procede a la opción Solve → Run the show nanalysis, para que el programa empiece a hacer los cálculos respectivos dentro del procesamiento de elementos finitos

- **Visualización de resultados.**

Finalmente en la opción de visualización se puede observar los mapas de colores, o los valores numéricos de los esfuerzos en cada parte de la losa de pavimento, para sacar conclusiones paso a paso.

Lo siguiente es variar las dimensiones superficiales de la losa, dependiendo de los datos encontrados en la auscultación, para hallar los esfuerzos en la losa, ya sea por cargas en el borde, en el centro o en la esquina, y encontrar el rango de valores óptimos, para que los esfuerzos en cualquier punto de la losa, sean inferiores al 50%, puesto que un esfuerzo de flexión inducido, con esta magnitud, podría ser repetida indefinidamente sin causar ruptura, siempre que la intensidad del esfuerzo no exceda dicha magnitud. (Huang, 1993)



#### **4.7.DISCUSIÓN DE LA INFORMACION Y RECOMENDACIONES.**

Finalmente, para realizar las conclusiones, se realizó un recuento de todos los datos obtenidos, que dieron respuesta a las inquietudes surgidas durante toda la ejecución del proyecto, se hizo observaciones concretas de lo sucedido en la práctica, irregularidades, y otros aspectos hallados durante la ejecución del trabajo a realizar, además, generó unas recomendaciones, acerca del dimensionamiento de las vías, para que puedan ser utilizadas en futuros proyecto, teniendo ciertas consideraciones de diseño.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1. AUSCULTACIÓN Y SELECCIÓN DE LOSAS TIPO

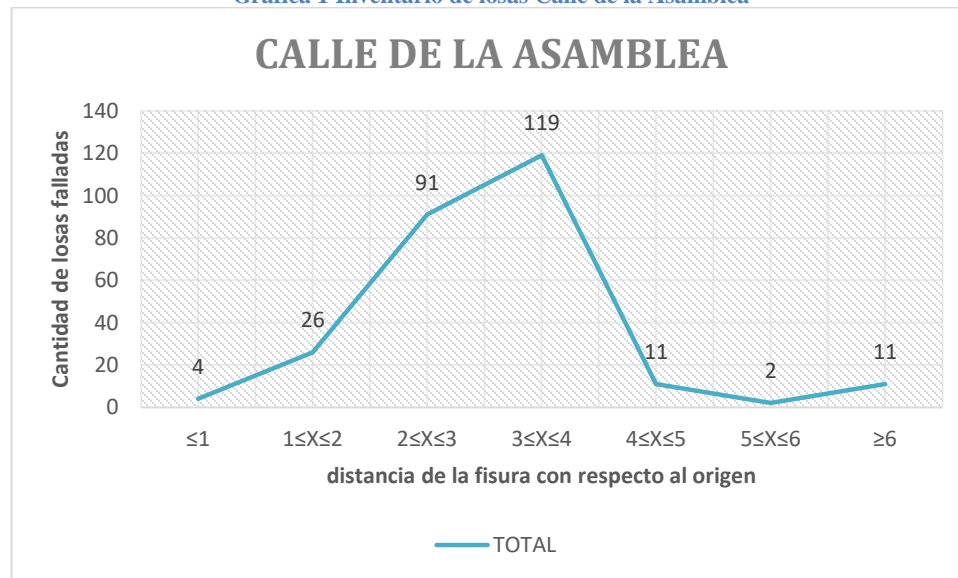
Luego de realizar la auscultación de las vías del caso de estudio y su respectiva tabulación (Ver Anexos) se procedió a hacer los cálculos preliminares, tales como observación y la contabilidad de las losas falladas para así hacer la depuración correspondiente de los datos recolectados. Al identificar qué losas presentaban las fisuras se procedió a verificar qué distancia fallaban las losas.

El inventario de losas falladas de cada calle se observan en los Cuadros del 10 al 14 y fueron representadas en las Gráficas del 1 al 5.

Cuadro 10. Resumen de losas falladas Calle de la Asamblea.

DISTANCIA DE LA FISURA	DERECHA	CENTRAL	IZQUIERDA	TOTAL
Fisuradas a menos de 1 m	1	2	1	4
Fisuradas entre 1 y 2 m	6	10	10	26
Fisuradas entre 2 y 3 m	40	23	28	91
Fisuradas entre 3 y 4 m	42	32	45	119
Fisuradas entre 4 y 5 m	4	1	6	11
Fisuradas entre 5 y 6 m	0	1	1	2
Fisuradas a más de 6 m	2	6	3	11
<b># LOSAS FISURADAS</b>	<b>95</b>	<b>75</b>	<b>94</b>	<b>264</b>

Gráfica 1 Inventario de losas Calle de la Asamblea

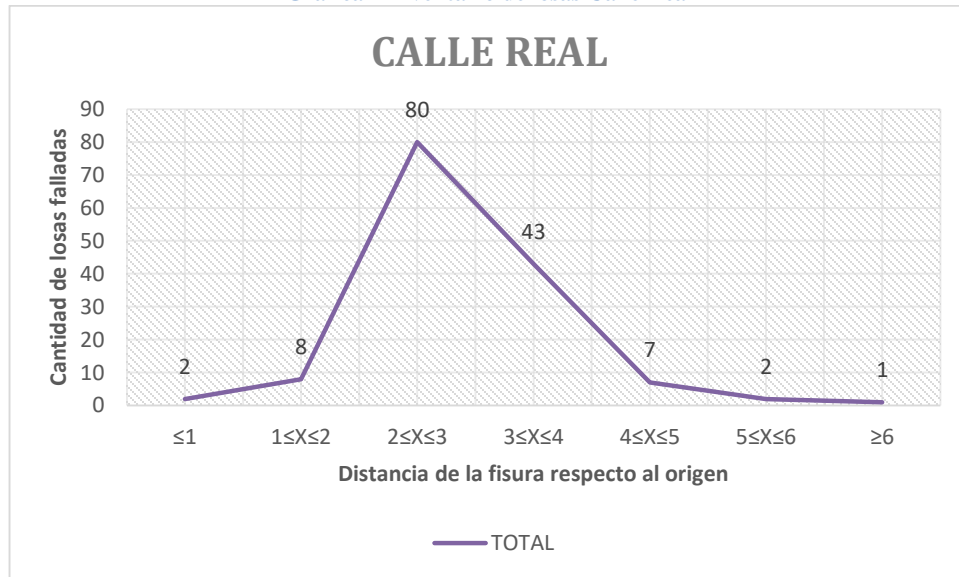




**Cuadro 11. Resumen de losas falladas Calle Real.**

<b>DISTANCIA DE LA FISURA</b>	<b>DERECHA</b>	<b>IZQUIERDA</b>	<b>TOTAL</b>
Fisuradas a menos de 1 m	2	0	2
Fisuradas entre 1 y 2 m	4	4	8
Fisuradas entre 2 y 3 m	45	35	80
Fisuradas entre 3 y 4 m	19	24	43
Fisuradas entre 4 y 5 m	5	2	7
Fisuradas entre 5 y 6 m	1	1	2
Fisuradas a más de 6 m	1	0	1
<b>#LOSAS FISURADAS</b>	<b>77</b>	<b>66</b>	<b>143</b>

**Gráfica 2 Inventario de losas Calle Real**

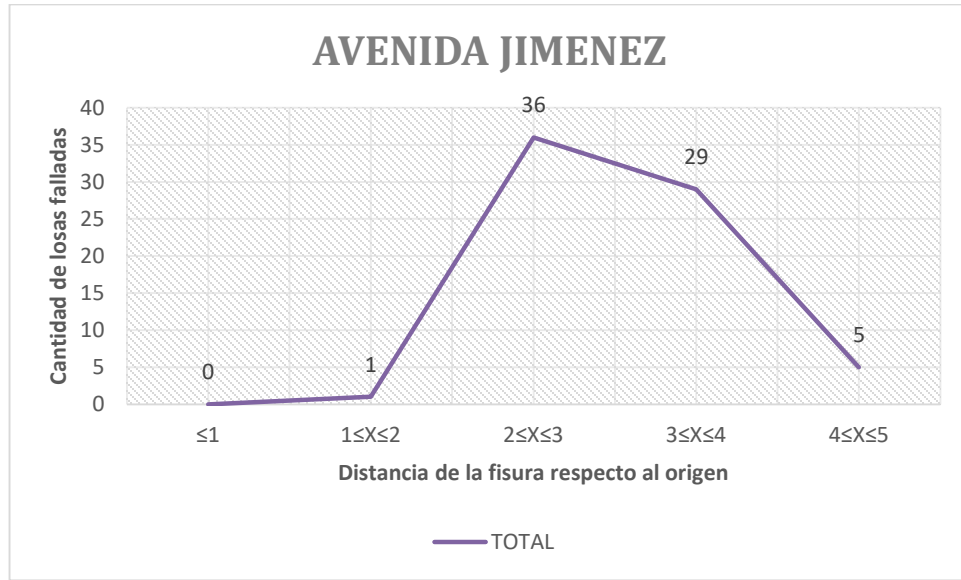


**Cuadro 12. Resumen de losas falladas Avenida Jiménez.**

<b>DISTANCIA DE LA FISURA</b>	<b>DERECHA</b>	<b>IZQUIERDA</b>	<b>TOTAL</b>
Fisuradas a menos de 1 m	0	0	0
Fisuradas entre 1 y 2 m	1	0	1
Fisuradas entre 2 y 3 m	16	20	36
Fisuradas entre 3 y 4 m	13	16	29
Fisuradas entre 4 y 5 m	2	3	5
<b>#LOSAS FISURADAS</b>	<b>32</b>	<b>39</b>	<b>71</b>



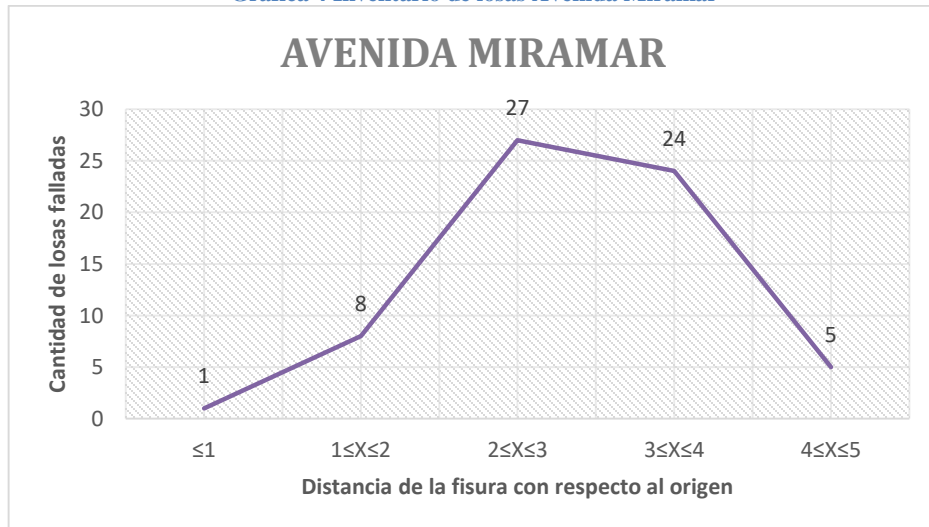
Gráfica 3 Inventario de losas Avenida Jiménez



Cuadro 13. Resumen de losas falladas Avenida Miramar.

DISTANCIA DE LA FISURA	DERECHA	IZQUIERDA	TOTAL
Fisuradas a menos de 1 m	1	0	1
Fisuradas entre 1 y 2 m	2	6	8
Fisuradas entre 2 y 3 m	10	17	27
Fisuradas entre 3 y 4 m	7	17	24
Fisuradas entre 4 y 5 m	3	2	5
<b>#LOSAS FISURADAS</b>	<b>23</b>	<b>41</b>	<b>64</b>

Gráfica 4 Inventario de losas Avenida Miramar



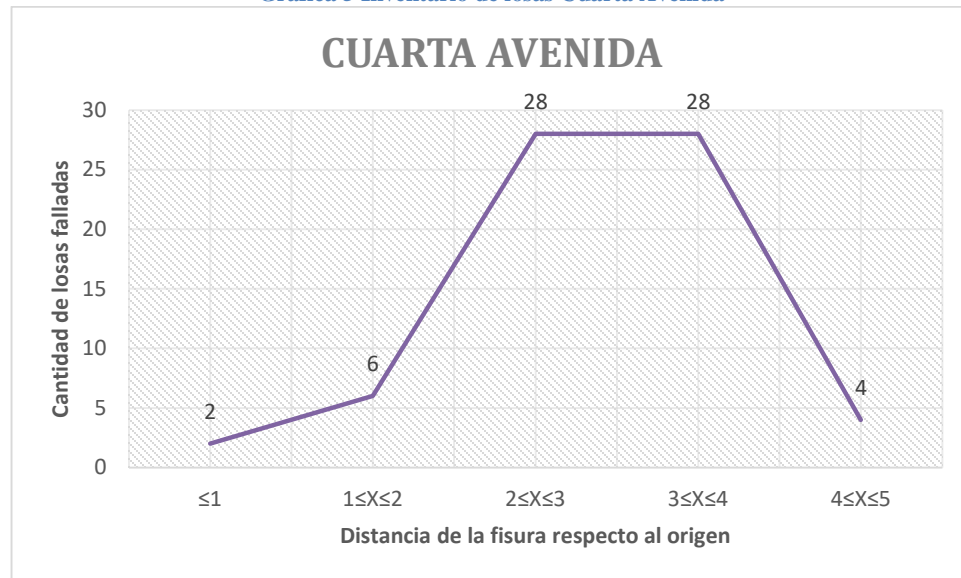




Cuadro 14 Resumen de losas falladas Cuarta Avenida

DISTANCIA DE LA FISURA	DERECHA	IZQUIERDA	TOTAL
Fisuradas a menos de 1 m	2	0	2
Fisuradas entre 1 y 2 m	4	2	6
Fisuradas entre 2 y 3 m	22	4	28
Fisuradas entre 3 y 4 m	20	8	28
Fisuradas entre 4 y 5 m	4	0	4
<b>#LOSAS FISURADAS</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>72</b>

Gráfica 5 Inventario de losas Cuarta Avenida



Analizando las gráficas del inventario de cada calle, se observó que la mayoría de las fallas se encuentran registradas entre 2 y 4 m del borde de las losas que coincide con el tercio medio de las losas, por lo cual corrobora que dichas losas presentan fallas por efectos de esbeltez.

El segundo paso de la depuración de datos fue el análisis de las losas que fallaban entre los dos y los cuatro metros. Se observó la secuencia con las cuales las losas del pavimento fallaban y finalmente se promedió las longitudes y los anchos de todo el grupo de losas, para extraer las losas tipo del caso de estudio. Las losas tipo halladas en la Calle de la Asamblea se muestran en el Cuadro 15, 16 y 17.



**Cuadro 15. Losas Tipo #1 Calle de la Asamblea.**

L	ANCHO	POSICIÓN FALLA (I)
5	2,99	3,5
6,5	2,99	2
5,1	2,99	3,4
6	2,99	3,4
5,2	2,99	3,2
6,6	2,99	2,3
6,3	2,99	3,4
6,2	2,99	3,5
5,9	2,99	2
6,4	2,99	3,7
6,2	2,99	2,8
<b>5,94545</b>	<b>2,99</b>	<b>Promedio</b>

**Cuadro 16 Losas Tipo #2 Calle de la Asamblea**

L	ANCHO	POSICIÓN FALLA (I)
4,7	3,06	2,2
5,2	3,06	3,3
6,2	3,06	2,7
6,4	3,06	3
6,4	3,06	2,9
6,6	3,06	3,5
6,2	3,06	2,5
6,2	3,06	3
6,4	3,06	3,2
6,4	3,06	3,8
6,3	3,06	2,4
6,2	3,06	3,5
6,4	3,06	3,6
<b>6,123077</b>	<b>3,06</b>	<b>Promedio</b>

**Cuadro 17 Losas Tipo #3 Calle de la Asamblea**

L	ANCHO	POSICIÓN FALLA (I)
6	3,06	3
7,2	3,06	2,1
6,5	3,06	2,5
6,5	3,06	3
6,1	3,06	3,2
6	3,06	3,8
6,9	3,06	2,5
6,2	3,06	3,1
6,6	3,06	2,6
6,2	3,06	3,1
6,3	3,06	3,8
6,4	3,06	2,9
6,1	3,06	3,6
7,1	3,06	2,4
6,4	3,06	3
5,5	3,06	4
7,2	3,06	3,4
5,9	3,06	3,5
6,4	3,06	3,1
6,4	3,06	3,1
6,3	3,06	3
7	3,06	3
6,3	3,06	3,3
6,3	3,06	3
5,8	3,06	4
7	3,06	3
6,4	3,06	2,4
6,3	3,06	3,3
6,5	3,06	3,6
<b>6,406897</b>	<b>3,06</b>	<b>Promedio</b>



Para efecto de facilidad de cálculos, y debido a la precisión propia del odómetro utilizado y del método constructivo aplicado a las losas, se aproximaron los valores promedios hallados a un decimal por ende las losas tipo halladas fueron **6m x 3m** y **6.5m x 3.1**

Asimismo se hizo el inventario de las losas que estaban fracturadas con una secuencialidad regular para la Calle Real, como se observa en el Cuadro 18. La losa tipo hallada en la Calle Real fue de 6.1m x 3.5m pero se ajustó a **6.0m x 3.5m**, El mismo procedimiento fue realizado para la Avenida Jiménez cuyo cálculo de la losa tipo se observa en el Cuadro 19.

**Cuadro 18. Losas tipo Calle Real.**

L	ANCHO	L
6,1	3,5	4
6	3,5	3,3
6,1	3,5	2,9
6,3	3,5	2,6
6	3,5	2,4
5,7	3,5	3,6
6,7	3,5	2,4
5,9	3,5	3,6
6,2	3,5	3,1
6,2	3,5	2,7
<b>6,12</b>	<b>3,5</b>	<b>Promedio</b>

**Cuadro 19. Losa tipo Avenida Jiménez.**

L	ANCHO	L
6,6	3,1	2,7
5,9	3,1	2,7
6,1	3,1	2,4
6	3,1	3,6
6,1	3,1	2,9
5,9	3,1	3,9
6,2	3,1	3,9
6,5	3,1	2,7
6,3	3,1	3,4
6	3,1	3,5
6	3,1	2,7
6	3,1	3
6,1	3,1	3,1
6,3	3,1	2,3
6	3,1	3,2
6	3,1	3,7
6,1	3,1	2,5
5,9	3,1	2,1
6	3,1	3,2
5,9	3,1	3,2
6,1	3,1	2,4
5,9	3,1	4
6,2	3,1	2,7
6,1	3,1	3,3
6,2	3,1	2,8
6,4	3,1	3,8
<b>6,1</b>	<b>3,1</b>	<b>Promedio</b>



La losa tipo hallada en la Avenida Jiménez fue de **6.1m x 3.1m**, debido que estas dimensiones de losa ya fueron halladas en la Calle de la Asamblea, no representaron otra losa tipo. Observando la secuencialidad de las fisuras de las losas en la Cuarta Avenida, no se obtuvo una losa representativa diferente a las ya existentes.

En el Cuadro 20 se aglomeran las losas tipos encontradas en el estudio y sus especificaciones, debido a los errores que se pudieron haber presentado al momento de la construcción de la losa, se aproximaron las losas tipos, a valores múltiplos de 0,5 que son dimensiones fácilmente construibles.

**Cuadro 20. Resumen de losas tipos objeto de investigación.**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LARGO</b>	<b>ANCHO</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>ESBELTEZ</b>	<b>L/e</b>
Losa tipo #1	6m	3m	0.20m	2 m/m	30 m/m
Losa tipo #2	6.5m	3m	0.20m	2,167 m/m	32.5 m/m
Losa tipo #3	6m	3.5m	0.20m	1.71 m/m	30 m/m

## **5.2. MODELACIÓN EN EVERFE 2.25**

Luego de obtener las losas tipos que caracterizaban el caso de estudio se procedió a iniciar la modelación en el programa EverFE 2.25.

Los datos de entrada del programa comprendían la geometría, las propiedades de los materiales, cargas de eje de rueda y cargas térmicas, dovelas, trabazón de agregados (interlock) y mallado.

### **GEOMETRÍA**

Para realizar una correcta distribución de cargas se utilizaron cuatro losas, cada una con la modulación correspondiente a la losa tipo hallada y colocadas en una formación 2x2, para así realizar la transmisión de las cargas aplicadas a través de las dovelas. Se tuvo en cuenta que las losas presentes en el barrio Manga tienen un espesor mínimo de 20 cm por lo que se



asume este espesor, como el de diseño para todas las losas tipo. Para la base y la sub-base se diseñó y se construyó teniendo en cuenta el mismo material del sitio, que presentaba unas buenas especificaciones debido a que era un suelo bastante arenoso, por lo que no presento asentamientos a largo plazo, y posee una buena capacidad portante.

De este modo se caracterizaron las losas tipo encontradas.

#### **Losa tipo #1**

- **Longitud:** 6 metros.
- **Ancho:** 3 metros.
- **Espesor:** 20 centímetros.
- **Base:** 30 centímetros.

#### **Losa tipo #2**

- **Longitud:** 6.5 metros.
- **Ancho:** 3 metros.
- **Espesor:** 20 centímetros.
- **Base:** 30 centímetros

#### **Losa tipo #3**

- **Longitud:** 6 metros.
- **Ancho:** 3.5 metros.
- **Espesor:** 20 centímetros.
- **Base:** 30 centímetros.

### **PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

**Propiedades del Concreto:** Los parámetros utilizados fueron estandarizados, puesto que el concreto utilizado es el mismo en todo el trayecto y el suelo es el mismo material del sitio. Los parámetros usados en el programa se muestran a continuación:



- **Módulo de elasticidad (E)\*:** 39 900 MPa
- **Módulo de rotura (Mr):** 4,2 MPa
- **Coefficiente de Poisson(v):** 0,15
- **Coefficiente de expansión térmica:**  $1,1 \times 10^{-5}$
- **Densidad de la losa:** 2400 Kg/m<sup>3</sup>

\* En el programa no se pudo introducir directamente el módulo de ruptura del concreto, debido a que el programa realiza una relación entre el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura (Ec. 5.1). **El concreto utilizado en la construcción tiene un módulo de ruptura de 4.2MPa.**

$$E = 9500 \times MR \quad \text{Ec. 5.1.}$$

**Propiedades del material de barras de amarre:** El programa analizó las barras de amarre como vigas redondas especificando los valores de módulo de elasticidad y de coeficiente de Poisson. Las barras son relativamente pequeñas en comparación al resto del sistema, por lo que no se considera el efecto de la expansión térmica, por ende no se hacen necesarios los valores de coeficiente de expansión.

- **Módulo de elasticidad (E):** 200 000 MPa
- **Coefficiente de Poisson (v):** 0.3

**Propiedades del material de la capa Base y Subrasante elásticas:** Las cargas aplicadas también se transmiten a las capas inferiores, en menor cantidad, lo cual podría generar daños en el pavimento, por lo que en el programa también se especifican los valores de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.

- **Módulo de elasticidad (E):** 150 MPa
- **Coefficiente de Poisson(v):** 0,35
- **Densidad de la losa\*:** 1 700 Kg/m<sup>3</sup>

\* El programa establece la densidad de cada capa predeterminadamente con el valor de cero, lo cual indica que no posee influencia en el resultado.



**Fundación líquida (Subrasante):** En esta capa solo se especificó el valor de K de la Subrasante en este caso es de **0.115 MPa/mm**.

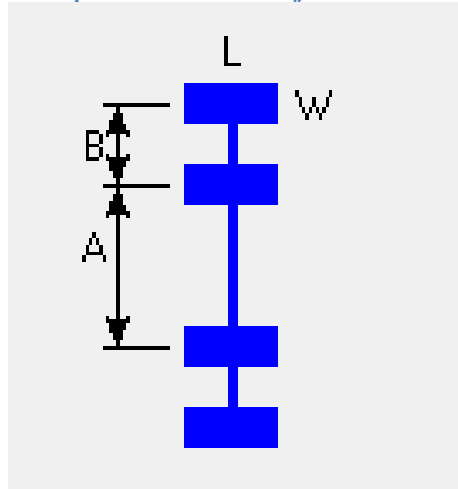
**Interfaz Base/Losa:** Se consideró que la base y la losa están unidas completamente por lo que la transmisión se hace efectiva entre las capas.

### **CARGAS DE EJE DE RUEDA Y CARGAS TÉRMICAS**

Las especificaciones de las cargas de tránsito, y de temperatura se deben consignar en esta pestaña del programa.

**Especificación de las cargas de las ruedas y los ejes:** Para el caso de estudio del Barrio Manga se utilizó una carga en el eje de 8.2 toneladas que corresponde a la carga de un eje equivalente debido a que un bus cargado, categoría C2, tiene un factor de daño igual a 1 siendo este tipo de vehículo el más crítico en la zona. Las especificaciones de los ejes que se utilizaron se observan en la Figura 26 .

Figura 26. Especificaciones de los ejes sencillos rueda doble



Fuente: Adaptado de EverFE 2.25.

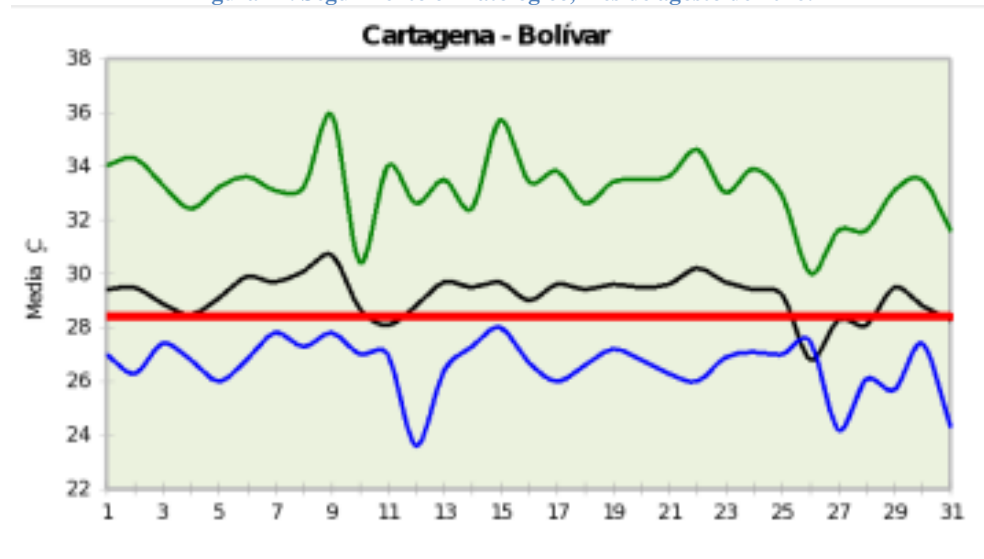
Donde L: 200 mm  
W: 250 mm  
A: 1 500 mm  
B: 350 mm



La distancia X e Y que se describe en el programa dependió de las especificaciones de carga que colocaron y de la geometría del dicha losa, teniendo en cuenta la carga de borde, esquina e interior.

Además, se tuvo en cuenta los esfuerzos que ocurren por la diferencia de temperaturas presentes en la zona teniendo la misma importancia que los esfuerzos debido a las cargas del tráfico. Datos del IDEAM con respecto a las temperaturas presentes en la zona de Cartagena en el mes de agosto del año 2016, que representa históricamente uno de los meses donde hay mayor variación de temperatura, presenta además las temperaturas máximas de la ciudad, en la estación Meteorológica del Aeropuerto Rafael Núñez, la cual indica que la temperatura varía entre días aproximadamente  $7^{\circ}\text{C}$ , y teniendo como temperatura máxima nominal una temperatura de  $36^{\circ}$ , como se muestra en la Figura 27 .

Figura 27. Seguimiento climatológico, mes de agosto de 2016.



Fuente: Adaptado de Boletín Climatológico mensual (IDEAM, 2016)

Es así como los datos de entrada del programa fueron:

- **# De cambios de temperatura:** 2
- **Temperatura del cambio 1:**  $36.0^{\circ}\text{C}$
- **Temperatura del cambio 2:**  $29.0^{\circ}\text{C}$





## DOVELAS

Al no registrar información acerca de las configuraciones de las dovelas, se utilizaron los valores necesarios para que ocurra una buena transmisión de cargas entre las losas, por lo que en la pestaña se dejaron los datos que se muestran en la Figura 28.

**Figura 28. Datos de entrada de las Dovelas en EverFE 2.25.**

The screenshot shows the 'Dowels' configuration window in EverFE 2.25. At the top, there is a 'Looseness' checkbox and two spinners for 'Emb (mm)' (225) and 'Diameter (mm)' (32). Below this is a list of dowel rows: 'First Row Dowels' (selected), 'Second Row Dowels', and 'Third Row Dowels'. To the right, there are radio buttons for 'Even' (selected), 'Wheelpath', and 'Manual Entry'. The 'Even' option has a 'Number' spinner set to 7 and an 'Edge 1 (mm)' spinner set to 300. Below these are two more spinners: 'Dowel-slab support modulus (MPa)' (1000) and 'Dowel-slab restraint modulus (MPa)' (0). In the center, there are three diagrams: 'Even' showing a single row of dowels, 'Wheelpath' showing a row of dowels with 'Edge 1 interval' and 'Edge 2' labels, and 'Manual Entry' showing a row of dowels with 'x' and 'y' axes. To the right of these diagrams is a cross-section diagram of a slab with a dowel, showing 'A', 'B', and 'EMB' dimensions. At the bottom, there is a 'Tie Joint 1' section with a checked checkbox. It includes 'Tie-slab support modulus (MPa)' (1000), 'Tie-slab restraint modulus (MPa)' (10000), 'Emb (mm)' (500), 'Spacing (mm)' (1000), and 'Diameter (mm)' (13) spinners.

## TRABAZÓN DE AGREGADO

Se tomó un modelo lineal para las transmisiones de carga, con una apertura entre losas de 1 mm, y un valor de rigidez de juntas de 0.0 MPa/mm, para que no haya resistencia por trabazón de agregados y para que la transmisión de la carga fuese efectiva.

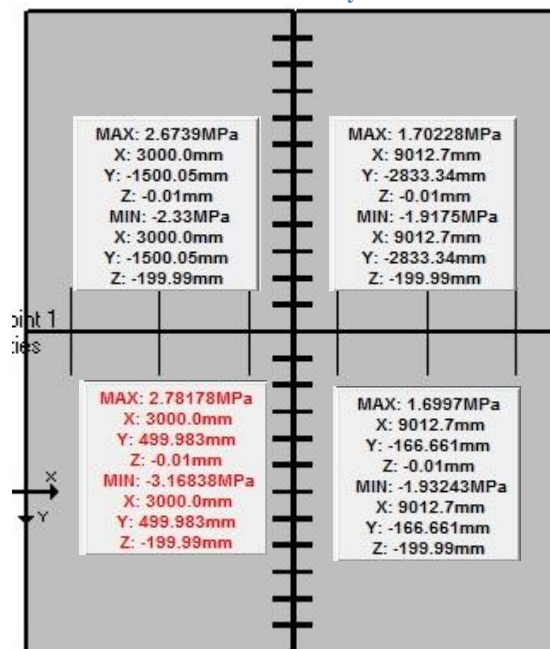


### 5.3. CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LAS LOSAS TIPO

Colocados todos los valores correspondientes a cada una de las losas tipos, se inició la modelación para el cálculo de los esfuerzos. Cada losa tipo fue expuesta a alabeo positivo calculando los esfuerzos en la parte superior e inferior de estas. Así mismo, se calcularon los esfuerzos, primeramente, en el borde, luego en una esquina y finalmente en el interior de cada losa. Los resultados para cada losa tipo se encuentran a continuación.

Para interpretar las imágenes se explican, a manera de un ejemplo conceptual como se muestra en la Figura 29.

Figura 29 Ilustración de los esfuerzos máximos y mínimos de las imágenes utilizadas



Los mapas de colores utilizados muestran la condición de esfuerzo a la que se encuentra sometida la losa que presenta los esfuerzos máximos y mínimos, puesto que son los más críticos presentes en la modulación de las losas.

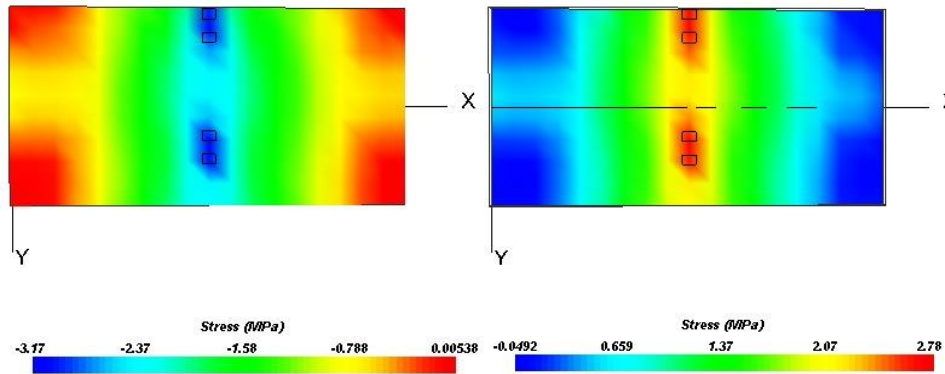
A continuación, se muestran cada uno de los análisis de las losas tipo encontradas en la zona.



## LOSA TIPO #1

De las Figuras 30 a la 32 se observan los esfuerzos calculados con alabeo positivo de la losa de 6m x 3m calculados al borde de la losa, a una esquina y en el interior.

Figura 30 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #1 ubicados en el borde



### Max/min Principal Stress Values per Slab:

MAX: 2.6739MPa  
X: 3000.0mm  
Y: -1500.05mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -2.33MPa  
X: 3000.0mm  
Y: -1500.05mm  
Z: -199.99mm

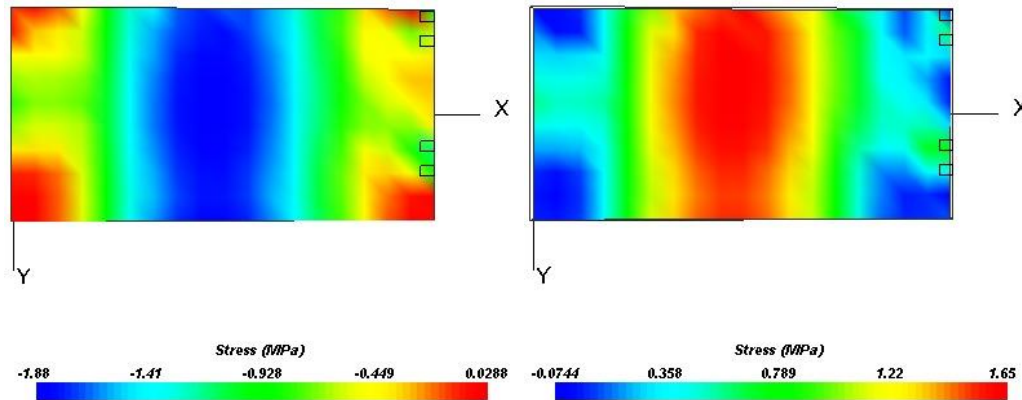
MAX: 1.70228MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -2833.34mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -1.9175MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -2833.34mm  
Z: -199.99mm

MAX: 2.78178MPa  
X: 3000.0mm  
Y: 499.983mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -3.16838MPa  
X: 3000.0mm  
Y: 499.983mm  
Z: -199.99mm

MAX: 1.6997MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -166.661mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -1.93243MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -166.661mm  
Z: -199.99mm



Figura 31 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #1 ubicado a una esquina

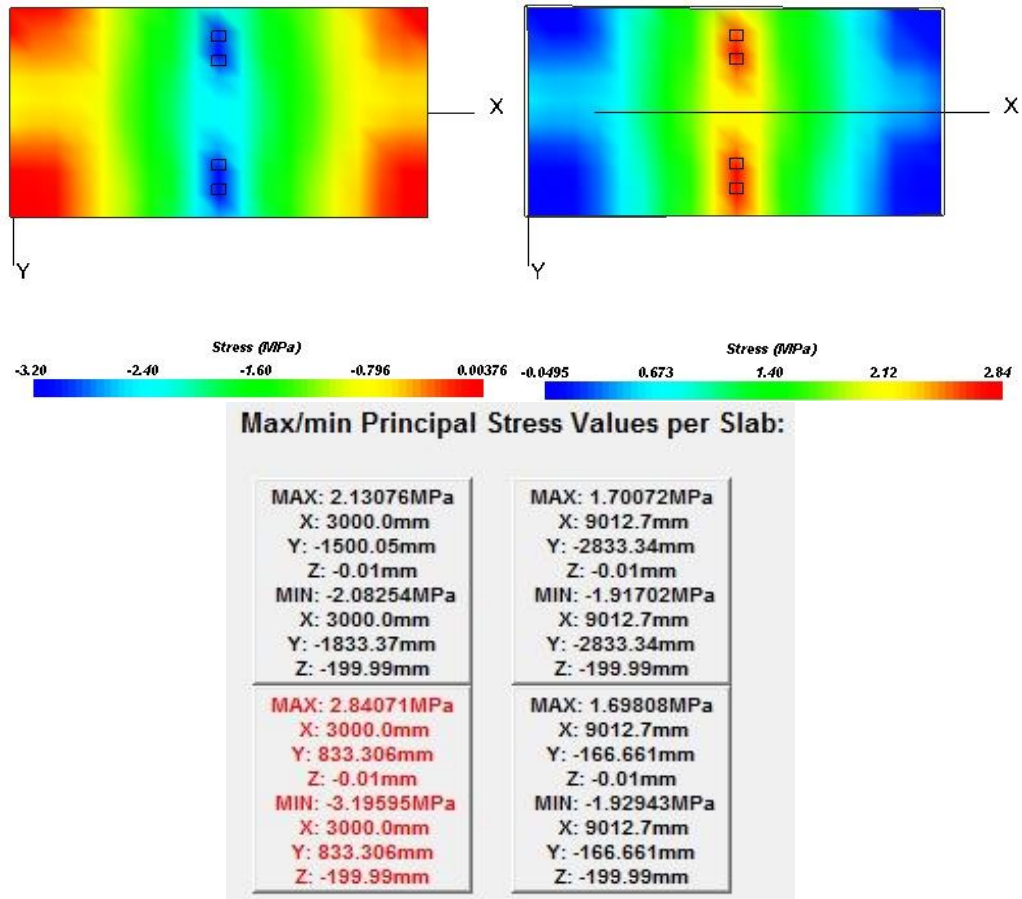


Max/min Principal Stress Values per Slab:

<p>MAX: 1.69277MPa X: 3000.0mm Y: -2833.34mm Z: -0.01mm</p> <p>MIN: -1.91843MPa X: 3000.0mm Y: -2833.34mm Z: -199.99mm</p>	<p>MAX: 1.69604MPa X: 9012.7mm Y: -2833.34mm Z: -0.01mm</p> <p>MIN: -1.91931MPa X: 9012.7mm Y: -2833.34mm Z: -199.99mm</p>
<p>MAX: 1.65334MPa X: 3000.0mm Y: -166.661mm Z: -0.01mm</p> <p>MIN: -1.8845MPa X: 2666.67mm Y: -166.661mm Z: -199.99mm</p>	<p>MAX: 1.66993MPa X: 9012.7mm Y: -166.661mm Z: -0.01mm</p> <p>MIN: -1.89198MPa X: 9012.7mm Y: -166.661mm Z: -199.99mm</p>



Figura 32 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #1 ubicados en el interior

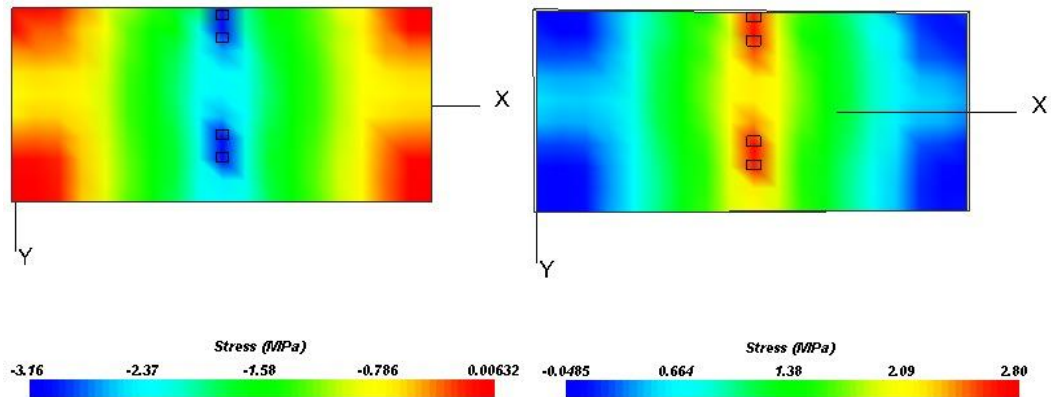




## LOSA TIPO #2

De las Figuras 33 a la 35 se observan los esfuerzos calculados con alabeo positivo de la losa de 6,5m x 3m calculados al borde de la losa, a una esquina y en el interior.

Figura 33 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #2 ubicado en el borde



### Max/min Principal Stress Values per Slab:

MAX: 2.62475MPa  
 X: 3250.0mm  
 Y: -1500.05mm  
 Z: -0.01mm  
 MIN: -2.37475MPa  
 X: 3250.0mm  
 Y: -1500.05mm  
 Z: -199.99mm

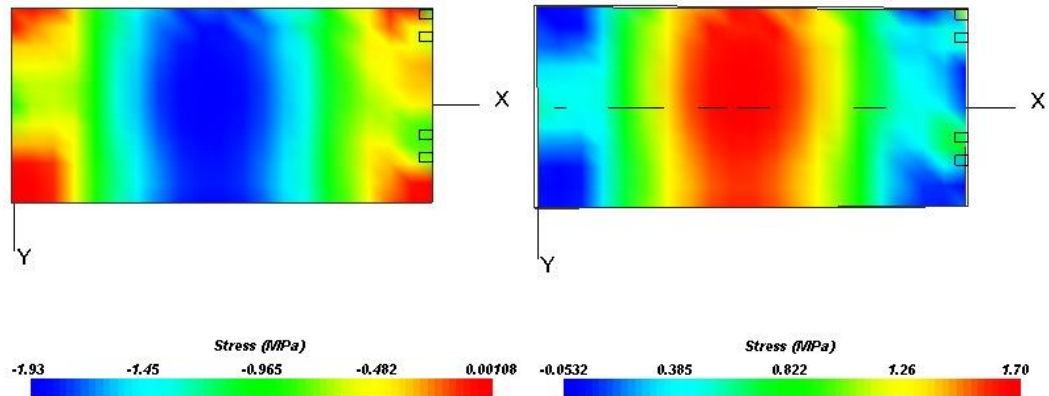
MAX: 1.71802MPa  
 X: 9762.7mm  
 Y: -2833.34mm  
 Z: -0.01mm  
 MIN: -1.93012MPa  
 X: 9762.7mm  
 Y: -2833.34mm  
 Z: -199.99mm

MAX: 2.80165MPa  
 X: 3250.0mm  
 Y: -1166.63mm  
 Z: -0.01mm  
 MIN: -3.16218MPa  
 X: 3250.0mm  
 Y: 499.983mm  
 Z: -199.99mm

MAX: 1.70916MPa  
 X: 9762.7mm  
 Y: -166.661mm  
 Z: -0.01mm  
 MIN: -1.94254MPa  
 X: 9762.7mm  
 Y: -166.661mm  
 Z: -199.99mm



Figura 34 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #2 ubicado a una esquina

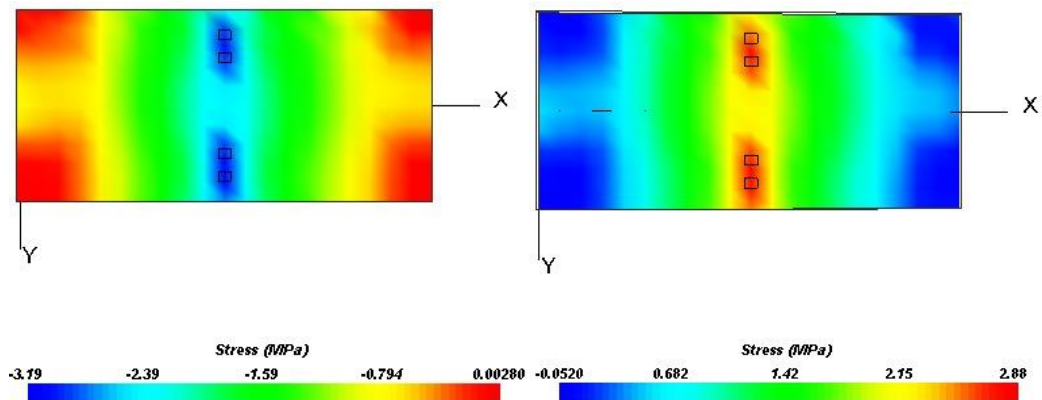


Max/min Principal Stress Values per Slab:

<p><b>MAX: 1.70347MPa</b>  <b>X: 3250.0mm</b>  <b>Y: -2700.01mm</b>  <b>Z: -0.01mm</b></p> <p><b>MIN: -1.94311MPa</b>  <b>X: 3250.0mm</b>  <b>Y: -3000.0mm</b>  <b>Z: -199.99mm</b></p>	<p><b>MAX: 1.75205MPa</b>  <b>X: 6512.75mm</b>  <b>Y: -1500.05mm</b>  <b>Z: -0.01mm</b></p> <p><b>MIN: -1.94198MPa</b>  <b>X: 9762.7mm</b>  <b>Y: -3000.0mm</b>  <b>Z: -199.99mm</b></p>
<p><b>MAX: 1.69759MPa</b>  <b>X: 2925.01mm</b>  <b>Y: -299.99mm</b>  <b>Z: -0.01mm</b></p> <p><b>MIN: -2.16466MPa</b>  <b>X: 6499.95mm</b>  <b>Y: -1499.95mm</b>  <b>Z: -0.01mm</b></p>	<p><b>MAX: 1.70865MPa</b>  <b>X: 10087.7mm</b>  <b>Y: -299.99mm</b>  <b>Z: -0.01mm</b></p> <p><b>MIN: -1.91931MPa</b>  <b>X: 10087.7mm</b>  <b>Y: -299.99mm</b>  <b>Z: -199.99mm</b></p>



Figura 35 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #2 ubicado en el interior



Max/min Principal Stress Values per Slab:

MAX: 2.09402MPa  
X: 3250.0mm  
Y: -1500.05mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -2.12406MPa  
X: 3250.0mm  
Y: -1500.05mm  
Z: -199.99mm

MAX: 1.70994MPa  
X: 9762.7mm  
Y: -2700.01mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -1.93458MPa  
X: 9762.7mm  
Y: -2700.01mm  
Z: -199.99mm

MAX: 2.88262MPa  
X: 3250.0mm  
Y: 899.97mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -3.1858MPa  
X: 3250.0mm  
Y: 899.97mm  
Z: -199.99mm

MAX: 1.71308MPa  
X: 9762.7mm  
Y: -299.99mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -1.93073MPa  
X: 9762.7mm  
Y: -299.99mm  
Z: -199.99mm

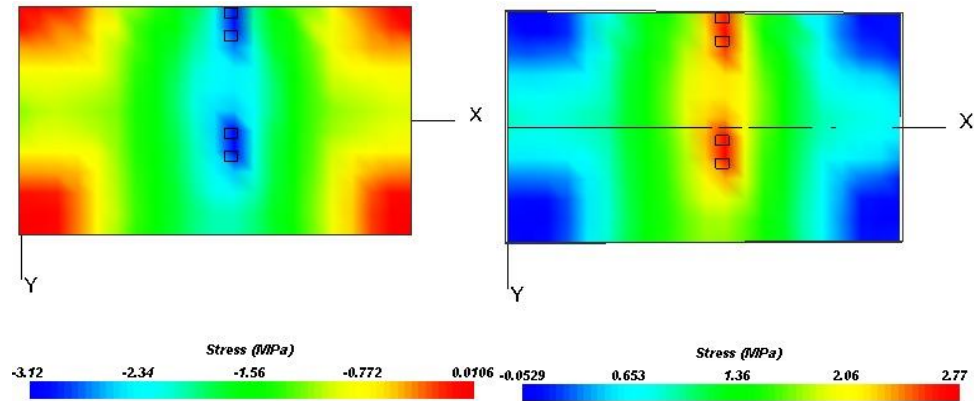




### LOSA TIPO #3

De las Figuras 36 a la 38 se observan los esfuerzos calculados con alabeo positivo de la losa de 6m x 3,5m calculados al borde de la losa, a una esquina y en el interior.

Figura 36 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #3 ubicado en el borde



#### Max/min Principal Stress Values per Slab:

MAX: 2.55744MPa  
X: 3300.0mm  
Y: -1750.05mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -2.36278MPa  
X: 3300.0mm  
Y: -1750.05mm  
Z: -199.99mm

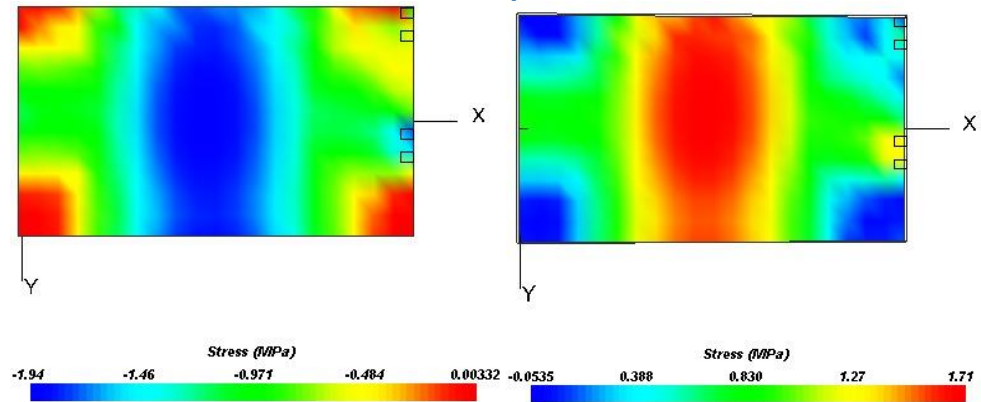
MAX: 1.75524MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -3340.91mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -1.97852MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -3340.91mm  
Z: -199.99mm

MAX: 2.76898MPa  
X: 3300.0mm  
Y: -1431.78mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -3.12133MPa  
X: 3300.0mm  
Y: 477.259mm  
Z: -199.99mm

MAX: 1.75351MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -159.086mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -1.9923MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -159.086mm  
Z: -199.99mm



Figura 37 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #3 ubicado en la esquina

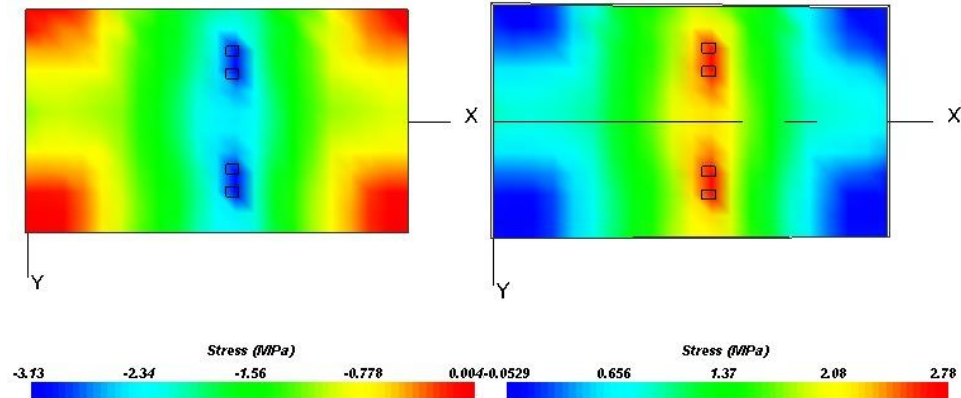


Max/min Principal Stress Values per Slab:

<p>MAX: 1.74849MPa X: 3000.0mm Y: -3340.91mm Z: -0.01mm</p> <p>MIN: -1.9837MPa X: 3000.0mm Y: -3340.91mm Z: -199.99mm</p>	<p>MAX: 1.75132MPa X: 9012.7mm Y: -3340.91mm Z: -0.01mm</p> <p>MIN: -1.98484MPa X: 9012.7mm Y: -3340.91mm Z: -199.99mm</p>
<p>MAX: 1.71262MPa X: 3000.0mm Y: -159.086mm Z: -0.01mm</p> <p>MIN: -1.94498MPa X: 2700.01mm Y: -159.086mm Z: -199.99mm</p>	<p>MAX: 1.72936MPa X: 9012.7mm Y: -159.086mm Z: -0.01mm</p> <p>MIN: -1.94905MPa X: 9012.7mm Y: -159.086mm Z: -199.99mm</p>



Figura 38 Esfuerzos mínimos (izquierda), esfuerzos máximos (derecha) y principales (abajo) de la losa #3 ubicado en el interior



Max/min Principal Stress Values per Slab:

MAX: 1.90543MPa  
X: 3000.0mm  
Y: -1750.05mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -2.00119MPa  
X: 3300.0mm  
Y: -1750.05mm  
Z: -199.99mm

MAX: 1.75657MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -3340.91mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -1.9776MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -3340.91mm  
Z: -199.99mm

MAX: 2.78433MPa  
X: 3300.0mm  
Y: -795.432mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -3.1281MPa  
X: 3300.0mm  
Y: -795.432mm  
Z: -199.99mm

MAX: 1.75499MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -159.086mm  
Z: -0.01mm  
MIN: -1.99335MPa  
X: 9012.7mm  
Y: -159.086mm  
Z: -199.99mm

En el Cuadro 21 se consignaron los esfuerzos máximos y mínimos calculados en las tres losas y se observó que los esfuerzos calculados en el interior de la losa fueron los más altos. Es por esto que para realizar la optimización de las losas se consideraron solo estos esfuerzos ya que son el caso más crítico.

Cuadro 21 Resumen de esfuerzos máximos y mínimos en las losas tipo

	BORDE		ESQUINA		INTERIOR	
	MAX (MPa)	MIN (MPa)	MAX (MPa)	MIN (MPa)	MAX (MPa)	MIN (MPa)
LOSA #1	2,781	-3,16838	1,69604	-1,91931	2,84	-3,195
LOSA #2	2,801	-3,162	1,75	-2,164	2,882	-3,185
LOSA #3	2,768	-3,121	1,751	-1,984	2,784	-3,128



## 5.4.OPTIMIZACIÓN

Luego de observar los esfuerzos bajo los cuales estaban expuestas las losas encontradas en el caso de estudio, se procedió a establecer una relación óptima de largo y ancho de la losa tal que los esfuerzos por alabeo positivo situados en el interior (esfuerzos críticos) no fuesen superiores al 50% del módulo de rotura del concreto (Huang, 1993). Esta relación se llevó a cabo calculando los esfuerzos de la misma manera como se realizaron en las losas tipo pero con un ancho de 3 m y luego 3,5 m, variando el espesor desde 20 a 23 cm para las losas de 3 m y de 22 a 25 cm para las losas de 3,5 m y partiendo de una relación de esbeltez igual a 1 junto a un módulo de rotura de 4,5 MPa. Luego se calculó la relación de largo/espesor y se verificó la esbeltez (largo/ancho). Las iteraciones se llevaron a cabo hasta llegar al límite de falla las cuales se observan en el Cuadro 22 para una losa tipo de 3 m de ancho y en el Cuadro 23 para una losa tipo de 3.5 m de ancho.

**Cuadro 22 Esfuerzos en la losa tipo de 3m con espesor y ancho variable.**

LARGO (m)	ESPESOR DE 20CM		ESPESOR DE 21CM		ESPESOR DE 22CM		ESPESOR DE 23CM	
	MAX (MPa)	MIN (MPa)	MAX (MPa)	MIN (MPa)	MAX (MPa)	MIN (MPa)	MAX (MPa)	MIN (MPa)
3	1,81	-2,12	1,66	-1,96	1,51	-1,82	1,4	-1,79
3,1	1,89	-2,21	1,73	-2,04	1,58	-1,89	1,46	-1,76
3,2	1,96	-2,27	1,8	-2,11	1,65	-1,96	1,52	-1,82
3,3	2,03	-2,35	1,87	-2,18	1,72	-2,03	1,58	-1,88
3,4	2,1	-2,43	1,94	-2,25	1,78	-2,1	1,65	-1,95
3,5	2,18	-2,51	2,01	-2,32	1,86	-2,17	1,72	-2,03
3,6	2,23	-2,56	2,07	-2,39	1,92	-2,23	1,78	-2,08
3,7	2,3	-2,63	2,13	-2,46	1,98	-2,3	1,84	-2,14
3,8	2,36	-2,69	2,19	-2,52	2,04	-2,36	1,9	-2,21
3,9	-	-	2,25	-2,58	2,1	-2,42	1,96	-2,27
4	-	-	-	-	2,16	-2,48	2,02	-2,33
4,1	-	-	-	-	2,21	-2,54	2,08	-2,39
4,2	-	-	-	-	2,27	-2,59	2,13	-2,45
4,3	-	-	-	-	2,32	-2,64	2,18	-2,5



**Cuadro 23 Esfuerzos en la losa tipo de 3.5m con espesor y ancho variable**

LARGO (m)	ESPESOR DE 22CM		ESPESOR DE 23CM		ESPESOR DE 24CM		ESPESOR DE 25CM	
	MAX (MPa)	MIN (MPa)	MAX (MPa)	MIN (MPa)	MAX (MPa)	MIN (MPa)	MAX (MPa)	MIN (MPa)
3,5	1,76	-2,11	1,62	-1,96	1,5	-1,83	1,39	-1,73
3,6	1,82	-2,17	1,69	-2,03	1,56	-1,9	1,45	-1,78
3,7	1,88	2,23	1,75	-2,09	1,62	-1,96	1,5	-1,83
3,8	1,94	-2,29	1,81	-2,16	1,68	-2,02	1,56	-1,89
3,9	1,99	-2,35	1,87	-2,21	1,73	-2,08	1,62	-1,95
4	2,06	-2,42	1,92	-2,28	1,8	-2,14	1,67	-2,01
4,1	-	-	1,97	-2,32	1,84	-2,19	1,73	-2,07
4,2	-	-	-	-	1,9	-2,24	1,78	-2,12
4,3	-	-	-	-	1,95	-2,29	1,83	-2,17
4,4	-	-	-	-	2,01	-2,35	1,89	-2,23
4,5	-	-	-	-	-	-	**	**
4,6	-	-	-	-	-	-	1,97	-2,31
4,7	-	-	-	-	-	-	2,02	-2,36

\*\*Se presentaron inconsistencias en el programa.

En los cuadros 24 y 25 se presentan las relaciones obtenidas calculadas con las losas que incumplían con el criterio de esfuerzo admisible, considerándose estos los límites máximos de diseño.

**Cuadro 24 Relaciones L/e y L/A para losa de 3 metros**

LOSA DE 3 m DE ANCHO				
LARGO (L) (cm)	ESPESOR (e) (cm)	L/e	ANCHO (A) (cm)	L/A
320	20	16	300	1,07
340	21	16,19	300	1,13
370	22	16,82	300	1,23
390	23	16,96	300	1,3

**Cuadro 25 Relaciones L/e y L/A para losa de 3,5 metros**

LOSA DE 3,5 m DE ANCHO				
LARGO (L) (cm)	ESPESOR (e) (cm)	L/e	ANCHO (A) (cm)	L/A
380	22	17,27	350	1,09
400	23	17,39	350	1,14
430	24	17,92	350	1,23
460	25	18,4	350	1,31



## **6. CONCLUSIONES**

Para el caso de estudio, barrio Manga, se calculó que aproximadamente el 30% de las losas se encuentran fisuradas por fallas transversales, mostrando falencias en los diseños realizados en la zona. A su vez se caracterizaron tres losas tipos las cuales sirvieron de herramienta de análisis para la elaboración de la investigación. No se estableció una secuencia clara en las fallas, puesto que estas no se presentaban con un patrón reconocible, sin embargo, en varios sectores de las calles se hizo presente un conjunto de fallas consecutivas que permitieron la parametrización de las losas tipo.

Luego de realizar la modulación, el efecto observado en las losas fue la variación de los esfuerzos a medida que se hacían cambios de las secciones en estas, encontrando esfuerzos que oscilaban entre los 1,70 y 3,20 MPa, siendo los de mayor afectación los presentes en el interior de la losa con valores entre 3,13 y 3,20 MPa. Lo que se mostraba visualmente con la ruptura de las losas.

Luego de realizada las iteraciones del programa EverFE 2.25, se estableció que para el cálculo de esfuerzos la variable determinante fue el espesor de la losa, ya que estas fueron modeladas por el programa como una viga simplemente apoyada; es por esto que se consideró pertinente el cálculo de la relación largo/espesor como un criterio de análisis de las losas. A su vez se observó que la relación largo/ancho aumenta de forma significativa y directamente proporcional al aumento de la relación largo espesor por lo que se concluye que los valores de esbeltez no son el único factor determinante en la aparición de fisuras transversales, por lo que se recomienda utilizar como criterio de predimensionamiento la relación  $L/e$  y  $L/A$  de manera conjunta.

En consecuencia se estima que la relación óptima de largo/espesor para prevenir la aparición de fisuras transversales en los pavimentos rígidos esté comprendida entre los valores de 16 a 18 m/m. Se recomienda que luego de este predimensionamiento se establezca una relación de esbeltez entre 1,0 a 1,3 m/m para un módulo de rotura de 4,5 MPa.



Se determinó que las relaciones de esbeltez de las losas tipo se hallaban entre 1,7 y 2,2 m/m, contrastando con los valores recomendados se justifica la aparición de las fisuras transversales ya que estos valores distan de los valores hallados por el software; así se obtuvo que la relación largo/espesor variaba entre los 30 y 33 m/m, duplicando el valor hallado y recomendado por los autores, analizados por medio del programa EverFE 2.25.



## **7. RECOMENDACIÓN**

Para la elaboración del proyecto se encontraron pocas limitaciones pero una de las más relevantes fue la poca documentación existente ya que el tema de estudio ha sido poco tratado a nivel local y nacional; dificultando así la identificación de antecedentes claves sobre el tema. Esta limitación abre el camino a las generaciones futuras para que se cree en ellas el interés de investigar y profundizar en esta temática que es un tema de gran interés y aplicación para el campo del diseño de vías.

Se recomienda la realización de investigaciones como esta en otros sectores de la ciudad ya que las características del suelo y del clima en esta zona pueden variar corroborando la aplicabilidad de las relaciones  $L/A$  y  $L/e$  anteriormente sugeridas.

Puesto que la investigación únicamente tuvo como base la observación mecánica y estructural de las losas de pavimento rígido, cabe entender que las losas de pavimento rígido, entre mayor espesor tenga, aumentan los costos, por este motivo, se hace recomendación para las futuras investigaciones la realización un estudio que relacione los costos y los beneficios del diseño de las losas optimizadas.





## **8. BIBLIOGRAFIA**

- AASHTO. (1993). *Guide for Desing of Pavements Structures AASHTO*. Capitol Street, N.W., Suite 249, Washngton, D.C., United States.
- Alcaldía Distrital de Cartagena. (2011). *Cómo vamos en infraestructura*. Cartagena de Indias.
- Almonte, J. (28 de 10 de 2013). *Civil Ingeniero*. Obtenido de <http://civilingeniero.blogspot.com.co/search/label/Hormig%C3%B3n>
- Almonte, J. (28 de 10 de 2013). *INGENIERO CIVIL DOPEDIA*. Obtenido de <http://civilingeniero.blogspot.com.co/search/label/Pavimentos>
- Altamirano, V. (1991). *Metodologia de la Investigacion*. Asuncion: La Ley Paraguaya S.A.
- Alvarez, R. D. (2 de Febrero de 2011). Vecinos de Manga defienden su malla vial. *El Universal*. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/vecinos-de-manga-defienden-su-malla-vial-6981>
- Arkiplus. (2 de Agosto de 2013). *Arkiplus*. Recuperado el 23 de Marzo de 2016, de <http://www.arkiplus.com/historia-del-pavimento>
- CEMEX. (2010). *Manual de Pavimentos de Concreto*. Obtenido de CEMEX Mexico Website: <https://www.cemexmexico.com/Concretos/files/manualDePavimentos2010.pdf>
- CEMEX. (s.f.). *DATOS GENERALES DEL PAVIMENTO*. Recuperado el 08 de Mayo de 2016, de CEMEX Mexico Website: <http://www.cemexmexico.com/pavimentos/datosGrales/popups/ruptura.asp?pca=1>



- De Ávila, J. (18 de Julio de 2015). Cartagena tiene su plan de movilidad. *El universal*. Obtenido de <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/cartagena-tiene-su-plan-de-movilidad-200176>
- Duque Sanabria, C. A., & Tibaquirá García, J. (2010). *Estudio de la patología presente en el pavimento rígido del segmento de vía de la carrera 14 entre calles 15 y 20 en el municipio de Granada, departamento del Meta*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Escuela Colombiana de Ingeniería. (1993). II ENCUENTRO DE INGENIEROS DE SUELOS Y ESTRUCTURAS. Bogotá. Recuperado el 07 de Mayo de 2016, de <http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/modulo-de-reaccion-de-subrasante-k.pdf>
- Gómez, Y. (2 de Marzo de 2013). Construir vías cuesta un ojo de la cara. *El Tiempo*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12631375>
- Higuera Sandoval, C. H. (2006). Analisis de sensibilidad de las variables de diseño de un pavimento rigido y su indidencia en la deflexion. *Revista Facultad de Ingeniería UPTC*, 55-70.
- Huang, Y. H. (1993). *Pavement Analysis and Desing* (Primera ed.). Prentice-Hall.
- IDEAM. (2016). *Boletín Climatológico mensual, Agosto de 2016*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual?p\\_p\\_id=110\\_INSTANCE\\_xYvIPc4uxk1Y&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_110\\_INSTANCE\\_xYvIPc4uxk1Y\\_struts\\_action=%2Fdocument\\_library\\_display%2Fvie](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual?p_p_id=110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fvie)
- Jick, T. (1979). *Mezclando métodos cualitativo y cuantitativo: La triangulación en acción*. Cornell University.



- Mills, L., Attoh-Okine, N., & McNeil, S. (2012). Hierarchical Markov Chain Monte Carlo Simulation for Modeling Transverse Cracks in Highway Pavements. *Journal of Transportation Engineering*, 700-707.
- Muniz San Segundo, J. C. (25 de Mayo de 2006). *Webdianoia*. Recuperado el 23 de Marzo de 2016, de <http://www.webdianoia.com/archivos/colab/vias.pdf>
- Orozco Ortiz, Y., & Burgos Romero, J. (Septiembre de 2012). Deterioro del pavimento por las intervenciones de las empresas de servicios publicos en las vias del barrio Manga de la ciudad de Cartagena. Cartagena, Colombia.
- SÁNCHEZ CAMPOS, P. E. (NOVIEMBRE de 2014). MÉTODO DE DISEÑO DE LAS LOSAS DE DIMENSIONES SUPERFICIALES OPTIMIZADAS, EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO. San Salvador, Salvador.
- Sanchez Sabogal, F. (s.f.). ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (diapositivas). *MODULO 3*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 09 de Mayo de 2016, de [http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina\\_via/modulos/MODULO%203.pdf](http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%203.pdf)
- Sancllemente, C. (1998). *Reseña historica de la ingenieria colombiana*. Bogota: Academia Colombiana de Historia.
- Universidad de Sonora. (s.f.). MÉTODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO. 121. Mexico. Recuperado el 08 de Mayo de 2016, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4203/Capitulo5.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia. (Octubre de 2006). *Ministerio de Transporte*. Obtenido de Instituto Nacional de Vias (INVIAS): [http://www.invias.gov.co/index.php/historico-cartelera-virtual/doc\\_download/664-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-rigidos](http://www.invias.gov.co/index.php/historico-cartelera-virtual/doc_download/664-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-rigidos)



University of Maine. (s.f.). EverFE: Software for the 3D Finite Element Analysis of Jointed Plain Concrete Pavements. Recuperado el 11 de Mayo de 2016, de UMAINE: <http://civil.umaine.edu/everfe/>

University of Washington. (s.f.). *EverFE v1.01 User's Manual*. Recuperado el 11 de Mayo de 2016, de Washington States Departmen of Transportation: <http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/FEED2E49-76D2-443C-BC59-6FDCBB94D002/0/EverFEv101Manual.pdf>

Wu, Z., Xiao, D. X., Zhang, Z., & Temple, W. (2014). Evaluation of AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide for designing rigid pavements in louisiana. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 405-415.



## 9. ANEXOS

A continuación se presenta las tablas con la información recolectada durante la auscultación de cada calle enumerada desde el Anexo 1 al 5.

Anexo 1 Auscultación Avenida Real

AVENIDA REAL														
# LOSA	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
0	6	6	3,5		x			6	6	3	x		3,3	3,3
1	11	5	3,5		x			11	5	3	x		8,5	2,5
2	21	10	3,5		x			21	10	3		x		
3	25,2	4,2	3		x			25,2	4,2	3,5		x		
4	29,8	4,6	3		x			29,8	4,6	3,5	x		32,4	2,6
5	35,9	6,1	3		x			35,9	6,1	3,5		x		
6	41	5,1	3	x		45,2	4,2	41	5,1	3,5	x		45,2	4,2
7	48	7	3		x			48	7	3,5	x		51	3
8	53,9	5,9	3	x		56,1	2,2	53,9	5,9	3,5		x		
9	60	6,1	3	x		63	3	60	6,1	3,5	x		63	3
10	66,2	6,2	3		x			66,2	6,2	3,5	x		69,6	3,4
11	72,2	6	3	x		75,6	3,4	72,2	6	3,5	x		75,6	3,4
12	78,2	6	3		x			78,2	6	3,5		x		
13	82,1	3,9	3,5		x			82,1	3,9	3,5		x		
14	96,3	14,2	3,5		x			96,3	14,2	3,5		x		
15	99,4	3,1	3,5		x			99,4	3,1	3,5		x		
16	102,4	3	3,5		x			102,4	3	3,5		x		
17	105,9	3,5	3,5		x			105,9	3,5	3,5		x		
18	108,6	2,7	3,5		x			108,6	2,7	3,5		x		
19	113,8	5,2	3,5		x			113,8	5,2	3,5		x		
20	116,3	2,5	3,5		x			116,3	2,5	3,5		x		
21	119,6	3,3	3,5		x			119,6	3,3	3,5		x		
22	125,6	6	3,5		x			125,6	6	3,5	x		127,3	1,7
23	131,6	6	3,5	x		136,6	5	128,7	3,1	3,5		x		
24	137,7	6,1	3,5	x		140,2	2,5	137,7	9	3,5		x		
25	143,2	5,5	3,5	x		146,6	3,4	143,2	5,5	3,5	x		146,8	3,6
26	149,8	6,6	3,5	x		152,5	2,7	149,8	6,6	3,5	x		152,5	2,7
27	155,9	6,1	3,5	x		159,1	3,2	155,9	6,1	3,5	x		159,1	3,2
28	162	6,1	3,5	x		162,8	0,8	162	6,1	3,5		x		
29	168	6	3,5		x			168	6	3,5		x		
30	174,2	6,2	3,5	x		175,6	1,4	174,2	6,2	3,5		x		
31	180,1	5,9	3,5	x		182,2	2,1	180,1	5,9	3,5	x		182,2	2,1
32	186,1	6	3,5	x		188,8	2,7	186,1	6	3,5	x		188,8	2,7
33	191,7	5,6	3,5		x			191,7	5,6	3,5		x		
34	196,7	5	3,5		x			196,7	5	3,5		x		
35	202,7	6	3,5		x			202,7	6	3,5		x		
36	206	3,3	3,5		x			206	3,3	3,5		x		
37	209,5	3,5	3,5	x		212,4	2,9	209,5	3,5	3,5	x		212,4	2,9



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA REAL														
# LOSA	LOSA DERECHA						LOSA IZQUIERDA							
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
38	215,2	5,7	3,5	x		219,7	4,5	215,2	5,7	3,5	x		219,7	4,5
39	221,4	6,2	3,5	x		226,5	5,1	221,4	6,2	3,5	x		226,5	5,1
40	227,4	6	3,5		x			227,4	6	3,5	x		230,1	2,7
41	233,6	6,2	3,5	x		236,4	2,8	233,6	6,2	3,5	x		236,1	2,5
42	239,5	5,9	3,5		x			239,5	5,9	3,5		x		
43	245,7	6,2	3,5	x		248,8	3,1	245,7	6,2	3,5	x		248,8	3,1
44	251,6	5,9	3,5	x		254,5	2,9	251,6	5,9	3,5	x		254,5	2,9
45	257,7	6,1	3,5		x			257,7	6,1	3,5	x		260,5	2,8
46	263,9	6,2	3,5		x			263,9	6,2	3,5		x		
47	269,6	5,7	3,5		x			269,6	5,7	3,5		x		
48	275,9	6,3	3,5	x		278,9	3	275,9	6,3	3,5	x		278,9	3
49	282	6,1	3,5		x			282	6,1	3,5		x		
50	288	6	3,5		x			288	6	3,5	x		291,2	3,2
51	294,4	6,4	3,5	x		297,6	3,2	294,4	6,4	3,5	x		297,6	3,2
52	300,2	5,8	3,5	x		302,3	2,1	300,2	5,8	3,5		x		
53	306,7	6,5	3,5		x			306,7	6,5	3,5	x		309	2,3
54	312,6	5,9	3,5		x			312,6	5,9	3,5		x		
55	318,5	5,9	3,5	x		321,5	3	318,5	5,9	3,5	x		321,5	3
56	324,7	6,2	3,5		x			324,7	6,2	3,5	x		327,3	2,6
57	330,8	6,1	3,5		x			330,8	6,1	3,5		x		
58	333,8	3	3,5		x			333,8	3	3,5		x		
59	336,7	2,9	3,5	x		339,4	2,7	336,7	2,9	3,5		x		
60	341,9	5,2	3,5		x			341,9	5,2	3,5		x		
61	346,1	4,2	3,5		x			346,1	4,2	3,5		x		
62	348,9	2,8	3,5		x			348,9	2,8	3,5		x		
63	355	6,1	3,5		x			355	6,1	3,5		x		
64	361	6	3,5	x		364,5	3,5	361	6	3,5	x		364,5	3,5
65	367	6	3,5	x		369,7	2,7	367	6	3,5	x		369,7	2,7
66	373	6	3,5	x		375,9	2,9	373	6	3,5	x		375,9	2,9
67	379,1	6,1	3,5	x		382	2,9	379,1	6,1	3,5	x		382	2,9
68	385,4	6,3	3,5	x		389,3	3,9	385,4	6,3	3,5		x		
69	391,4	6	3,5	x		393,1	1,7	391,4	6	3,5	x		394,6	3,2
70	396,8	5,4	3,5	x		399,6	2,8	396,8	5,4	3,5		x		
71	402,8	6	3,5		x			402,8	6	3,5	x		405,8	3
72	408,6	5,8	3,5		x			408,6	5,8	3,5	x		411,2	2,6
73	415	6,4	3,5		x			415	6,4	3,5	x		418	3
74	421,1	6,1	3,5	x		423,7	2,6	421,1	6,1	3,5		x		
75	427,2	6,1	3,5		x			427,2	6,1	3,5		x		
76	429,9	2,7	3,5		x			429,9	2,7	3,5		x		
77	441,2	11,3	3,5		x			441,2	11,3	3,5		x		
78	443,9	2,7	3,5		x			443,9	2,7	3,5		x		
79	448,7	4,8	3,5	x		451,2	2,5	448,7	4,8	3,5		x		
80	454,2	5,5	3,5	x		456,5	2,3	454,2	5,5	3,5		x		
81	460,5	6,3	3,5	x		462,9	2,4	460,5	6,3	3,5	x		463,7	3,2
82	466,7	6,2	3,5	x		469,9	3,2	466,7	6,2	3,5	x		469,9	3,2
83	472,6	5,9	3,5		x			472,6	5,9	3,5		x		



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA REAL														
# LOSA	LOSA DERECHA						LOSA IZQUIERDA							
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
84	478,8	6,2	3,5	x		481,1	2,3	478,8	6,2	3,5	x		481,7	2,9
85	484,4	5,6	3,5	x		487,8	3,4	484,4	5,6	3,5	x		487,6	3,2
86	490,7	6,3	3,5		x			490,7	6,3	3,5	x		492,2	1,5
87	496,5	5,8	3,5	x		498,7	2,2	496,5	5,8	3,5	x		498,7	2,2
88	502,7	6,2	3,5		x			502,7	6,2	3,5		x		
89	505,9	3,2	3,5		x			505,9	3,2	3,5		x		
90	508,9	3	3,5	x		511,7	2,8	508,9	3	3,5	x		511,7	2,8
91	515	6,1	3,5	x		517,5	2,5	515	6,1	3,5	x		518	3
92	520	5	3,5	x		523,7	3,7	520	5	3,5	x		523,7	3,7
93	527,1	7,1	3,5	x		530,4	3,3	527,1	7,1	3,5		x		
94	533,5	6,4	3,5		x			533,5	6,4	3,5		x		
95	539,7	6,2	3,5		x			539,7	6,2	3,5	x		543	3,3
96	545,3	5,6	3,5	x		548,5	3,2	545,3	5,6	3,5		x		
97	551,3	6	3,5		x			551,3	6	3,5		x		
98	554,2	2,9	3,5		x			554,2	2,9	3,5		x		
99	557,3	3,1	3,5		x			557,3	3,1	3,5		x		
100	564,8	7,5	3,5	x		567,8	3	564,8	7,5	3,5	x		567,1	2,3
101	570,6	5,8	3,5	x		573,5	2,9	570,6	5,8	3,5		x		
102	577,2	6,6	3,5		x			577,2	6,6	3,5	x		581	3,8
103	583	5,8	3,5		x			583	5,8	3,5	x		586,6	3,6
104	589,2	6,2	3,5		x			589,2	6,2	3,5		x		
105	595,2	6	3,5	x		597,6	2,4	595,2	6	3,5	x		597,6	2,4
106	601,2	6	3,5	x		603,9	2,7	601,2	6	3,5	x		603,6	2,4
107	607,3	6,1	3,5	x		610,8	3,5	607,3	6,1	3,5		x		
108	613,3	6	3,5		x			613,3	6	3,5		x		
109	619,3	6	3,5		x			619,3	6	3,5		x		
110	625,4	6,1	3,5		x			625,4	6,1	3,5		x		
111	628,4	3	3,5		x			628,4	3	3,5		x		
112	631,5	3,1	3,5		x			631,5	3,1	3,5		x		
113	633,5	2	3,5		x			633,5	2	3,5		x		
114	637,3	3,8	3,5		x			637,3	3,8	3,5		x		
115	640	2,7	3,5		x			640	2,7	3,5		x		
116	643,4	3,4	3,5	x		645,4	2	643,4	3,4	3,5	x		645,4	2
117	649,5	6,1	3,5	x		653,5	4	649,5	6,1	3,5	x		652,5	3
118	655,5	6	3,5	x		658,8	3,3	655,5	6	3,5	x		658,8	3,3
119	661,6	6,1	3,5	x		664,5	2,9	661,6	6,1	3,5		x		
120	667,9	6,3	3,5	x		670,5	2,6	667,9	6,3	3,5		x		
121	673,9	6	3,5	x		676,3	2,4	673,9	6	3,5		x		
122	679,6	5,7	3,5	x		683,2	3,6	679,6	5,7	3,5	x		683,2	3,6
123	685,7	6,1	3,5	x		690,1	4,4	685,7	6,1	3,5	x		688,8	3,1
124	692,4	6,7	3,5	x		694,8	2,4	692,4	6,7	3,5	x		694,8	2,4
125	698,4	6	3,5		x			698,4	6	3,5		x		
126	704,9	6,5	3,5		x			704,9	6,5	3,5	x		708	3,1
127	710,8	5,9	3,5	x		714,4	3,6	710,8	5,9	3,5	x		714,4	3,6
128	717	6,2	3,5	x		720,1	3,1	717	6,2	3,5		x		
129	722,7	5,7	3,5		x			722,7	5,7	3,5	x		725,9	3,2



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA REAL														
# LOSA	LOSA DERECHA						LOSA IZQUIERDA							
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
130	728,9	6,2	3,5	x		731,6	2,7	728,9	6,2	3,5		x		
131	734,9	6	3,5		x			734,9	6	3,5	x		738,3	3,4
132	741,1	6,2	3,5	x		741,9	0,8	741,1	6,2	3,5		x		
133	747,3	6,2	3,5		x			747,3	6,2	3,5		x		
134	753,4	6,1	3,5		x			753,4	6,1	3,5		x		
135	760,3	6,9	3,5		x			760,3	6,9	3,5		x		
136	765,3	5	3,5	x		768	2,7	765,3	5	3,5		x		
137	771,4	6,1	3,5	x		773,8	2,4	771,4	6,1	3,5		x		
138	777,5	6,1	3,5		x			777,5	6,1	3,5		x		
139	782,2	4,7	3,5		x			782,2	4,7	3,5		x		
140	785,8	3,6	3,5		x			785,8	3,6	3,5		x		
141	789,6	3,8	3,5	x		792,5	2,9	789,6	3,8	3,5	x		792,5	2,9
142	795,6	6	3,5		x			795,6	6	3,5		x		
143	801,5	5,9	3,5		x			801,5	5,9	3,5	x		804,2	2,7
144	807,1	5,6	3,5	x		810,1	3	807,1	5,6	3,5		x		
145	813	5,9	3,5		x			813	5,9	3,5		x		
146	819,1	6,1	3,5	x		821,7	2,6	819,1	6,1	3,5	x		822	2,9
147	825,2	6,1	3,5	x		827,2	2	825,2	6,1	3,5	x		827,2	2
148	831,3	6,1	3,5	x		834,5	3,2	831,3	6,1	3,5		x		
149	837,4	6,1	3,5		x			837,4	6,1	3,5		x		
150	840,5	3,1	3,5		x			840,5	3,1	3,5		x		
151	843,3	2,8	3,5		x			843,3	2,8	3,5		x		
152	846,6	3,3	3,5		x			846,6	3,3	3,5		x		
153	849,6	3	3,5		x			849,6	3	3,5		x		
154	852,7	3,1	3,5		x			852,7	3,1	3,5		x		
155	855,7	3	3,5	x		858,3	2,6	855,7	3	3,5	x		858,3	2,6
156	861,8	6,1	3,5	x		870,9	9,1	861,8	6,1	3,5		x		
157	873,9	12,1	3,5		x			873,9	12,1	3,5		x		
158	879,9	6	3,5	x		882,9	3	879,9	6	3,5		x		
159	885,9	6	3,5	x		888,5	2,6	885,9	6	3,5		x		
160	892,1	6,2	3,5		x			892,1	6,2	3,5		x		
161	895,5	3,4	3,5		x			895,5	3,4	3,5		x		
162	898,4	2,9	3,5		x			898,4	2,9	3,5		x		
163	903	4,6	3,5	x		907,6	4,6	903	4,6	3,5		x		
164	910,4	7,4	3,5	x		913,2	2,8	910,4	7,4	3,5		x		
165	916,4	6	3,5		x			916,4	6	3,5		x		
166	922,4	6	3,5	x		925,2	2,8	922,4	6	3,5		x		
167	928,2	5,8	3,5		x			928,2	5,8	3,5		x		
168	932,9	4,7	3,5		x			932,9	4,7	3,5		x		
169	938,2	5,3	3,5		x			938,2	5,3	3,5		x		
170	940,3	2,1	3,5	x		942,4	2,1	940,3	2,1	3,5		x		
171	946,3	6	3,5		x			946,3	6	3,5		x		
172	949,5	3,2	3,5		x			949,5	3,2	3,5		x		
173	952,4	2,9	3,5		x			952,4	2,9	3,5		x		
174	955,7	3,3	3,5		x			955,7	3,3	3,5		x		
175	958,2	2,5	3,5		x			958,2	2,5	3,5		x		





Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA REAL														
# LOSA	LOSA DERECHA						LOSA IZQUIERDA							
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
176	960,9	2,7	3,5		x			960,9	2,7	3,5		x		
177	964,4	3,5	3,5		x			964,4	3,5	3,5		x		
178	968,5	4,1	3,5		x			968,5	4,1	3,5		x		
179	972,4	3,9	3,5		x			972,4	3,9	3,5		x		
180	976,3	3,9	3,5		x			976,3	3,9	3,5		x		
181	980,6	4,3	3,5		x			980,6	4,3	3,5		x		
182	984,1	3,5	3,5		x			984,1	3,5	3,5		x		
183	988,5	4,4	3,5		x			988,5	4,4	3,5		x		
184	991,8	3,3	3,5		x			991,8	3,3	3,5		x		
185	995,3	3,5	3,5		x			995,3	3,5	3,5		x		
186	999	3,7	3,5		x			999	3,7	3,5		x		
187	1003	4	3,5		x			1003	4	3,5		x		
188	1007	4	3,5		x			1007	4	3,5		x		
189	1011	4	3,5		x			1011	4	3,5		x		
190	1015	4	3,5		x			1015	4	3,5		x		
191	1019	4	3,5		x			1019	4	3,5		x		
192	1023,3	4,3	3,5		x			1023,3	4,3	3,5		x		
193	1027,3	4	3,5		x			1027,3	4	3,5		x		
194	1031,3	4	3,5		x			1031,3	4	3,5		x		
195	1035,4	4,1	3,5		x			1035,4	4,1	3,5		x		
196	1039,4	4	3,5		x			1039,4	4	3,5		x		
197	1043,4	4	3,5		x			1043,4	4	3,5		x		
198	1045,5	2,1	3,5		x			1045,5	2,1	3,5		x		
199	1048,9	3,4	3,5		x			1048,9	3,4	3,5		x		
200	1053,2	4,3	3,5		x			1053,2	4,3	3,5		x		
201	1057,5	4,3	3,5		x			1057,5	4,3	3,5		x		
202	1062	4,5	3,5		x			1062	4,5	3,5		x		
203	1065,2	3,2	3,5		x			1065,2	3,2	3,5		x		
204	1068,7	3,5	3,5		x			1068,7	3,5	3,5		x		
205	1072,7	4	3,5		x			1072,7	4	3,5		x		
206	1076,7	4	3,5		x			1076,7	4	3,5		x		
207	1080,7	4	3,5		x			1080,7	4	3,5		x		
208	1084,7	4	3,5		x			1084,7	4	3,5		x		
209	1088,6	3,9	3,5		x			1088,6	3,9	3,5		x		
210	1092,5	3,9	3,5		x			1092,5	3,9	3,5		x		
211	1096,7	4,2	3,5		x			1096,7	4,2	3,5		x		
212	1100,5	3,8	3,5		x			1100,5	3,8	3,5		x		
213	1104,5	4	3,5		x			1104,5	4	3,5		x		
214	1108,3	3,8	3,5		x			1108,3	3,8	3,5		x		
215	1112,4	4,1	3,5		x			1112,4	4,1	3,5		x		
216	1115,6	3,2	3,5		x			1115,6	3,2	3,5		x		
217	1119,6	4	3,5		x			1119,6	4	3,5		x		
218	1123,6	4	3,5		x			1123,6	4	3,5		x		
219	1127,5	3,9	3,5		x			1127,5	3,9	3,5		x		
220	1131,5	4	3,5		x			1131,5	4	3,5		x		
221	1134,6	3,1	3,5		x			1134,6	3,1	3,5		x		



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA REAL														
# LOSA	LOSA DERECHA						LOSA IZQUIERDA							
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
222	1137,6	3	3,5		x			1137,6	3	3,5		x		
223	1140,7	3,1	3,5		x			1140,7	3,1	3,5		x		
224	1144,2	3,5	3,5		x			1144,2	3,5	3,5		x		
225	1147,5	3,3	3,5		x			1147,5	3,3	3,5		x		

Anexo 2 Auscultación Avenida Jiménez

AVENIDA JIMENEZ														
# LOSA	LOSA DERECHA						LOSA IZQUIERDA							
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
0	0		3,4		x			0		3,5	x		2,9	2,9
1	6	6	3,4	x		9,3	3,3	6	6	3,5		x		
2	12,1	6,1	3,4	x		15	2,9	12,1	6,1	3,5		x		
3	18,2	6,1	3,5		x			18,2	6,1	3		x		
4	24,2	6	3,5		x	26,4	2,2	24,2	6	3		x		
5	28,9	4,7	3,5		x			28,9	4,7	3		x		
6	30,7	1,8	3,5		x			30,2	1,3	3		x		
7	34,4	3,7	3,5		x			34,4	4,2	3	x		37,2	2,8
8	40,2	5,8	3,5		x			40,2	5,8	3		x		
9	42,4	2,2	3,5		x			42,4	2,2	3		x		
10	45,9	3,5	3,5		x			45,9	3,5	3		x		
11	52	6,1	3,5	x		53,7	1,7	52	6,1	3		x		
12	55,2	3,2	3,5		x			55,2	3,2	3		x		
13	58,3	3,1	3,5		x			58,3	3,1	3	x		62,8	4,5
14	64,4	6,1	3,5	x		66,9	2,5	64,4	6,1	3		x		
15	70,4	6	3,5	x		74,8	4,4	70,4	6	3		x		
16	76,5	6,1	3,5		x			76,5	6,1	3		x		
17	82,5	6	3,5	x		85,7	3,2	82,5	6	3	x		85,7	3,2
18	88,5	6	3,5	x		91,8	3,3	88,5	6	3	x		91,8	3,3
19	94,2	5,7	3,5		x			94,2	5,7	3	x		97	2,8
20	99,8	5,6	3,5		x			99,8	5,6	3		x		
21	105,7	5,9	3,5		x			105,7	5,9	3		x		
22	111,3	5,6	3,5	x		113,5	2,2	111,3	5,6	3	x		113,5	2,2
23	117,1	5,8	3,5	x		120,3	3,2	117,1	5,8	3,4		x		
24	123	5,9	3,5		x			123	5,9	3,4		x		
25	128,9	5,9	3,5		x			128,9	5,9	3,4		x		
26	134,4	5,5	3,5	x		137,2	2,8	134,4	5,5	3,4		x		
27	140,4	6	3,5		x			140,4	6	3,4		x		
28	146,5	6,1	3,5	x		150,4	3,9	146,5	6,1	3,4	x		150,4	3,9
29	152,6	6,1	3,5		x			152,6	6,1	3,4	x		155,1	2,5
30	158,6	6	3,5		x			158,6	6	3,4	x		161,5	2,9
31	164,6	6	3,5		x			164,6	6	3,4		x		
32	170,7	6,1	3,5	x		173,2	2,5	170,7	6,1	3,4		x		
33	176,7	6	3,5	x		181	4,3	176,7	6	3,4	x		181,1	4,4
34	182,8	6,1	3,5	x		186,7	3,9	182,8	6,1	3,4	x		185,3	2,5
35	188,5	5,7	3,5		x			188,5	5,7	3,4		x		



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA JIMENEZ														
# LOSA	LOSA DERECHA						LOSA IZQUIERDA							
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
36	192,3	3,8	3,5		x			192,3	3,8	3,4		x		
37	195,7	3,4	3,5		x			195,7	3,4	3,4		x		
38	198,3	2,6	3,5		x			198,3	2,6	3,4		x		
39	200,8	2,5	3,5		x			200,8	2,5	3,4		x		
40	203,7	2,9	3,5		x			203,7	2,9	3,4		x		
41	206,7	3	3,5		x			206,7	3	3,4		x		
42	210,3	3,6	3,5		x			210,3	3,6	3,4		x		
43	214,4	4,1	3,5		x			214,4	4,1	3,4		x		
44	218	3,6	3,5		x			218	3,6	3,4		x		
45	224,7	6,7	3,5		x			224,7	6,7	3,4		x		
46	227,6	2,9	3,5		x			227,6	2,9	3,4		x		
47	229,7	2,1	3,5		x			229,7	2,1	3,4		x		
48	232,8	3,1	3,5		x			232,8	3,1	3,4		x		
49	239,9	7,1	3,5		x			239,9	7,1	3,4		x		
50	242,3	2,4	3		x			242,3	2,4	3,1		x		
51	247,9	5,6	3	x		251,7	3,8	247,9	5,6	3,1	x		252	4,1
52	254,5	6,6	3		x			254,5	6,6	3,1	x		257,2	2,7
53	260,4	5,9	3	x		263,1	2,7	260,4	5,9	3,1	x		263,1	2,7
54	266,5	6,1	3	x		268,8	2,3	266,5	6,1	3,1	x		268,9	2,4
55	272,5	6	3	x		276,1	3,6	272,5	6	3,1	x		276,1	3,6
56	278,6	6,1	3		x			278,6	6,1	3,1		x		
57	284,6	6	3		x			284,6	6	3,1		x		
58	290,7	6,1	3	x		293,6	2,9	290,7	6,1	3,1	x		293,6	2,9
59	296,6	5,9	3	x		300,5	3,9	296,6	5,9	3,1	x		300,5	3,9
60	302,8	6,2	3	x		305,7	2,9	302,8	6,2	3,1	x		306,7	3,9
61	309,3	6,5	3		x			309,3	6,5	3,1	x		312	2,7
62	315,6	6,3	3	x		318,2	2,6	315,6	6,3	3,1	x		319	3,4
63	321,6	6	3		x			321,6	6	3,1		x		
64	324	2,4	3		x			324	2,4	3,1		x		
65	327,7	3,7	3		x			327,7	3,7	3,1		x		
66	333,7	6	3		x			333,7	6	3,1	x		337,2	3,5
67	339,7	6	3,5		x			339,7	6	3,1	x		342,4	2,7
68	345,7	6	3,5		x			345,7	6	3,1	x		348,7	3
69	351,5	5,8	3,5		x			351,5	5,8	3,1		x		
70	357,6	6,1	3,5		x			357,6	6,1	3,1	x		360,7	3,1
71	363,9	6,3	3,5		x			363,9	6,3	3,1	x		366,2	2,3
72	369,9	6	3,5		x			369,9	6	3,1	x		373,1	3,2
73	375,9	6	3,5		x			375,9	6	3,1	x		379,6	3,7
74	382	6,1	3,5		x			382	6,1	3,1	x		384,5	2,5
75	388,1	6,1	3,5		x			388,1	6,1	3,1		x		
76	394,2	6,1	3,5		x			394,2	6,1	3,1		x		
77	400,3	6,1	3,5		x			400,3	6,1	3,1		x		
78	406,2	5,9	3,5		x			406,2	5,9	3,1	x		408,3	2,1
79	410,1	3,9	3,5		x			410,1	3,9	3,1		x		
80	412,5	2,4	3,5		x			412,5	2,4	3,1		x		
81	418,5	6	3,5		x			418,5	6	3,1	x		421,7	3,2



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA JIMENEZ														
# LOSA	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
82	424,5	6	3,5		x			424,5	6	3,1		x		
83	430,6	6,1	3,5		x			430,6	6,1	3,1		x		
84	436,4	5,8	3,5		x			436,4	5,8	3,1		x		
85	442,6	6,2	3,5	x		445,8	3,2	442,6	6,2	3,1		x		
86	448,5	5,9	3,5	x		450,7	2,2	448,5	5,9	3,1	x		451,7	3,2
87	454,6	6,1	3,5		x			454,6	6,1	3,1	x		457	2,4
88	460,5	5,9	3,5	x		463,5	3	460,5	5,9	3,1	x		464,5	4
89	466,7	6,2	3,5		x			466,7	6,2	3,1	x		469,4	2,7
90	472,8	6,1	3,5	x		476,1	3,3	472,8	6,1	3,1	x		476,1	3,3
91	479	6,2	3,5	x		481,8	2,8	479	6,2	3,1	x		481,8	2,8
92	485,2	6,2	3,5	x		488,6	3,4	485,2	6,2	3,1	x			
93	491,6	6,4	3,5	x		494,2	2,6	491,6	6,4	3,1	x		495,4	3,8
94	498,1	6,5	3,5		x			498,1	6,5	3,1	x			
95	500,2	2,1	3,5	x		502,5	2,3	500,2	2,1	3,1	x			
96	506,5	6,3	3,5	x		509,7	3,2	506,5	6,3	3,1	x			
97	512,7	6,2	3,5	x				512,7	6,2	3,1	x			

Anexo 3 Auscultación Avenida Miramar

AVENIDA MIRAMAR														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
1	4,5	4,5	3,5					4,5	4,5	3,5	x		3,3	3,3
2	10,1	5,6	3,5	x		8	3,5	10,1	5,6	3,5	x		8	3,5
3	15,9	5,8	3,5	x		18,5	2,6	15,9	5,8	3,5				
4	20,6	4,7	3,5	x		23,7	3,1	20,6	4,7	3,5				
5	26,8	6,2	3,5					26,8	6,2	2,9	x		23,9	3,3
6	29,7	2,9	3,5					29,7	2,9	2,9				
7	33,4	3,7	3,5					33,4	3,7	2,9				
8	37,4	4	3,5					37,4	4	2,9				
9	41,9	4,5	3,5					41,9	4,5	2,9				
10	48	6,1	3,5					48	6,1	2,9				
11	54,1	6,1	3,5					54,1	6,1	2,9				
12	60,3	6,2	3,5					60,3	6,2	2,9				
13	66,3	6	3,5					66,3	6	2,9	x		63,7	3,4
14	71,8	5,5	3,5					71,8	5,5	2,9				
15	78,2	6,4	3,5					78,2	6,4	2,9				
16	84,1	5,9	3,5					84,1	5,9	2,9	x		80,3	2,1
17	90	5,9	3,5	x		92,4	2,4	90	5,9	2,9	x		86,8	2,7
18	96	6	3,5					96	6	2,9	x		92,4	2,4
19	102	6	3,5					102	6	2,9				
20	108	6	3,5					108	6	2,9				
21	114	6	3,5					114	6	2,9				
22	118,4	4,4	3,5					118,4	4,4	2,9				
23	124,6	6,2	3,5					124,6	6,2	2,9				
24	129,1	4,5	3,5					129,1	4,5	2,9				



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA MIRAMAR														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
25	134,1	5	3,5					134,1	5	2,9				
26	136,1	2	3,5					136,1	2	2,9				
27	140,7	4,6	3,5					140,7	4,6	2,9				
28	146,6	5,9	3,5					146,6	5,9	2,9				
29	150	3,4	3,5					150	3,4	2,9				
30	155,9	5,9	3,5					155,9	5,9	2,9				
31	162	6,1	3,5					162	6,1	2,9				
32	168	6	3,5					168	6	2,9				
33	173,9	5,9	3,5					173,9	5,9	2,9	x		170,9	2,9
34	176	2,1	3,5					176	2,1	2,9				
35	179,2	3,2	3,5					179,2	3,2	2,9				
36	182,2	3	3,5					182,2	3	1,7				
37	185,9	3,7	3,5					185,9	3,7	1,7				
38	189,3	3,4	3,5					189,3	3,4	1,7				
39	191,8	2,5	3,5					191,8	2,5	1,7				
40	195,1	3,3	3,5					195,1	3,3	1,7				
41	197,3	2,2	3,5					197,3	2,2	1,7				
42	203,9	6,6	3,5					203,9	6,6	1,7				
43	209,8	5,9	3,5					209,8	5,9	1,7				
44	215,6	5,8	3,5					215,6	5,8	1,7	x		211,3	1,5
45	221,5	5,9	3,5					221,5	5,9	1,7				
46	224,8	3,3	3,5					224,8	3,3	1,7				
47	228,7	3,9	3,5					228,7	3,9	1,7				
48	232,6	3,9	3,5					232,6	3,9	1,7				
49	238,2	5,6	3,5					238,2	5,6	1,7				
50	241,7	3,5	3,5					241,7	3,5	1,7				
51	246	4,3	3,5					246	4,3	1,7				
52	250,3	4,3	3,5					250,3	4,3	1,7				
53	256,2	5,9	3,5					256,2	5,9	1,7				
54	261,1	4,9	3,5					261,1	4,9	1,7				
55	266	4,9	3,5					266	4,9	1,7				
56	270	4	3,5					270	4	1,7				
57	274	4	3,5	x		277	3	274	4	1,7				
58	280	6	3,5					280	6	1,7	x		277	3
59	286	6	3,5	x		289,6	3,6	286	6	1,7				
60	291,9	5,9	3,5	x		295,2	3,3	291,9	5,9	1,7	x		289,6	3,6
61	297,8	5,9	3,5					297,8	5,9	1,7	x		295,2	3,3
62	303,2	5,4	3,5					303,2	5,4	1,7				
63	308,6	5,4	3,5	x		311,3	2,7	308,6	5,4	1,7				
64	314,5	5,9	3,5	x		318,6	4,1	314,5	5,9	1,7	x		311,3	2,7
65	320,7	6,2	3,5					320,7	6,2	1,7	x		318,6	4,1
66	326,8	6,1	3,5	X		329,7	2,9	326,8	6,1	1,7				
67	332,9	6,1	3,5					332,9	6,1	1,7				
68	339,7	6,8	3,5					339,7	6,8	1,7	x		342,4	2,7
69	344,7	5	3,5					344,7	5	1,7				
70	350,9	6,2	3,5	X		347	2,3	350,9	6,2	1,7	x		347,6	2,9



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA MIRAMAR														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
71	354	3,1	3,5					354	3,1	1,7				
72	356,9	2,9	3,5					356,9	2,9	1,7				
73	359,6	2,7	3,5					359,6	2,7	1,7				
74	362,2	2,6	3,5					362,2	2,6	1,7				
75	365	2,8	3,5					365	2,8	1,7				
76	367,9	2,9	3,5					367,9	2,9	1,7				
77	372,7	4,8	3,5					372,7	4,8	1,7				
78	377,9	5,2	3,5					377,9	5,2	1,7				
79	384,1	6,2	3,5					384,1	6,2	1,7	x		382	4,1
80	387,9	3,8	3,5					387,9	3,8	1,7				
81	392,1	4,2	3,5					392,1	4,2	1,7				
82	398,1	6	3,5					398,1	6	1,7	x		395	2,9
83	404,5	6,4	3,5					404,5	6,4	1,7				
84	408,7	4,2	3,5					408,7	4,2	1,7				
85	412,6	3,9	3,5					412,6	3,9	1,7				
86	418,5	5,9	3,5					418,5	5,9	1,7				
87	424,5	6	3,5					424,5	6	1,7	x		421,9	3,4
88	427,6	3,1	3,5					427,6	3,1	1,7				
89	432,4	4,8	3,5					432,4	4,8	1,7				
90	435,6	3,2	3,5					435,6	3,2	1,7				
91	459,6	24	3,5					439,6	4	1,7				
92	445,6	-14	3,5					445,6	6	1,7				
93	451,8	6,2	3,5					451,8	6,2	1,7	x		447,2	1,6
94	457,9	6,1	3,5					457,9	6,1	1,7				
95	462,4	4,5	3,5					462,4	4,5	1,7				
96	467,2	4,8	3,5					467,2	4,8	1,7				
97	472,6	5,4	3,5					472,6	5,4	1,7				
98	478,5	5,9	3,5					478,5	5,9	1,7				
99	483,7	5,2	3,5					483,7	5,2	1,7				
100	485,7	2	3,5					485,7	2	1,7				
101	489,7	4	3,5					489,7	4	1,7				
102	494,9	5,2	3,5					494,9	5,2	1,7				
103	499,5	4,6	3,5	x		502,6	3,1	499,5	4,6	1,7				
104	504,9	5,4	3,5					504,9	5,4	1,7				
105	510,2	5,3	3,5					510,2	5,3	1,7	x		508,2	3,3
106	515,8	5,6	3,5					515,8	5,6	1,7				
107	522	6,2	3,5					522	6,2	1,7	x		519	3,2
108	526,5	4,5	3,5					526,5	4,5	1,7				
109	528,6	2,1	3,5					528,6	2,1	1,7				
110	532	3,4	3,5					532	3,4	1,7				
111	535,5	3,5	3,5					535,5	3,5	1,7				
112	538,1	2,6	3,5					538,1	2,6	1,7				
113	544,9	6,8	3,5					544,9	6,8	1,7				
114	551,1	6,2	3,5					551,1	6,2	1,7	x		548,1	3,2
115	555,8	4,7	3,5					555,8	4,7	1,7				
116	560,7	4,9	3,5					560,7	4,9	1,7				



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA MIRAMAR														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
117	565,5	4,8	3,5					565,5	4,8	1,7				
118	569,7	4,2	3,5					569,7	4,2	1,7				
119	572,7	3	3,5					572,7	3	1,7				
120	575,6	2,9	3,5					575,6	2,9	1,7	x		578,3	2,7
121	578,3	2,7	3,5					578,3	2,7	1,7				
122	581	2,7	3,5					581	2,7	1,7				
123	587,1	6,1	3,5					587,1	6,1	1,7				
124	589	1,9	3,5					589	1,9	1,7				
125	594,2	5,2	3,5					594,2	5,2	1,7				
126	600,2	6	3,5					600,2	6	1,7				
127	604,7	4,5	3,5					604,7	4,5	1,7				
128	608,2	3,5	3,5					608,2	3,5	1,7				
129	612,3	4,1	3,5					612,3	4,1	1,7	x		609,2	1
130	615	2,7	3,5					615	2,7	1,7				
131	621	6	3,5					621	6	1,7				
132	624	3	3,5					624	3	1,7				
133	627,1	3,1	3,5					627,1	3,1	1,7				
134	630,2	3,1	3,5					630,2	3,1	1,7				
135	633,2	3	3,5					633,2	3	1,7				
136	635,2	2	3,5					635,2	2	1,7				
137	639,2	4	3,5					639,2	4	1,7				
138	645,4	6,2	3,5					645,4	6,2	1,7				
139	647,9	2,5	3,5					647,9	2,5	1,7				
140	651,6	3,7	3,5					651,6	3,7	1,7				
141	656	4,4	3,5					656	4,4	1,7	x		653,2	1,6
142	661,3	5,3	3,5					661,3	5,3	1,7				
143	667,5	6,2	3,5					667,5	6,2	1,7	x		663,7	2,4
144	671,6	4,1	3,5					671,6	4,1	1,7				
145	676,1	4,5	3,5					676,1	4,5	1,7				
146	678,6	2,5	3,5					678,6	2,5	1,7				
147	682,4	3,8	3,5					682,4	3,8	1,7				
148	687,3	4,9	3,5					687,3	4,9	1,7				
149	689	1,7	3,5					689	1,7	1,7				
150	694,6	5,6	3,5					694,6	5,6	1,7				
151	700,7	6,1	3,5	x		699,2	4,6	700,7	6,1	1,7	x		698,2	3,6
152	706,7	6	3,5	x		702	1,3	706,7	6	1,7	x		702	1,3
153	712,3	5,6	3,5	x		709,3	2,6	712,3	5,6	1,7				
154	719,2	6,9	3,5					719,2	6,9	1,7	x		716,3	4
155	725,3	6,1	3,5					725,3	6,1	1,7				
156	731,3	6	3,5					731,3	6	1,7	x		728,1	2,8
157	739,5	8,2	3,5					739,5	8,2	1,7	x		734,5	3,2
158	740,9	1,4	3,5					737,2	-2,3	1,7	x		740,9	3,7
159	743,2	2,3	3,5					743,2	6	1,7				
160	747,2	4	3,5					747,2	4	1,7				
161	748,6	1,4	3,5					748,6	1,4	1,7				
162	751,6	3	3,5					751,6	3	1,7				



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA MIRAMAR														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
163	756,2	4,6	3,5					756,2	4,6	1,7				
164	759,1	2,9	3,5					759,1	2,9	1,7				
165	761,3	2,2	3,5					761,3	2,2	1,7				
166	763	1,7	3,5					763	1,7	1,7				
167	766,7	3,7	3,5					766,7	3,7	1,7				
168	772,5	5,8	3,5					772,5	5,8	1,7				
169	778,5	6	3,5					778,5	6	1,7				
170	784,8	6,3	3,5	x		783,4	4,9	784,8	6,3	1,7			782,1	3,6
171	790,6	5,8	3,5					790,6	5,8	1,7				
172	793,4	2,8	3,5					793,4	2,8	1,7				
173	799,3	5,9	3,5					799,3	5,9	1,7				
174	805	5,7	3,5					805	5,7	1,7	x		802	2,7
175	811,4	6,4	3,5	x		815,2	3,8	811,4	6,4	1,7				
176	817,4	6	3,5					817,4	6	1,7	x		814,3	2,9
177	823,5	6,1	3,5					823,5	6,1	1,7				
178	826,4	2,9	3,5					826,4	2,9	1,7				
179	832	5,6	3,5	x		828,1	1,7	832	5,6	1,7	x		828,1	1,7
180	834,1	2,1	3,5					834,1	2,1	1,7				
181	840,1	6	3,5					840,1	6	1,7				
182	846,1	6	3,5	x		842,8	2,7	846,1	6	1,7	x		843,4	3,3
183	848,6	2,5	3,5					848,6	2,5	1,7				
184	852,2	3,6	3,5					852,2	3,6	1,7				
185	858,2	6	3,5					858,2	6	1,7				
186	864,2	6	3,5	x		861,2	3	864,2	6	1,7	x		861,2	3
187	870,1	5,9	3,5	x		867,3	3,1	870,1	5,9	1,7	x		867,3	3,1
188	876,2	6,1	3,5					876,2	6,1	1,7				
189	882,1	5,9	3,5	x		879,2	3	882,1	5,9	1,7	x		878,6	2,4
190	886,2	4,1	3,5					886,2	4,1	1,7				
191	889	2,8	3,5					889	2,8	1,7				
192	891,8	2,8	3,5					891,8	2,8	1,7				
193	897,5	5,7	3,5					897,5	5,7	1,7				
194	903,4	5,9	3,5					903,4	5,9	1,7				
195	909,8	6,4	3,5					909,8	6,4	1,7				
196	915,8	6	3,5					915,8	6	1,7				
197	922	6,2	3,5					922	6,2	1,7				
198	928	6	3,5	x		925	3	928	6	1,7	x		925	3
199	932,5	4,5	3,5					932,5	4,5	1,7				
200	936,4	3,9	3,5					936,4	3,9	1,7				
201	940	3,6	3,5					940	3,6	1,7				
202	943,6	3,6	3,5					943,6	3,6	1,7				
203	946,7	3,1	3,5					946,7	3,1	1,7				
204	950,7	4	3,5					950,7	4	1,7				
205	954,7	4	3,5					954,7	4	1,7				
206	958,7	4	3,5					958,7	4	1,7				
207	962,7	4	3,5					962,7	4	1,7				
208	966,6	3,9	3,5					966,6	3,9	1,7				





*Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga*

AVENIDA MIRAMAR														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
209	970,6	4	3,5					970,6	4	1,7				
210	974,6	4	3,5					974,6	4	1,7				
211	978,6	4	3,5					978,6	4	1,7				
212	982,6	4	3,5					982,6	4	1,7				
213	986,6	4	3,5					986,6	4	1,7				
214	990,5	3,9	3,5					990,5	3,9	1,7				
215	994,5	4	3,5					994,5	4	1,7				
216	998,4	3,9	3,5					998,4	3,9	1,7				
217	1002,4	4	3,5					1002,4	4	1,7				
218	1006,3	3,9	3,5					1006,3	3,9	1,7				
219	1010,2	3,9	3,5					1010,2	3,9	1,7				
220	1014,3	4,1	3,5					1014,3	4,1	1,7				
221	1018,2	3,9	3,5					1018,2	3,9	1,7				
222	1020,3	2,1	3,5					1020,3	2,1	1,7				
223	1025,4	5,1	3,5					1025,4	5,1	1,7				
224	1029	3,6	3,5					1029	3,6	1,7				
225	1033	4	3,5					1033	4	1,7				
226	1037	4	3,5					1037	4	1,7				
227	1041	4	3,5					1041	4	1,7				
228	1045	4	3,5					1045	4	1,7				
229	1049	4	3,5					1049	4	1,7				
230	1053	4	3,5					1053	4	1,7				
231	1057	4	3,5					1057	4	1,7				
232	1060,9	3,9	3,5					1060,9	3,9	1,7				
233	1064,9	4	3,5					1064,9	4	1,7				
234	1068,9	4	3,5					1068,9	4	1,7				
235	1072,9	4	3,5					1072,9	4	1,7				
236	1076,9	4	3,5					1076,9	4	1,7				
237	1080,9	4	3,5					1080,9	4	1,7				
238	1084,9	4	3,5					1084,9	4	1,7				
239	1089	4,1	3,5					1089	4,1	1,7				
240	1093	4	3,5					1093	4	1,7				
241	1097	4	3,5					1097	4	1,7				
242	1102,9	5,9	3,5					1102,9	5,9	1,7				
243	1104,9	2	3,5					1104,9	2	1,7				
244	1108,9	4	3,5					1108,9	4	1,7				
245	1112,9	4	3,5					1112,9	4	1,7				
246	1116,7	3,8	3,5					1116,7	3,8	1,7				
247	1120,8	4,1	3,5					1120,8	4,1	1,7				
248	1124,8	4	3,5					1124,8	4	1,7				
249	1128,8	4	3,5					1128,8	4	1,7				
250	1132,8	4	3,5					1132,8	4	1,7				
251	1136,9	4,1	3,5					1136,9	4,1	1,7				
252	1140,9	4	3,5					1140,9	4	1,7				
253	1144,9	4	3,5					1144,9	4	1,7				
254	1148,9	4	3,5					1148,9	4	1,7				



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

AVENIDA MIRAMAR														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
255	1152,9	4	3,5					1152,9	4	1,7				
256	1156,9	4	3,5					1156,9	4	1,7				
257	1160,8	3,9	3,5					1160,8	3,9	1,7				
258	1164,8	4	3,5					1164,8	4	1,7				
259	1168,8	4	3,5					1168,8	4	1,7				
260	1172,8	4	3,5					1172,8	4	1,7				
261	1176,8	4	3,5					1176,8	4	1,7				
262	1180,8	4	3,5					1180,8	4	1,7				
263	1185	4,2	3,5					1185	4,2	1,7				

Anexo 4 Auscultación de la Cuarta Avenida

CUARTA AVENIDA														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
1	0	5	3					0	5	3				
2	5	6,9	3					5	6,9	3				
3	11,9	5	3	x		9,3		11,9	5	3				
4	16,9	4,9	3					16,9	4,9	3	x		18	
5	21,8	4,4	3					21,8	4,4	3				
6	26,2	4,1	3					26,2	4,1	3				
7	30,3	5,7	3					30,3	5,7	3				
8	36	5	3					36	5	3				
9	41	7	3					41	7	3				
10	48	5,3	3					48	5,3	3				
11	53,3	6,2	3					53,3	6,2	3				
12	59,5	6,9	3	x		63,2		59,5	6,9	3	x		63,2	
13	66,4	6,1	3					66,4	6,1	3				
14	72,5	5,9	3					72,5	5,9	3				
15	78,4	6,7	3					78,4	6,7	3				
16	85,1	9,9	3	x		88,2		85,1	9,9	3	x		88,2	
17	95	2	3					95	2	3				
18	97	6	3					97	6	3				
19	103	7	3	x		106,4		103	7	3				
20	110	6,4	3	x		113		110	6,4	3	x		113	
21	116,4	4,8	3	x		114,5		116,4	4,8	3				
22	121,2	7,8	3					121,2	7,8	3	x		125,1	
23	129	6	3					129	6	3				
24	135	3,5	3					135	3,5	3				
25	138,5	5	3					138,5	5	3				
26	143,5	5	3					143,5	5	3				



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

CUARTA AVENIDA														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
27	148,5	5,5	3	x		151,3		148,5	5,5	3				
28	154	5,2	3					154	5,2	3				
29	159,2	6,4	3					159,2	6,4	3				
30	165,6	5,6	3					165,6	5,6	3				
31	171,2	6	3	x		174,6		171,2	6	3				
32	177,2	6,5	3					177,2	6,5	3				
33	183,7	5,3	3					183,7	5,3	3				
34	189	13,6	3	x		189		189	13,6	3	x		200,8	
35	202,6	3,4	3	x		208,4		202,6	3,4	3	x		208,7	
36	206	5,1	3					206	5,1	3				
37	211,1	5,9	3					211,1	5,9	3				
38	217	6	3					217	6	3				
39	223	5	3					223	5	3				
40	228	6,4	3					228	6,4	3				
41	234,4	5,6	3					234,4	5,6	3				
42	240	5,4	3	x		242,2		240	5,4	3				
43	245,4	6,9	3					245,4	6,9	3	x		251	
44	252,3	5,2	3					252,3	5,2	3				
45	257,5	3,1	3					257,5	3,1	3				
46	260,6	6,1	3					260,6	6,1	3				
47	266,7	5,7	3	x		270		266,7	5,7	3	x		272	
48	272,4	7,8	3	x		275,7		272,4	7,8	3				
49	280,2	7,8	3					280,2	7,8	3				
50	288	6	3					288	6	3				
51	294	4,6	3					294	4,6	3				
52	298,6	5,6	3	x		300,2		298,6	5,6	3				
53	304,2	5,6	3					304,2	5,6	3				
54	309,8	4,4	3					309,8	4,4	3				
55	314,2	6,2	3					314,2	6,2	3				
56	320,4	5,6	3					320,4	5,6	3				
57	326	4,8	3	x		328,3		326	4,8	3				
58	330,8	7	3					330,8	7	3	x		277	3
59	337,8	6,1	3					337,8	6,1	3				
60	343,9	3,1	3					343,9	3,1	3	x		289,6	3,6
61	347	7,4	3	x		350,2		347	7,4	3	x		295,2	3,3
62	354,4	6,5	3	x		356,2		354,4	6,5	3				
63	360,9	3,9	3					360,9	3,9	3				
64	364,8	6	3					364,8	6	3	x		311,3	2,7
65	370,8	2,8	3					370,8	2,8	3	x		318,6	4,1



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

CUARTA AVENIDA														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
66	373,6	3,5	3					373,6	3,5	3				
67	377,1	5,9	3					377,1	5,9	3				
68	383	4,9	3					383	4,9	3	x		342,4	2,7
69	387,9	4,9	3	x		390,4		387,9	4,9	3				
70	392,8	5,4	3					392,8	5,4	3	x		347,6	2,9
71	398,2	4,4	3	x		400,6		398,2	4,4	3				
72	402,6	5,7	3					402,6	5,7	3				
73	408,3	4,7	3					408,3	4,7	3				
74	413	7,1	3					413	7,1	3				
75	420,1	5,1	3					420,1	5,1	3				
76	425,2	7,3	3					425,2	7,3	3				
77	432,5	5,8	3					432,5	5,8	3				
78	438,3	6,5	3					438,3	6,5	3				
79	444,8	7,2	3	x		448,1		444,8	7,2	3	x		382	4,1
80	452	5,2	3	x		454,8		452	5,2	3				
81	457,2	5,6	3					457,2	5,6	3				
82	462,8	6,4	3					462,8	6,4	3	x		395	2,9
83	469,2	7,8	3					469,2	7,8	3				
84	477	4	3	x		479,2		477	4	3				
85	481	6,2	3					481	6,2	3				
86	487,2	6,5	3	x		490,6		487,2	6,5	3				
87	493,7	6,5	3					493,7	6,5	3	x		421,9	3,4
88	500,2	5,1	3	x		502,2		500,2	5,1	3				
89	505,3	5,4	3					505,3	5,4	3				
90	510,7	6,7	3	x		512,4		510,7	6,7	3				
91	517,4	6,6	3	x		523,5		517,4	6,6	3				
92	524	6,2	3					524	6,2	3				
93	530,2	6	3					530,2	6	3	x		447,2	1,6
94	536,2	6,5	3					536,2	6,5	3				
95	542,7	5,3	3	x		545,5		542,7	5,3	3				
96	548	6	3					548	6	3				
97	554	5,2	3					554	5,2	3				
98	559,2	5	3	x		561,4		559,2	5	3				
99	569,2	6	3					569,2	6	3				
100	575,2	6,2	3					575,2	6,2	3				
101	581,4	6,3	3					581,4	6,3	3				
102	587,7	5	3					587,7	5	3				
103	592,7	6,9	3					592,7	6,9	3				
104	599,6	5	3					599,6	5	3				



CUARTA AVENIDA														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
105	604,6	4,9	3					604,6	4,9	3	x		508,2	3,3
106	609,5	4,4	3					609,5	4,4	3				
107	613,9	4,1	3					613,9	4,1	3	x		519	3,2
108	618	5,7	3					618	5,7	3				
109	623,7	5	3					623,7	5	3				
110	628,7	7	3					628,7	7	3				
111	635,7	5,3	3					635,7	5,3	3				
112	641	6,2	3					641	6,2	3				
113	647,2	6,9	3					647,2	6,9	3				
114	654,1	6,1	3					654,1	6,1	3	x		548,1	3,2
115	660,2	5,9	3					660,2	5,9	3				
116	666,1	6,7	3					666,1	6,7	3				
117	672,8	9,9	3					672,8	9,9	3				
118	682,7	2	3					682,7	2	3				
119	684,7	6	3					684,7	6	3				
120	690,7	7	3					690,7	7	3	x		578,3	2,7
121	697,7	6,4	3					697,7	6,4	3				
122	704,1	4,8	3					704,1	4,8	3				
123	708,9	7,8	3					708,9	7,8	3				
124	716,7	6	3					716,7	6	3				
125	722,7	3,5	3					722,7	3,5	3				
126	726,2	5	3					726,2	5	3				
127	731,2	5	3					731,2	5	3				
128	736,2	5,5	3					736,2	5,5	3				
129	741,7	5,2	3					741,7	5,2	3	x		609,2	1
130	746,9	6,4	3					746,9	6,4	3				
131	753,3	5,6	3					753,3	5,6	3				
132	758,9	6	3					758,9	6	3				
133	764,9	6,5	3					764,9	6,5	3				
134	771,4	5,3	3					771,4	5,3	3				
135	776,7	13,6	3					776,7	13,6	3				
136	790,3	3,4	3					790,3	3,4	3				
137	793,7	5,1	3					793,7	5,1	3				
138	798,8	5,9	3					798,8	5,9	3				
139	804,7	6	3					804,7	6	3				
140	810,7	5	3					810,7	5	3				
141	815,7	6,4	3					815,7	6,4	3	x		653,2	1,6
142	822,1	5,6	3					822,1	5,6	3				
143	827,7	5,4	3					827,7	5,4	3	x		663,7	2,4



CUARTA AVENIDA														
#	LOSA DERECHA							LOSA IZQUIERDA						
	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I	ABSC	L	ANCHO	FIS		AF	I
				S	N						S	N		
144	833,1	6,9	3					833,1	6,9	3				
145	840	5,2	3					840	5,2	3				
146	845,2	3,1	3					845,2	3,1	3				
147	848,3	6,1	3					848,3	6,1	3				
148	854,4	5,7	3					854,4	5,7	3				
149	860,1	7,8	3					860,1	7,8	3				
150	867,9	7,8	3					867,9	7,8	3				
151	875,7	6	3					875,7	6	3	x		698,2	3,6
152	881,7	4,6	3	x		861,2	3	881,7	4,6	3	x		702	1,3
153	886,3	5,6	3	x		867,3	3,1	886,3	5,6	3				
154	891,9	5,6	3					891,9	5,6	3	x		716,3	4
155	897,5	4,4	3	x		878,6	2,4	897,5	4,4	3				
156	901,9	6,2	3					901,9	6,2	3	x		728,1	2,8
157	908,1	5,6	3					908,1	5,6	3	x		734,5	3,2
158	913,7	4,8	3					913,7	4,8	3	x		740,9	3,7
159	918,5	7	3					918,5	7	3				
160	925,5	6,1	3					925,5	6,1	3				
161	931,6	3,1	3					931,6	3,1	3				
162	934,7	7,4	3					934,7	7,4	3				
163	942,1	6,5	3					942,1	6,5	3				
164	948,6	3,9	3	x		925	3	948,6	3,9	3				
165	952,5	6	3					952,5	6	3				
166	958,5	2,8	3					958,5	2,8	3				
167	961,3	3,5	3					961,3	3,5	3				
168	964,8	5,9	3					964,8	5,9	3				
169	970,7	4,9	3					970,7	4,9	3				
170	975,6	4,9	3					975,6	4,9	3			782,1	3,6
171	980,5	5,4	3					980,5	5,4	3				
172	985,9	4,4	3					985,9	4,4	3				
173	990,3	5,7	3					990,3	5,7	3				
174	996	4,7	3					996	4,7	3	x		802	2,7
175	1001	7,1	3					1001	7,1	3				
176	1008	5,1	3					1008	5,1	3	x		814,3	2,9
177	1013	7,3	3					1013	7,3	3				
178	569,2	6	3					569,2	6	3				
179	575,2	6,2	3					575,2	6,2	3	x		828,1	1,7
180	581,4	6,3	3					581,4	6,3	3				
181	587,7	5	3					587,7	5	3				
182	592,7	6,9	3					592,7	6,9	3	x		843,4	3,3



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

Anexo 5 Auscultación Calle de la Asamblea

#	CALLE DE LA ASAMBLEA																				
	LOSA DERECHA						LOSA CENTRAL						LOSA IZQUIERDA								
	ABS C	L	ANC HO	FIS S	N	AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S	N	AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S	N	AF	I
0	0		3,2	x		2,6	2,6	0		3,03	x		3	3	0		2,99	x		3	3
1	4,7	4,7	3,2	x				4,7	4,7	3,03	x		12,2	7,5	4,7	4,7	2,99	x			
2	15	10,3	3,2	x				15	10,3	3,03	x				15	10,3	2,99				
3	20	5	3,2	x				20	5	3,03	x				20	5	2,99	x		23,5	3,5
4	26,5	6,5	3,2	x				26,5	6,5	3,03	x				26,5	6,5	2,99	x		28,5	2
5	31,5	5	3,2					31,5	5	3,03	x		33,2	1,7	31,5	5	2,99	x		33,2	1,7
6	36,4	4,9	3,2	x				36,4	4,9	3,03	x				36,4	4,9	2,99	x			
7	41,5	5,1	3,2	x				41,5	5,1	3,03	x				41,5	5,1	2,99	x			
8	46,6	5,1	3,2	x		49,3	2,7	46,6	5,1	3,03	x		50	3,4	46,6	5,1	2,99	x		50	3,4
9	52,6	6	3,2	x				52,6	6	3,03	x		56	3,4	52,6	6	2,99	x		56	3,4
10	58,6	6	3,2	x				58,6	6	3,03	x				58,6	6	2,99	x			
11	63,8	5,2	3,2	x		67,6	3,8	63,8	5,2	3,03	x		67,6	3,8	63,8	5,2	2,99	x		67	3,2
12	70,4	6,6	3,2	x				70,4	6,6	3,03	x				70,4	6,6	2,99	x		72,7	2,3
13	76,7	6,3	3,2	x		80,1	3,4	76,7	6,3	3,03	x		80,1	3,4	76,7	6,3	2,99	x		80,1	3,4
14	82,9	6,2	3,2	x		86,9	4	82,9	6,2	3,03	x		86,9	4	82,9	6,2	2,99	x		86,4	3,5
15	88,8	5,9	3,2	x				88,8	5,9	3,03	x		90,8	2	88,8	5,9	2,99	x		90,8	2
16	95,2	6,4	3,2	x				95,2	6,4	3,03	x				95,2	6,4	2,99	x		98,9	3,7
17	101,4	6,2	3,2	x		103,2	1,8	101,4	6,2	3,03	x		103,2	1,8	101,4	6,2	2,99	x		104,2	2,8
18	106,1	4,7	3,2	x				106,1	4,7	3,03	x				106,1	4,7	2,99	x			
19	112	5,9	3,2	x		115	3	112	5,9	3,03	x				112	5,9	2,99	x			
20	119	7	3,2	x		120,9	1,9	119	7	3,03	x		122,4	3,4	119	7	2,99	x		122,4	3,4
21	120	1	3,2	x				120	1	3,03	x				120	1	2,99				
22	137,2	17,2	3,2	x				137,2	17,2	3,03	x				137,2	17,2	2,99	x		140,1	2,9
23	143,2	6	3,2	x				143,2	6	3,03	x				143,2	6	2,99	x			
24	149	5,8	3,2	x				149	5,8	3,03	x				149	5,8	2,99	x			
25	150,3	1,3	3,06	x				150,3	1,3	3,03	x				150,3	1,3	3	x			
26	161,4	11,1	3,06	x				161,4	11,1	3,03	x				161,4	11,1	3	x			
27	167,5	6,1	3,06	x				167,5	6,1	3,03	x				167,5	6,1	3	x		170,2	2,7
28	173,6	6,1	3,06	x				173,6	6,1	3,03	x				173,6	6,1	3	x			
29	179,5	5,9	3,06	x		181,9	2,4	179,5	5,9	3,03	x				179,5	5,9	3	x			
30	185,6	6,1	3,06	x				185,6	6,1	3,03	x				185,6	6,1	3	x			
31	191,6	6	3,06	x				191,6	6	3,03	x				191,6	6	3	x			
32	197,8	6,2	3,06	x				197,8	6,2	3,03	x				197,8	6,2	3	x			
33	203,6	5,8	3,06	x		205,6	2	203,6	5,8	3,03	x				203,6	5,8	3	x			
34	204,8	1,2	3,06	x				204,8	1,2	3,03	x				204,8	1,2	3	x		210,7	5,9
35	215,9	11,1	3,06	x				215,9	11,1	3,03	x				215,9	11,1	3	x			
36	221,9	6	3,06	x				221,9	6	3,03	x				221,9	6	3	x			
37	228	6,1	3,06	x				228	6,1	3,03	x				228	6,1	3	x			
38	230,4	2,4	3,06	x				230,4	2,4	3,03	x				230,4	2,4	3	x			
39	235,1	4,7	3,06	x				235,1	4,7	3,03	x				235,1	4,7	3	x			
40	241,1	6	3,06	x		244,6	3,5	241,1	6	3,03	x		244,7	3,6	241,1	6	3	x			
41	247,3	6,2	3,06	x				247,3	6,2	3,03	x		249,1	1,8	247,3	6,2	3	x			
42	252,9	5,6	3,06	x		255,5	2,6	252,9	5,6	3,03	x		255,5	2,6	252,9	5,6	3	x		256,9	4



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

CALLE DE LA ASAMBLEA																				
#	LOSA DERECHA						LOSA CENTRAL						LOSA IZQUIERDA							
	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF
43	259,3	6,4	3,06	x		262,9	3,6	259,3	6,4	3,03	x			259,3	6,4	3	x			
44	265,5	6,2	3,06	x				265,5	6,2	3,03	x			265,5	6,2	3	x			
45	271,4	5,9	3,06	x				271,4	5,9	3,03	x			271,4	5,9	3	x		275,9	4,5
46	277,7	6,3	3,06	x				277,7	6,3	3,03	x		281,1	3,4	277,7	6,3	3	x		
47	283,8	6,1	3,06	x		286,6	2,8	283,8	6,1	3,03	x		286,6	2,8	283,8	6,1	3	x	286,6	2,8
48	290,1	6,3	3,06	x				290,1	6,3	3,03	x			290,1	6,3	3	x			
49	295,8	5,7	3,06	x				295,8	5,7	3,03	x			295,8	5,7	3	x			
50	301,9	6,1	3,06	x				301,9	6,1	3,03	x			301,9	6,1	3	x			
51	307,9	6	3,06	x				307,9	6	3,03	x			307,9	6	3	x		311,8	3,9
52	313,8	5,9	3,06	x				313,8	5,9	3,03	x			313,8	5,9	3	x			
53	320,1	6,3	3,06	x				320,1	6,3	3,03	x			320,1	6,3	3	x		324,3	4,2
54	327,7	7,6	3,06	x				327,7	7,6	3,03	x			327,7	7,6	3	x			
55	329,4	1,7	3,06	x				329,4	1,7	3,03	x			329,4	1,7	3	x			
56	333,9	4,5	3,06	x				333,9	4,5	3,03	x			333,9	4,5	3	x			
57	338,1	4,2	3,06	x				338,1	4,2	3,03	x			338,1	4,2	3	x			
58	344,1	6	3,06	x				344,1	6	3,03	x			344,1	6	3	x			
59	350,1	6	3,06	x		352,2	2,1	350,1	6	3,03	x			350,1	6	3	x			
60	356,1	6	3,06	x				356,1	6	3,03	x			356,1	6	3	x			
61	362,1	6	3,06	x				362,1	6	3,03	x			362,1	6	3	x			
62	367,7	5,6	3,06	x		370,4	2,7	367,7	5,6	3,03	x		378,8	11,1	367,7	5,6	3	x	370,8	3,1
63	373,8	6,1	3,06	x				373,8	6,1	3,03	x			373,8	6,1	3	x		377,1	3,3
64	380	6,2	3,06	x				380	6,2	3,03	x			380	6,2	3	x			
65	386	6	3,06	x				386	6	3,03	x			386	6	3	x			
66	389,7	3,7	3,06	x				389,7	3,7	3,03	x			389,7	3,7	3	x			
67	393,6	3,9	3,06	x				393,6	3,9	3,03	x			393,6	3,9	3	x			
68	398,1	4,5	3,06	x				398,1	4,5	3,03	x			398,1	4,5	3	x			
69	404,1	6	3,06	x				404,1	6	3,03	x			404,1	6	3	x			
70	409,9	5,8	3,06	x		413,4	3,5	409,9	5,8	3,03	x			409,9	5,8	3	x		413,4	3,5
71	415,9	6	3,06	x				415,9	6	3,03	x			415,9	6	3	x			
72	422,1	6,2	3,06	x				422,1	6,2	3,03	x			422,1	6,2	3	x			
73	428,4	6,3	3,06	x		431,8	3,4	428,4	6,3	3,03	x		431,8	3,4	428,4	6,3	3	x	431,8	3,4
74	434,4	6	3,06	x				434,4	6	3,03	x			434,4	6	3	x			
75	440,6	6,2	3,06	x				440,6	6,2	3,03	x			440,6	6,2	3	x			
76	446,1	5,5	3,06	x				446,1	5,5	3,03	x			446,1	5,5	3	x			
77	448,6	2,5	3,06	x				448,6	2,5	3,03	x			448,6	2,5	3	x			
78	452,3	3,7	3,06	x				452,3	3,7	3,03	x			452,3	3,7	3	x			
79	458,4	6,1	3,06	x				458,4	6,1	3,03	x		461,5	3,1	458,4	6,1	3	x	461,5	3,1
80	464,5	6,1	3,06	x				464,5	6,1	3,03	x			464,5	6,1	3	x			
81	470,8	6,3	3,06	x				470,8	6,3	3,03	x			470,8	6,3	3	x			
82	475,2	4,4	3,06	x		478,4	3,2	475,2	4,4	3,03	x			475,2	4,4	3	x		478,4	3,2
83	481	5,8	3,06	x				481	5,8	3,03	x		484,9	3,9	481	5,8	3	x		
84	486,1	5,1	3,06	x				486,1	5,1	3,03	x		485,2	0,9	486,1	5,1	3	x		
85	491,8	5,7	3,06	x				491,8	5,7	3,03	x			491,8	5,7	3	x			





Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

CALLE DE LA ASAMBLEA																				
#	LOSA DERECHA							LOSA CENTRAL							LOSA IZQUIERDA					
	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF
86	497,9	6,1	3,06	x			497,9	6,1	3,03	x			497,9	6,1	3	x			500,6	2,7
87	503,6	5,7	3,06	x			503,6	5,7	3,03	x			503,6	5,7	3	x				
88	509,6	6	3,06	x		513	3,4	509,6	6	3,03	x			509,6	6	3	x			
89	515	5,4	3,06	x			515	5,4	3,03	x			515	5,4	3	x				
90	520,1	5,1	3,06	x			520,1	5,1	3,03	x			520,1	5,1	3	x				
91	523,2	3,1	3,06	x			523,2	3,1	3,03	x			523,2	3,1	3	x			526,4	3,2
92	528,9	5,7	3,06	x			528,9	5,7	3,03	x			528,9	5,7	3	x				
93	534,9	6	3,06	x			534,9	6	3,03	x			534,9	6	3	x				
94	540,8	5,9	3,06	x			540,8	5,9	3,03	x			540,8	5,9	3	x				
95	546,8	6	3,06	x			546,8	6	3,03	x			546,8	6	3	x				
96	552,8	6	3,06	x			552,8	6	3,03	x			552,8	6	3	x			554,4	1,6
97	555,7	2,9	3,06	x			555,7	2,9	3,03	x		556,8	1,1	555,7	2,9	3	x			
98	562,1	6,4	3,06	x			562,1	6,4	3,03	x			562,1	6,4	3	x				
99	568,2	6,1	3,06	x			568,2	6,1	3,03	x			568,2	6,1	3	x				
100	574,1	5,9	3,06	x			574,1	5,9	3,03	x			574,1	5,9	3	x				
101	580,1	6	3,06	x		582,5	2,4	580,1	6	3,03	x			580,1	6	3	x			
102	586,1	6	3,06	x			586,1	6	3,03	x			586,1	6	3	x				
103	592,5	6,4	3,06	x			592,5	6,4	3,03	x			592,5	6,4	3	x				
104	596	3,5	3,06	x			596	3,5	3,03	x			596	3,5	3	x				
105	604,2	8,2	3,06	x			604,2	8,2	3,03	x			604,2	8,2	3	x			605,9	1,7
106	612,4	8,2	3,06	x			612,4	8,2	3,03	x			612,4	8,2	3	x				
107	615,6	3,2	3,06	x			615,6	3,2	3,03	x			615,6	3,2	3	x				
108	619,9	4,3	3,06	x			619,9	4,3	3,03	x			619,9	4,3	3	x				
109	625,4	5,5	3,06	x			625,4	5,5	3,03	x			625,4	5,5	3	x				
110	631,6	6,2	3,06	x			631,6	6,2	3,03	x			631,6	6,2	3	x				
111	637,9	6,3	3,06	x			637,9	6,3	3,03	x		640,7	2,8	637,9	6,3	3	x			
112	643,7	5,8	3,06	x			643,7	5,8	3,03	x		645,9	2,2	643,7	5,8	3	x			
113	655,6	11,9	3,06	x			655,6	11,9	3,03	x		652,8	2,8	655,6	11,9	3	x		652,8	2,8
114	661,6	6	3,06	x			661,6	6	3,03	x			661,6	6	3	x				
115	667,7	6,1	3,06	x			667,7	6,1	3,03	x		670,9	3,2	667,7	6,1	3	x			
116	673,6	5,9	3,06	x			673,6	5,9	3,03	x			673,6	5,9	3	x				
117	679,9	6,3	3,06	x			679,9	6,3	3,03	x			679,9	6,3	3	x				
118	685,9	6	3,06	x			685,9	6	3,03	x			685,9	6	3	x				
119	692	6,1	3,06	x			692	6,1	3,03	x			692	6,1	3	x				



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

CALLE DE LA ASAMBLEA																					
#	LOSA DERECHA						LOSA CENTRAL						LOSA IZQUIERDA								
	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I
12 0	698	6	3,06	x		701	3	698	6	3,03	x		701, 8	3,8	698	6	3	x			
12 1	704,1	6,1	3,06	x				704,1	6,1	3,03	x				704,1	6,1	3	x			
12 2	709	4,9	3,06	x		712, 5	3,5	709	4,9	3,03	x			709	4,9	3	x		713	4	
12 3	716	7	3,06	x				716	7	3,03	x			716	7	3	x		719, 2	3,2	
12 4	718,2	2,2	3,06	x				718,2	8,9	3,03	x			718,2	8,9	3	x				
12 5	727,1	8,9	3,06	x				727,1	11, 1	3,03	x			727,1	11, 1	3	x				
12 6	735,7	8,6	3,06	x				735,7	17, 5	3,03	x			735,7	17, 5	3	x				
12 7	741,7	6	3,06	x		744, 7	3	741,7	6	3,03	x		744, 7	3	741,7	6	3	x			
12 8	748,9	7,2	3,06	x		751	2,1	748,9	7,2	3,03	x		751	2,1	748,9	7,2	3	x		751	2,1
12 9	754,6	5,7	3,06	x		759, 5	4,9	754,6	5,7	3,03	x		759, 5	4,9	754,6	5,7	3	x		759, 5	4,9
13 0	761,1	6,5	3,06	x		763, 6	2,5	761,1	6,5	3,03	x		767, 6	6,5	761,1	6,5	3	x		765, 6	4,5
13 1	767,6	6,5	3,06	x		770, 6	3	767,6	6,5	3,03	x		770, 6	3	767,6	6,5	3	x			
13 2	773,9	6,3	3,06	x				773,9	6,3	3,03	x				773,9	6,3	3	x			
13 3	780	6,1	3,06	x		783, 2	3,2	780	6,1	3,03	x				780	6,1	3	x			
13 4	786	6	3,06	x		789, 8	3,8	786	6	3,03	x		789, 8	3,8	786	6	3	x		789, 8	3,8
13 5	792,9	6,9	3,06	x		795, 4	2,5	792,9	6,9	3,03	x		794, 6	1,7	792,9	6,9	3	x		795, 9	3
13 6	799,1	6,2	3,06	x		802, 2	3,1	799,1	6,2	3,03	x				799,1	6,2	3	x		802, 2	3,1
13 7	805,7	6,6	3,06	x		808, 3	2,6	805,7	6,6	3,03	x		808, 3	2,6	805,7	6,6	3	x			
13 8	811,9	6,2	3,06	x		815	3,1	811,9	6,2	3,03	x		815	3,1	811,9	6,2	3	x		815, 5	3,6
13 9	818,2	6,3	3,06	x		822	3,8	818,2	6,3	3,03	x		821, 6	3,4	818,2	6,3	3	x		821, 6	3,4
14 0	824,6	6,4	3,06	x		827, 5	2,9	824,6	6,4	3,03	x		827, 5	2,9	824,6	6,4	3	x		827, 5	2,9
14 1	830,7	6,1	3,06	x		834, 3	3,6	830,7	6,1	3,03	x		839, 3	8,6	830,7	6,1	3	x		834, 3	3,6
14 2	837,8	7,1	3,06	x		840, 2	2,4	837,8	7,1	3,03	x		840, 2	2,4	837,8	7,1	3	x		840, 2	2,4
14 3	843,7	5,9	3,06	x		847, 8	4,1	843,7	5,9	3,03	x				843,7	5,9	3	x		846, 4	2,7
14 4	850,1	6,4	3,06	x		853, 1	3	850,1	6,4	3,03	x		853, 1	3	850,1	6,4	3	x		853, 1	3
14 5	855,6	5,5	3,06	x		859, 6	4	855,6	5,5	3,03	x				855,6	5,5	3	x			
14 6	862,8	7,2	3,06	x		866, 2	3,4	862,8	7,2	3,03	x		867, 9	5,1	862,8	7,2	3	x			
14 7	869,7	6,9	3,06	x				869,7	6,9	3,03	x				869,7	6,9	3	x		870, 9	1,2
14 8	875,6	5,9	3,06	x		879, 1	3,5	875,6	5,9	3,03	x		879, 1	3,5	875,6	5,9	3	x		879, 4	3,8



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

CALLE DE LA ASAMBLEA																					
#	LOSA DERECHA						LOSA CENTRAL						LOSA IZQUIERDA								
	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I
14 9	882	6,4	3,06	x		885, 1	3,1	882	6,4	3,03	x		885, 1	3,1	882	6,4	3	x		885, 1	3,1
15 0	888,4	6,4	3,06	x		891, 5	3,1	888,4	6,4	3,03	x				888,4	6,4	3	x		890, 2	1,8
15 1	894,7	6,3	3,06	x		897, 7	3	894,7	6,3	3,03	x		897, 7	3	894,7	6,3	3	x		897, 7	3
15 2	900,7	6	3,06	x		905, 1	4,4	900,7	6	3,03	x				900,7	6	3	x		907, 6	6,9
15 3	907,7	7	3,06	x		910, 7	3	907,7	7	3,03	x				907,7	7	3	x			
15 4	914	6,3	3,06	x		917, 3	3,3	914	6,3	3,03	x		917, 3	3,3	914	6,3	3	x		917, 3	3,3
15 5	920,3	6,3	3,06	x		923, 3	3	920,3	6,3	3,03	x				920,3	6,3	3	x		924, 1	3,8
15 6	926,1	5,8	3,06	x		930, 1	4	926,1	5,8	3,03	x		928, 1	2	926,1	5,8	3	x		930, 1	4
15 7	933,1	7	3,06	x		936, 1	3	933,1	7	3,03	x				933,1	7	3	x		936, 1	3
15 8	939,5	6,4	3,06	x		941, 9	2,4	939,5	6,4	3,03	x				939,5	6,4	3	x		942, 9	3,4
15 9	945,8	6,3	3,06	x		949, 1	3,3	945,8	6,3	3,03	x				945,8	6,3	3	x		949, 1	3,3
16 0	952,3	6,5	3,06	x		955, 9	3,6	952,3	6,5	3,03	x				952,3	6,5	3	x		955, 1	2,8
16 1	959,8	7,5	3,06	x				959,8	7,5	3,03	x				959,8	7,5	3	x			
16 2	962,9	3,1	3,06	x				962,9	3,1	3,03	x				962,9	3,1	3	x			
16 3	965,7	2,8	3,06	x				965,7	2,8	3,03	x				965,7	2,8	3	x			
16 4	969,2	3,5	3,06	x				969,2	3,5	3,03	x				969,2	3,5	3	x			
16 5	975,6	6,4	3,06	x				975,6	6,4	3,03	x				975,6	6,4	3	x			
16 6	978,4	2,8	3,06	x				978,4	2,8	3,03	x				978,4	2,8	3	x			
16 7	981,3	2,9	3,06	x				981,3	2,9	3,03	x				981,3	2,9	3	x			
16 8	984,2	2,9	3,06	x		986, 5	2,3	984,2	2,9	3,03	x				984,2	2,9	3	x		987, 3	3,1
16 9	990,4	6,2	3,06	x		993, 9	3,5	990,4	6,2	3,03	x		993, 9	3,5	990,4	6,2	3	x		993, 9	3,5
17 0	996,8	6,4	3,06	x		999, 9	3,1	996,8	6,4	3,03	x				996,8	6,4	3	x			
17 1	1002, 3	5,5	3,06	x				1002, 3	5,5	3,03	x		1006, 2	3,9	1002, 3	5,5	3	x			
17 2	1009, 4	7,1	3,06	x		1012	2,6	1009, 4	7,1	3,03	x				1009, 4	7,1	3	x			
17 3	1015, 7	6,3	3,06	x		1018, 3	2,6	1015, 7	6,3	3,03	x		1018, 3	2,6	1015, 7	6,3	3	x		1019, 3	3,6
17 4	1022	6,3	3,06	x				1022	6,3	3,03	x				1022	6,3	3	x			
17 5	1028, 5	6,5	3,06	x		1031, 6	3,1	1028, 5	6,5	3,03	x		1031, 6	3,1	1028, 5	6,5	3	x		1031, 6	3,1
17 6	1035, 9	7,4	3,06	x		1037, 6	1,7	1035, 9	7,4	3,03	x		1037, 6	1,7	1035, 9	7,4	3	x		1037, 6	1,7
17 7	1041, 2	5,3	3,06	x		1044, 8	3,6	1041, 2	5,3	3,03	x		1044, 8	3,6	1041, 2	5,3	3	x		1044, 8	3,6



Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga

CALLE DE LA ASAMBLEA																					
#	LOSA DERECHA						LOSA CENTRAL						LOSA IZQUIERDA								
	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I
178	1047,6	6,4	3,06	x		1049,2	1,6	1047,6	6,4	3,03	x		1049,2	1,6	1047,6	6,4	3	x		1049,2	1,6
179	1053,9	6,3	3,06		x			1053,9	6,3	3,03		x			1053,9	6,3	3	x		1056,4	2,5
180	1060,4	6,5	3,06	x		1068,7	8,3	1060,4	6,5	3,03	x		1068,7	8,3	1060,4	6,5	3	x		1068,7	8,3
181	1066,7	6,3	3,06	x		1069	2,3	1066,7	6,3	3,03	x		1069	2,3	1066,7	6,3	3	x		1069	2,3
182	1073	6,3	3,06	x		1076,3	3,3	1073	6,3	3,03	x		1076,3	3,3	1073	6,3	3	x		1076,3	3,3
183	1079,3	6,3	3,06	x		1082,2	2,9	1079,3	6,3	3,03	x		1082,2	2,9	1079,3	6,3	3	x		1082,2	2,9
184	1085,6	6,3	3,06		x			1085,6	6,3	3,03		x			1085,6	6,3	3		x		
185	1088,2	2,6	3,06		x			1088,2	2,6	3,03		x			1088,2	2,6	3		x		
186	1091,9	3,7	3,06	x		1095,7	3,8	1091,9	3,7	3,03	x		1095,7	3,8	1091,9	3,7	3	x		1095,7	3,8
187	1098,4	6,5	3,06	x		1101,5	3,1	1098,4	6,5	3,03	x		1101,5	3,1	1098,4	6,5	3	x		1101,5	3,1
188	1104,7	6,3	3,06	x		1108,1	3,4	1104,7	6,3	3,03	x		1108,1	3,4	1104,7	6,3	3	x		1108,1	3,4
189	1111,1	6,4	3,06		x			1111,1	6,4	3,03		x			1111,1	6,4	3	x		1113,7	2,6
190	1117,3	6,2	3,06	x		1120,1	2,8	1117,3	6,2	3,03	x		1120,1	2,8	1117,3	6,2	3		x		
191	1123,7	6,4	3,06	x		1127,3	3,6	1123,7	6,4	3,03	x		1127,3	3,6	1123,7	6,4	3	x		1127,3	3,6
192	1129,9	6,2	3,06		x			1129,9	6,2	3,03		x			1129,9	6,2	3		x		
193	1134,6	4,7	3,06		x			1134,6	4,7	3,03		x			1134,6	4,7	3		x		
194	1139	4,4	3,06		x			1139	4,4	3,03		x			1139	4,4	3		x		
195	1142,6	3,6	3,06	x		1145,4	2,8	1142,6	3,6	3,03	x		1145,4	2,8	1142,6	3,6	3	x		1145,4	2,8
196	1149	6,4	3,06	x		1152,3	3,3	1149	6,4	3,03	x		1152,3	3,3	1149	6,4	3	x		1152,3	3,3
197	1155,5	6,5	3,06	x		1158,4	2,9	1155,5	6,5	3,03	x		1158,4	2,9	1155,5	6,5	3	x		1158,4	2,9
198	1161,6	6,1	3,06	x		1169,5	7,9	1161,6	6,1	3,03	x		1169,5	7,9	1161,6	6,1	3	x		1169,5	7,9
199	1169,96	8,3	3,06	x		1171	1,04	1169,96	8,3	3,03	x		1171	1,04	1169,96	8,3	3	x		1171	1,04
200	1174,3	4,3	3,06		x			1174,3	4,3	3,03		x			1174,3	4,3	3		x		
201	1180,6	6,3	3,06		x			1180,6	6,3	3,03		x			1180,6	6,3	3		x		
202	1186,9	6,3	3,06	x		1189,8	2,9	1186,9	6,3	3,03	x		1189,8	2,9	1186,9	6,3	3	x		1189,8	2,9
203	1193,2	6,3	3,06	x		1196,7	3,5	1193,2	6,3	3,03	x		1196,7	3,5	1193,2	6,3	3		x		
204	1199,6	6,4	3,06		x			1199,6	6,4	3,03		x			1199,6	6,4	3		x		
205	1202,4	2,8	3,06		x			1202,4	2,8	3,03		x			1202,4	2,8	3		x		
206	1207,1	4,7	3,06	x		1209,3	2,2	1207,1	4,7	3,03	x		1209,3	2,2	1207,1	4,7	3	x		1209,3	2,2



*Efectos de la modulación de losas en las fallas transversales en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Vías principales barrio Manga*

CALLE DE LA ASAMBLEA																					
#	LOSA DERECHA						LOSA CENTRAL						LOSA IZQUIERDA								
	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I	ABS C	L	ANC HO	FIS S N		AF	I
20 7	1212, 3	5,2	3,06	x		1215 ,6	3,3	1212, 3	5,2	3,03	x		1215 ,6	3,3	1212, 3	5,2	3	x		1215 ,6	3,3
20 8	1218, 5	6,2	3,06	x		1221 ,2	2,7	1218, 5	6,2	3,03	x				1218, 5	6,2	3	x		1222 ,6	4,1
20 9	1224, 9	6,4	3,06	x		1227 ,9	3	1224, 9	6,4	3,03	x		1227 ,9	3	1224, 9	6,4	3	x		1227 ,9	3
21 0	1231, 3	6,4	3,06	x		1234 ,2	2,9	1231, 3	6,4	3,03	x				1231, 3	6,4	3	x			
21 1	1237, 9	6,6	3,06	x		1241 ,4	3,5	1237, 9	6,6	3,03	x				1237, 9	6,6	3	x			
21 2	1243, 9	6	3,06	x				1243, 9	6	3,03	x				1243, 9	6	3	x			
21 3	1250, 1	6,2	3,06	x		1252 ,6	2,5	1250, 1	6,2	3,03	x				1250, 1	6,2	3	x			
21 4	1256, 3	6,2	3,06	x		1259 ,3	3	1256, 3	6,2	3,03	x				1256, 3	6,2	3	x		1259 ,3	3
21 5	1262, 7	6,4	3,06	x		1265 ,9	3,2	1262, 7	6,4	3,03	x				1262, 7	6,4	3	x		1265 ,9	3,2
21 6	1269, 1	6,4	3,06	x		1272 ,9	3,8	1269, 1	6,4	3,03	x		1271 ,2	2,1	1269, 1	6,4	3	x		1271 ,2	2,1
21 7	1275, 4	6,3	3,06	x		1277 ,8	2,4	1275, 4	6,3	3,03	x				1275, 4	6,3	3	x		1277 ,8	2,4
21 8	1281, 6	6,2	3,06	x		1285 ,1	3,5	1281, 6	6,2	3,03	x		1285 ,1	3,5	1281, 6	6,2	3	x		1285 ,1	3,5
21 9	1288	6,4	3,06	x		1291 ,6	3,6	1288	6,4	3,03	x				1288	6,4	3	x			
22 0	1293, 4	5,4	3,06	x		1297 ,8	4,4	1293, 4	5,4	3,03	x				1293, 4	5,4	3	x		1297 ,8	4,4
22 1	1304	10, 6	3,06	x		1304 ,3	0,3	1304	10, 6	3,03	x				1304	10, 6	3	x			
22 2	1308	4	3,06	x				1308	4	3,03	x				1308	4	3	x			

El registro fotográfico de algunas de las fallas encontradas durante el estudio se encuentra desde el Anexo 6 al 16.

Anexo 6 Fisura transversal, Calle de la Asamblea





**Anexo 7 Fisura transversal encontrada en la Calle Miramar**



**Anexo 8 Fisura transversal, Avenida Jiménez**





**Anexo 9 Fisura transversal, Calle Real**



**Anexo 10 Fisura transversal, Cuarta Avenida**





**Anexo 11 Fisura transversal, Avenida Miramar**







**Anexo 12 Fisura transversal, Calle de la Asamblea**



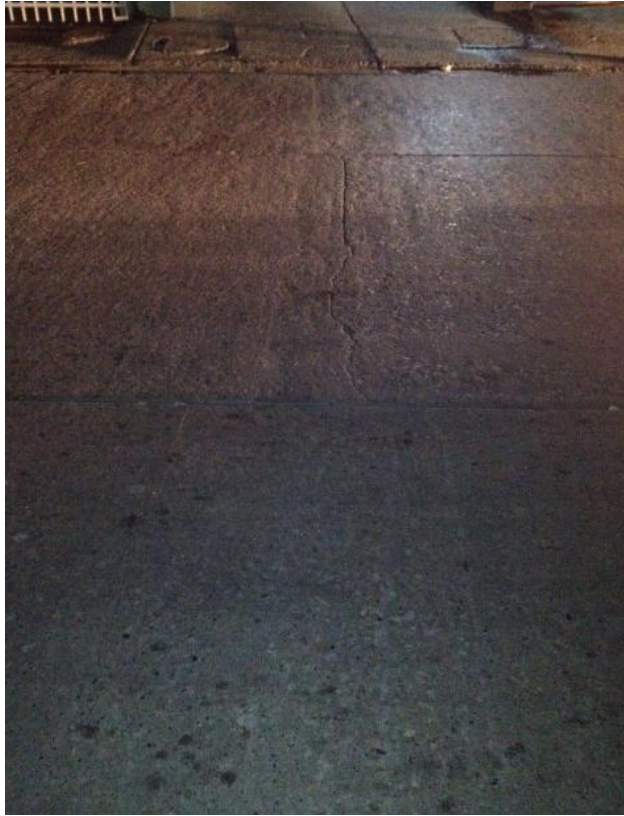


**Anexo 13 Fisura Transversal, Avenida Miramar**





**Anexo 14 Fisura transversal, Cuarta Avenida**





**Anexo 15 Fisura transversal, Avenida Jiménez**





**Anexo 16 Fisura transversal, Calle Real**

