

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

Elaboración de una guía de análisis estructural de pavimentos rígidos.

Proyecto de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Esteban Vega Sánchez

Directora de Proyecto de Graduación:

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Hoja de Aprobación

Tribunal de Graduación

Director del Comité: Ing. Jenny Chaverri Jimenez, MSc Eng.



Asesor: Ing. Wendy Sequeira Rojas

Asesor: Ing. Álvaro Aguilar Dondi

Asesor: Ing. Jorge Solano Jimenez



Estudiante: Esteban Vega Sánchez

Fecha: 2012, Junio, 04.

El suscrito, Esteban Vega Sánchez, cédula 1-1313-0701, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A56060**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Elaboración de una guía de análisis estructural de pavimentos rígidos**, bajo la Dirección del **Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ella interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por darme la oportunidad de alcanzar esta gran meta.

A las Ingenieras

Jenny Chaverri J. y Wendy Sequeira R, por su valiosa asesoría en la realización de este trabajo de graduación.

RECONOCIMIENTOS A:

Al todo el personal del LanammeUCR que me facilitó esta tarea.

Asesores del proyecto de graduación.

A la facultad de Ingeniería.

Y, a todas las personal que me apoyaron y colaboraron para el proyecto de graduación fuera realizado.

DEDICO ESTE TRABAJO A:

MIS PADRES

Bernal Vega Maroto

Ana Patricia Sánchez Rojas

MIS HERMANOS

Federico Vega Sánchez

Marcela Vega Sánchez

TODA MI FAMILIA

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE CUADROS	VI
GLOSARIO	VIII
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1. Marco Teórico **6**

1.1 Pavimentos Rígidos	6
1.1.1 Tipos de pavimentos rígidos	6
1.1.2 Modelos de fatiga de pavimentos rígidos.	8
1.2 Guías de diseño para el diseño estructural de pavimentos rígidos.	9
1.2.1 Método AASHTO	10
1.2.2 Método de la Portland Cement Association (PCA).	11
1.2.3 Comparación entre los métodos de diseño	12
1.2.4 Metodología Emperica - Mecanística	13

CAPÍTULO 2. Guía para el Análisis Estructural de Pavimentos Rígidos **15**

2.1 Antecedentes	15
2.1.1 Guía para la recolección de datos.	20
2.1.2 Determinación de la condición general de la estructura de pavimentos	28
2.2 Descripción del proyecto en evaluación	30
2.2.1 Antecedentes	30
2.2.2 Ruta nacional 204 (Zapote - San Francisco)	31
2.2.3 Ruta nacional 211 (San Francisco – La Colina)	38
2.2.4 Limitaciones	42
2.3 Auscultación Visual	44
2.3.1 Auscultación General	44
2.4 Ejecución de los Ensayos Requeridos	49
2.4.1 Ensayo de deflectometría (FWD).	49
<i>2.4.1.1 Preliminares, el equipo para la deflectometría.</i>	<i>49</i>
2.4.2 Antecedentes	50

2.4.2.1 Procedimiento de marcado de losas	51
2.4.3 Configuración del Ensayo FWD	52
2.4.3.1 Configuración Física	52
2.4.3.2. Localización del ensayo	54
2.4.4 Limitaciones y recomendaciones	57
2.5 Procesamiento de datos	60
2.5.1 Eficiencia de Transferencia de Carga (LTE).	60
2.5.1.1 Antecedentes	60
2.5.1.2 Procedimiento según MEPDG.	60
2.5.1.3 Resultados del cálculo de eficiencia de transferencia de carga (LTE).	62
2.5.2 Retrocálculo de Módulos.	72
2.5.2.1 Antecedentes	72
2.5.2.2 Funcionamiento del Programa de Software - Dynatest ELMOD6	73
2.5.2.3 Resultados del retrocálculo de módulos	82
2.5.2.4 Procedimiento para obtener el Módulo Elástico para diseño o rehabilitación.	100
2.5.3 Modelado de elemento finito en ISLAB2000.	106
2.5.3.1 Camión de diseño	114
2.6 Criterios de Falla	119
2.6.1 Agrietamientos transversales de Abajo – Arriba	119
2.6.2 Agrietamientos transversales de Arriba – Abajo	120
2.6.3 Resultados	121
CAPÍTULO 3 Conclusiones y Recomendaciones	129
Bibliografía	137
Anexos	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura típica de los pavimentos rígidos.....	6
Figura 1.2. Esquema del pavimento de concreto con juntas sin refuerzo (Jointed plain concrete pavement (JPCP)).....	7
Figura 1.3. Esquema del pavimento de concreto reforzado (Jointed reinforced concrete pavement (JRCP)).	7
Figura 1.4. Esquema del pavimento de concreto continuamente reforzado (Continuously reinforced concrete pavement (CRCP)).	8
Figura 2.1. Ubicación de la ruta 204 Zapote – San Francisco.	32
Figura 2.2: Esquema del mejoramiento que se describe en planos a realizar en la ruta 204.	34
Figura 2.4 Deterioro en las juntas observado.	45
Figura 2.5 Deterioro en la superficie de las losas observado.	46
Figura 2.6. Imagen con el esquema del posicionamiento de los equipos para evaluar la losa en el centro.....	55
Figura 2.7. Imagen con el esquema del posicionamiento de los equipos para evaluar la eficiencia de transferencia de carga en la junta.	56
Figura 2.8. Imagen con el esquema del posicionamiento de los equipos para evaluar la detección de vacíos en las esquinas.	57
Figura 2.9. Imagen con el esquema del posicionamiento de los equipos y problemas encontrados en sitio.....	59
Figura 2.10. Histograma de LTE para el tramo 204A, sentido Zapote – San Francisco.	64
Figura 2.11. Histograma de LTE para el tramo 204, sentido San Francisco - Zapote.....	66
Figura 2.12. Histograma de LTE para el tramo 211A, sentido San Francisco – La Colina.....	68
Figura 2.13. Histograma de LTE para el tramo 211B, sentido La Colina - San Francisco.	70
Figura 2.14. Pantalla principal del programa de software ELMOD6. Se señala la pestaña de proyectos.	74
Figura 2.15. Pantalla principal del programa de software ELMOD6. Se señala la pestaña para importar base de datos.	75
Figura 2.16. Pantalla principal del programa de software ELMOD6. Se señala la pestaña para revisar los datos importados.	76
Figura 2.17. Pantalla del programa de software ELMOD6 para revisar los datos importados.....	76
Figura 2.18. Pantalla del programa de software ELMOD6 para la creación de la estructura de pavimentos.....	78
Figura 2.19. Modelo Estructural para procesamiento de datos de pavimentos rígidos.	79

Figura 2.20. Pantalla del programa de software ELMOD6 para revisar la identificación de las losas.....	79
Figura 2.21. Pantalla principal del programa de software ELMOD6. Se señala la pestaña revisar la identificación de las losas.	80
Figura 2.22. Pantalla de la pestaña <i>Plot</i> del programa de software ELMOD6.	81
Figura 2.23. Gráfico de Módulos Resilientes para el tramo 204, sentido Zapote – San Francisco.	84
Figura 2.24. Gráfico de Módulos Resilientes para el tramo 204, sentido Zapote – San Francisco	87
Figura 2.25. Gráfico de Módulos Resilientes para el tramo 211, sentido San Francisco – La Colina.	91
Figura 2.26. Gráfico de Módulos Resilientes para el tramo 211, sentido La Colina - San Francisco.	94
Figura 2.27. Gráficos de resultados de la prueba de hipótesis para los módulos resilientes del retrocálculo del tramo 204A.	96
Figura 2.28. Gráficos de resultados de la prueba de hipótesis para los módulos resilientes del retrocálculo del tramo 204B.	97
Figura 2.29. Gráficos de resultados de la prueba de hipótesis para los módulos resilientes del retrocálculo del tramo 211A.	98
Figura 2.30. Gráficos de resultados de la prueba de hipótesis para los módulos resilientes del retrocálculo del tramo 211B.	99
Figura 2.31. Pantalla principal del programa de software ISLAB2000	107
Figura 2.32. Pantalla de Geometría del software ISlab2000.	108
Figura 2.33. Pantalla de Capas del programa de software ISLAB2000.....	109
Figura 2.34. Pantalla de Subrasante del programa de software ISLAB2000.....	110
Figura 2.35. Pantalla de Juntas del programa de software ISLAB2000.	111
Figura 2.36. Pantalla de Temperatura del programa de software ISLAB2000.	113
Figura 2.37. Esquema general del Camión de diseño T3-S2.....	115
Figura 2.38. Esquema general del las dimensiones del eje dual en el sentido perpendicular del semirremolque.	116
Figura 2.39: Pantalla de Diseño de Ejes del programa de software ISLAB2000.	117
Figura 2.40. Pantalla de diseño de camión del programa de software ISLAB2000.	118
Figura 2.41. Ubicación del eje direccional del camión de diseño que genera los esfuerzos críticos de tensión en la parte de debajo de la losa.	119
Figura 2.42. Ubicación del camión de diseño que genera los esfuerzos críticos de tensión en la parte de arriba de la losa, Camión T3-S2.....	120

Figura 2.43. Esquema de pandeo bajo un gradiente de temperatura positivo.	121
Figura 2.44. Esquema de pandeo bajo un gradiente de temperatura negativo.	122
Figura 2.45. Resultado del programa ISLAB2000 modelando las losas de la ruta 204A.....	123

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Lista de chequeo de los factores utilizados para determinar la condiciones general y problemas que pueden afectar el desempeño estructural de los pavimentos rígidos.	18
Cuadro 2.2. Definición del nivel de información para la recolección de los datos para la evaluación de pavimentos rígidos.....	22
Cuadro 2.3. Categorización general de daños en los pavimentos JPCP.....	26
Cuadro 2.4. Condiciones importantes para pavimentos rígidos JPCP existentes.....	27
Cuadro 2.5. Espesores de capas y caracterización promedio de subbase proyecto 204 Zapote – San Francisco.	36
Cuadro 2.6. Caracterización y espesores de subbase y subrasante del proyecto 204 Zapote – San Francisco.	37
Figura 2.3. Ubicación de la ruta 204 Zapote – San Francisco.	38
Cuadro 2.7. Caracterización y espesores de subbase y subrasante del proyecto 211 San Francisco – La Colina.	40
Cuadro 2.8. Espesores de capas y caracterización promedio de subbase proyecto 211 San Francisco – La Colina.	41
Cuadro 2.9. Resultados de las pruebas de laboratorio de resistencia a la compresión y a la flexo-tracción de muestras del concreto.....	42
Cuadro 2.10. Tipos de daños del pavimento de concreto JPCP observados en las rutas evaluadas.....	47
Cuadro 2.11. Distancia de los sensores de deflexión del deflectómetro de impacto.	53
Cuadro 2.12. Cargas previstas y rangos aceptables para la prueba de FWD.....	53
Cuadro 2.13: Calidad en la eficiencia en transferencia de carga.	62
Cuadro 2.14. Resumen de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 204A, sentido Zapote – San Francisco.....	63
Cuadro 2.15. Resumen de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 204B, sentido San Francisco - Zapote.	65
Cuadro 2.16. Resumen de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 211A, sentido San Francisco – La Colina.	67
Cuadro 2.17. Resumen de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 211B, sentido La Colina - San Francisco.	69
Cuadro 2.18. Resumen de Módulos Resilientes para el tramo 204A, sentido Zapote – San Francisco.	83

Cuadro 2.19. Tabla con resumen de Módulos de Reacción de subrasante k encontrados en el retrocálculo, tanto para la zona de la junta como el centro de las losas, para el tramo 204, sentido Zapote – San Francisco.	85
Cuadro 2.20. Tabla con resumen de Módulos Resilientes para el tramo 204B, sentido San Francisco - Zapote.	86
Cuadro 2.21. Tabla con resumen de módulos de reacción de subrasante k encontrados en el retrocálculo, tanto para la zona de la junta como el centro de las losas, para el tramo 204B, sentido San Francisco - Zapote.	88
Cuadro 2.22. Tabla con el resumen de Módulos Resilientes para el tramo 211, sentido San Francisco – La Colina.	89
Cuadro 2.23. Tabla con el resumen de Módulos de Reacción de subrasante k, encontrados en el retrocálculo, tanto para la zona de la junta como el centro de las losas, para el tramo 211, sentido San Francisco – La Colina.	90
Cuadro 2.24. Tabla con resumen de Módulos Resilientes para el tramo 211, sentido La Colina - San Francisco.	92
Cuadro 2.25. Tabla con el resumen de módulos de reacción de subrasante (K) encontrados en el retrocálculo, tanto para la zona de la junta como el centro de las losas, para el tramo 211, sentido La Colina - San Francisco.	93
Cuadro 2.26. Tabla con los valores recomendados del factor CBD.	101
Cuadro 2.27. Tabla con los rangos de valores recomendados de módulos de concreto.	101
Cuadro 2.28. Módulos elásticos corregidos para la Ruta 204.	102
Cuadro 2.29. Módulos elásticos corregidos para la Ruta 211.	103
Cuadro 2.30. Valores típicos de materiales de pavimentos obtenidos de ensayos de laboratorio o del retrocálculo.	104
Cuadro 2.31. Resumen con los resultados del retrocálculo de módulos para la losa concreto, base estabilizada y módulo de reacción de la subrasante K.	104
Cuadro 2.32. Resumen de resultados de las aplicaciones (N) para la falla con los esfuerzos críticos. Ruta 204.	124
Cuadro 2.33. Resumen de resultados de las aplicaciones (N) para la falla con los esfuerzos críticos. Ruta 211.	125
Cuadro 2.34. Aplicaciones para el periodo de diseño para la ruta 204.	126
Cuadro 2.35. Aplicaciones el periodo de diseño para la ruta 204.	127

GLOSARIO

ACPA: Siglas en inglés de la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto. *American Concrete Pavemente Association.*

AASTHO: Siglas en inglés American Association of State Highway and Transportation Officials.

CBR: Prueba de California Bearing Ratio.

CONAVI: Siglas del Consejo Nacional de Vialidad.

Elmod6: Programa de software utilizado para procesar los datos obtenidos del ensayo de deflectometría.

FWD: Abreviatura en inglés de la prueba del Deflectómetro de Impacto. *Falling Weight Deflectometer.*

GPS: Servicio de Posicionamiento Global. *Global Positioning Service.*

JPCP: Abreviatura en inglés del pavimento de concreto con juntas sin refuerzo.

LanammeUCR: Siglas del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

LTE: Eficiencia en transferencia de carga. *Load transfer efficiency.*

LTPP: Long Term Pavement Performance Program.

ICCYC: Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto.

IRI: Índice de Rugosidad Internacional.

ISLAB2000: Programa de software utilizado para evaluar modelos de pavimentos rígidos en elemento finito.

MEPDG: Abreviatura para describir la guía de diseño mecanística – empírica, Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, preparada por NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) de los Estados Unidos de América.

NDT: Siglas en inglés de Ensayos no destructivos, *Nondestructing testing.*

PCC: Abreviatura en inglés del Concreto de Cemento Portland

Vega Sánchez, Esteban.

Elaboración de una guía de análisis estructural de pavimentos rígidos.

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.:

E. Vega S., 2012

ix, 136, [74]h; ils. col. – 11 refs.

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo es uno de los primeros intentos a nivel nacional de unificar criterios para el análisis y evaluación estructural de pavimentos rígidos con la finalidad de establecer un precedente para la elaboración de una guía de análisis estructural.

Se realizó un análisis estructural de los pavimentos de las rutas nacionales 204 y 211, que recibieron un mejoramiento de su pavimento al cambiar la estructura de pavimentos flexibles por una de pavimentos rígidos, tal como se indica en las licitaciones públicas 2006LN-000052-DI y 2006LN-000046-DI. Paralelo a este análisis, se exploraron los lineamientos, metodologías y ensayos requeridos para realizar la evaluación, con la finalidad de elaborar una guía que unifique criterios que mejor se adapten a la realidad nacional.

El análisis de ambas rutas nacionales arroja resultados y lineamientos satisfactorios, y además hace un aporte muy importante sobre todas las limitaciones que emergieron durante el desarrollo, toda esta información sin duda facilitará el futuro desarrollo del análisis estructural de pavimentos rígidos con mayor grado de detalle en Costa Rica.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL; PAVIMENTOS RÍGIDOS; GUIA DE EVALUACIÓN; CONCRETO

Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc Eng.

Escuela de Ingeniería Civil

INTRODUCCIÓN

I. Justificación

El problema específico

En Costa Rica no existe una metodología oficial o lineamientos recomendados para analizar el desempeño estructural de los pavimentos rígidos.

Importancia

Es de suma importancia la elaboración de este proyecto debido que se pretende desarrollar una guía de análisis que incluya la metodología para realizar un análisis estructural de los pavimentos rígidos, que sea de fácil uso y con los procedimientos de análisis claros y definidos para determinar el desempeño de las estructuras de pavimentos rígidos. La intención con la elaboración de esta guía de análisis constituye el primer esfuerzo a nivel nacional para unificar los criterios de análisis estructural y desempeño de los pavimentos rígidos.

La importancia de este proyecto de graduación, es que a pesar de cualquier Ingeniero estructural de pavimentos podría llevar a cabo este tipo de análisis, este podría utilizar diferentes metodologías o diferentes estrategias o bien diferentes criterios para definir las variables del análisis, para determinar si los pavimentos rígidos diseñados se van a comportar adecuadamente en términos estructurales, en términos de desempeño y a la hora de estimar la vida remanente de los mismos.

El tema de los pavimentos rígidos es un tema que se ha dejado de lado en nuestro país debido al auge que tuvieron los pavimentos flexibles, sin embargo, cada vez más se están construyendo pavimentos rígidos. De este nuevo auge en la construcción de los pavimentos rígidos, se han detectado deterioros prematuros en las carreteras que sin duda deben ser analizados. De estos problemas nace la duda de que si los deterioros se deben a problemas constructivos, de diseño estructural o de ambos. A la hora de realizar la inversión y escoger entre un pavimento rígido o uno es flexible, la preocupación más importante es que si los pavimentos se van a desempeñar adecuadamente en su periodo de diseño.

Los daños que pueden sufrir los pavimentos rígidos ya son bien conocidos, estos se pueden encontrar en varios manuales. En este trabajo no se pretende desarrollar la clasificación de estos daños. Lo que se pretende con la elaboración de la guía de análisis, es establecer los procedimientos para determinar la condición estructural. La suma de todos los daños que pueden generarse en los pavimentos rígidos y más importante aún, la suma de los resultados de todas las mediciones de los problemas es lo que se conoce o se puede interpretar como el análisis estructural o de desempeño de los pavimentos.

De aquí nace la importancia de este proyecto, que de un análisis de una carretera construida de pavimento rígido, en este caso específico los proyectos Zapote – San Francisco y San Francisco – La Colina, se va a desarrollar la guía que involucre un método analítico que pretende unificar los criterios para que se pueda utilizar a nivel nacional.

Con la realización de este proyecto de graduación se aportaría el primer intento de unificar criterios para establecerlos en una guía que sería de gran utilidad a nivel nacional. Podría ser utilizada por todos los ingenieros o incluso personas con el conocimiento técnico adecuado que necesiten realizar un análisis de esta índole. Además como se menciona anteriormente, otro producto del proyecto de graduación es el análisis de dos rutas nacionales, que se conoce tuvieron problemas incluso antes de ser abiertas al público. Se espera que con este análisis, se clarifiquen muchas dudas en cuanto a su desempeño y su vida útil, que nacieron luego de un largo proceso constructivo, y que tuvo muchas críticas que incluso llegaron a ser noticia en todos los medios de comunicación nacional.

Antecedentes teóricos y prácticos del problema

En Costa Rica existen pocos estudios que traten específicamente sobre el análisis estructural de pavimentos rígidos. Específicamente, existe poca información referente a analizar estructuras que se encuentran construidas, esto porque el equipo que se requiere es de difícil acceso y además las metodologías para el análisis en campo no son conocidas o empleadas a nivel nacional.

Existen investigaciones que se han realizado hasta la fecha, principalmente por parte de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con el propósito de estudiar estructuralmente otro tipo de pavimentos como son el flexible e incluso con adoquines de

concreto. En el caso para los pavimentos rígidos, hasta la fecha no se han realizado análisis estructurales.

En la revisión bibliográfica efectuada, se buscaron Trabajos Finales de Graduación por medio del Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información de la Universidad de Costa Rica (SIBDI-UCR), y no se encontraron antecedentes de un proyecto similar. Además se consultó con la profesora Ing. Jenny Chaverri. MSc Eng., directora del proyecto de graduación, quien además cuenta con una amplia experiencia en el campo de las estructuras de pavimentos en Costa Rica, estableció tener conocimiento de que no se han efectuado trabajos donde se analicen los pavimentos rígidos o se propongan nuevas metodologías para llevarlo a cabo y unificar los criterios a nivel nacional.

Como un antecedente a nivel nacional, los proyectos que se pretenden analizar, sufrieron constantes atrasos en la obra debido a problemas durante la construcción e incluso problemas de agrietamiento prematuros en más de 50 losas antes de que la carretera se abriera al público. Esto generó una discusión sobre si el desempeño del pavimento estaría acorde con el diseñado. Se querían cobrar multas en caso de entregar el pavimento con un rendimiento inferior al diseñado. Se trató de realizar un análisis estructural y al no existir una guía de análisis con criterios unificados y procedimientos estándar, no se pudo resolver el conflicto con respecto a las multas por no llegar a un acuerdo sobre los procedimientos a utilizar y cómo realizar el análisis.

II. Objetivos

Objetivo general

- Elaborar una guía para el análisis estructural de pavimentos rígidos.

Objetivos específicos

- Realizar un análisis estructural de los pavimentos rígidos de los proyectos Zapote – San Francisco y San Francisco – La Colina.

- Verificar la efectividad de la metodología que se pretende elaborarlos utilizando los proyectos construidos en San José, en las rutas 204, Zapote – San Francisco y 211, San Francisco – La Colina.
- Predecir el desempeño del pavimento rígido de los proyectos Zapote – San Francisco y San Francisco – La Colina.
- Proporcionar una guía con procedimientos estándar para el análisis de pavimentos rígidos, que incluyan detalladamente las mediciones que se deben realizar, la frecuencia con que se realizan estas mediciones y los parámetros necesarios para realizar el análisis. De esta forma se unificaría en un primer intento nacional los criterios para realizar el respectivo análisis.

III. Alcance

- Proporcionar lineamientos básicos de una guía de análisis estructural de pavimentos rígidos.
- No se desarrollará extensamente la clasificación e identificación de los daños en los pavimentos rígidos. El desarrollo del trabajo sí contempla un extenso trabajo en lo que es el procedimiento para determinar el desempeño estructural.
- El análisis estructural para pavimentos rígidos se va a realizar únicamente en las rutas Zapote – San Francisco y San Francisco – La Colina.
- Los ensayos de carácter no destructivo que se realizan en los proyectos a evaluar están determinados por el equipo y disponibilidad del mismo que tiene el LanammeUCR.
- Las deflectometrías ya se realizaron por parte del Lanamme, por lo que se cuenta únicamente con esos resultados.
- Como requerimiento de un análisis estructural, es necesario realizar una auscultación visual de los deterioros superficiales para ambos proyectos. Esto para establecer una condición estructural muy general de los proyectos

- A pesar de que a nivel internacional se puede disponer de algunas guías de identificación de daños en pavimentos, a nivel nacional no existe ninguna por lo que únicamente se utilizan las guías disponibles.

IV. Limitaciones

- Los proyectos que se pretenden evaluar son recientes (dos años de antigüedad), por lo que puede que no se encuentren todos los daños que se conocen se generan en los pavimentos rígidos como consecuencia de la durabilidad o envejecimiento del pavimento. Además muy probablemente como resultado del análisis se encuentre una vida remanente de los proyectos. Si este análisis se llevara a cabo en proyectos de mayor edad y con diferentes condiciones el resultado probablemente sería que esos proyectos ya cumplieron con su vida útil de diseño.
- No se realizarán estudios de suelos. La información de caracterización de suelos será la información disponible en los estudios preliminares del diseño y de los controles de calidad de ambos proyectos, se estimarán los valores de estudios preliminares.
- No se llevarán a cabo pruebas destructivas en ninguno de los dos proyectos.
- Cuando se hace un trabajo experimental, generalmente se pueden presentar errores introducidos por una mala calibración o una incorrecta manipulación de las máquinas a utilizar. Además se tienen otro tipo errores de carácter humano, que se pueden introducir por la mala manipulación.
- Los resultados obtenidos serán propios de los proyectos evaluados, por lo que no se podrán extrapolar o correlacionar a otras evaluaciones.

CAPÍTULO 1. Marco Teórico

1.1 Pavimentos Rígidos

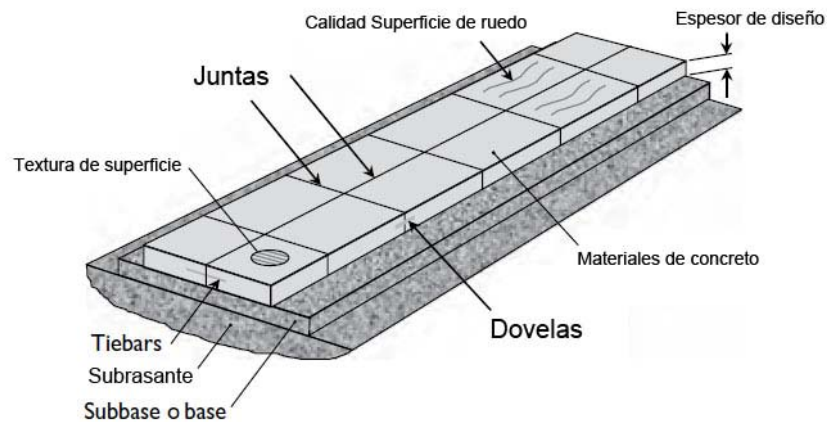


Figura 1.1. Estructura típica de los pavimentos rígidos. (Fuente: ACPA)

1.1.1 Tipos de pavimentos rígidos

Casi todos por no decir que la totalidad de los pavimentos son construidos con concreto de cemento portland. Los tipos convencionales de pavimentos de concreto se dividen en tres categorías que dependen de cómo estos controlan el agrietamiento.

a) Pavimento de concreto con juntas sin refuerzo (Jointed plain concrete pavement (JPCP)).

Este es el tipo pavimento rígido más común. Se controla el agrietamiento dividiendo el pavimento en una serie de losas individuales separadas por juntas. Estas losas pueden tener o no tener dovelas o pasajuntas transversales. Cuando no hay dovelas transversales, la transferencia de carga en las juntas se obtiene por la trabazón del agregado. Para que se produzca buena transferencia de carga es necesario que haya poco espaciamiento entre las juntas. Este tipo de losas no utiliza ningún tipo de refuerzo de acero para controlar los esfuerzos de tensión.

En el país este es el tipo de pavimento de concreto más utilizado. Los dos proyectos que van a ser analizados en este trabajo fueron construidos utilizando este tipo de estructura.

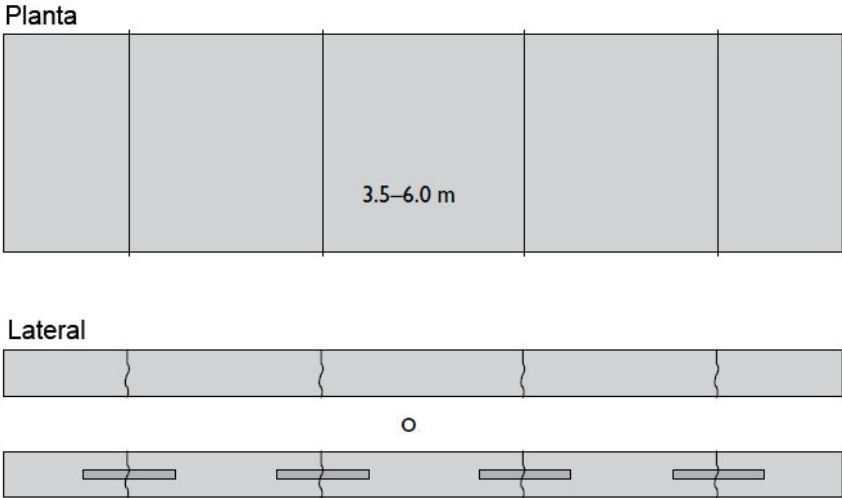


Figura 1.2. Esquema del pavimento de concreto con juntas sin refuerzo (Jointed plain concrete pavement (JPCP)). (Fuente: ACPA)

b) Pavimento de concreto reforzado (Jointed reinforced concrete pavement (JRCP)).

Se controlan el agrietamiento dividiendo el pavimento en una serie de losas individuales separadas por juntas. Estas losas pueden o no tener dovelas transversales. Pero además tienen una malla de refuerzo. Aunque este refuerzo no incrementa la capacidad estructural del pavimento, este permite aumentar el espaciamiento entre las juntas. Este tipo de pavimento ya no se está utilizando debido a que presenta problemas de rendimiento a largo plazo.

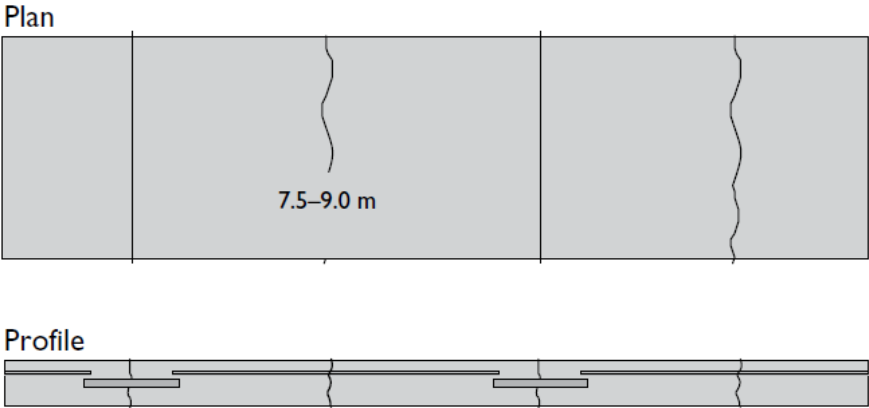


Figura 1.3. Esquema del pavimento de concreto reforzado (Jointed reinforced concrete pavement (JRCP)). (Fuente: ACPA)

c. *Pavimento de concreto continuamente reforzado (Continuously reinforced concrete pavement (CRCP)).*

Se caracteriza por tener refuerzo metálico continuo. Este tipo de pavimento utiliza una malla de refuerzo en lugar de tener las juntas de contracción. La eliminación de estas juntas decrece el espesor del pavimento requerido. Usualmente se producen grietas transversales, sin embargo estas se mantienen unidas por la malla de refuerzo, permitiendo una buena transferencia de cortante.

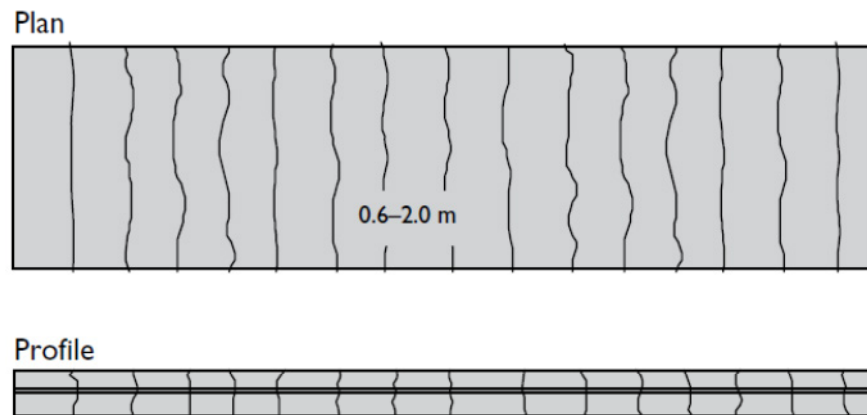


Figura 1.4. Esquema del pavimento de concreto continuamente reforzado (Continuously reinforced concrete pavement (CRCP)). (Fuente: ACPA)

1.1.2 Modelos de fatiga de pavimentos rígidos.

Los problemas más comunes en pavimentos rígidos se pueden resumir de la siguiente manera:

- Agrietamiento – dividido en agrietamiento en las esquinas, agrietamiento por durabilidad o envejecimiento y agrietamiento longitudinal y transversal.
- Deficiencias en las juntas – sello de juntas dañado (longitudinales y transversales), desprendimiento o rompimiento de material en las juntas (longitudinales y transversales) y erosión.
- Defectos en la superficie – agrietamiento severo, hundimientos o deformaciones, pulimiento o desprendimientos de material.
- Otro tipo de problemas - infiltración de agua, bombeo de agua, deformaciones de losas en las juntas o en grietas.

a. Mecanismos de agrietamiento

Agrietamientos por fatiga causados por aplicación repetitiva de cargas de tránsito y condiciones climáticas que llevan al material a un nivel de esfuerzo que causa la ruptura. La acumulación del daño por fatiga se define como la tasa o relación entre la suma de las repeticiones de carga predichas y las repeticiones de cargas admisibles. El concepto de daño de fatiga en pavimentos de concreto es similar al de pavimentos flexibles, solo que en lugar de relacionar los esfuerzos de tensión al número de repeticiones admisibles, se relaciona con la razón de esfuerzos (esfuerzo aplicado / esfuerzo ruptura).

Existen varios tipos de agrietamiento por fatiga en el pavimento JPCP:

- Agrietamientos transversales
- Agrietamientos longitudinales
- Agrietamientos en las esquinas de las losas

b. Modelo de erosión

Se presenta debido a la presencia de agua en las juntas de contracción. El agua se infiltra a través de las grietas en las juntas. Cuando las losas sufren una deflexión, el agua es expulsada hacia la superficie junto con una cantidad apreciable de finos. A estos se le conoce como bombeo de finos. Los principales tres agentes que lo promueven son la presencia de agua libre, un frecuente tránsito de cargas pesadas por eje y la presencia de material erosionable en el apoyo de la losa.

1.2 Guías de diseño para el diseño estructural de pavimentos rígidos.

Los métodos de diseño más utilizados a nivel nacional son, el de la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) y el de la Portland Cement Association (PCA) (Fuente ICCYC). Estos métodos de diseño de espesores de pavimentos se basan en procedimientos empíricos para su calibración.

1.2.1 Método AASHTO

a) Pista de pruebas AASHTO

El método de diseño de espesores de pavimentos rígidos está basado en los resultados obtenidos de la pista de pruebas, concebida y promovida gracias a la organización que ahora conocemos como AASHTO para estudiar el comportamiento de estructuras de pavimento de espesores conocidos, bajo cargas móviles de magnitudes y frecuencias conocidas y bajo el efecto del medio ambiente en secciones conocidas de pavimentos rígidos y flexibles. La planeación empezó en 1951, la construcción del proyecto comenzó en 1956 muy cerca de Ottawa, Illinois. El tráfico controlado de la prueba se aplicó de octubre de 1958 a noviembre de 1960 y el método estuvo listo para 1961.

b) Formulación del método de diseño

El objetivo principal de las pruebas consistía en determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre ellas, o bien para determinar las relaciones significativas entre un número de repeticiones de ejes con cargas, de diferente magnitud y disposición, y el comportamiento de diferente espesores de pavimentos, conformados con bases y sub-bases, colocados en suelos de características conocidas.

En total se examinaron 368 secciones de pavimento rígido y 468 secciones de pavimento flexible.

Las mediciones físicas de las secciones de prueba se transfirieron a fórmulas que podían dar nuevamente valores numéricos de capacidad de servicio. Estos valores graficados contra las aplicaciones de carga forman una historia de comportamiento para cada sección de prueba que permiten la evaluación de cada uno de los diversos diseños.

c) Evolución de la guía AASHTO

Aproximadamente después de un año de terminar la prueba AASHO, para 1961 se publicó la primer "Guía AASHO para Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles". Posteriormente para 1972 se realizó una revisión y se publicó como la "Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimento - 1972". Para 1981 se hizo una Revisión al Capítulo III, correspondiente al Diseño de Pavimentos de Concreto con Cemento Portland. Para 1986 se publicó una revisión de la "Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento". En 1993

se realizó una Revisión del Diseño de sobre-carpetas de pavimento. Para 1998 se publicó un método alternativo para diseño de pavimentos, que corresponde a un "Suplemento a la guía de diseño de estructuras de pavimento".

d) Variables del método de diseño

Las variables que intervienen en el diseño de los pavimentos constituyen en realidad la base del diseño del pavimento por lo que es necesario conocer las consideraciones más importantes que tienen que ver con cada una de ellas para así poder realizar diseños confiables y óptimos al mismo tiempo.

- Espesor
- Serviciabilidad (inicial y final)
- Tráfico (ejes equivalentes, ESAL)
- Transferencia de carga
- Propiedades del concreto (módulos de ruptura y elasticidad)
- Resistencia de la subrasante
- Drenaje
- Confiabilidad (confiabilidad y desviación estándar)

1.2.2 Método de la Portland Cement Association (PCA).

a) Formulación del método de diseño de PCA.

Es exclusivamente un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto.

Teniendo como base el conocimiento de varias teorías de pavimentos como Westergaard, Picket and Ray así como de elementos finitos. Incorpora la experiencia en el comportamiento de varias pruebas e investigaciones como la Arlington Test y diversos proyectos de la misma PCA, derivando lo anterior finalmente en este método de diseño.

Parte del método fue desarrollado interpretando los resultados del modelo de elementos finitos basados en el comportamiento de una losa de espesor variable y dimensiones finitas (180 x 144 pulgadas) a la cual se le aplicaron cargas al centro, de borde y de esquina, considerando diferentes condiciones de apoyo y soporte.

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas y la fatiga del pavimento de concreto.

El criterio de erosión reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas. El criterio del esfuerzo de fatiga reconoce que el pavimento pueda fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

A diferencia del método AASHTO, el método de diseño PCA consideró un valor fijo de módulo de elasticidad del Concreto (E_c) = 27 579 MPa que no lo hizo variar en relación con la resistencia a la flexión del concreto (MR), así como tampoco varió el coeficiente de Poisson de 0,15.

Este método considera algunas limitaciones en los valores de módulo de reacción K del suelo, en donde el rango de valores para los que el método fue desarrollado oscila entre los 13.57 y 190 kPa/mm.

Una ventaja que se debe reconocer en el método del PCA es que toma el tráfico real que estima circulará sobre el pavimento, sin convertirlo a Ejes Equivalentes.

b) Variables

Las variables que intervienen en el diseño son:

- Espesor Inicial del Pavimento
- Módulo de Reacción K del suelo
- Tráfico. Transferencia de Carga y Soporte Lateral
- Propiedades del Concreto
- Módulo de Ruptura (Considera una reducción del 15% por seguridad)
- Módulo de Elasticidad Fijo = 27 579 MPa
- Módulo de Poisson Fijo = 0,15

1.2.3 Comparación entre los métodos de diseño

Ambos métodos de diseño son apropiados para el diseño de espesores de pavimentos rígidos en cualquier tipo de proyecto, sin embargo el método AASHTO hace intervenir un mayor número de variables que ayudan a modelar de mejor manera las condiciones del

proyecto al momento en que se diseñará su espesor. Los resultados del método de la PCA son adecuados para cualquier tipo de proyecto a pesar de que no se puedan tomar en cuenta algunos factores importantes como lo son la serviciabilidad inicial y final. En cambio considera de una manera más real la contribución del tráfico en la formulación

1.2.4 Metodología Emperica - Mecanística

Primeramente, es importante mencionar que la guía de diseño empírica - mecanística (MEPDG, Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures) se utiliza principalmente y solamente como un apoyo para el desarrollo del trabajo. No se pretende desarrollar el esquema que define la guía ni mucho menos intentar calibrar los parámetros y sus procedimientos para el desarrollo a nivel local.

La guía MEPDG tiene como objetivo ser la herramienta principal para diseñar o rehabilitar estructuras de pavimento en un futuro a mediano plazo a nivel mundial. Recopila comprensivamente toda la experiencia adquirida a la largo de los años de desarrollo empírico y propone un nuevo método de diseño basado un procedimiento de prueba y error en donde el diseñador toma en cuenta todas las condiciones del sitio, propone su diseño y lo prueba analíticamente guiándose por los procedimientos establecidos por la guía hasta que cumplan acertadamente los criterios de evaluación tanto estructurales como de servicio. Si el diseño propuesto no cumple los criterios de desempeño, se hace una revisión del mismo y la evaluación se repite cuantas veces sea necesario. Esto es muy importante para el diseñador ya que puede modificar los parámetros y materiales que crea convenientes para optimizar su diseño.

Es de suma importancia mencionar que la guía MEPDG tiene un acercamiento jerárquico en cuanto a la forma de ingresar los datos requeridos para el diseño. Esto permite al diseñador obtener mucha flexibilidad para obtener los parámetros de diseño basándose en la importancia del proyecto y la disponibilidad de recursos.

Los niveles de información definidos por la guía están divididos en nivel 1, nivel 2 y nivel 3, siendo el nivel 1 el que provee mayor precisión y por ende es el que tiene menor incertidumbre o error. Por lo general requiere parámetros obtenidos de pruebas de laboratorio o pruebas en campo, como por ejemplo ensayos no destructivos como el

deflectometría entre otros. Para obtener parámetros de entrada de nivel 1, se requieren mayores recursos y tiempo en comparación con los otros niveles.

El nivel 2 provee un nivel de precisión intermedio y sería un acercamiento a los procedimientos utilizados en ediciones anteriores de la guías desarrolladas por el AASHTO. Los parámetros de este nivel se obtienen de valores típicos que fueron obtenidos de procedimientos establecidos o de algunas correlaciones de pruebas de laboratorio.

El nivel 3 es el de menos precisión. Este nivel podría ser usado en donde las consecuencias por un fallo prematuro son minimizadas. Los parámetros de diseño son valores típicos de la región y seleccionados por el diseñador.

La guía MEPDG permite obtener los parámetros mezclando niveles y especifica que es importante entender que no importa el nivel de proveniencia de los parámetros de diseño, los algoritmos computacionales para estimar el daño, los modelos y procedimientos para predecir daños son los mismos y son independientes a los niveles jerárquicos.

En relación con el desarrollo del presente trabajo, se utilizan como apoyo complementario los procedimientos descritos para la parte de evaluación de pavimentos existentes para rehabilitación.

CAPÍTULO 2. Guía para el Análisis Estructural de Pavimentos Rígidos

2.1 Antecedentes

Evaluación de la condición general y definición de los problemas

Determinar la condición existente de la estructura de pavimentos y los problemas existentes requiere que se genere un proceso de recopilación de información. Es importante generar listas de chequeo con los factores que contengan todos los problemas que puedan presentar los pavimentos rígidos.

Es importante que se genere a nivel nacional una guía que pueda identificar y tipificar los problemas que se generan en las estructuras de pavimentos rígidos debidos a las condiciones propias del territorio nacional. Esto por la variabilidad de los diseños y por la ubicación donde se realizan muchos de los proyectos con estructuras de pavimento rígido, que en general en Costa Rica, pero no es la regla, son carreteras urbanas en espacios reducidos y que por esto se construyen con geometrías muy diferentes a las que se recomiendan en manuales de diseño que se pueden encontrar en otros lugares del mundo.

Para valorar la condición estructural y funcional de los pavimentos se deben considerar los siguientes pasos para recolectar la información pertinente para el análisis:

1. Recolectar información histórica del proyecto

Este paso se relaciona con la recolección de información como: Localización del proyecto; Año de construcción; Año y tipo de mantenimientos mayores realizados; Propiedades de suelos y materiales utilizados; Tránsito; Condiciones climáticas; Alguna otra información relacionada con desempeño.

2. Realizar una primera inspección en el campo

Este paso consiste en conducir una exploración a lo largo del proyecto, buscando problemas detallados para valorar la condición del pavimento. Información requerida incluye: Información sobre problemas; Condiciones de drenajes;

Regularidad subjetiva; Opciones de control de tránsito para futuros trabajos;
Consideraciones de seguridad.

3. Evaluar la información de la primera inspección y determinar qué tipo de información adicional se requiere.

Se determinan niveles críticos de los problemas y causas de estos, además de las causas de la pérdida de regularidad, esto con la información recolectada en la inspección de campo durante la primera inspección. Esto ayudará a determinar preliminarmente la condición del pavimento y los potenciales problemas. Durante este proceso se determinará la necesidad información adicional.

4. Realizar una segunda inspección en campo.

Este paso involucra tomar medidas y realizar pruebas más detalladas. Como por ejemplo se podrían extraer núcleos y obtener muestras de materiales, ensayos para medir la regularidad de la superficie, deflectometría, ensayos para medir la fricción. Depende de los datos que se necesiten para la valoración.

5. Realizar análisis de laboratorio de las muestras obtenidas.

En esta etapa se conducen pruebas en el laboratorio para medir la capacidad de los suelos, obtención de módulo resiliente, permeabilidad, contenido de humedad, composición, densidad entre otros con las muestras obtenidas en el campo en la segunda inspección al campo.

6. Evaluar los nuevos datos recolectados.

Para este paso se debe determinar la condición existente del pavimento y definir, de forma general, los problemas presentes. Todo esto mediante la evaluación de los parámetros estructurales y funcionales del pavimento. También se deberá tener en cuenta la durabilidad de los materiales, las condiciones de los espaldones, la variabilidad en el pavimento a lo largo del proyecto y tomar en cuenta las posibles

restricciones presentes. Durante este proceso se determinará la necesidad de información adicional.

7. Generar un reporte final.

Recolectar los datos requeridos para valorar la condición y definición de los problemas puede llevarse a cabo siguiendo los diferentes niveles de información que se explicaron anteriormente. Es muy importante la selección de la categoría de la información que se quiere manejar para la definición de la condición y definición de los problemas. Escoger un grado de información inadecuado puede incurrir en fallar la definición de los problemas que afectan una estructura de pavimentos rígidos.

Antes de realizar las inspecciones en campo el ingeniero o encargado deberá preparar un plan que delimite todas las actividades requeridas para la investigación y determinación de los problemas y defectos que podrían afectar a la estructura de pavimento. Es importante tener siempre presente los recursos disponibles a la hora de generar el plan de evaluación, para que este se encuentre dentro del alcance.

Una fuente que se puede utilizar como línea de ejemplo para generar este tipo de planes o guías para realizar la evaluación estructural y también funcional del pavimento es la tabla 2.5.1 de la guía MEPDG. A continuación en el Cuadro 2.1 se presenta una adaptación de la que se utilizará de ahora en adelante como primer intento para llevar a cabo la guía que tiene como objetivo este reporte.

Cuadro 2.1. Lista de chequeo de los factores utilizados para determinar la condiciones general y problemas que pueden afectar el desempeño estructural de los pavimentos rígidos. (Fuente: Tabla 2.5.1 de la guía MEPDG)

Faceta	Factores	Descripción
Adecuación Estructural	Problemas existentes	Problemas relacionados con cargas/fatiga 1. Poco o no 2. Moderado (posibles deficiencias en la capacidad de soportar cargas) 3. Alto (deficiencias obvias en la capacidad de soportar cargas) 4. Problemas severos
	Ensayos no destructivos (Ensayos de deflexiones , FWD)	1. Deflexiones elevadas 2. Los módulos obtenidos del retrocálculo son razonables? 3. Las eficiencias de transferencia de carga son razonables?
	Ensayos no destructivos * (Ensayos de radar penetrómetro de suelos, GPR)	1. Determinar espesores de capas
	Ensayos no destructivos * (Ensayos del perfil, IRI)	1. Determinar problemas en las juntas o de agrietamiento
	Ensayos destructivos *	1. La resistencia y condición de los núcleos es razonable? 2. Determinar si los espesores de capas son adecuados
	Mantenimiento previo realizado	Menor, Normal, Mayor
	La falta de mantenimiento ha contribuido al deterioro estructural	Si, No, Describa _____
Drenaje de la sub-superficie	Clima (humedad y temperatura de la región)	Humedad a lo largo del año
	Problemas generados por humedad excesiva	Si, Posible, No
	Infraestructuras de drenajes para la sub-superficie	Satisfactorio, Cuestionable, Insatisfactorio
	Infraestructuras de drenajes para la superficie	Satisfactorio, Cuestionable, Insatisfactorio
	La falta de mantenimiento ha contribuido al deterioro de la infraestructura de drenaje	Si, No, Describa _____
Durabilidad de los Materiales	Presencia de problemas relacionados por el deterioro de los materiales (capa superficial)	Poco Moderado Alto
	Erosión de la base	Poco Moderado Alto
	Ensayos no destructivos * (Ensayos de radar penetrómetro de suelos, GPR)	Determinar áreas con materiales deteriorados / con humedad
Adecuación del espaldón	Condición de la superficie	Problemas relacionados con cargas/problemas en las juntas 1. Poco o no 2. Moderado (posibles deficiencias en la capacidad de soportar cargas) 3. Alto (deficiencias obvias en la capacidad de soportar cargas) 4. Problemas severos
	Áreas localizadas con deterioro:	Si, No Ubicación
Variabilidad de la Condición General y el desempeño	Hay en la sección del proyecto deterioro en lo siguiente: Aproximaciones a puentes Intersecciones Cortes o arreglos	Si, No Si, No Si, No
	Existe una variación sistemática en la condición del pavimento a lo largo del proyecto (variación localizada)?	Si, No
Daño en las juntas:	Transferencia de carga adecuada en las juntas transversales?	Si, No Si, No

	Transferencia de carga adecuada en las juntas longitudinales? Junta central excesivamente gruesa? Transferencia de carga adecuada entre carril-espaldón? Daño en el sello de las juntas? Resquebrajamiento del concreto en las juntas transversales? Resquebrajamiento del concreto en las juntas longitudinales? Presencia de ponchamiento?	Si, No Si, No Si, No Si, No Si, No Si, No
Mantenimiento realizado	Parches Resellamiento de juntas	Si, No Si, No
Restricciones	Problemas con el espacio libre en puentes Problemas con obstrucciones laterales en la vía	

Sin importar cual sea el nivel de información adoptado para la evaluación del pavimento, siempre se debe empezar por recopilar información histórica del proyecto y algunos datos recopilados obtenidos de pruebas realizadas anteriormente.

Es de suma importancia que la información histórica y la obtenida en la primera visita al sitio del proyecto a evaluar, reúnan los requisitos mínimos para desarrollar una definición de un problema general y estimar posteriormente la condición del pavimento. Como mínimo, estas actividades de deben realizar:

1. Revisar los planos de construcción y planes de mantenimiento, de acá se podrá extraer información pertinente para estimar el desempeño y respuesta del pavimento.
2. Revisar información sobre visitas o inspecciones realizadas previamente.
3. Revisar datos de ensayos de deflectometría realizados en el pasado.
4. Revisar datos y resultados de pruebas de laboratorio de muestras de suelos y pavimentos del proyecto existentes.
5. Realizar inspecciones previas en el proyecto de manera general.
6. Identificar tramos de la carretera con características similares que puedan influenciar el desempeño de pavimento.
7. Identificar los ensayos que se van a requerir para obtener la información necesaria para cada uno de estos segmento.
8. Determinar, si es posible, si el pavimento se desempeña mejor o peor que otros diseños similares.

Utilizando la información adquirida, se podría estimar preliminarmente la condición general del pavimento. Además, se podría determinar si el proyecto específico que se está evaluando es candidato para realizar trabajos de preservación, esto en cuanto los aspectos a evaluar no generen resultados inadecuados. Si esto sucede, se necesita un mayor grado de detalle en los datos recopilados, para determinar la severidad y extensión del problema que afecta el pavimento, con el fin de generar un diseño adecuado de rehabilitación del pavimento.

2.1.1 Guía para la recolección de datos.

Uno de los aspectos más críticos en la evaluación de pavimentos es la recolección de datos fiables. Esto porque la estimación de los problemas y la posterior alternativa de rehabilitación dependen de la precisión e integridad de los datos recopilados. La información recopilada puede escalonarse y dividirse en información que es de fácil recopilación, como por ejemplo las características geométricas del pavimento, hasta la más difícil y complicada de recopilar como lo pueden ser las relacionadas con propiedades de los materiales y las que tienen que ver con la respuesta, como el módulo resiliente y ensayos de deflectometría.

También es muy importante tener claro el tipo de información que se recolecta, en lo que respecta sobre en qué momento se genere.

Información Histórica

La información que se recolecte antes de realizar la evaluación, independientemente del tipo, es información histórica. Esta incluye la información relacionada con el sitio, con el diseño y construcción del proyecto que sea recolectada de planos, información de mantenimiento o inventarios de información en el transcurso de vida del pavimento del proyecto.

Información de pruebas

La información recolectada durante la evaluación, como por ejemplo, la adquirida en inspecciones, ensayos tanto destructivos como no destructivos es información de pruebas. La fuente de la información para la evaluación es de suma importancia porque se

relaciona con la fiabilidad de todo el proceso. La utilización de la información de pruebas va a ser mucho más fiable que utilizar información histórica.

La información histórica no es siempre fiable debido a las potenciales diferencias entre lo diseñado y lo en realidad construido. La información histórica debería utilizarse cuando no exista otra alternativa para utilizar la información de pruebas.

Información/datos requeridos para estimar la condición general y definición del problema

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 1, parte 1.2.4 de este reporte, se puede categorizar por niveles de información del 1 al 3, dependiendo de la fiabilidad de la información y su fuente. La tabla 2.5.3 de la guía MEPDG muestra los tipos y maneras de recolectar la información para definir el nivel de información para realizar la evaluación compresiva de pavimentos. Se toma como base esta tabla para generar una que se adopte a las condiciones que se pueden evaluar en las carreteras de Costa Rica, a continuación se muestra la tabla.

Cuadro 2.2. Definición del nivel de información para la recolección de los datos para la evaluación de pavimentos rígidos. (Fuente: Tabla 2.5.3 de la guía MEPDG)

Características	Factores	Nivel de información		
		1	2	3
Adecuación Estructural	Problemas relacionados con carga	50 a 100% inspección visual de todo el proyecto	10 a 50% inspección visual de todo el proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Ensayos no destructivos (Deflectometría)	En intervalos menores a 150m en todo el proyecto	En intervalos mayores a 150m en todo el proyecto	Utilizar datos históricos o realizar ensayos en ubicaciones seleccionadas
	Ensayos no destructivos (GPR)			
	Ensayos no destructivos (Rugosidad)			
	Ensayos destructivos (núcleos)	En intervalos menores a 600m en todo el proyecto	En intervalos mayores a 600m en todo el proyecto	Utilizar datos históricos o sacar número limitado de núcleos
Datos de mantenimiento	Datos históricos y de inspecciones	Utilizar datos históricos	Utilizar datos históricos	
Evaluación Funcional	Ensayos no destructivos (Rugosidad - IRI)	Realizar pruebas a lo largo de todo el proyecto	Realizar pruebas en las secciones seleccionadas del proyecto	Utilizar datos históricos (programa de mantenimiento)
	Ensayos no destructivos (Fricción)	Realizar pruebas a lo largo de todo el proyecto	Realizar pruebas en las secciones seleccionadas del proyecto	Utilizar datos históricos (programa de mantenimiento)
Drenajes	Problemas relacionados con humedad	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Signos de humedad acelerada	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Condición de drenaje de la subbase	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Condición de drenaje de la superficie	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Problemas por la durabilidad en superficie	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
Durabilidad de los materiales	Condición de la base (erosión, desprendimiento o contaminación)	Realizar pruebas a cada 5 metros	Realizar pruebas a cada 150 metros	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Condiciones de la superficie (problemas y juntas)	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
Espaldón	Identificación de las aéreas de variabilidad y su condición	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
Variabilidad a lo largo del proyecto	Juntas de las losas de concreto	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
Misceláneo	Capacidad de tráfico y geometría vial.	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Existencia de desvíos	100 % inspección visual de todo el	100% inspección de tramos seleccionados	Inspección desde el parabrisas de todo el

		proyecto	del proyecto	proyecto
Restricciones	Contemplar si la construcción se puede realizar en condiciones de tránsito	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Contemplar si la construcción se puede realizar en horas pico	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Hay problemas de espacio libre en los puentes	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto
	Obstrucciones laterales	100 % inspección visual de todo el proyecto	100% inspección de tramos seleccionados del proyecto	Inspección desde el parabrisas de todo el proyecto

Inspecciones visuales

Las inspecciones visuales van desde una inspección casual que puede ser conducida desde un vehículo en movimiento hasta una inspección detallada en sitio con ingenieros y técnicos especializados recorriendo a pie todo lo largo del proyecto (o bien podrían ser tramos seleccionados) midiendo y mapeado todos los problemas identificables en la superficie, espaldones y sistemas de drenajes del pavimento.

Es muy importante que la información recopilada durante las inspecciones en sitio sea correctamente convertida para su uso en la evaluación y análisis.

Inspección de daños

Una intensiva inspección es altamente recomendada antes de realizar alguna evaluación detallada del pavimento. Es importante que se desarrolle una metodología consistente para la inspección en campo de acuerdo a las necesidades y capacidades de la institución responsable de generar la información para su posterior evaluación.

Información adquirida de ensayos no destructivos

Ensayos no destructivos (NDT, *nondestructing testing*, por sus siglas en inglés) es un término que se utiliza para describir los procedimientos para examinar la estructura de pavimentos y las propiedades de los materiales a través de medios que no genera daños o cambios en las propiedades de los materiales en la estructura.

Los ensayos NDT se utilizan para medir deflectometría, medición de fricción, medición de regularidad en la superficie entre otras, algunas ventajas notables que ofrece son:

1. Reduce la ocurrencia de accidentes debidos al cierre de carriles.
2. Reduce los costos.
3. Mejora la fiabilidad de los ensayos.
4. Provee información vital para seleccionar trabajos de rehabilitación acordes con el problema.
5. Provee la información para el diseño de la rehabilitación.

Ensayos destructivos

Son los ensayos que requieren remover físicamente y dañar las capas de materiales de los pavimentos para la obtención de muestras, esto para la caracterización de las mismas en laboratorios o para realizar ensayos in situ. Los ensayos destructivos tienen muchas limitaciones, especialmente porque elevan los costos y además consumen más tiempo para realizarse. Además pueden ser muy peligrosos para el personal en carreteras de alto tránsito. Pero sin embargo ofrecen una ventaja vital, que es poder observar las condiciones reales de los materiales en la sub-superficie del pavimento.

Establecimiento de segmentos de análisis

El primer paso para la evaluación de pavimentos es dividir el pavimento del proyecto en segmentos que posean diseños, propiedades de sitio o condiciones de pavimento similares. Esta segmentación también se puede realizar con el propósito de la recolección de datos e información. Hay que tener consideraciones básicas como por ejemplo que algunos ensayos requieren distancias mínimas para realizar las mediciones.

Una manera confiable para identificar los segmentos es por medio de evaluaciones a la respuesta del pavimento, como por ejemplo el ensayo de deflectometría. En donde se ven las repuestas de los pavimentos con características y condiciones similares. Es de suma importancia delimitar las fronteras entre segmentos, ya que estos segmentos forman la base para un principio de evaluación. Si la delimitación no se hace con cuidado, las posibilidades de cometer errores en la evaluación se van a incrementar

considerablemente, y los segmentos identificados podrían estar sub-diseñados (fallas prematuras) o sobre-diseñados (desperdicio económico en el uso de materiales).

Mínimo de información requerida

Cuando el ingeniero o el técnico encargado vayan a tomar decisiones sobre la evaluación de un pavimento dependiendo de la información recopilada de inspecciones de campo realizadas, debería existir como mínimo la siguiente información:

1. **Tipo** – Identifica tipos de daños existentes en el pavimento. Los daños deberán categorizarse de acuerdo a sus mecanismos de causa,
2. **Severidad** –Denota el nivel de severidad para cada uno de los tipos de daños y le determina un grado de deterioro.
3. **Cantidad** –Denota el área relativa (porcentaje del área o largo del carril) afectada por la combinación del tipo y severidad de los daños.

Estos parámetros varían según las necesidades de cada institución y los parámetros locales de cada país o región.

Aspectos importantes en la condición del pavimento

Es importante que durante la inspección visual se preste atención a todos los tipos de daños presentes en el pavimento, pero principalmente a los daños que sean críticos y que ocasionen problemas en el desempeño y condición general del pavimento.

Cuadro 2.3. Categorización general de daños en los pavimentos JPCP. (Fuente: Tabla 2.5.5 de la guía MEPDG)

Descripción General	Tipo de daño	Principales factores contribuyente
Agrietamientos	Grietas en las esquinas	Carga
	Agrietamiento longitudinal	Carga, materiales, clima, constructivos
	Agrietamiento transversal	Carga
Deficiencias en las juntas	Daños en las juntas transversales	Materiales, clima, constructivos
	Daños en las juntas longitudinales	Materiales, clima, constructivos
	Fragmentación en las juntas transversales	Materiales, clima, constructivos
	Fragmentación en las juntas longitudinales	Materiales, clima, constructivos
Durabilidad del concreto	Agrietamiento por durabilidad	Materiales, clima, constructivos
	ASR	Materiales, clima, constructivos
Defectos de la superficie	Agrietamiento	Materiales, clima, constructivos
	Escalamiento/Asentamiento	Materiales, clima, constructivos
	Pulido de los agregados	Materiales, clima, constructivos
	Abultamientos	Materiales, clima, constructivos
Daños misceláneos	Reventamiento	Materiales, clima, constructivos
	Defectos en las juntas	Carga, materiales, clima, constructivos
	Hundimiento carril - espaldón	Materiales, clima, constructivos
	Separación carril – espaldón	Materiales, clima, constructivos
	Deterioro en parches	Carga, materiales, clima, constructivos
	Pompeo y sangrado de agua	Carga, materiales, clima, constructivos

En pavimentos rígidos sin refuerzo con juntas, los daños críticos más característicos que se asocian con la pérdida de capacidad y desempeño estructural, son aquellos que se relacionan con agrietamientos y fisuras. Los pavimentos rígidos con problemas de deterioro en las juntas crean áreas débiles localizadas que no pueden ser reparadas fácilmente mediante un programa de bacheo con pavimentos flexibles. Además, juntas con poca o muy poca capacidad de transferencia de carga y que llegaron a deteriorarse en

un grado que se considere inadecuado se van a seguir deteriorándose aun después de rehabilitado el pavimento si este no se trató de la manera adecuada.

Cuadro 2.4. Condiciones importantes para pavimentos rígidos JPCP existentes.

(Fuente: Tabla 2.5.8 de la guía MEPDG)

Factor	Posible condición
Juntas transversales	Transferencia de cargas pobre (<50%) y altas deflexiones
	Presencia de un severo desprendimiento/desintegración, bombeo, reventamientos
	Juntas transversales y grietas trabajando (severamente fragmentadas o escaloneado que exhiban una pobre capacidad de transferencia de carga, menos del 50%)
	Esquinas quebradas
Juntas longitudinales	Juntas ampliamente abiertas, corrosión en las varillas, capacidad de transferencia de carga pobre, bombeo, fragmentación/deterioro
Agrietamiento de las losas de concreto	Grietas transversales trabajando, grietas longitudinales trabajando, esquinas quebradas,
	Losas severamente partidas
Durabilidad de las losas de concreto	Agrietamiento "D" por durabilidad de material y agregados reactivos
Drenaje	Bombeo u otras evidencias de un pobre drenaje en la subbase
Uniformidad en la base de soporte	Deflexiones relativamente excesivas en ciertas ubicaciones
Perfil superficial	Asentamientos, desplazamientos, pérdida de rugosidad y reparaciones presentes por unidad de medición.
Juntas de expansión presentes	Presencia de juntas de expansión ampliamente abiertas (más de 2,54 cm)

En las inspecciones visuales que se realizan de manera a manual por medio de una caminata por lo largo o secciones del proyecto, se debe identificar y anotar los daños. Es importante que se utilicen los criterios de tipo, severidad y cantidad en el mapeo de la información. Estos mapeos deben realizarse de manera detallada de modo que se pueda establecer el lugar exacto de los daños.

La evaluación de daños provee información valiosa para determinar las causas del deterioro del pavimento, su condición y eventualmente sus necesidades a la hora de establecer un programa de rehabilitación. Es importante que los daños se clasifiquen de acuerdo a su aparente causa (carga, humedad, temperatura/clima, materiales o a una

combinación). El drenaje del pavimento debe de evaluarse detenidamente. Si son problemas de humedad los que están acelerando el daño del pavimento, el ingeniero deberá determinar cómo es que está acelerando este deterioro, de donde proviene la humedad y que se puede realizar para prevenir o minimizar estos daños.

2.1.2 Determinación de la condición general de la estructura de pavimentos

El último paso en la evaluación de pavimentos es establecer la condición general de la estructura de pavimentos. Las áreas a evaluar incluyen la parte estructural, funcional, las condiciones de drenaje, durabilidad de materiales, condiciones del espaldón y la variabilidad dentro del proyecto.

Para determinar la condición de los problemas en las categorías antes mencionadas, tanto su extensión como severidad, se comparan los datos encontrados con un rango de valores provistos según el tipo de carretera. El pavimento se considera fallado en alguna de las categorías cuando iguala o supera alguno de los valores dados en la categoría de "inadecuado". Cuando se llega a esta condición, el grado de deterioro es tal que el mantenimiento se vuelve delicado desde el punto de vista económico. Se requerirán intervenciones mucho mayores y más costosas como excesivos cierres de carriles por ejemplo. Un pavimento con uno o más problemas perteneciendo a la categoría "marginal" es uno que pronto necesita rehabilitación. Es importante establecer un valor dentro de este rango en la categoría "marginal" que alerte a las instituciones involucradas o interesadas y que les proporcione tiempo para planear, diseñar e implementar las actividades para la rehabilitación antes de que la estructura alcance un grado de deterioro mayor y su condición llegue a ser estructuralmente inadecuada.

Condición estructural

La condición estructural del pavimento puede verse en términos de la actual o futura condición.

La condición estructural actual del pavimento representa la diferencia entre el nivel existente de deterioro y el deterioro en que se considera como estructuralmente fallado. Un pavimento que no se ha deteriorado hasta este punto de fallo, se considera que es estructuralmente adecuado.

La condición estructural futura del pavimento se refiere a la capacidad para soportar cargas. Esta se mide en términos de la vida remanente que pueda proveer el pavimento sin que se realicen mejoras o reparaciones estructurales mayores. Esta vida remanente del pavimento se determina realizando un detallado análisis estructural a nivel de esfuerzos utilizando modelos mecanísticos y varia información relacionada con el diseño, desempeño y el estado actual del pavimento.

2.2 Descripción del proyecto en evaluación

Siguiendo los lineamientos descritos en la parte 2.1, se recopila toda la información que se pueda de los proyectos en evaluación.

La evaluación realizada en este trabajo se hizo en las intervenciones de mejoramiento que se realizaron en las rutas nacionales Zapote – San Francisco (Ruta Nacional 204) y la ruta San Francisco – La Colina (Ruta Nacional 211).

2.2.1 Antecedentes

La licitación de los proyectos establecía que la misma empresa constructora estuviera a cargo del mejoramiento de las dos rutas. Bajo esta condición, se le adjudicaron ambos proyectos al consorcio Santa Fe-Holcim.

Se iniciaron las obras en junio del 2007. El colado de losas se inicia en octubre del 2008 con el proyecto de la ruta 204, esta se concluye el 18 de diciembre del 2008. El proyecto de la ruta 211 se inicia en noviembre del 2008 y en diciembre de ese año se ven obligados a parar el proyecto por falta de presupuesto, debido a que los fondos se utilizaron principalmente en la obra del puente sobre el río Tiribí. Se reanudan las obras hasta junio, finalmente su conclusión se da el 12 de octubre del 2009.

La empresa Santa Fe tuvo la responsabilidad de realizar todos los trabajos necesarios hasta concluir la base estabilizada. Posteriormente la empresa Holcim fue la encargada de colocar las losas de concreto, sistemas de drenajes, bordillos de caño y aceras.

Dentro de las fuentes de información se pueden mencionar:

- Licitación Pública No. 2006LN-000052-DI para el proyecto “Mejoramiento de la ruta nacional No. 204, sección: Intersección ruta nacional No. 215-Intersección ruta nacional No. 211 (Zapote- San Francisco)”
- Licitación Pública 2006LN-000046-DI “Mejoramiento de la Ruta Nacional 211, sección: Intersección ruta Nacional 204-Intersección Ruta Nacional 210 (San Francisco-La Colina)”
- Planos constructivos suministrados por la empresa constructora, el consorcio Santa Fe-Holcim.

- Además de valiosos aportes de la experiencia personal y datos técnicos del Ing. Álvaro Enrique Aguilar Dondi, consultor de las obras.

Ambas rutas, 204 y 211 son vías urbanas con condiciones de servicio típicos de una vía de este tipo. Son de carriles estrechos, no cuentan con espaldones, su diseño geométrico no es adecuado sino más bien está basado en la topografía del sitio, cuentan con bordillo y aceras a lo largo de todo el trayecto. Los alrededores tienen una cobertura habitacional muy densa por lo que por lo general el destino del agua llovida es el sistema de alcantarillado pluvial público y que un componente importante de este es el caño de la carretera. Si este no está bien construido o presenta daños es muy posible que se den infiltraciones que generan daños a la estructura de pavimentos.

Importante mencionar que ambas rutas son de dos carriles por sentido, pero generalmente el carril exterior lo utilizan para estacionar vehículos aunque esto sea prohibido. Esto provoca que la mayoría del tránsito, inclusive de vehículos pesados circule por el carril interno. Esto se corrobora con una simple observación en sitio a lo largo de ambas rutas.

2.2.2 Ruta nacional 204 (Zapote - San Francisco)

Localización

Está ubicado en la provincia de San José, cantón Central de San José, distritos de Zapote y San Francisco de Dos Ríos.

El tramo intervenido tiene su estación 0 + 000 ubicada frente a la esquina sur-este del Parque Nicaragua, diagonal a la esquina sur-oeste de la Iglesia de Zapote en la intersección de las rutas nacionales 204 y 215, así definida en los planos constructivos.

El proyecto de mejoramiento de la ruta termina en la estación 1+070 en la intersección entre las rutas nacionales 204 y 211, en San Francisco de Dos Ríos.

El puente sobre el río María Aguilar en el estacionamiento 0+730 se encuentra actualmente a la fecha sin intervención. Esto formaba parte de los trabajos indicados en la licitación. No se ha ampliado y aproximadamente hay 20 metros a un lado y 35 metros al

otro lado sin intervenir, en el sentido Zapote – San Francisco. Estos tramos se encuentran con una capa de pavimento flexible que no va a ser evaluado en este trabajo. Se puede observar detalladamente en la Figura 2.1.

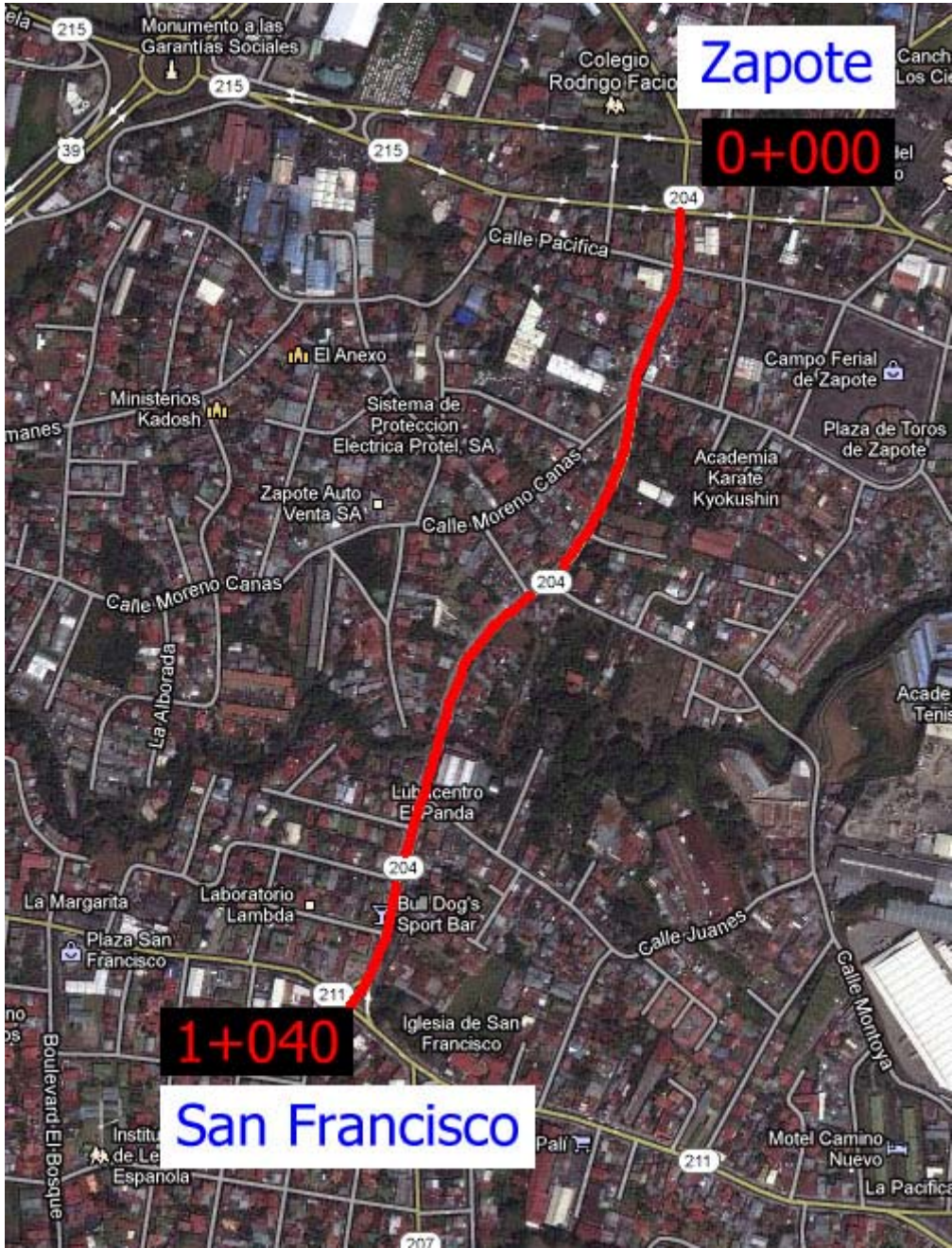


Figura 2.1. Ubicación de la ruta 204 Zapote – San Francisco. (Fuente: Google Maps)

Información general del proyecto:

Las principales características del mejoramiento realizado sobre el tramo en la Ruta Nacional 204 se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Anterior al mejoramiento sobre la ruta se tenía una carretera de pavimento asfáltico de dos carriles.
- La intervención consistió en la construcción de una carretera de cuatro carriles de losas de concreto (JPCP) reforzadas en las juntas con dovelas o barras de transferencia de carga y una base estabilizada BE-35.

A continuación un extracto del cartel 2006-LN-000052DI que se refiere a la intervención que se debía realizar propiamente a la parte donde transitan los vehículos

“Los trabajos para el Mejoramiento de la ruta nacional No. 204, sección: Intersección ruta nacional No. 215-Intersección ruta nacional No. 211 (Zapote- San Francisco), consiste en:

Intervención N° 1

1.1. Remover (perfiar) 0,20 metros de la parte superior del pavimento existente,... Este material deberá ser utilizado posteriormente como agregado para la base estabilizada en las gavetas laterales

1.2. Mediante la utilización de un recuperador de pavimentos, mezclar el material de subbase con cemento portland en la proporción establecida en el diseño de la base estabilizada con cemento portland, tipo BE-35, de tal forma que se obtenga un espesor mínimo de 0,15 metros compactados...

1.3. Sobre la base estabilizada con cemento portland, colocar una losa de hormigón hidráulico de 0,20 metros de espesor.”

El cartel además menciona el tipo de Intervención N° 2, la cual se aplica a los tramos donde no se tiene estructura de pavimentos, por lo que se debe realizar la excavación de una gaveta que se rellena posteriormente con material de sub-base nuevo, graduación D,

compactada al 95%, según AASTHO T-180, con un espesor de 23,0 centímetros. El resto del procedimiento es igual al mencionado en la Intervención N° 1.

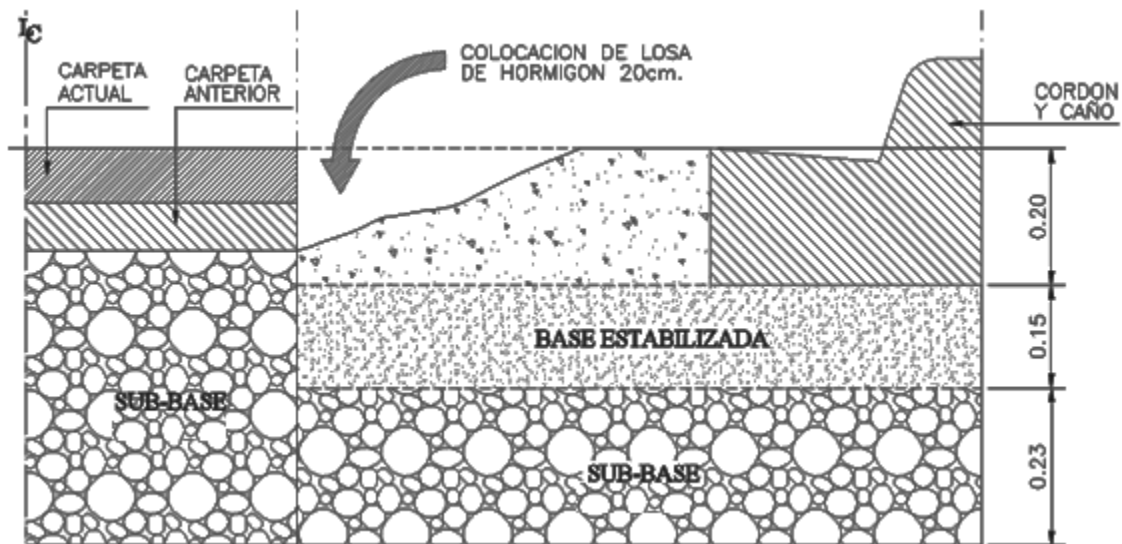


Figura 2.2: Esquema del mejoramiento que se describe en planos a realizar en la ruta 204. (Fuente: Planos constructivos suministrados por la empresa constructora)

En la Figura 2.2 se observa a la izquierda la estructura existente previa al mejoramiento. A la derecha, la estructura de pavimentos luego del mejoramiento.

Especificaciones de planos constructivos:

Dovelas o barras pasa juntas

- Dovelas de 18,0 pulgadas (46,0 cm) de longitud
- Separación: a cada 12 pulgadas (30,48 cm), en extremos espaciamiento de 6pulgadas (15,24 cm)
- Diámetro: "barras pasa juntas" de 1 pulgada (2,54 cm). Barra de acero #8

Dimensiones de las losas:

- El ancho de las losas es de 3,50 metros en el sentido transversal a la dirección del tránsito. Esto varía dependiendo de las condiciones en el terreno, de igual manera no es significativo ya que las variaciones son menores a los 15 cm en la mediciones realizadas en sitio.
- En sentido longitudinal, en diseño se tiene especificados 3,50 metros, pero por verificación en el campo se obtienen diferentes mediadas. Esto se puede dar por temas constructivos, como la presencia de tuberías, de avance de obra o por características propias del terreno que hacen que varíen estas dimensiones. Se midieron losas desde los 3,00 metros hasta los 3,70 metros. Algunas en gran minoría inclusive menores a los 3,00 metros
- Ancho de caño o bordillo de aproximadamente 60 centímetros. Puede variar +/- 5 cm por la variabilidad de la ruta a lo largo de su trayecto. De mediciones realizadas en campo, en promedio se obtienen 58 cm de bordillo de caño.

Características de las capas del pavimento:

Espesores especificados en planos constructivos:

- Espesor de losa de concreto ($MR=40 \text{ kg/cm}^2$): 200 mm.
- Espesor de base estabilizada (BE-35): 150 mm.
- Espesor de la subbase: variable de 588 a 405 mm.
- Perforación realizada hasta 800 mm en la subrasante.

Como parte de la información histórica recolectada, se obtienen de los planos resultados de pruebas de laboratorio realizados a materiales de los proyectos, previo a los trabajos de mejoramiento. Los siguientes Cuadros 2.5 y 2.6 resumen la información recopilada.

Cuadro 2.5. Espesores de capas y caracterización promedio de subbase proyecto 204 Zapote – San Francisco. (Fuente: Planos constructivos suministrados por la empresa constructora)

Estación	0 + 170	0 + 265	0 + 450	0 + 716	0 + 755	0 + 855	1 + 044
Nivel de calle	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Asfalto Nuevo	13.5	7.7	8.0	9.5	9.5	10.4	10.1
Asfalto Viejo	20.0	16.0	15.5	18.5	20.0	19.9	19.8
Subbase	70.0	74.0	60.5	61.5	64.0	77.9	78.8
Subrasante	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Espeor de subbase (cm)	50	54	40.5	41.5	44	57.9	58.8
CBR	36.0	41.0	36.0	26.0	34.0	44.0	45.0
MR (psi)	25318	27515	25318	20558	24408	28787	29204
MR (MPa)	175	190	175	142	168	198	201
Promedio Espesor (mm)							495.2857
Promedio CBR							37.4
Promedio MR (psi)							25873
Promedio MR (MPa)							178

Cuadro 2.6. Caracterización y espesores de subbase y subrasante del proyecto 204 Zapote – San Francisco. (Fuente: Planos constructivos suministrados por la empresa constructora)

Caracterización y espesores de subbase							
Sondeo No.	1	2	3	4	5	6	7
Estación	0 + 170	0 + 265	0 + 450	0 + 716	0 + 755	0 + 855	1 + 044
Lado	Der.	Der.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Izq.
Próctor	1733.0	1765	1897	1817	1728	1877	1844
%W	17.5	16.8	13.5	15.2	17.7	14.4	14.9
CBR	36.0	41.0	36.0	26.0	34.0	44.0	45.0
Límite Líquido	N.P.	20.6	N.P.	26.0	N.P.	N.P.	N.P.
Índice plástico	N.P.	3.1	N.P.	40.2	N.P.	N.P.	N.P.
Clasificación SUCS	G.P.	CL	G.P.	CL	G.P.	G.P.	G.P.
Espesor (cm)	50.0	58.0	45.0	43.0	44.0	58.0	59.0
Descripción	Lastre limoso gris claro N.P.						
Caracterización y espesores de subrasante							
Sondeo No.	1	2	3	4	5	6	7
Estación	0 + 170	0 + 265	0 + 450	0 + 716	0 + 755	0 + 855	1 + 044
Lado	Der.	Der.	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Izq.
Próctor	1465.0	1462	1460	1719	1450	1698	1707
%W	26.3	26.6	26.5	18.2	26.8	18.9	18.6
CBR	2.1	2.3	2.6	2.4	2.1	2.4	2.6
Límite Líquido	40.4	39.8	40.2	40.3	40.2	41.4	41.1
Índice plástico	16.1	15.1	16.3	16.5	16.6	17.1	16.9
Clasificación SUCS	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
Profundidad (cm)	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Descripción	Limos arcillosos inorgánicos de mediana plasticidad						

2.2.3 Ruta nacional 211 (San Francisco – La Colina)

Localización

Está ubicado en la provincia de San José, tiene su inicio en el cantón Central de San José en el distrito de San Francisco de Dos Ríos y culmina en el cantón de Curridabat en el distrito de Tirrases. Se puede observar detalladamente en la Figura 2.3.

El tramo intervenido tiene su estación 0 + 000 ubicada en la intersección de las rutas nacionales 204 y 211.

La intervención termina en la estación 1 + 700 en la intersección entre las rutas nacionales 210 y 211.

Todos los trabajos solicitados en la licitación se realizaron.

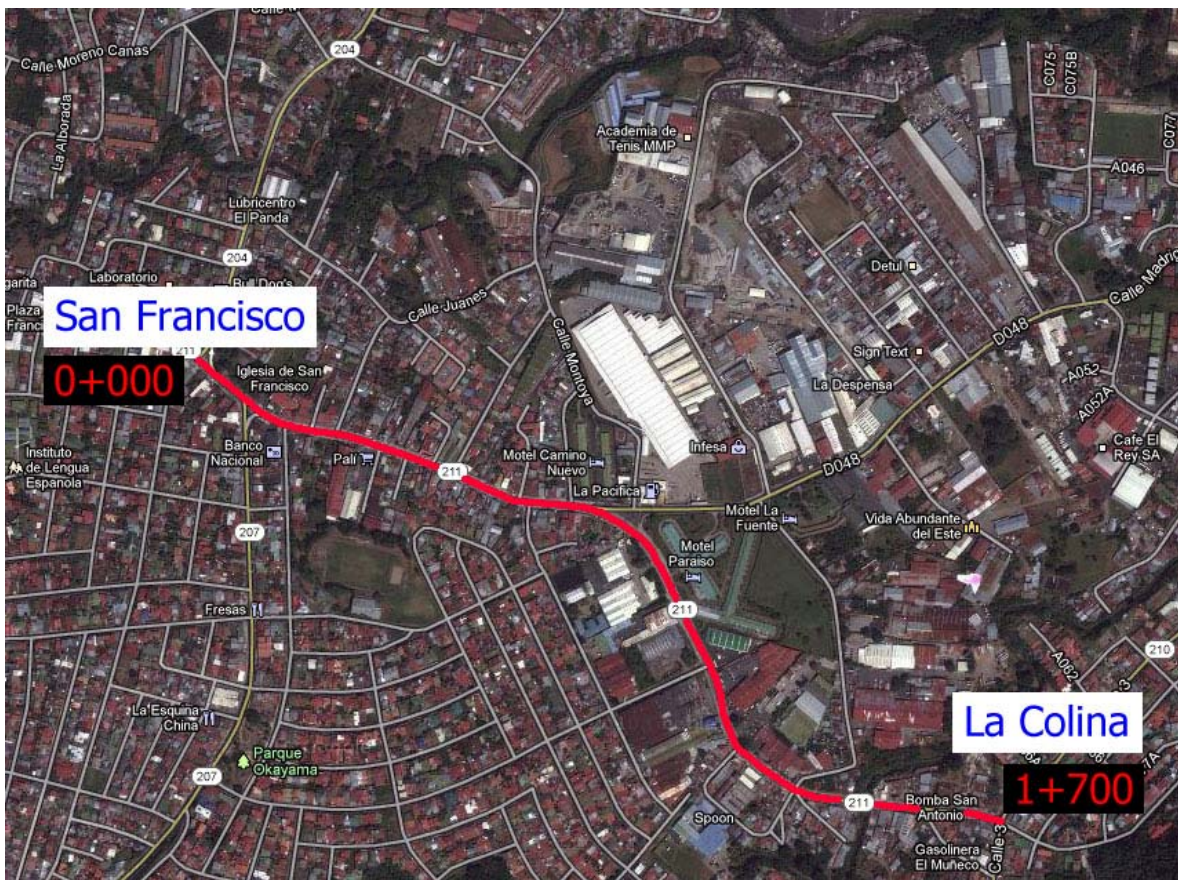


Figura 2.3. Ubicación de la ruta 204 Zapote – San Francisco. (Fuente: Google Maps)

Información general del proyecto:

El esquema general para el mejoramiento de esta ruta es prácticamente el mismo al de la ruta 204, difiriendo únicamente en los espesores de la base estabilizada y el de las losas de concreto.

Especificaciones de planos constructivos:

Dovelas o barras pasa juntas

- Dovelas de 18 pulgadas (46,0 cm) de longitud.
- Separación: a cada 12,0 pulgadas (30,48 cm), en extremos espaciamiento de 6,0 pulgadas (15,24 cm).
- Diámetro: "barras pasa juntas" de 1,0 pulgada (2,54 cm). Barra de acero #8.

Dimensiones de las losas:

- El ancho de las losas es de 3,25 metros en el sentido transversal a la dirección del tránsito. Esto varía dependiendo de las condiciones en el terreno, de igual manera no es significativo ya que las variaciones son menores a los 15 cm en la mediciones realizadas.
- En sentido longitudinal, en diseño se tiene especificados 3,25 metros, pero por verificación en el campo se obtienen diferentes medidas. Esto se puede dar por temas constructivos, como la presencia de tuberías, de avance de obra o por características propias del terreno que hacen que varíen estas dimensiones. Se midieron losas desde los 3,10 metros hasta los 4,25 metros. Algunas, en gran minoría inclusive menores a los 3,00 metros. La longitud promedio de las losas medias en campo fue de 3,25 metros en sentido San Francisco – La Colina y 3,31 metros en sentido La Colina – San Francisco.
- Ancho de caño o bordillo de aproximadamente 60 centímetros. Puede variar +- 5 cm por la inconstancia de la ruta a lo largo de su trayecto. De las mediciones realizadas en campo, en promedio se obtienen 59 cm de bordillo de caño.

Características de las capas del pavimento:

Espesores especificados en planos constructivos:

- Espesor de losa de concreto (MR=40kg/cm²): 230 mm.
- Espesor de base estabilizada (BE-35): 200 mm.
- Espesor de la sub-base: variable de 420 a 229 mm.
- Perforación realizada hasta 800 mm en la sub-rasante.

Como parte de la información histórica recolectada, se obtienen de los planos resultados de pruebas de laboratorio realizados a materiales de los proyectos, previo a los trabajos de mejoramiento. Los siguientes Cuadros 2.7 y 2.8 resumen la información obtenida.

Cuadro 2.7. Caracterización y espesores de subbase y subrasante del proyecto 211 San Francisco – La Colina. (Fuente: Planos constructivos suministrados por la empresa constructora)

Caracterización y espesores de subbase							
Sondeo No.	1	2	3	4	5	6	7
Estación	0 + 207	0 + 655	1 + 025	1 + 055	1 + 309	1 + 540	1 + 615
Lado	L.C.	Izq.	Izq.	Der.	Der.	Izq.	Der.
Próctor	1888.0	2032	1901	1947	1930	1878	2038
%W	11.1	9.0	12.1	11.8	11.5	11.6	9.9
CBR	44.0	47.0	36.0	39.0	44.0	47.0	49.0
Límite Líquido	22.4	n	21.5	18.9	23.8	25.4	22.5
Índice plástico	4.7	n	1.7	2.1	4.3	5.3	4.0
Clasificación SUCS	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
Espesor (cm)	50.0	51.0	40.0	43.0	34.0	33.0	32.0
Descripción	Lastre limoso gris claro N.P.						
Caracterización y espesores de subrasante							
Sondeo No.	1	2	3	4	5	6	7
Estación	0 + 207	0 + 655	1 + 025	1 + 055	1 + 309	1 + 540	1 + 615
Lado	L.C.	Izq.	Izq.	Der.	Der.	Izq.	Der.
Próctor	1715.0	1710	1334	1556	1544	1554	1787
%W	18.0	17.9	31.6	24.8	24.4	25.4	19.0
CBR	2.6	2.9	3.6	3.4	3.4	3.1	3.6
Límite Líquido	27.5	21.6	38.6	39.0	27.3	38.9	27.0

Índice plástico	10.1	18.0	18.0	15.5	9.7	15.4	9.2
Clasificación SUCS	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
Profundidad (cm)	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Descripción	Limos arcillosos inorgánicos de mediana plasticidad						

Cuadro 2.8. Espesores de capas y caracterización promedio de subbase proyecto 211 San Francisco – La Colina. (Fuente: Planos constructivos suministrados por la empresa constructora)

Estación	0 + 207	0 + 655	1 + 025	1 + 055	1 + 309	1 + 540	1 + 615
Nivel de calle	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Asfalto Nuevo	8.5	8.4	8.5	7.9	8.4	8.4	8.2
Asfalto Viejo	15.0	14.0	13.7	12.9	13.9	13.9	13.9
Subbase	65.0	65.0	53.7	55.9	47.9	46.9	45.9
Subrasante	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Esesor de subbase (cm)	42	42	30.7	32.9	24.9	23.9	22.9
CBR	44.0	47.0	36.0	39.0	44.0	47.0	49.0
MR (psi)	28787	30028	25318	26648	28787	30028	30840
MR (MPa)	198	207	175	184	198	207	213
Promedio Espesor (mm)							313.29
Promedio CBR							43.7
Promedio MR (psi)							28634
Promedio MR (MPa)							197

Otra información recolectada

De las pruebas de laboratorio para el control del proyecto durante su construcción, específicamente del concreto utilizado, se realizaron las de resistencia a la compresión y la de resistencia a la flexo-compresión. Se tuvo acceso a los resultados mínimos y máximos obtenidos en dichas pruebas. Estos resultados fueron proporcionados por el Ing. Álvaro Aguilar D. y se puede observar en el Cuadro 2.9. De las especificaciones solicitadas en los carteles de licitación para el concreto a utilizar, se especifica una resistencia mínima a la flexo-compresión de 40 kg/cm².

Cuadro 2.9. Resultados de las pruebas de laboratorio de resistencia a la compresión y a la flexo-tracción de muestras del concreto.

Pruebas de Laboratorio			
Compresión		Flexo-Tracción	
f'_c (kg/cm ²)		Mr (kg/cm ²)	
Mín.	324	Mín.	45
Máx.	432	Máx.	53
Castro y de la Torre		LANAMMEUCR	

2.2.4 Limitaciones

Las limitaciones son respecto a la recopilación de información para el posterior análisis.

Se consultó a los ingenieros Ing. Álvaro Aguilar Dondi y Ing. Renato Sudassasi Chacón, de CONAVI, sobre los planos de construcción suministrados para determinar el grado de actualización y corroboraron que son los más actualizados y con los que se trabajó en obra. Ambos concuerdan en que estos varían considerablemente con respecto a lo realizado en los proyectos en evaluación.

Uno de los problemas en que los dos ingenieros concuerdan y enfatizan es en la variabilidad en general de los tramos a intervenir. Durante la construcción se presentó mucha variabilidad en cuanto a los procedimientos que se tenían que realizar como la colocación de tuberías, construcción de gavetas para sustituir materiales con capacidades muy bajas para la posterior colocación de la nueva estructura de pavimentos y una alta variabilidad de los espesores a lo largo de ambos tramos y presencia de diferentes materiales con CBR muy bajos (rondando el 3% en promedio) que no estaban considerados por los estudios que se habían realizado previamente en la etapa de diseño. Por lo que se vieron obligados a hacer sustituciones que no estaban contempladas ni especificadas en los planos.

Los ingenieros consultados concuerdan además que los planos estaban mal hechos con respecto a tuberías que existían en el lugar y que no se contemplaron en planos o la mala ubicación y mal diseño de tuberías que se debían de colocar. El Ing. Aguilar cita un ejemplo en donde aparece trazada en planos una tubería nueva que se debía colocar y una vez verificado en sitio el trazo, presentó interferencia con una vivienda del lugar.

También existieron inconsistencias con respecto al levantamiento de las curvas de nivel de los planos y lo que realmente se encontró en obra. Los problemas surgidos a partir de esto fue que según las especificaciones en los planos de algunos tramos, las aceras de las casas o propiedades quedaban con una diferencia de altura con respecto a la calle que era ilógico de construir ya que prácticamente esto abnegaba el acceso a las propiedades.

Comentan que este tipo problemas se corrigieron durante la ejecución de la obra lo que generó movimientos de materiales que no se registraron adecuadamente y a partir de esto surgió el problema mayor, que no se originaron planos *as built* a partir de las soluciones o acciones ejecutadas en el sitio. Por la misma naturaleza de la construcción, se toman decisiones en sitio muchas veces presionados por factores externos como el tiempo de ejecución de obra, presiones políticas y presiones sociales con el fin de continuar cuando se presenta un problema o acelerar la obra cuando existe la oportunidad.

La inexistencia de estos planos *as built*, afecta enormemente el estudio de ambos proyectos. La afectación se debe a que se realiza una evaluación con ensayos no destructivos en los proyectos por lo que las características o propiedades físicas y espesores de la estructura de pavimentos de este tramo se toman de información histórica recopilada de planos, en este caso los planos constructivos.

Del conocimiento certero de estos datos depende el éxito de los ensayos no destructivos que se le realizan como por ejemplo la deflectometría.

2.3 Auscultación Visual

Como objetivo de este trabajo se establece realizar una auscultación visual de ambos proyectos a evaluar para avistar posibles daños o condiciones que identifiquen posibles problemas estructurales en la estructura de pavimentos. Sin embargo no está dentro de los alcances de este trabajo la identificación o clasificación y posibles soluciones de los problemas que se presentan en el pavimento.

Se toman como referencia el capítulo 2 del manual de identificación de daños (7). En el Cuadro 2.10 se presenta una breve descripción de los daños típicos de los concretos JPCP y su presencia en los proyectos evaluados.

2.3.1 Auscultación General

Para los dos proyectos se realizó una inspección caminando todo lo largo de cada proyecto, recorriendo ambos sentidos de tránsito.

Principalmente los daños más observados son:

- Zonas en las juntas de las losas con desprendimientos o fragmentación de materiales, su severidad no es alta debido a que los trozos fragmentados o con daños son pequeños. Se observa en aproximadamente un 23% del total de losas (cada 4 losas en promedio) en ambos proyectos. Es difícil presentar una cifra con mayor exactitud sin realizar un mapeo detallado de los daños. En las juntas longitudinales se observa pero con mucho menor frecuencia, como se puede observar en la Figura 2.4. Este tipo de deterioro puede llevar a generar posibles zonas débiles que transmiten ineficientemente las cargas, general deflexiones excesivas y en general ocasionan problema a la estructura que desencadena en deteriorar más rápidamente el pavimento.



Figura 2.4 Deterioro en las juntas observado. (Fuente: Autor, auscultación visual de proyectos)

- Desprendimiento por falta de cohesión de material o la inexistencia del sello epóxico en las juntas entre losas. Tanto transversales como longitudinales. Se observa con poca severidad pero si frecuente en todo lo largo de los proyectos. Esto ocasiona que el agua pueda penetrar hacia la subbase. Además permite que se llenen las juntas con escombros mucho más rígidos que el sello epóxico lo que genera mayores esfuerzos que desencadenan en la fragmentación o astillamiento de las zonas cercanas a las juntas. La Figura 2.4 representa el detalle típico observado de ambas rutas.
- Deterioro en la superficie de las losas. El pulimiento de la superficie de las losas de concreto se observa con mucha frecuencia en ambos proyectos, inclusive se observan losas en donde cambia drásticamente la superficie. Además se observa el rompimiento del rayado que se hace para dar acabado a las losas para incrementar la fricción. La Figura 2.5 representa el detalle típico observado de ambas rutas.



Figura 2.5 Deterioro en la superficie de las losas observado. (Fuente: Autor, auscultación visual de proyectos)

- A lo largo del tramo no se observaron indicios de bombeo, pero si se observaron bombeos localizados en la intersección entre las rutas 204 y 211 en el carril externo de la ruta 211 en sentido San Francisco – La Colina, entre las estaciones 0+000 y 0+100.
- Asentamientos o escalonamientos en las juntas transversales. Se observa a lo largo del proyecto y se percibe claramente al conducir. Los antecedentes indican problemas en la colocación de dovelas, y este problema, junto con el bombeo de finos son causantes de este deterioro.

Un resumen de los resultados de la auscultación realizada se puede observar en el Cuadro 2.10

Cuadro 2.10. Tipos de daños del pavimento de concreto JPCP observados en las rutas evaluadas

	Daño	Descripción	Ruta 204	Ruta 2011
Agrietamientos (Cracking)	1. Agrietamientos en las esquinas <i>(Corner Breaks)</i>	Una porción de la losa se separa una grieta que interseca las juntas transversal y longitudinal en un ángulo aprox. de 45°. Puede medir de 0,3 m a medio ancho de losa	Se observan una mínima cantidad de 3 losas con una grieta incipiente, representa el 1,0% del total. Son losas de límites con pavimento flexible	Se observan una mínima cantidad de 6 losas con una grieta incipiente, representa el 1,2% del total. La mayoría en losas límites.
	2. Agrietamientos por durabilidad <i>(Durability Cracking ("D" Cracking))</i> .	Un patrón de grietas muy juntas que asemejan la carrera de una cabellera en forma creciente. Se producen adyacentes a grietas o bordes libres iniciando en las esquinas de las losas	No se observa	No se observa
	3. Agrietamientos Longitudinales <i>(Longitudinal Cracking)</i>	Juntas predominantemente paralelas a la línea centro	Dos losas frente a una parada de buses, en el carril exterior de severidad alta.	No se observa
	4. Agrietamientos Transversales <i>(Transverse Cracking)</i>	Juntas predominantemente perpendiculares a la línea centro	Se observan varias pero de grietas muy superficiales y bien selladas	Se observan varias pero de grietas muy superficiales y bien selladas
Deficiencias en las Juntas (Joint Deficiencies)	5a. Daño en el sello de las juntas transversales <i>(Transverse Joint Seal Damage)</i>	El daño en el sello de las juntas es cualquier condición que permite que materiales incompresibles o el agua se infiltren desde la superficie. Tipos de daños: Extrusión, Endurecimiento, Pérdida de adhesión, pérdida de cohesión o pérdida completa del sello.	Las grietas observadas presentan algún tipo de deterioro, en la mayoría pérdida de cohesión del sello e infiltración de partículas en las juntas	Las grietas observadas presentan algún tipo de deterioro, en la mayoría pérdida de cohesión del sello e infiltración de partículas en las juntas
	5b. Daño en el sello de las juntas longitudinales <i>(Longitudinal Joint Seal Damage)</i>			
	6. Desintegración de las juntas longitudinales <i>(Spalling of Longitudinal Joints)</i>	Agrietamiento, rompimiento, astillamiento o desgaste de los borde de las losa dentro de 0,30 m desde la junta transversal	Se observa el daño pedazos pequeños mayoritariamente y algunos pocos casos de mayor tamaño pero no con mucha frecuencia, el bordillo de caño si presenta más daño.	Se observa el daño pedazos pequeños mayoritariamente y algunos pocos casos de mayor tamaño pero no con mucha frecuencia, el bordillo de caño si presenta más daño.
	7. Desintegración de las juntas transversales <i>(Spalling of Transverse Joints)</i>	Agrietamiento, rompimiento, astillamiento o desgaste de los borde de las losa dentro de 0,30 m desde la junta longitudinal	Este es uno de los daños más observados, sin embargo se da en pedazos pequeñas mayoritariamente y algunos pocos casos de mayor tamaño.	Este es uno de los daños más observados, sin embargo se da en pedazos pequeñas mayoritariamente y algunos pocos casos de mayor tamaño.

Defectos superficiales (Surface Defects)	8a. Mapa de agrietamientos superficiales <i>(Map Cracking)</i>	Grietas que se extienden en la parte superficial. Grietas mas grandes se extienden longitudinalmente interconectadas por grietas más finas	No se observa	No se observa
	8b. Desprendimientos <i>(Scaling)</i>	Deterioro de la parte superficial de la losa, de 3 mm a 13 mm.	Se puede observar en algunas losas, que se desprende pedazos del rayado.	Se puede observar en algunas losas, que se desprende pedazos del rayado.
	9. Pulido de agreados <i>(Polished Aggregate)</i>	Desgaste de mortero superficial y de las superficie de rodamiento exponiendo los agregados gruesos	Se observa en muchas losas pero no con severidad.	Se observa en muchas losas pero no con severidad.
	10. Desprendimiento de pedazos <i>(Popouts)</i>	Desprendimiento de pequeños trozos del pavimento con diámetros de 25 mm a 100 mm	Muy difícil de medir con el tránsito	Muy difícil de medir con el tránsito
Daños Miscelaneos (Miscellaneous Distresses)	11. <i>Blowups</i>	Movimiento vertical de la superficie en las juntas transversales, acompañado de rompimiento del concreto en esas áreas.	No se observa	No se observa
	12. Asentamientos o escalonamientos en las juntas transversales <i>(Faulting of Transverse Joints and Cracks)</i>	Diferencia en elevación entre los bordes de losas en las juntas o grietas	Se observa a lo largo del proyecto y se percibe al conducir, se da en juntas entre losas	Se observa a lo largo del proyecto y se percibe al conducir, se da en juntas entre losas
	13. Asentamientos de carril a espaldón <i>(Lane-to-Shoulder Dropoff)</i>	Diferencia en elevación entre el borde la losa y espaldón	En algunos caso se observa el asentamiento de losas con respecto al caño	En algunos caso se observa el asentamiento de losas con respecto al caño
	14. Separación de carril a espaldón <i>(Lane-to-Shoulder Separation)</i>	Separación en elevación entre el borde la losa y espaldón	No se observa	Se observa en algunas de las intersecciones con otras calles de pavimento flexible
	15. Parches o deterioro de parches <i>(Patch/Patch Deterioration)</i>	Una porción de 0,1 m2 o mayor o toda la losa es removida y sustituida.	Se observan gran cantidad de losas que fueron sustituidas	Se observan gran cantidad de losas que fueron sustituidas
	16. Sangrado y bombeo de aguas <i>(Water Bleeding and Pumping)</i>	Filtrado o eyección de agua desde la parte inferior del pavimento a través de grietas o juntas.	No se observa	Cerca del estacionamiento 0+000 se observa una cantidad apreciable de finos

2.4 Ejecución de los Ensayos Requeridos

2.4.1 Ensayo de deflectometría (FWD).

2.4.1.1 Preliminares, el equipo para la deflectometría.

El uso de ensayos no destructivos se ha vuelto un aspecto importante en la evaluación de pavimentos de concreto. Estos ensayos son los primeros que generalmente se realiza cuando se va a hacer una rehabilitación o la programación del manejo de pavimentos rígidos. El Deflectómetro de Impacto (FWD por sus siglas en ingles, *Falling Weight Deflectometer*), es un aparato que aplica una carga cíclica al pavimento y mide las deflexiones resultantes en la superficie directamente debajo de la carga y además a distancias previamente seleccionadas. Estas cargas cíclicas simulan en magnitud y duración las cargas aplicadas por un camión moviéndose en la superficie del pavimento. De hecho, este ciclo de cargas se diseña para que simule la deflexión que generaría el tráfico de camiones transitando rápidamente. La deflexión generada por las cargas se mide por los sensores o geófonos y la información generada se utiliza en varios análisis para dar información sobre la capacidad estructural del pavimento.

Este es un equipo que se monta en una carreta o tráiler que transmite impulsos de carga a la superficie del pavimento. El equipo utiliza una serie de pesas que se levantan de manera hidráulica a una altura determinada por el sistema y que se dejan caer posteriormente. Esta pesa que se deja caer golpea una serie de almohadillas de hule (*buffers*) montadas sobre una placa circular. Generalmente es de radio de 15,0 cm. Entre el pavimento y la placa de carga hay una lámina de hule. Variando la masa de las pesas o la altura o ambas, el impulso de carga que se genera se puede variar. La carga se puede variar entre 1 135 kg (2 500 libras) a 12 250 kg (27 000 libras) para los deflectómetros de impacto más comunes.

El equipo consiste en un dispositivo montado en una carreta o tráiler. En general tiene los siguientes componentes:

- Paquete de carga, bloques o pesas de hierro – se levantan a una altura preseleccionada usando equipo hidráulico y se dejan caer impactando el plato.

- Resortes de hule (*buffers*) - Están fijados en la parte inferior de la carga o la parte superior del plato y se usan para modificar la forma de la carga.
- Plato de carga – Es circular con un radio generalmente de 15 cm (5.9 pulgadas). Se pone sobre la superficie del pavimento y es la que transmite el pulso de carga sobre el pavimento.
- Celda de carga – Mide la carga aplicada al plato de carga.
- Barra de deflexión – En esta se montan los sensores (geófonos) y se posicionan en distancias específicas de acuerdo a los requerimiento técnicos.
- Equipo para adquisición de datos – Procesador de señal y una computadora para almacenar los datos.

Entre las aplicaciones más comunes para las que se utiliza el deflectómetro están:

- Determinación en sitio de la capacidad estructural de secciones del pavimento.
- Determinación de los módulos de las capas del pavimento, incluyendo la subbase.
- Determinación de vacíos en las esquinas en las losas de concreto, utilizando el análisis de carga vs deflexión.
- Determinación de la eficiencia de transferencia de carga en los pavimentos rígidos. Indica que tan bien se transmiten las cargas en la junta entre dos losas.
- Evaluación de la calidad de construcción bajo las condiciones actuales en sitio.
- Determinar si cada capa del pavimento cumple los requisitos de capacidad estructural.

2.4.2 Antecedentes

Durante el desarrollo de este trabajo se tomaron los datos de una deflectometría que se había realizado en Abril del 2010 por el LANAMMEUCR, lamentablemente la configuración física del ensayo no fue la correcta, así como los niveles de carga no fueron aptos para el pavimento rígido. En estas pruebas realizadas se utilizaron cargas de 9 000 libras para la prueba de medición de deflexiones en el centro de losa. Positivamente se puede rescatar esta experiencia para corregir estos errores y establecer los pasos para realizar ensayos en el pavimento rígido. Además no se siguió un procedimiento adecuado para establecer un estacionamiento para poder identificar las losas a las cuales se le había hecho la prueba.

Esto con el fin de dar un seguimiento a las mismas losas en futuras pruebas al proyecto evaluado, con el fin de para poder tener mejores criterios de comparación de resultados.

Como es de los primeros intentos para realizar este procedimiento a nivel nacional, se decide marcar con pintura las losas que se van a evaluar, esto para tener mayor claridad a la hora de arribar con el equipo de deflectometría y tener seguridad de que se está cumpliendo con la densidad de pruebas que se requieren realizar.

Basándose en las experiencias en campo al llevar a cabo las pruebas, se recomienda realizar el marcado previo de las losas, ya que facilita y agiliza el trabajo. Por lo menos es recomendable marcar las losas hasta que se cuente con mayor experiencia realizando pruebas en pavimentos rígidos.

Este marcado de las losas se tiene que realizar con anterioridad, por lo menos un día antes al ensayo de deflectometría.

2.4.2.1 Procedimiento de marcado de losas

La evaluación que se realiza es a nivel de proyecto, se decide hacer las pruebas a cada 50m.

I. Se inicia marcando el centro de la primera losa del proyecto (aunque no cumpla las dimensiones especificadas en planos) para tener claro cuál es el estacionamiento 0+000, que es el centro de losa.

II. Con la ayuda del equipo adecuado, en este caso un odómetro, se recorren los 50 metros desde el estacionamiento 0+000 y se llega hasta el siguiente estacionamiento. Se utilizará un criterio de aceptación para la losa que se encuentre luego de los 50 metros recorridos. Para que sea aceptable la losa tiene que tener mínimo las dimensiones especificadas en planos, además no deberá tener tapas de pozos de agua o registros eléctricos. Si no se cumplen estos requisitos se tomará como siguiente estacionamiento la próxima losa en el sentido de circulación que si cumpla estos requisitos.

III. Una vez encontrada la losa cumpliendo todos los requisitos, se procede a marcar el centro de la losa (en el sentido de tránsito) con una línea de pintura.

IV. Se continúa con este procedimiento hasta completar la longitud del proyecto y se hace en ambos sentidos de circulación (cuando sea posible).

2.4.3 Configuración del Ensayo FWD

2.4.3.1 Configuración Física

La configuración física descrita en este manual se debe respetar para la recolección de datos de deflectometría en pavimentos rígidos utilizando el FWD siempre que se utilice el software ELMOD6¹ para el procesamiento de los datos. Para pavimentos rígidos se recomienda utilizar la carga estandarizada de 16 000 libras, para provocar y asegurar deflexiones distribuidas correctamente en la cuenca de curvatura. En el caso de la prueba en las juntas transversales entre losas en la que se mide la eficiencia de transferencia de carga, se puede utilizar la carga de 9 000 libras, según recomienda la guía MEPDG.

A.1 Localización de los geófonos

La configuración de los geófonos mostrada en el Cuadro 2.11, se utiliza para las mediciones en el centro de la losa y en las juntas.

Las distancias de los geófonos son medidas desde el centro del plato de carga hasta el centro del sujetador de cada geófono. Las distancias en frente del plato de carga son consideradas positivas. Las distancias detrás del plato de carga son consideradas negativas.

¹ Programa de software de retrocálculo de módulos creado por la empresa Dynatest. Ver Glosario.

Cuadro 2.11. Distancia de los sensores de deflexión del deflectómetro de impacto. (Fuente: Manual de Ayuda para software ELMOD, anexo *Concrete Data Considerations*)

Sensor de Deflexión	Distancia
D1	0 mm
D2	-200 mm
D3	-300 mm
D4	450 mm
D5	600 mm
D6	900 mm
D7	1200 mm
D8	1500 mm
D9	1800 mm

A.2. Niveles de Carga

Se definen 3 niveles de carga para los ensayos en pavimentos rígidos. El rango de aceptabilidad para cada caída está dentro del 90% y el 110% del valor previsto. Cada caída debe estar en el rango de aceptable que se muestra en la Cuadro 2.12 para todos los ensayos realizados.

Cuadro 2.12. Cargas previstas y rangos aceptables para la prueba de FWD.

(Fuente: *Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements - FHWA-HRT-06-132*, p.11)

Caída	Carga Prevista, kN (kips)	Rango Aceptable, kN (kips)
1	40.0 (9.0)	36.0 - 44.0 (8.1 - 9.9)
2	53.4 (12.0)	48.1 - 58.7 (10.8 - 13.2)
3	71.2 (16.0)	64.1 - 78.3 (14.4 - 17.6)

A.3. Secuencia de las caídas del ensayo.

La masa cae sobre el plato de presión con una particular secuencia ya establecida, tanto para las mediciones en el centro de la losa y para las juntas. Se prueban a diferentes niveles de carga asegurándose que el pavimento reaccione como una estructura

homogénea así como también reduce el error en las medidas. Adicionalmente al analizar la información de diferentes niveles de carga, se puede determinar si los materiales en el proyecto son sensibles a la tensión (elásticos no-lineales), si hay una capa muy rígida en el fondo de las capas y si se está generando compactación o licuefacción de materiales en la sub-rasante. (Fuente: *Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements - FHWA-HRT-06-132, p.12*)

Para pavimentos rígidos se sigue la siguiente secuencia recomendada por el programa LTPP:

1. Tres caídas de 53,40 kN para asentar el plato. (No se guardan los datos)
2. Tres caídas de 40,0 kN.
3. Tres caídas de 53,4 kN.
4. Tres caídas de 71,2 kN.

2.4.3.2. Localización del ensayo

La guía MEPDG sugiere tres localizaciones: En el centro de la losa, en la junta entre losas y en la esquina de la losa a evaluar. Se realizan en las juntas o esquinas con el propósito de evaluar la eficiencia de transferencia de carga o detección de vacíos respectivamente. Esto queda sujeto según las necesidades y datos que se requieran. De manera general se sitúa primero la prueba en el centro de la losa. Finalizada esta, se procede con la prueba en la junta con la siguiente losa en el sentido de dirección del tránsito.

Como regla general, el ensayo FWD se debe realizar en la huella externa del carril, que se considera que se encuentra a 76,0 cm desde el borde del carril externo (10). Esta regla no aplica para el ensayo de detección de vacíos, que se deberá realizar en la esquina externa de la losa de concreto.

Las losas evaluadas deben relacionarse con el estacionamiento con el propósito de que un futuro se pueda evaluar la misma losa. A cada losa se le asigna una identificación con el fin de que el programa de software ELMOD6 pueda relacionar los ensayos en el centro de la losa y los realizados en las juntas. Para identificar cada losa se le asigna un número entero relacionado con el estacionamiento del tramo. Por ejemplo si el centro de una losa corresponde al estacionamiento 1+501 se le asigna la identificación o "Slab ID" 1501.

El estacionamiento 0+000 deberá ser el centro de la primera losa del tramo a evaluar.

Además de la identificación de cada losa, se tiene que identificar la posición en la losa en la que se hace el ensayo. Esto se puede hacer gráficamente en el programa de software utilizado para controlar el deflectómetro. Se debe indicar si es en el centro, en la junta o en alguna esquina.

Un esquema con las posiciones de los ensayos para la medición de las deflexiones en el centro de las losas, la eficiencia de transferencia de carga en la junta de la losa y la detección de vacíos se puede observar en las Figura 2.3, 2.4 y 2.5, respectivamente.

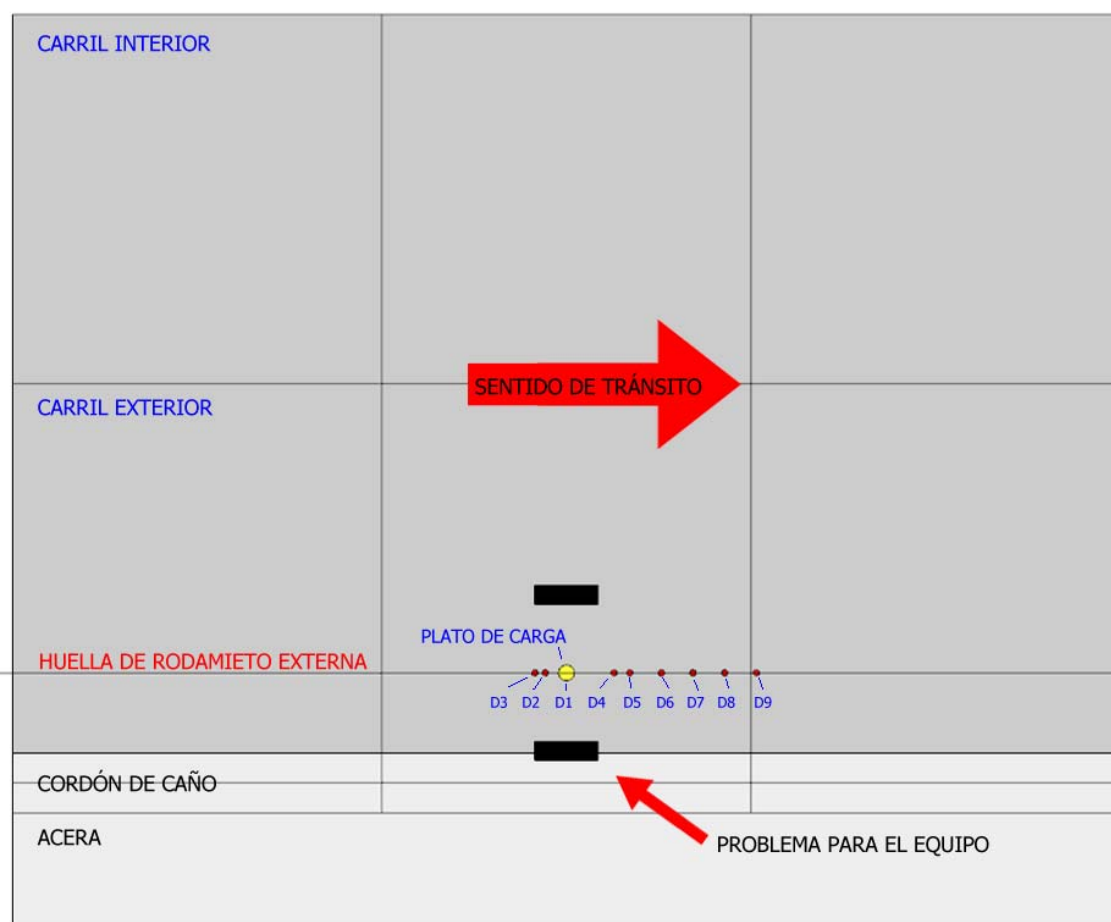


Figura 2.6. Imagen con el esquema del posicionamiento de los equipos para evaluar la losa en el centro. (Fuente: Autor)

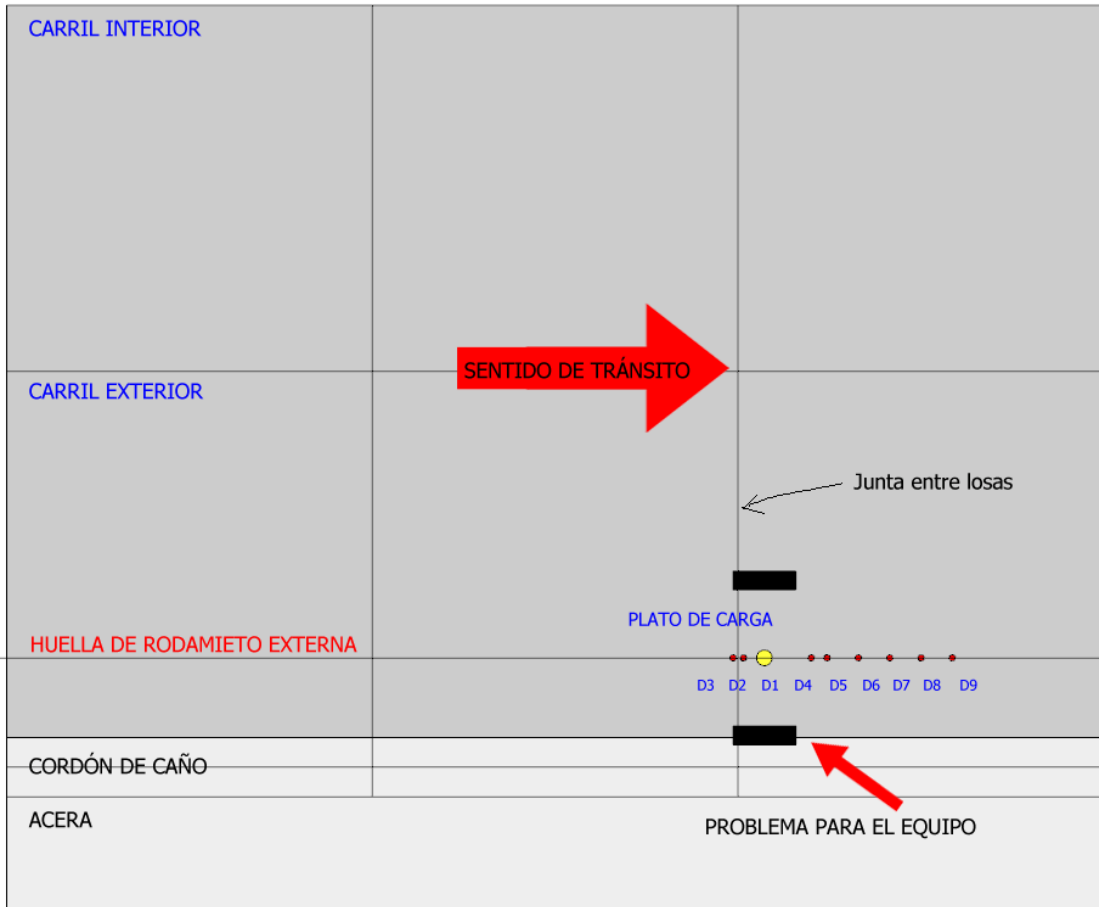


Figura 2.7. Imagen con el esquema del posicionamiento de los equipos para evaluar la eficiencia de transferencia de carga en la junta. (Fuente: Autor)

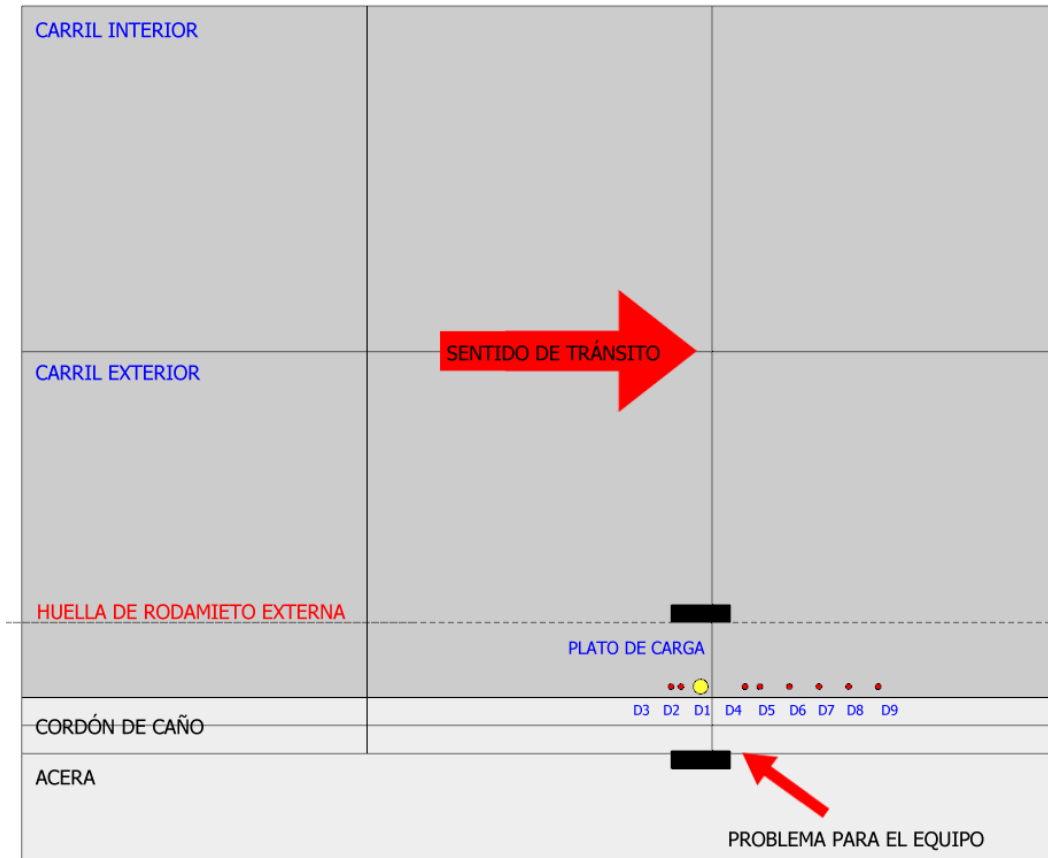


Figura 2.8. Imagen con el esquema del posicionamiento de los equipos para evaluar la detección de vacíos en las esquinas. (Fuente: Autor)

2.4.4 Limitaciones y recomendaciones

A la hora de realizar las pruebas en campo, tal y como se sugieren en el procedimiento, surgieron varias limitaciones que es muy importante mencionar para que en futuras evaluaciones se actualicen estos procedimientos con el fin de obtener datos confiables y representativos para el análisis.

Uno de los requisitos que se exige es que las pruebas se realicen en la huella por donde transitan los vehículos en el carril externo de la vía. En el caso de los dos proyectos evaluados, como se tratan de vías urbanas y ambos casos son mejoramientos de vías existentes en donde el derecho de vía no se pensó desde la creación original de la vía o fue invadido por los vecinos a través de los años, al ampliar esta vía a dos carriles por

sentido, no quedó espacio para el espaldón. Inmediatamente después de los carriles se encuentran los bordillos del caño y las aceras en ambos extremos.

Esto impidió que se pudieran realizar las pruebas de deflectometría correctamente en la huella de tránsito de los vehículos, como se sugiere. Se intentó acercar el equipo lo más posible a esta huella pero prácticamente se hizo en el centro de la losa, ya que por la disposición del equipo los sensores quedan en el centro del remolque, y si se alinea el centro del remolque con la huella de tránsito, las llantas del remolque se suben en el bordillo o en la acera, ocasionado que el plato se inclinara y no se pudieran realizar las pruebas bajo estas condiciones. Esto se puede observar en el esquema presentado en la Figura 2.3.

Definitivamente este requisito se debe cumplir cuando la carretera tiene un diseño geoméricamente correcto y contenga el espacio necesario para el espaldón.

Se sugiere que los ensayos se realicen en el carril externo por considerarse que en este transitan los vehículos más pesados. Sin embargo es muy importante mencionar que en sitio se observaron muchos, por no decir que la mayoría de camiones, transitando por el carril interno. En muchas veces ocasionado porque se estacionan vehículos en el carril externo o porque los autobuses que transitan estas vías tienen sus paradas en la misma vía y se detienen en el carril externo lo que obliga a transitar por el carril interno.

Sería recomendable para futuras evaluaciones tener presente este factor para determinar en cuál carril es que se deben realizar las pruebas.

Cuando se intentó colocar el equipo para realizar la prueba de detección de vacíos, que se realiza en la esquina exterior de la losa en el carril externo, surgió el mismo problema de falta de espacio para acomodar el equipo, por lo que no se pudo realizar esta prueba correctamente. Esto se puede observar en el esquema presentado en la Figura 2.5.

Se logró posicionar el equipo en tres intersecciones a lo largo del tramo del proyecto 204. Por ser tan pocas las pruebas en que se pudo colocar el equipo en comparación con la longitud del proyecto y al no tener cordón de caño y evacuar las aguas hacia la carretera

de la intersección, se convierten en los puntos menos representativos para detectar vacíos en las losas. Por lo que se descartaron para realizar un análisis.

Para futuras evaluaciones sería importante realizar un análisis para determinar otra ubicación que sea representativa para medir la detección de vacíos y más importante que sea una ubicación en donde se pueda colocar el equipo.

Además, en algunas ocasiones se encontraron vehículos estacionados sobre la acera y parte del carril externo, lo que impedía la correcta colocación de los equipos como se observa en la Figura 2.6.

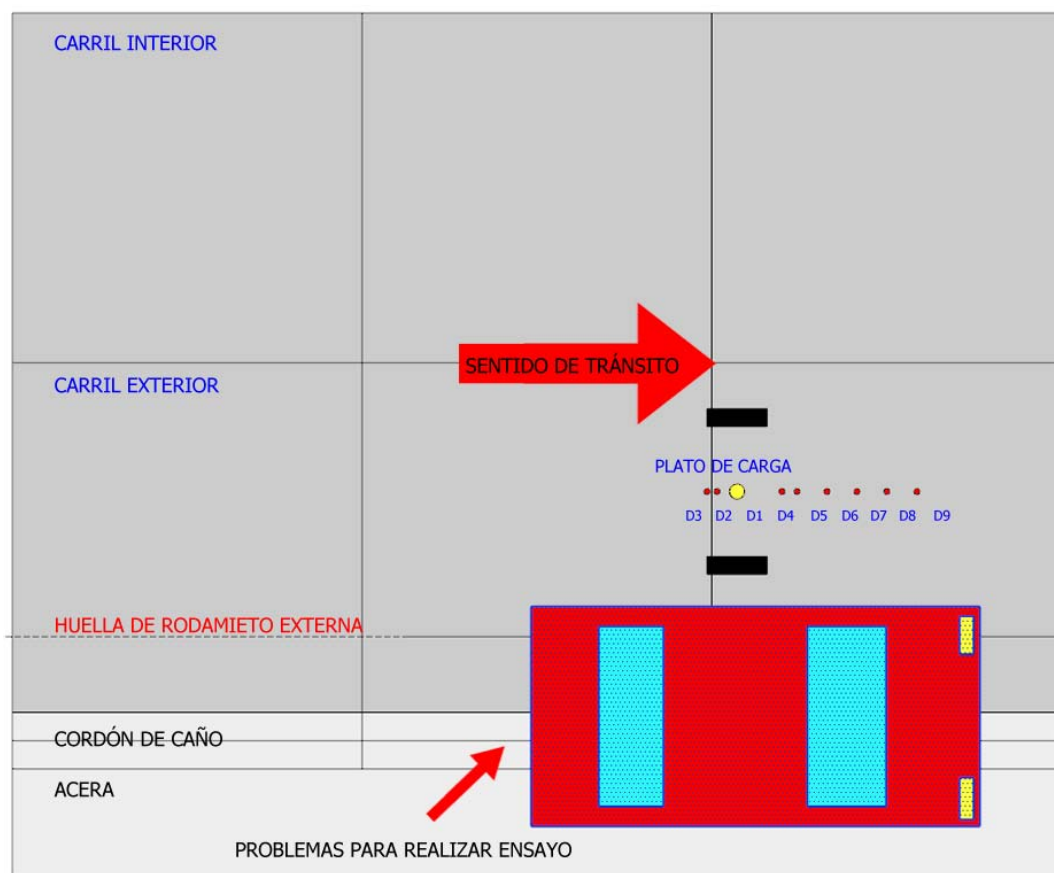


Figura 2.9. Imagen con el esquema del posicionamiento de los equipos y problemas encontrados en sitio.

2.5 Procesamiento de datos

2.5.1 Eficiencia de Transferencia de Carga (LTE).

2.5.1.1 Antecedentes

Como se menciona anteriormente, antes de iniciar la elaboración de este informe, el LANAMME ya había realizado una prueba de deflectometría en los proyecto a evaluar. Lamentablemente esta información histórica con la que se contaba, se grabó de pruebas con parámetros equivocados ya que se realizó bajo la configuración del equipo utilizada en pavimento flexible. Además no se había tomado en cuenta la configuración de los geófonos que solicita el software ELMOD6 para poder procesar los datos correctamente.

Como uno de los objetivos de este trabajo es desarrollar una metodología para la evaluación de pavimentos rígidos, realizar la prueba de eficiencia de transferencia de carga es elemental. Como se le pretende dar un enfoque más mecánico y utilizar lo más novedoso, se usará como modelo el procedimiento de la guía MEPDG. Además se toma en cuenta la configuración recomendada del equipo por *Dynatest* para el software ELMOD6.

2.5.1.2 Procedimiento según MEPDG.

La guía MEPDG recomienda poner el plato de carga de la FWD a 6 pulgadas (15 cm) de la junta o grieta medidos desde el centro del plato de carga hasta la junta o grieta. Para utilizar medidas acordes al sistema internacional y a la máquina *Dynatest* empleada en nuestro país, utilizada por el LANAMME, se tomará como medida 15 cm. Según especifica la guía, un golpe se imparte al pavimento mientras las deflexiones a través de la junta o grieta son grabadas. Los ensayos de transferencia de carga usualmente son realizados en la parte externa de las huellas del vehículo en los carriles externos. Los datos de deflexión se tienen que realizar tanto para lado de aproximación (antes) como para el de salida (después) de la grieta. Como mínimo, se deben recolectar los datos con el plato de carga ubicado después de la grieta, con lo cual los resultados de las eficiencias van a ser más conservadoras.

Se debe medir como mínimo por lo menos a 44 KN, la guía MEPDG recomienda hacer la prueba con tres diferentes cargas: 44 KN, 53,4 KN y 71,2 KN. Además recomienda que hacer las mediciones entre 100 pies (30 m) y 500 pies (150 m).

Utilizando los datos de la deflectometría, se puede obtener el parámetro de eficiencia porcentual en términos de deflexiones utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia en transferencia de carga} = \frac{\delta_u}{\delta_l} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

δ_u es la deflexión en el lado sin carga de la junta o grieta.

δ_l es la deflexión en el lado con carga de la junta o grieta.

Para asegurarse que los datos de transferencia de carga son los correctos se tienen que considerar otros factores durante los ensayos de deflectometría, como por ejemplo el factor de la temperatura. Se debe evitar hacer los ensayos durante porciones calientes del día (cerca del medio día o después de las 11 a.m.) para evitar cerramientos en las juntas. En días fríos si se podría realizar las mediciones. En la noche se podrían dar gradientes negativos de temperatura lo que genera que la losa se pandee y afecte la transferencia de carga medida.

Además de solamente obtener los datos de la deflectometría, si se presentan problemas visuales en las juntas o grietas deberán ser recopilada y cuantificadas. La información recopilada de los problemas en la juntas es muy útil cuando se analizan los resultados obtenidos en el cálculo de la eficiencia en transferencia de carga. Los problemas en la junta que deberían ser anotados incluyen, grietas transversales por fisuramiento térmico o astillamiento del concreto, grietas transversales debidas a fallas en el concreto, erosión/bombeo, agrietamientos por durabilidad de materiales y reacciones alkali-silica. Para determinar si hay algún tipo de deterioro en la junta o grieta, se podría realizar una extracción de un núcleo y compararlo con resultados de pruebas no destructivas que buscan problemas en el concreto.

La guía MEPDG proporciona una tabla con valoraciones para la calidad de eficiencia en transferencia de carga según el porcentaje.

Cuadro 2.13: Calidad en la eficiencia en transferencia de carga. (Fuente: Tabla 2.5.9 de la guía MEPGD)

Calidad de transferencia	Eficiencia en transferencia de carga (%)
Excelente	90-100
Bueno	75-89
Regular	50-74
Deficiente	25-49
Muy deficiente	0-24

2.5.1.3 Resultados del cálculo de eficiencia de transferencia de carga (LTE).

En la prueba con el deflectómetro de impacto se realizó el ensayo para evaluar la eficiencia de transferencia de carga en las juntas de las losas con tres niveles de carga: 44 KN, 53,4 KN y 71,2 KN. Esto con el fin de comparar los resultados de las tres pruebas para y establecer conclusiones sobre el comportamiento en las juntas a diferentes niveles de carga.

Utilizando la Ecuación 1 con los resultados y la configuración utilizada en las pruebas realizadas, se puede definir la eficiencia de transferencia de carga (LTE) como:

$$LTE (\%) = \frac{D_3}{D_2} * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

D3 es la deflexión en el lado sin carga de la junta o grieta medida a 5 cm aproximadamente de la junta o grieta en el geófono colocado a -300mm del plato de carga.

D2 es la deflexión en el lado con carga de la junta o grieta medida a 5 cm aproximadamente de la junta o grieta en el geófono colocado a -200mm del plato de carga.

Se calcula la LTE para cada una de las caídas que se registra (44,0 KN, 53,4 KN y 71,2 KN) en las pruebas utilizando la Ecuación 2. Luego se obtiene un valor promedio de las tres caídas registradas para cada nivel de carga. Las tablas completas con todos los

resultados se pueden consultar en los anexos. Un resumen de estos resultados se puede observar en los Cuadros 2.14, 2.15, 2.16 y 2.17.

Ruta Nacional 204 – Zapote-San Francisco.

Cuadro 2.14. Resumen de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 204A, sentido Zapote – San Francisco.

ID Estación	Estacionamiento (km)	Fuerza		
		44.0 KN	53.4 KN	71.2 KN
2	0.002	98%	97%	96%
4	0.05	79%	78%	81%
7	0.103	94%	94%	94%
9	0.154	75%	76%	77%
11	0.209	89%	90%	90%
13	0.262	84%	79%	79%
15	0.315	89%	93%	91%
17	0.366	82%	84%	84%
19	0.419	95%	92%	92%
21	0.469	85%	86%	86%
23	0.522	82%	82%	82%
26	0.582	89%	88%	87%
28	0.633	67%	67%	68%
30	0.685	91%	91%	92%
32	0.783	69%	78%	82%
34	0.836	86%	86%	89%
36	0.889	93%	94%	93%
38	0.939	98%	97%	96%
40	0.992	94%	94%	94%
42	1.041	96%	96%	96%

Promedio	87%
Desviación Estándar	7.49%

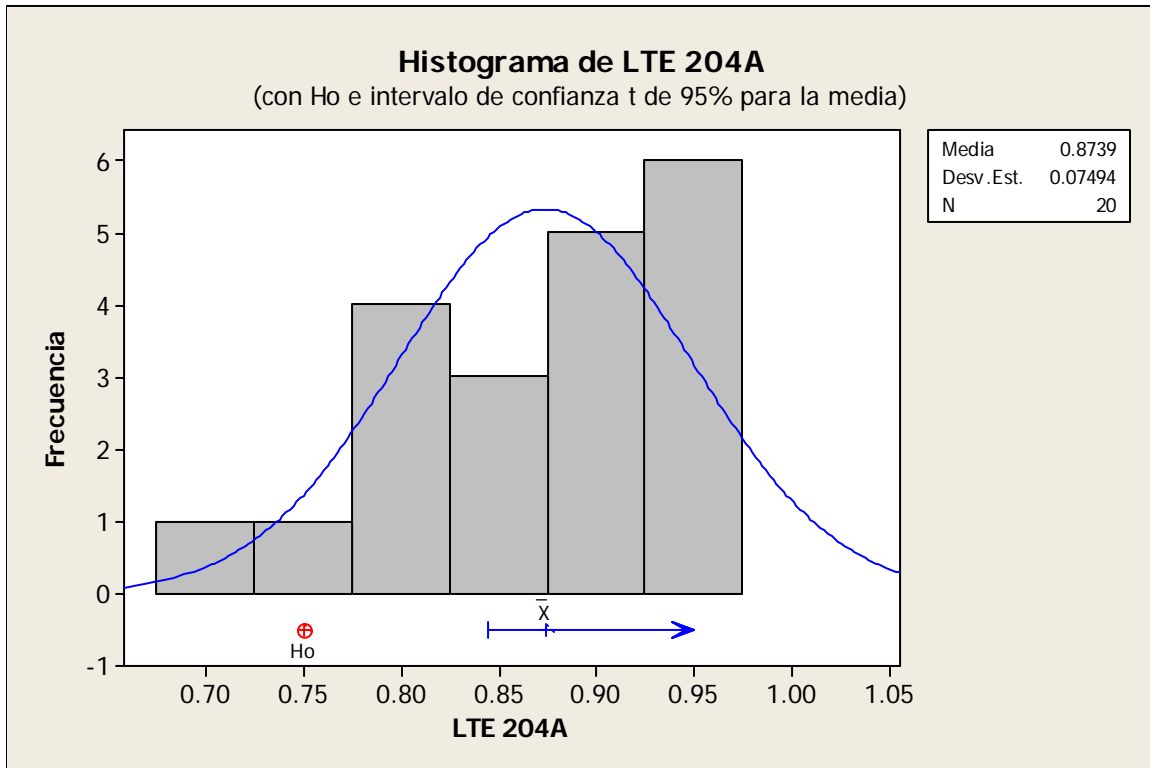


Figura 2.10. Histograma de LTE para el tramo 204A, sentido Zapote – San Francisco.

En el cuadro 2.14 se muestran los resultados de LTE para los tres diferentes niveles de carga utilizados en la prueba. Sin embargo los datos de la caída a 71.2 KN son los que se utilizarán para encontrar la LTE de proyecto. Para establecer la LTE de proyecto se realiza un análisis de datos por medio de un análisis estadístico de prueba de hipótesis, en la que se quiere ver si la media es mayor que 75%, que es el valor mínimo de la categoría del Cuadro 2.13 para aceptar la LTE como Buena, para un intervalo de confianza del 95%.

$$H_0 = \mu \geq 75\%$$

$$H_1 = \mu < 75\%$$

$$\alpha = 0.05$$

Este análisis se realiza para ambas rutas, 204 y 211. Los resultados se comentan a continuación.

Como se puede observar en la Figura 2.10, se acepta la prueba de hipótesis dado que el valor de la media está dentro del intervalo de confianza y es mayor que el valor mínimo (Ho). Por lo que se puede concluir que la LTE de proyecto es 87% y es considerada como Buena a lo largo del todo el tramo 204A.

Cuadro 2.15. Resumen de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 204B, sentido San Francisco - Zapote.

.ID Estación	Estacionamiento (km)	Fuerza		
		44.0 KN	53.4 KN	71.2 KN
2	0.002	92%	92%	92%
4	0.055	86%	86%	86%
6	0.114	94%	93%	93%
8	0.162	83%	84%	85%
10	0.214	90%	89%	90%
12	0.267	82%	82%	82%
14	0.361	89%	89%	89%
16	0.417	95%	95%	95%
18	0.468	91%	92%	94%
20	0.526	46%	51%	56%
22	0.581	90%	90%	90%
24	0.631	77%	79%	81%
26	0.684	91%	92%	92%
28	0.737	87%	86%	86%
30	0.842	96%	96%	95%
32	0.896	92%	90%	91%
34	0.949	93%	94%	93%
36	0.997	86%	86%	84%
38	1.05	85%	85%	86%

Promedio	87%
Desviación Estándar	8.62%

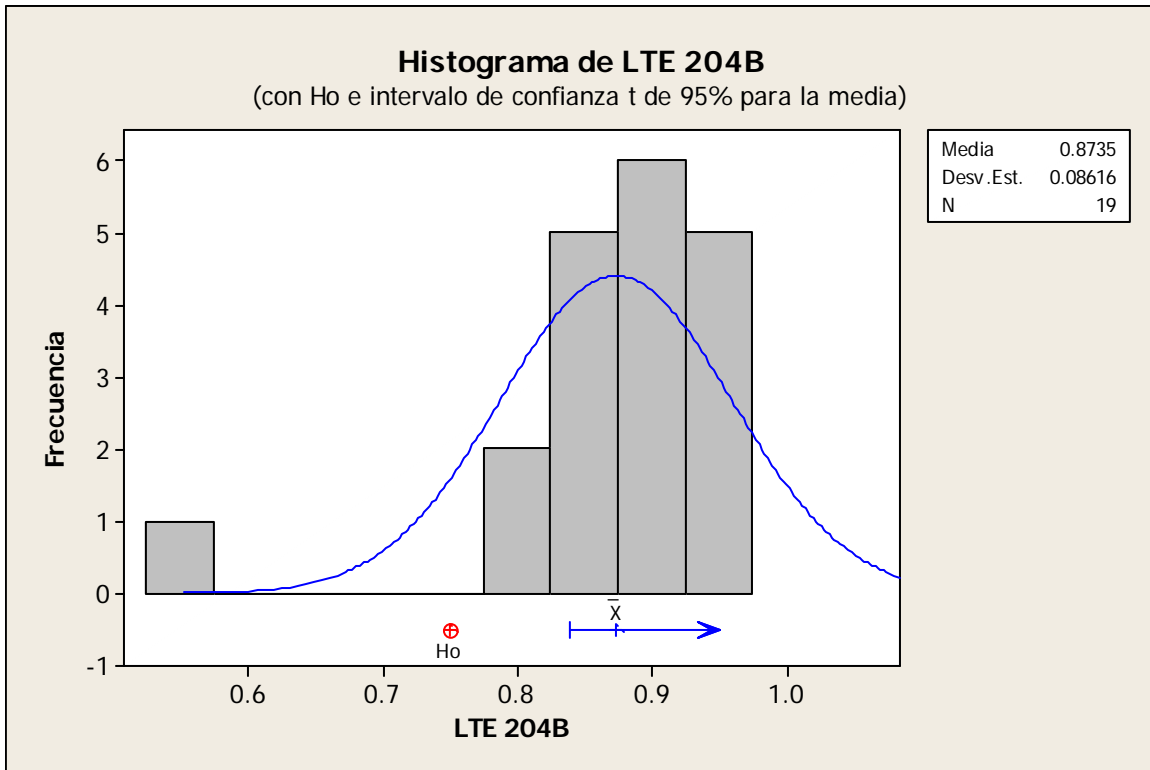


Figura 2.11. Histograma de LTE para el tramo 204, sentido San Francisco - Zapote.

Como se puede observar en la figura 2.11, se acepta la prueba de hipótesis dado que el valor de la media está dentro del intervalo de confianza y es mayor que el valor mínimo (H_0). Por lo que se puede concluir que la LTE de proyecto es 87% y es considerada como Buena a lo largo del todo el tramo 204B.

Ruta Nacional 211 – San Francisco – La Colina.

Cuadro 2.16. Resumen de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 211A, sentido San Francisco – La Colina.

ID Estación	Estacionamiento (km)	Fuerza		
		44.0 KN	53.4 KN	71.2 KN
2	0.001	89%	89%	90%
4	0.053	83%	83%	83%
6	0.105	86%	85%	85%
8	0.159	89%	88%	88%
10	0.212	91%	93%	92%
12	0.263	91%	91%	92%
14	0.315	97%	96%	95%
16	0.373	86%	87%	87%
18	0.425	87%	87%	87%
20	0.478	93%	93%	93%
22	0.533	90%	90%	90%
24	0.582	93%	93%	93%
26	0.634	92%	91%	91%
28	0.686	82%	81%	81%
30	0.74	94%	94%	94%
32	0.79	98%	98%	97%
34	0.841	93%	93%	93%
36	0.893	80%	80%	82%
38	0.943	91%	91%	91%
40	0.996	93%	93%	93%
42	1.048	90%	91%	91%
44	1.101	89%	90%	90%
46	1.152	92%	92%	91%
48	1.204	86%	87%	89%
50	1.253	80%	81%	82%
52	1.306	91%	91%	91%
54	1.375	81%	81%	82%
56	1.407	81%	81%	82%
58	1.46	86%	86%	86%
60	1.526	89%	89%	89%
62	1.579	90%	89%	88%
64	1.631	90%	89%	88%
66	1.685	94%	95%	95%

Promedio	89%
Desviación Estándar	4.36%

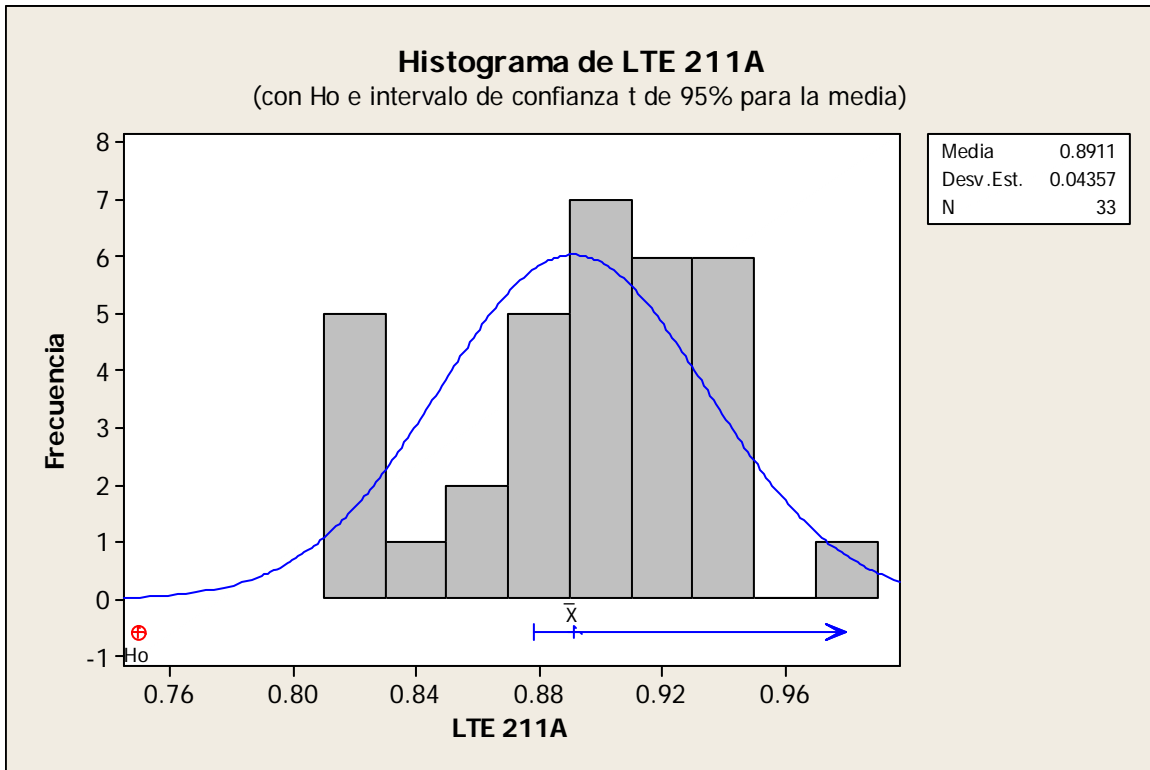


Figura 2.12. Histograma de LTE para el tramo 211A, sentido San Francisco – La Colina.

Como se puede observar en la figura 2.12, se acepta la prueba de hipótesis dado que el valor de la media está dentro del intervalo de confianza y es mayor que el valor mínimo (H_0). Por lo que se puede concluir que la LTE de proyecto es 89% y es considerada como Buena a lo largo del todo el tramo 211A.

Cuadro 2.17. Resumen de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 211B, sentido La Colina - San Francisco.

ID Estación	Estacionamiento (km)	Fuerza		
		44.0 KN	53.4 KN	71.2 KN
2	0.002	94%	94%	94%
4	0.055	94%	93%	92%
6	0.11	94%	94%	95%
8	0.162	76%	79%	77%
10	0.249	92%	92%	92%
12	0.299	93%	93%	92%
14	0.351	89%	89%	89%
16	0.403	96%	95%	94%
18	0.455	93%	91%	91%
20	0.508	94%	94%	93%
22	0.561	86%	86%	85%
24	0.613	97%	97%	96%
26	0.666	91%	91%	91%
28	0.718	96%	95%	96%
30	0.771	93%	94%	94%
32	0.823	88%	89%	89%
34	0.875	95%	93%	93%
36	0.926	95%	96%	95%
38	0.978	92%	91%	92%
40	1.032	93%	97%	95%
42	1.085	99%	101%	98%
44	1.137	96%	96%	96%
46	1.191	89%	89%	89%
48	1.244	90%	90%	91%
50	1.296	96%	96%	96%
52	1.349	87%	91%	88%
54	1.402	99%	96%	94%
56	1.454	95%	95%	94%
58	1.504	88%	89%	89%
60	1.56	98%	97%	97%
62	1.612	99%	96%	96%
64	1.666	94%	94%	93%
66	1.715	93%	93%	92%

Promedio	92%
Desviación Estándar	4.04%

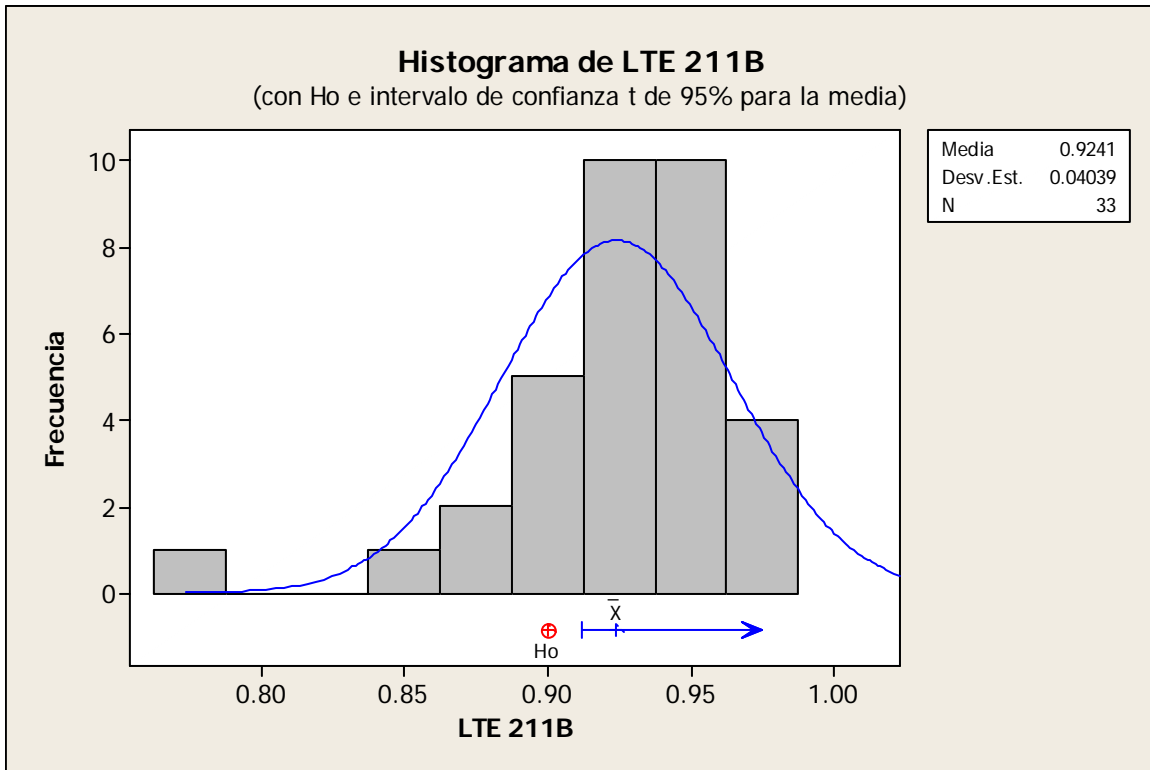


Figura 2.13. Histograma de LTE para el tramo 211B, sentido La Colina - San Francisco.

En el caso de la ruta 211B, por presentar valores de LTE tan altos, se hace la prueba para un valor mínimo de 90%, que es el valor mínimo del rango que considera la LTE como excelente, según el Cuadro 2.13.

Como se puede observar en la Figura 2.13, se acepta la prueba de hipótesis dado que el valor de la media está dentro del intervalo de confianza y es mayor que el valor mínimo (Ho). Por lo que se puede concluir que la LTE de proyecto es 92% y es considerada como Excelente a lo largo del todo el tramo 211B.

Los resultados obtenidos de LTE no eran de esperarse, debido a las deficiencias constructivas presentadas al inicio de proyecto, como se habían señalado algunas en el informe de auditoría *LM-IC-D-1284-2009* del LANAMMEUCR, indicando errores en la colocación de las dovelas o pasa juntas.

Sin embargo, los resultados de la LTE indican que la carga está siendo transferida de manera efectiva entre las losas, puede que sea debido al corto periodo que tienen las rutas en operación (casi tres años).

Esto verifica la efectividad del uso de la base estabilizada y su buena condición, la cual aporta de una contribución de un 30% a un 40% de transferencia de carga (Fuente tabla 3.7.20 de la guía MEPDG). En casos minoritarios se observan estacionamientos con deficiencias en LTE. Es recomendable corregir estos casos aislados, pero en términos generales, se puede concluir que la LTE global de los proyectos es de Buena calidad.

2.5.2 Retrocálculo de Módulos.

2.5.2.1 Antecedentes

Prueba de deflectometría

La prueba de deflectometría se ha utilizado como parte integral para la evaluación estructural y los procesos de rehabilitación de los pavimentos por muchas décadas. En sus primeras aplicaciones, la deflexión máxima medida bajo un arreglo particular de carga se utilizaba directamente como indicador de la capacidad estructural. Sin embargo se han desarrollado nuevos criterios de falla en los que relaciona la máxima deflexión medida a un número de repeticiones de carga permitidas. Con la acumulación de experiencia y conocimiento a través de los años se han desarrollado una serie de algoritmos para transformar las deflexiones obtenidas a través de las pruebas, en propiedades como módulos elásticos y coeficiente de Poisson de las capas del pavimento empleando varios tipos de procedimiento y programas de software de retrocálculo.

El deflectómetro de impacto funciona aplicando una carga en el pavimento y midiendo las deflexiones máximas resultantes en la superficie. De esta prueba en pavimentos rígidos se pueden obtener resultados para determinar:

1. Módulo elástico del concreto y módulo de reacción de la subrasante (k).
2. Eficiencia de transferencia de carga en las juntas entre losas (juntas transversales a la dirección de tránsito)
3. Detección de vacíos en las esquinas
4. Adecuación estructural (en ubicaciones que no presenten problemas)

Retrocálculo del módulo elástico de las losas de concreto y módulo de reacción de las subrasante (k).

Se presenta un resumen de los procedimientos utilizados para retrocalcular las propiedades de resistencia de la superficie y subbase de los pavimentos rígidos.

Los pavimentos rígidos generalmente se analizan como losas flotantes con o sin una base o subbase. En la última década se ha progresado en el desarrollo de métodos fiables para hacer el retrocálculo de los módulos de las losas de concreto, base y subbase de las

deflexiones obtenidas en la prueba de deflectometría. Sin embargo es conocido que el retrocálculo de módulos para pavimentos rígidos es un problema que en la actualidad sigue siendo desafiante para el ingeniero. Para obtener resultados realistas del retrocálculo se requiere hacer un análisis detallado de todos los factores que involucran el resultado final.

Los factores más importantes son la configuración de sensores, el tipo de base, espaciamiento de las juntas y la temperatura en las condiciones de ensayo. Existen varios métodos para hacer el retrocálculo de módulos de las losas, base o subbase o el módulo de reacción de la subrasante k . El método recomendado por la guía MEPDG y que incluye el programa de software utilizado ELMOD6 es el método de mejor ajuste (*Basin best fit*). Este método resuelve para una serie de combinaciones del radio de rigidez relativa, L , y el coeficiente de reacción de la subrasante k , que produzca la posible mejor concordancia entre las deflexiones predichas y las deflexiones medidas por cada sensor. El método se basa en el modelo de Westergaard, que propone una solución para las cargas aplicadas a un plato de un material lineal elástico, homogéneo e isotrópico que descansa sobre una fundación líquida densa.

Información del software y los algoritmos utilizados se detallan en el Manual del Usuario del ELMOD6. (6)

2.5.2.2 Funcionamiento del Programa de Software - Dynatest ELMOD6

Con el fin de adquirir los datos de manera correcta para poder luego analizarlos en el programa de software ELMOD6, la prueba de deflectometría se realiza conforme el arreglo de los geófonos en el deflectómetro previamente mencionado en la parte 2.4.3.

El programa permite importar de manera directa el archivo con la base de datos de las estaciones que incluyen las deflexiones, secuencia y magnitud de las fuerzas aplicadas, ubicación en la losa, temperatura, ubicación GPS, hora y fecha, entre otros.

A continuación se describen las instrucciones para importar los datos y el procesamiento que se requieren para realizar el retrocálculo de módulos.

Paso 1: Crear una nueva base de datos. Para esto se selecciona la pestaña *Project*, se va a *Database*, *Create new*. Se le asigna el nombre a la base de datos del proyecto. Es importante que se maneje un nombre para el archivo que sea reconocible y manejar únicamente un proyecto por base de datos. Ver Figura 2.14.

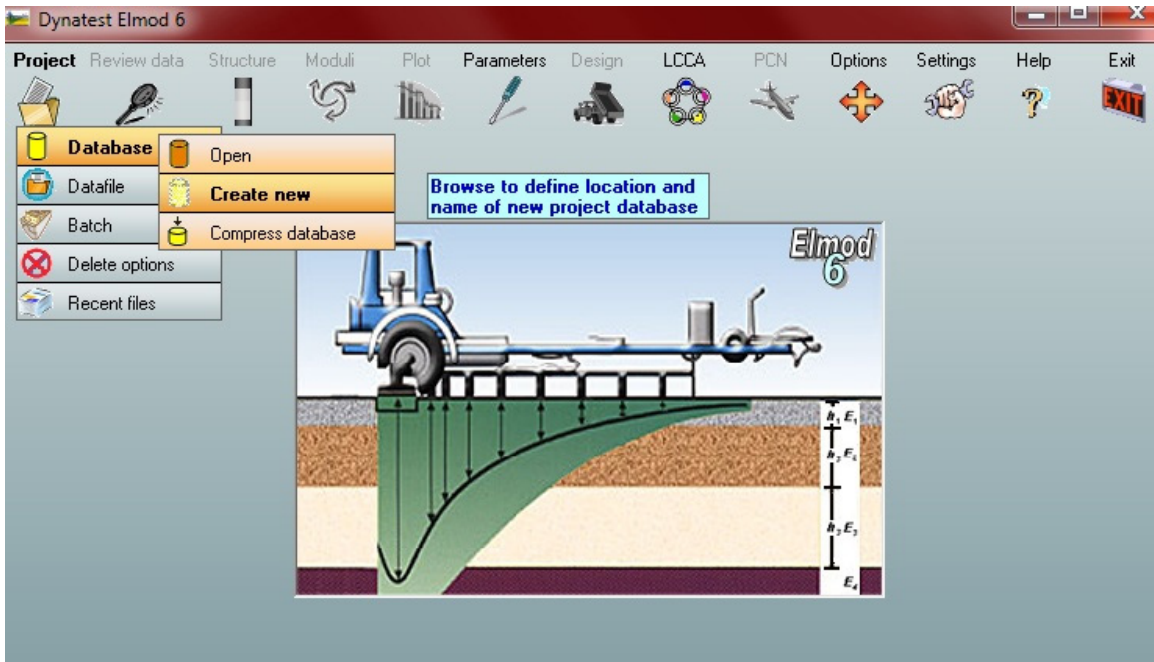


Figura 2.14. Pantalla principal del programa de software ELMOD6. Se señala la pestaña de proyectos.

Paso 2: Para importar la información de la deflectometría se selecciona la pestaña *Project*, se va *Datafile*, y a *Import FWD file to database*. Es importante destacar que el equipo de deflectometría de *Dynatest* genera los archivos *.F25* y *.mdb*. El archivo que se debe importar es el archivo *.mdb*, que es un archivo de base de datos a diferencia del *.F25* que es un archivo de texto y su uso provoca pérdida de información. Ver Figura 2.15

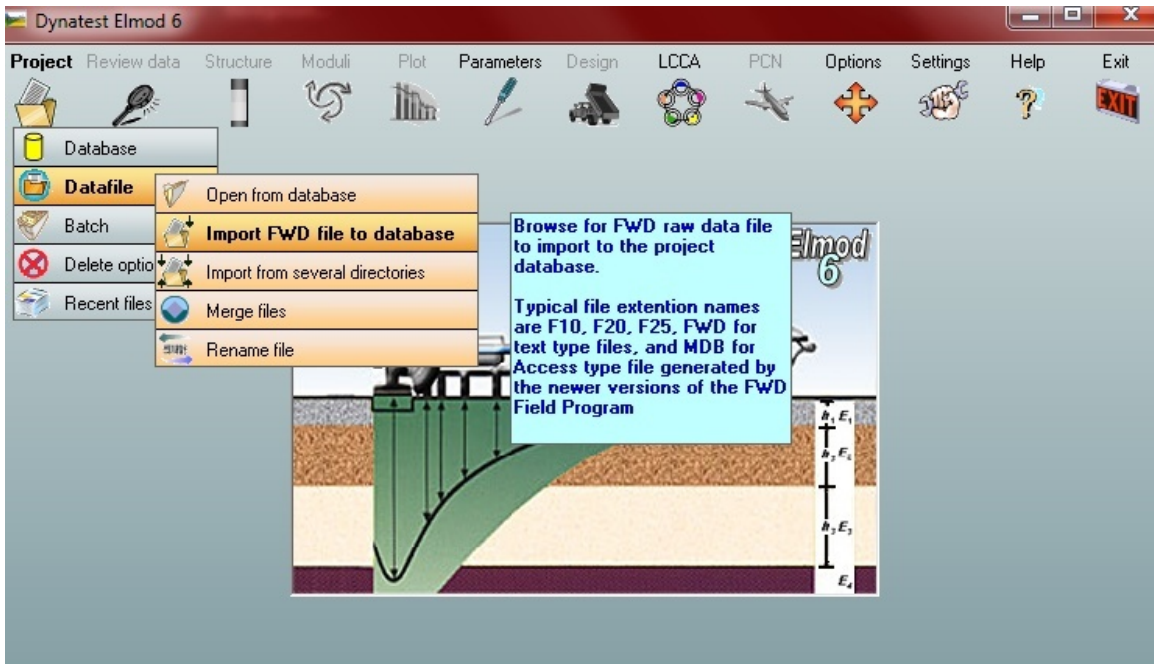


Figura 2.15. Pantalla principal del programa de software ELMOD6. Se señala la pestaña para importar base de datos.

Paso 3: Se proceden a revisar los datos importados en el programa en la pestaña de *Review Data*. En esta sección del programa se puede revisar que las losas tengan la identificación correcta. Es recomendable revisar cada una de las estaciones y verificar que no haya información sobrante ni faltante. En esta sección del programa si se desea se pueden eliminar caídas o estacionamientos en caso de que se requiera. Ver Figuras 2.16 – 2.17.

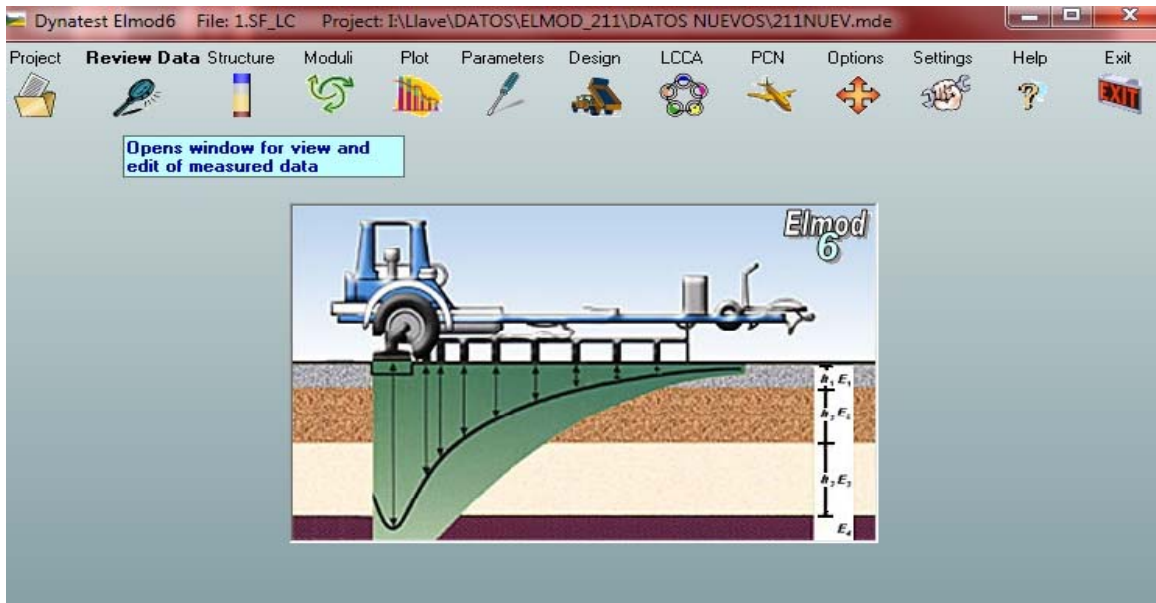


Figura 2.16. Pantalla principal del programa de software ELMOD6. Se señala la pestaña para revisar los datos importados.

Data view and editing

File: 1.SF_LC
Database: I:\lave\DATOS\ELMOD_211\DATOS NUEVOS\211NUEV.mde

Number of data points: 66 Number of drops: 9 Start Station: 0 End Station: 1.685 Date: martes, 19 de julio de 2011 File Info

Number of active geophones: 9 Plate radius: 150. View geophone positions

Table with measured data.
The values in column JointID and PostID are only relevant if joints on PCC have been measured. See Help file for more information about this.

Chainage	Point	Drop	Stress KPa	Load KN	D1 Micr.	D2 Micr.	D3 Micr.	D4 Micr.	D5 Micr.	D6 Micr.	D7 Micr.	D8 Micr.	D9 Micr.	T _{asp} °C	T _{surf} °C	T _{air} °C	Time	JointID
		4	755	53.37	100.6	97.4	94.4	103.9	104.1	105.3	91.8	78.3	66.7					
		5	756	53.44	100.8	97.9	95.0	104.5	104.7	105.8	92.2	78.8	67.1					
		6	760	53.72	101.1	97.9	95.1	104.3	104.5	105.5	91.9	78.4	66.7					
		7	982	69.41	133.9	127.2	123.5	136.4	136.9	138.8	121.2	103.6	88.1					
		8	1012	71.53	136.8	130.3	126.1	139.2	139.9	141.8	123.8	105.9	89.9					
		9	992	70.12	134.4	129.0	125.3	138.4	138.8	140.9	122.9	105.1	89.3					
0.001	2	1	603	42.62	127.7	138.7	124.2	101.7	94.8	80.1	67.6	55.0	44.6	27.4	25.8	22:19	:	
		2	603	42.62	128.0	140.1	125.1	102.0	95.5	80.6	68.6	54.8	45.7					
		3	602	42.55	127.4	139.1	124.7	101.6	95.2	80.3	68.4	54.6	46.4					
		4	756	53.44	157.7	174.2	155.6	126.8	118.6	99.9	84.9	68.0	57.0					
		5	755	53.37	157.6	174.0	155.4	126.6	118.4	100.0	84.9	68.1	57.1					
		6	754	53.30	157.3	173.7	154.7	126.4	118.1	99.6	84.5	67.6	56.8					
		7	985	69.63	208.3	226.7	204.1	165.4	154.2	130.2	110.2	88.7	73.3					

<Alt> + click Chainage to remove test point
Right click Chainage or Point to mark/unmark

Split file Temperature graphs Insert asphalt temperatures Cancel Save new data

Figura 2.17. Pantalla del programa de software ELMOD6 para revisar los datos importados.

Paso 4: Se debe definir la estructura de pavimentos. En caso de que no se realizan perforaciones de núcleos para obtener los espesores de las capas. Se deben buscar los espesores y propiedades de de las capas en la información histórica que se tenga disponible como planos constructivos o información de mantenimiento de la vía.

En este paso el programa EIMOD6 requiere que se ingresen los espesores y algunos módulos para utilizarlos como semilla para el proceso de iteración que realiza. Es importante tener presente cuales son las capas importantes que se requieren para el retrocálculo de módulos.

Se recopiló la información de planos constructivos, de estos se tomaron los espesores para las capas de la losa y la base estabilizada. Además los planos contienen resultados de pruebas que se habían realizado de CBR a los materiales en el sitio, los módulos de la subbase que se utilizan como semillas fueron encontrados mediante la correlación sugerida por la guía MEPDG en la tabla 2.2.50, como se observa en la Ecuación 3.

$$M_{R(MPa)} = 17,6161 \times (CBR^{0,64}) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Para el caso del módulo semilla de la base estabilizada de concreto se utiliza el valor típico del rango presente en la tabla 2.2.43 de la guía MEPDG, que proporciona valores típicos de módulos resilientes de materiales para bases químicamente estabilizadas.

$$1.000.000_{PSI} = 6.895_{MPa}$$

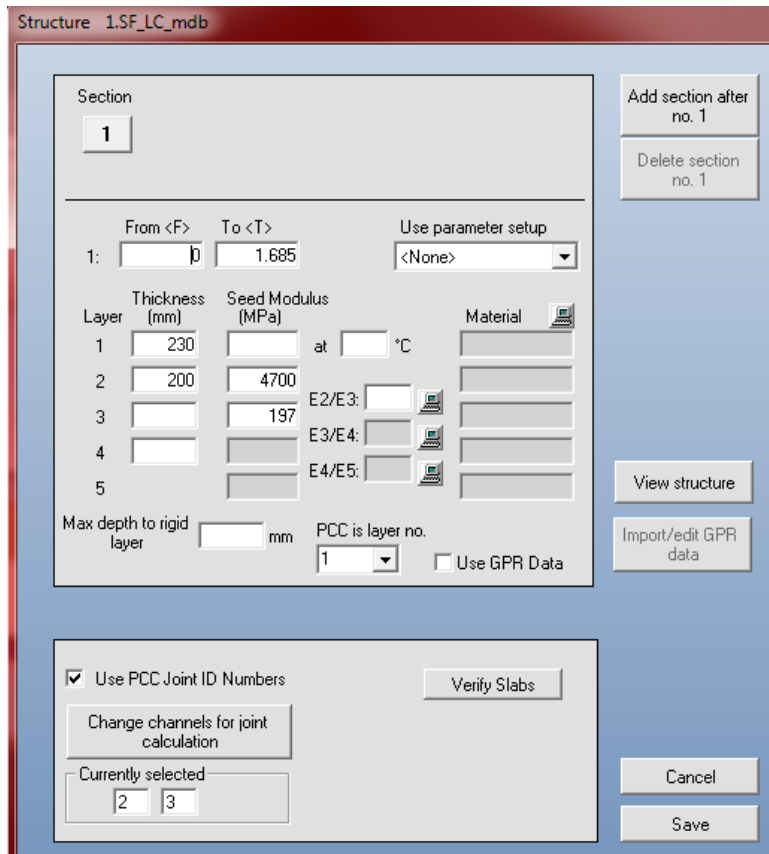


Figura 2.18. Pantalla del programa de software ELMOD6 para la creación de la estructura de pavimentos.

Generalmente en la estructura de pavimentos rígidos consiste de los siguientes componentes: la losa, la base estabilizada, la sub-base y a mayor profundidad la subrasante. Es importante ingresar los datos correctos para que el programa entienda la configuración que se tiene y realice el retrocálculo correctamente.

Para pavimentos rígidos se obtiene el módulo de reacción k de la subrasante, transformando la estructura de pavimentos en una equivalente que consiste de las losa de concreto, la base y el módulo de reacción de la sub rasante k , este último incluye todas las capas inferiores a la base.

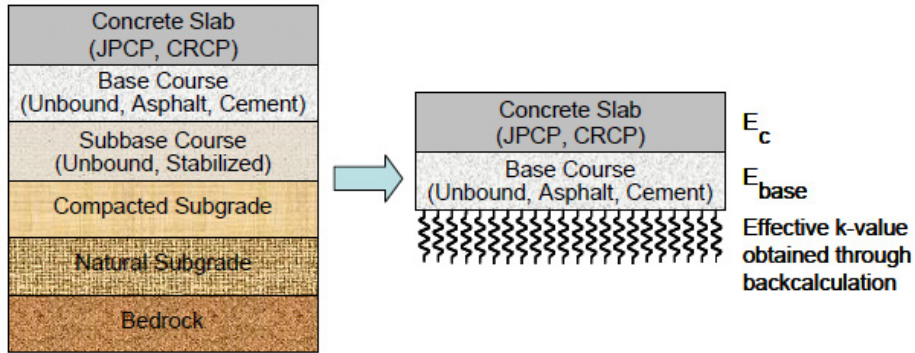


Figura 2.19. Modelo Estructural para procesamiento de datos de pavimentos rígidos. (Fuente: Figura 3.4.14, Manual MEPDG)

Es importante identificar en el programa cual capa es la losa de concreto de cemento portland (PCC), generalmente la capa 1. Cuando se trabaje con pavimentos rígidos con juntas se debe de marcar el cuadro para utilizar los números de identificación de las juntas de las losas. Es importante verificar que las losas estén correctamente identificadas, ya que el programa relaciona cada junta con el centro de losa referenciada con cada estacionamiento. Esta identificación, tanto del centro y la junta se realiza en la prueba de deflectometría en el software que viene incluido con el deflectómetro. De otra manera se tendría que incluir manualmente esta información para poder utilizar esta característica del programa.

Point No. in file	Station of joint	Joint at	Position on plate	Corresponding center slab
2	0.001	Edge	Upper middle	0
4	0.053	Edge	Upper middle	0.051
6	0.105	Edge	Upper middle	0.103
8	0.159	Edge	Upper middle	0.156
10	0.212	Edge	Upper middle	0.209
12	0.263	Edge	Upper middle	0.261
14	0.315	Edge	Upper middle	0.313
16	0.373	Edge	Upper middle	0.371
18	0.425	Edge	Upper middle	0.423
20	0.478	Edge	Upper middle	0.476
22	0.533	Edge	Upper middle	0.531
24	0.582	Edge	Upper middle	0.58
26	0.634	Edge	Upper middle	0.632
28	0.686	Edge	Upper middle	0.683
30	0.74	Edge	Upper middle	0.738
32	0.79	Edge	Upper middle	0.788
34	0.841	Edge	Upper middle	0.839

Figura 2.20. Pantalla del programa de software ELMOD6 para revisar la identificación de las losas.

Paso 5: Se ingresa en la pestaña de *Moduli* para realizar el proceso de retrocálculo. En esta pestaña se pueden seleccionar las caídas que se desea incluir en el cálculo. También existe la opción de seleccionar la precisión del grado de iteración, para este caso se deja las opciones que trae por default. Como se mencionó anteriormente se debe escoger el método de de mejor ajuste por recomendación de la guía MEPDG.

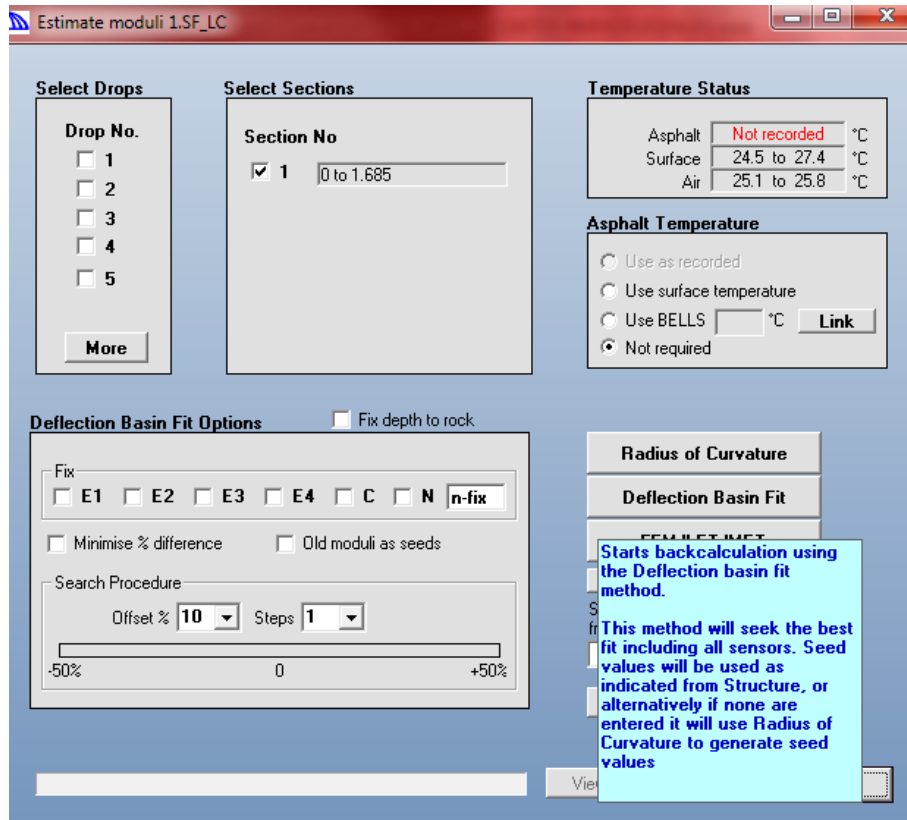


Figura 2.21. Pantalla principal del programa de software ELMOD6. Se señala la pestaña revisar la identificación de las losas.

Paso 6: Visualización de los resultados del retrocálculo: Luego de realizadas las iteraciones el programa tiene la opción de visualizar los resultados gráficamente, para esto se debe acceder a la pestaña de *Plot*. Además se pueden obtener los resultados en tablas como el módulo y condiciones en las juntas (LTE, módulo de reacción de la subrasante-k, módulo en las juntas). Es importante destacar que además muestra los resultados estadísticos de los resultados obtenidos. Todos estos datos se pueden exportar por medio de informes en formatos de los programas de Excel o Word.

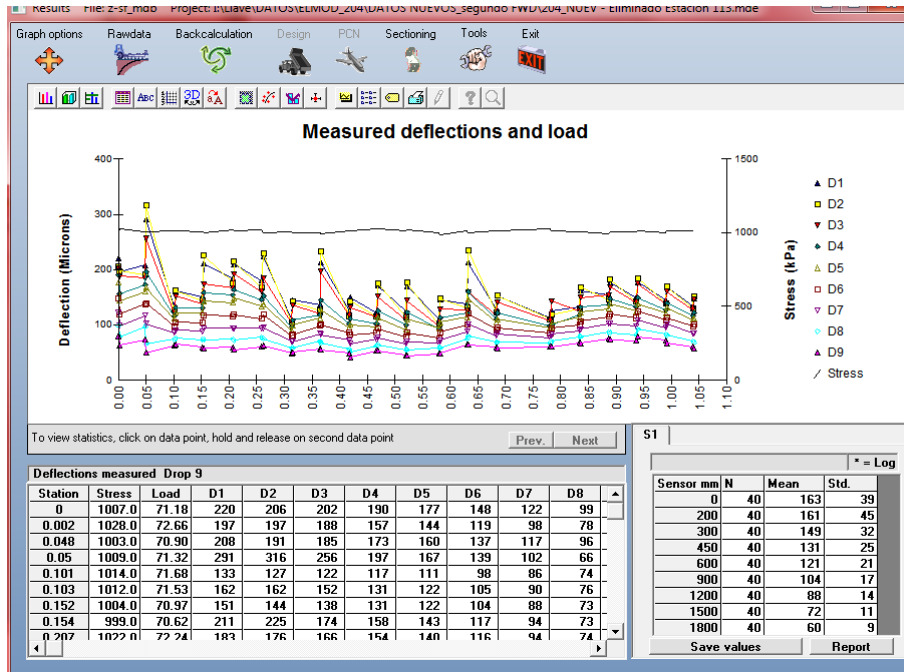


Figura 2.22. Pantalla de la pestaña *Plot* del programa de software ELMOD6.

Otra función importante que tiene el ELMOD6 es que permite procesar los resultados utilizando el seccionamiento por tramos homogéneos y mostrando los resultados estadísticos instantáneamente luego de su selección. Los tramos homogéneos deben escogerse manualmente por lo que se deben utilizar los criterios correctos.

Para acceder a la opción de tramos homogéneos, se debe ingresar en la pestaña de *Sectioning*, una vez en esa pantalla se desplaza el cursor hasta donde se quiera delimitar cada tramo. Instantáneamente el programa muestra los valores de desviación estándar y valores medios para cada tramo homogéneo seleccionado. Gracias a esto se puede verificar la selección de tramos homogéneos. El programa permite hacer la selección de estos tramos utilizando los módulos elásticos encontrados en el retrocálculo y también utilizando las deflexiones de la prueba de deflectometría. Es recomendable utilizar los módulos elásticos.

2.5.2.3 Resultados del retrocálculo de módulos

Proyecto 204 – Zapote-San Francisco.

Depuración de los datos:

Se eliminan datos que se consideran agregan cierto grado de error al retrocálculo, como es el caso en el sentido San Francisco – Zapote, un estacionamiento presenta deflexiones muy altas y no concuerdan dentro del rango de los demás estacionamientos. Esto se puede interpretar de varias formas, desde que se colocó mal el equipo en el sitio, la posible existencia de otro tipo de materiales, errores constructivos severos hasta presencia de tuberías debajo de la superficie del pavimento. Como es solo un estacionamiento el que se decide eliminar, indica que los demás están dentro de un rango de tolerancia aceptable y la causa por la que se elimina pasa a ser despreciable para el estudio. Si se hubieran presentado mayores inconsistencias si se hubieran estudiado más a fondo para determinar las causas.

Para el retrocálculo de módulos en el centro de las losas se utilizan los datos de la tercera caída, que es la que aplica una carga de 16 000 libras en la prueba de deflectometría.

Utilizando el programa de software ELMOD6 para realizar el retrocálculo y siguiendo los pasos mencionados en el apartado anterior se obtienen los módulos resilientes para la estructura de pavimentos y además módulo de reacción de la sub rasante (K).

Para la validación de los datos del retrocálculo de módulos se opta por realizar un análisis estadístico de prueba de hipótesis en la que se quiere ver si la media de cada Módulo Resiliente para cada capa es mayor que el valor teórico o valor de diseño, para un intervalo de confianza del 95%

En el caso para el módulo del concreto se utilizan las correlaciones de la guía MEPDG de la tabla 2.2.22 en la que se obtiene un valor de 25 034 MPa.

$$f'_c = \left(\frac{MR}{9.5}\right)^2 \quad \text{Ecuación 4}$$

$$E_c = 33\rho^{\frac{3}{2}}(f'_c)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$E_c = 33(150 \text{ libras}/\text{pie}^3)^{\frac{3}{2}}(3587 \text{ libras}/\text{pulgadas}^2)^{\frac{1}{2}} = 3\,630\,918 \text{ libras}/\text{pulgadas}^2 = 25\,034 \text{ MPa}$$

En el caso para la base estabilizada BE-35 se utiliza el gráfico de la figura 2.8 de la guía AASHTO 93. Según el manual de Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes (CR77), la resistencia mínima para este tipo de bases estabilizadas debe ser de 30 kg/cm². Para este dato se obtiene un valor de 4223 MPa.

En el caso para la sub base, se utiliza la correlación utilizada previamente (Ecuación 3) se obtienen valores de 178 MPa para la ruta 204 y 197 MPa para la ruta 211. Se encuentran estos valores de los datos obtenidos de planos constructivos, para el promedio de los valores de CBR obtenidos de los muestreos realizados.

Cuadro 2.18. Resumen de Módulos Resilientes para el tramo 204A, sentido Zapote – San Francisco.

Resultados de Retrocálculo de Módulos			
Sentido Zapote - San Francisco			
Estacionamiento	Módulo Resiliente de Losa de Concreto	Módulo Resiliente de Base Estabilizada	Módulo Resiliente de Subbase
	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
0	10718	5991	162
0.048	11046	6485	176
0.101	46526	5585	215
0.152	29198	6655	166
0.207	15483	5306	165
0.259	16021	6485	166
0.313	71892	4411	206
0.365	48583	6051	168
0.417	45543	3771	212
0.467	57809	4524	199
0.52	43728	3438	229
0.58	68016	4775	210
0.631	40042	5344	215
0.683	55259	5187	178
0.781	77060	5271	232
0.834	48963	6231	201
0.887	32149	6555	181
0.936	34040	6195	193
0.99	36800	6362	193
1.039	47186	6194	170

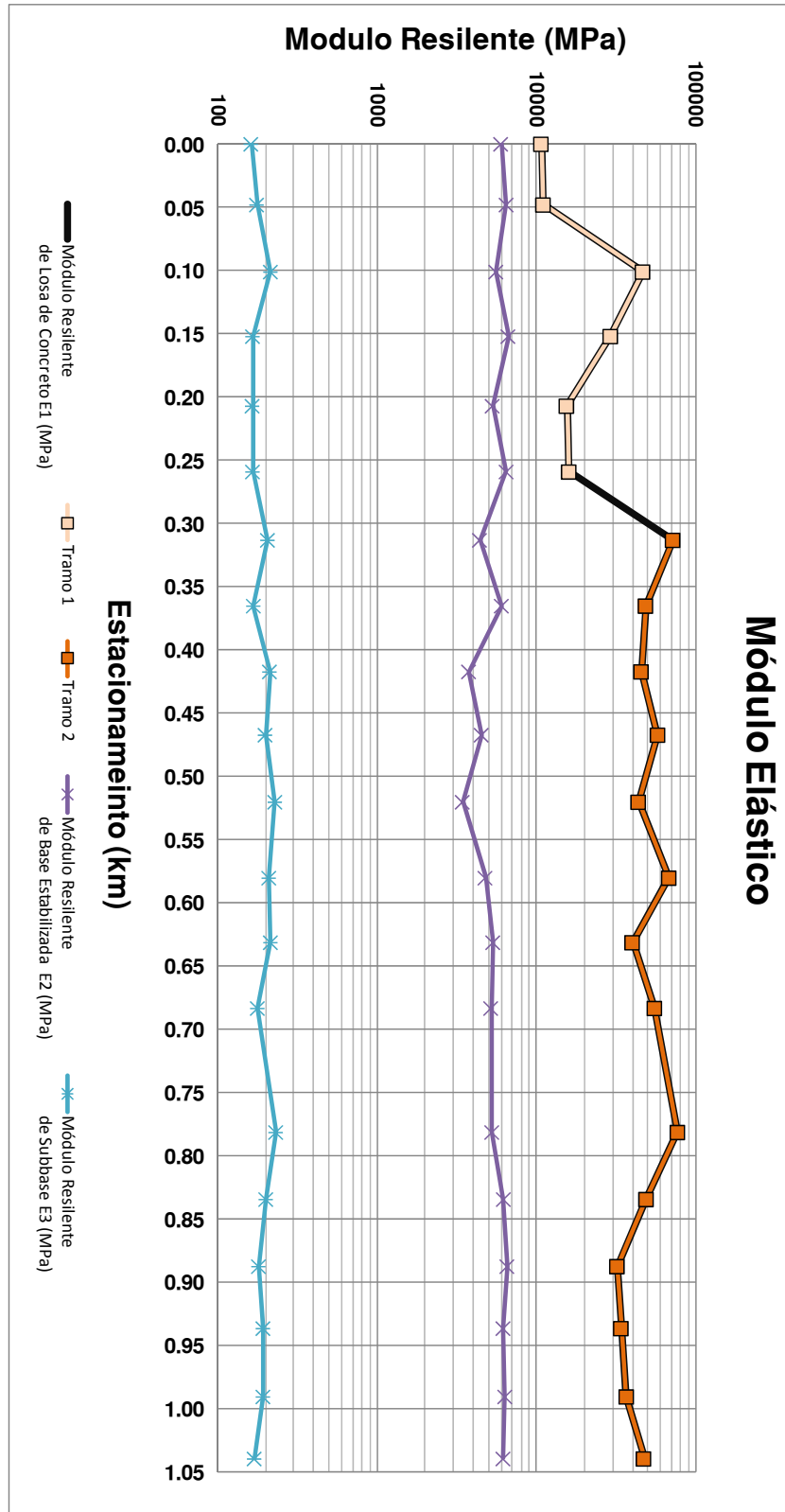


Figura 2.23. Gráfico de Módulos Resilientes para el tramo 204, sentido Zapote – San Francisco.

Cuadro 2.19. Tabla con resumen de Módulos de Reacción de subrasante k encontrados en el retrocálculo, tanto para la zona de la junta como el centro de las losas, para el tramo 204, sentido Zapote – San Francisco.

Estacionamiento	Módulo de reacción de subrasante	Módulo de reacción de subrasante	kj/kc
	k junta (kPa/mm)	k centro (kPa/mm)	
0.002	98.3	51.4	1.91
0.05	53	54.3	0.98
0.103	69.7	54.3	1.28
0.154	62.1	54.7	1.14
0.209	80.5	63	1.28
0.262	78.2	58.9	1.33
0.315	71	60.1	1.18
0.366	40.2	47.7	0.84
0.419	96.9	68.8	1.41
0.469	68.3	59.7	1.14
0.522	83.7	72.7	1.15
0.582	77.5	60.5	1.28
0.633	60.3	57	1.06
0.685	73.3	51.8	1.41
0.783	50.5	53.7	0.94
0.836	68.2	50.7	1.35
0.889	76.5	48.4	1.58
0.939	65	52.1	1.25
0.992	71.4	51	1.4
1.041	75.3	51.1	1.47

	N	Promedio	Desviación estándar
k junta *	20	69.6	1.235
k centro *	20	55.7	1.119

Cuadro 2.20. Tabla con resumen de Módulos Resilientes para el tramo 204B, sentido San Francisco - Zapote.

Resultados de Retrocálculo de Módulos			
Sentido San Francisco - Zapote			
Estacionamiento	Módulo Resiliente de Losa de Concreto	Módulo Resiliente de Base Estabilizada	Módulo Resiliente de Subbase
	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
0	53205	7348	174
0.053	15776	5026	196
0.16	30250	6612	178
0.212	49722	6206	196
0.265	58978	9177	178
0.359	47572	4997	226
0.415	52121	4083	209
0.466	32660	5306	186
0.524	22100	5748	160
0.579	23968	4151	197
0.629	35549	6826	196
0.682	57465	4853	184
0.735	116218	4265	232
0.84	99981	5061	188
0.894	60554	4933	229
0.947	42708	6249	203
0.995	50720	5585	215
1.049	41492	4929	219

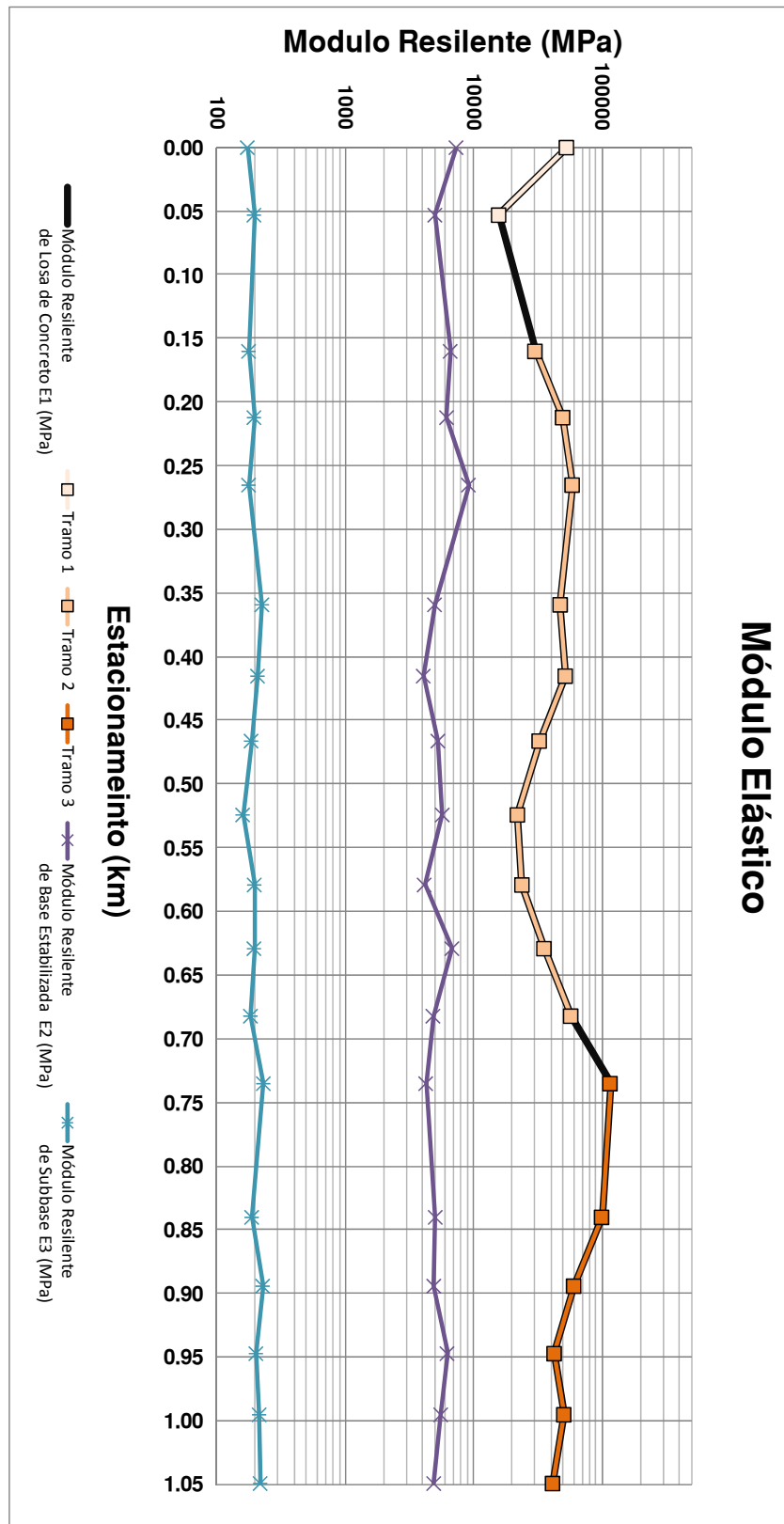


Figura 2.24. Gráfico de Módulos Resilientes para el tramo 204, sentido Zapote – San Francisco.

Cuadro 2.21. Tabla con resumen de módulos de reacción de subrasante k encontrados en el retrocálculo, tanto para la zona de la junta como el centro de las losas, para el tramo 204B, sentido San Francisco - Zapote.

Estacionamiento	Módulo de reacción de subrasante	Módulo de reacción de subrasante	kj/kc
	k junta (kPa/mm)	k centro (kPa/mm)	
0.002	30.7	39.2	0.78
0.055	79	62.9	1.26
0.162	60.2	57.5	1.05
0.214	52.3	46.7	1.12
0.267	26.9	36.5	0.74
0.361	79.9	58	1.38
0.417	69.1	63.7	1.09
0.468	59.4	62	0.96
0.526	46.8	56.3	0.83
0.581	104.9	72.5	1.45
0.631	41.2	51.1	0.81
0.684	67.9	54.5	1.25
0.737	47.8	48.5	0.99
0.842	68.3	45.9	1.49
0.896	78	58.1	1.34
0.949	66.9	52.7	1.27
0.997	53.3	53.4	1
1.05	48.2	59.5	0.81

	N	Promedio	Desviación estándar
k junta *	18	57	1.407
k centro *	18	53.7	1.187

Proyecto 211 – San Francisco – La Colina.

Cuadro 2.22. Tabla con el resumen de Módulos Resilientes para el tramo 211, sentido San Francisco – La Colina.

Resultados de Retrocálculo de Módulos			
Sentido San Francisco - La Colina			
Estacionamiento	Módulo Resiliente de Losa de Concreto	Módulo Resiliente de Base Estabilizada	Módulo Resiliente de Subbase
	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
0	37643	11333	130
0.051	49432	4883	260
0.103	42942	4997	214
0.156	16968	5539	202
0.209	64326	5298	224
0.261	45586	5725	206
0.313	48013	5749	200
0.371	53199	3298	271
0.423	43068	3879	244
0.476	42712	3618	246
0.531	35973	5667	238
0.58	16388	4312	196
0.632	48641	6566	217
0.683	43601	4423	219
0.738	74784	2975	294
0.788	36097	6394	222
0.839	70119	5239	203
0.891	27732	6623	207
0.941	32303	4835	211
0.994	42177	6480	253
1.047	19526	4669	192
1.099	22347	4935	239
1.15	28953	6206	217
1.202	41051	8239	197
1.251	42508	5931	208
1.304	45279	4775	235
1.373	63582	4429	250
1.405	118481	4553	293
1.458	87804	3896	289
1.524	71925	5278	229
1.577	53007	5585	238
1.629	30549	4202	201
1.683	26847	5410	202

Cuadro 2.23. Tabla con el resumen de Módulos de Reacción de subrasante k, encontrados en el retrocálculo, tanto para la zona de la junta como el centro de las losas, para el tramo 211, sentido San Francisco – La Colina.

Estacionamiento	Módulo de reacción de subrasante	Módulo de reacción de subrasante	kj/kc
	k junta (kPa/mm)	k centro (kPa/mm)	
0.001	23.4	27.2	0.86
0.053	67.2	57.1	1.18
0.105	68.6	59	1.16
0.159	39.1	49.9	0.78
0.212	72	55.2	1.3
0.263	74.3	53.2	1.4
0.315	91	50.5	1.8
0.373	103.6	73.8	1.4
0.425	111.9	70.9	1.58
0.478	116.1	69.2	1.68
0.533	38.4	53.3	0.72
0.582	67.1	62.8	1.07
0.634	61.5	45.4	1.36
0.686	45.7	59.2	0.77
0.74	111.8	77.1	1.45
0.79	74.1	49.2	1.5
0.841	74	45.1	1.64
0.893	66.8	56.9	1.17
0.943	86	59.4	1.45
0.996	67.6	52.9	1.28
1.048	111.8	60.1	1.86
1.101	83	59.2	1.4
1.152	51.3	49.7	1.03
1.204	34.8	41.3	0.84
1.253	68.2	53	1.29
1.306	82.1	62.2	1.32
1.375	73.6	54.3	1.36
1.407	54	51.7	1.05
1.46	52.1	57.1	0.91
1.526	59.7	55.7	1.07
1.579	50.1	49.4	1.02
1.631	48	59.6	0.8
1.685	50.3	47	1.07

	N	Promedio	Desviación estándar
k junta *	33	65	1.443
k centro *	33	54.5	1.206

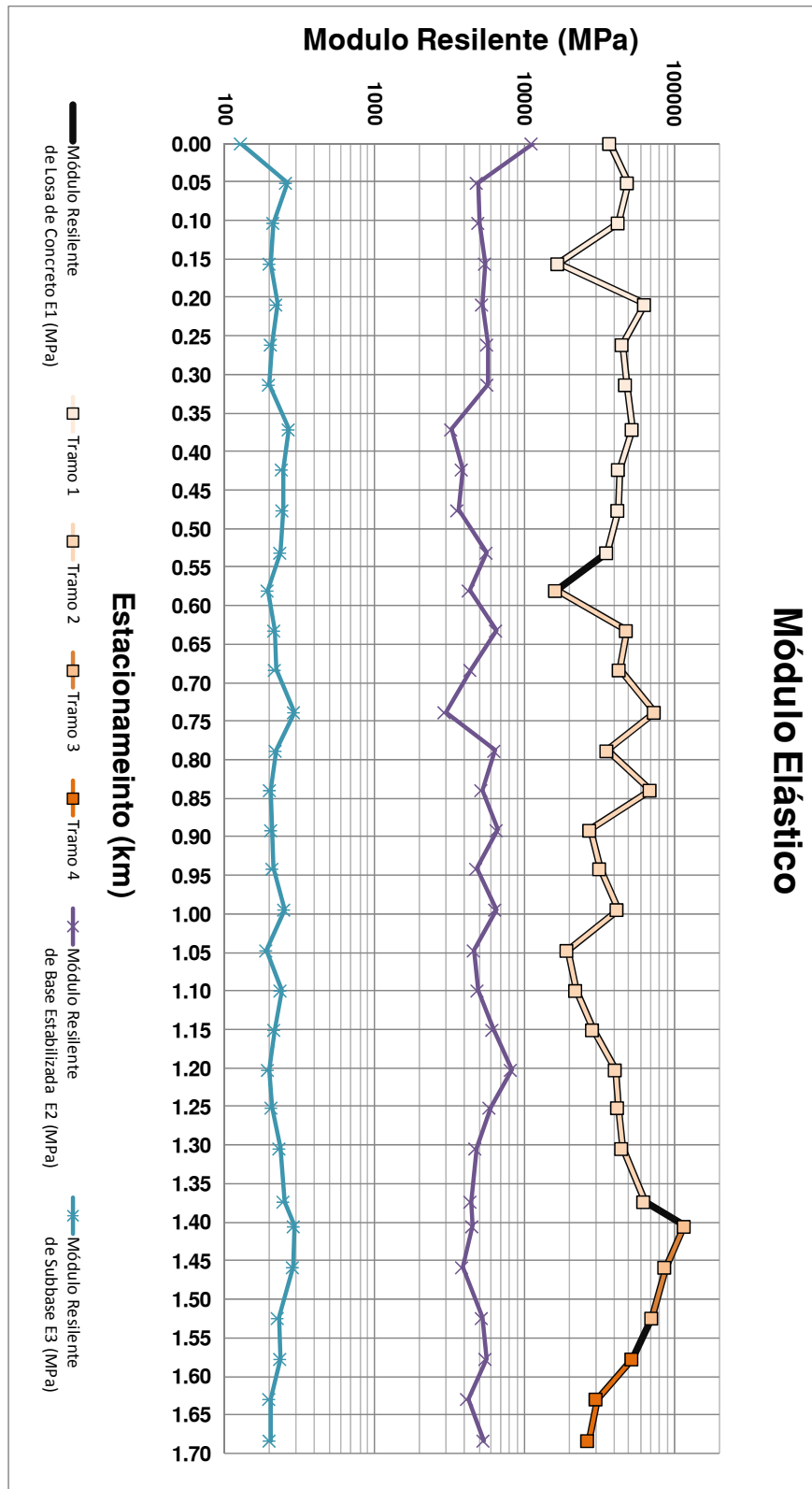


Figura 2.25. Gráfico de Módulos Resilientes para el tramo 211, sentido San Francisco – La Colina.

Cuadro 2.24. Tabla con resumen de Módulos Resilientes para el tramo 211, sentido La Colina - San Francisco.

Resultados de Retrocálculo de Módulos			
Sentido La Colina - San Francisco			
Estacionamiento	Módulo Resiliente de Losa de Concreto	Módulo Resiliente de Base Estabilizada	Módulo Resiliente de Subbase
	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
0	167404	13532	146
0.053	58069	6680	214
0.108	36533	4536	250
0.16	109606	3879	286
0.247	205406	6186	263
0.297	61613	5192	203
0.349	89259	4775	239
0.401	48516	4976	222
0.453	64601	4929	209
0.506	60419	4660	247
0.559	96626	5690	225
0.612	116885	4658	266
0.664	74970	3573	255
0.716	80014	6785	200
0.769	104785	4488	247
0.82	35265	6512	188
0.873	50549	5691	250
0.924	11008	6485	183
0.976	34728	4434	263
1.03	17356	3724	193
1.083	26452	5061	239
1.136	18978	4962	192
1.189	36082	4031	241
1.242	29817	5542	210
1.294	39923	5320	202
1.347	31670	5306	190
1.4	50781	4976	245
1.452	72177	6143	207
1.502	67981	4435	211
1.558	15781	5026	217
1.61	67583	5352	242
1.664	66223	5338	223
1.712	29086	5315	236

Cuadro 2.25. Tabla con el resumen de módulos de reacción de subrasante (K) encontrados en el retrocálculo, tanto para la zona de la junta como el centro de las losas, para el tramo 211, sentido La Colina - San Francisco.

Estacionamiento	Módulo de reacción de subrasante	Módulo de reacción de subrasante	kj/kc
	k junta (kPa/mm)	k centro (kPa/mm)	
0.002	14.9	21.1	0.7
0.055	73.5	46.3	1.59
0.11	112.7	65	1.74
0.162	67	57.8	1.16
0.249	48.4	41.3	1.17
0.299	97.4	52.2	1.87
0.351	102.8	58.2	1.77
0.403	107.9	63.6	1.7
0.455	73.2	53.8	1.36
0.508	92.3	54	1.71
0.561	81.3	54.4	1.5
0.613	87.7	51.6	1.7
0.666	107.2	65.4	1.64
0.718	79.4	47.3	1.68
0.771	81.2	58.2	1.4
0.823	68.9	53.5	1.29
0.875	82.7	58.5	1.41
0.926	157.7	63.4	2.49
0.978	140.1	82.9	1.69
1.032	91.3	68.8	1.33
1.085	101.2	63.9	1.58
1.137	91	66.2	1.38
1.191	105.2	75.1	1.4
1.244	77.6	65.2	1.19
1.296	108.2	61.5	1.76
1.349	81.1	57.5	1.41
1.402	110.2	66.4	1.66
1.454	72.3	49.3	1.47
1.504	82.8	55.2	1.5
1.56	78.9	62.3	1.27
1.612	111.2	62.5	1.78
1.666	91.1	57.1	1.6
1.715	53.4	62.1	0.86

	N	Promedio	Desviación estándar
k junta *	33	83.9	1.481
k centro *	33	57	1.254

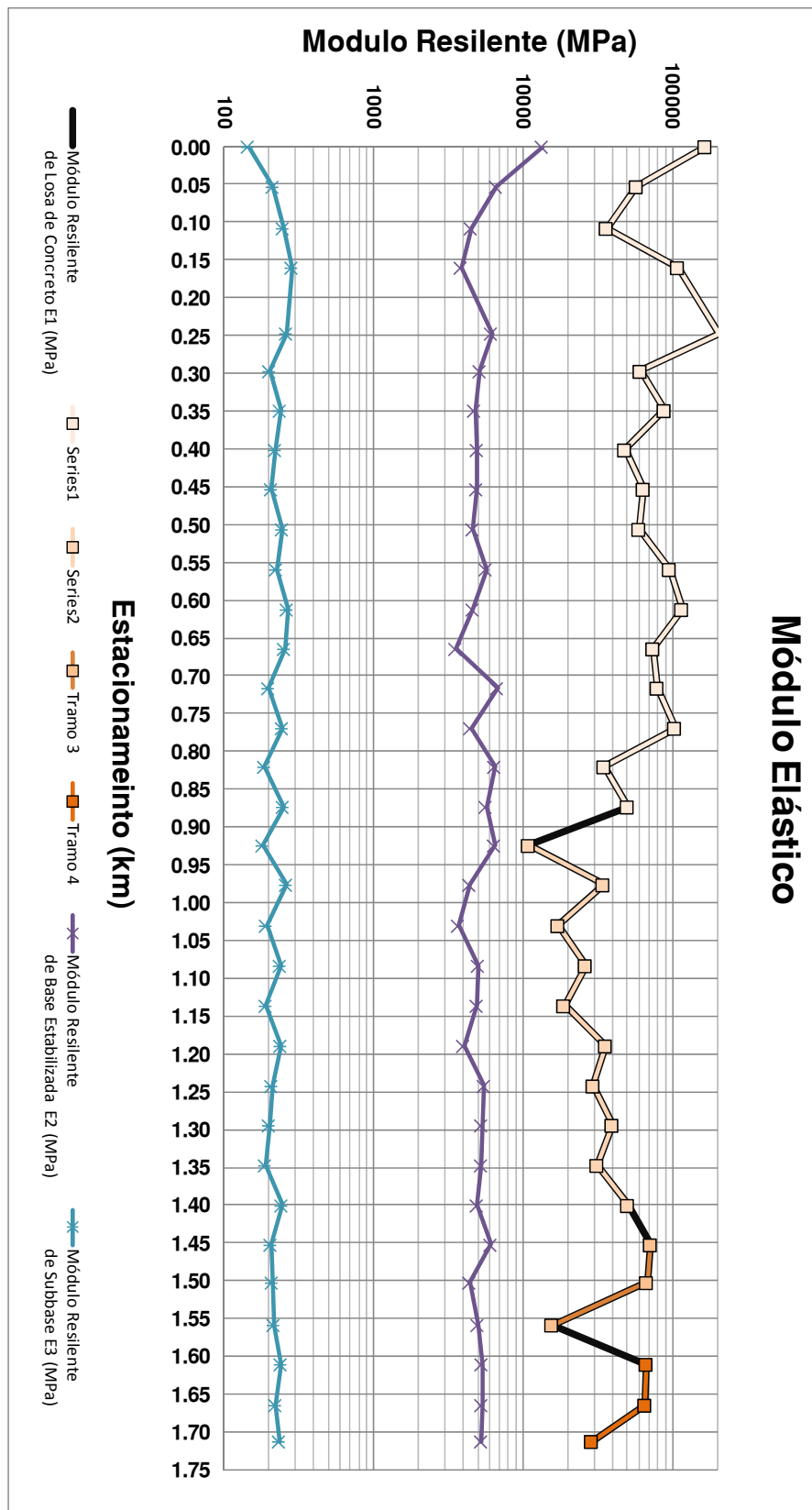


Figura 2.26. Gráfico de Módulos Resilientes para el tramo 211, sentido La Colina - San Francisco.

De los análisis estadísticos realizados con prueba de hipótesis.

$$H_0 = \mu \geq \text{VALOR TEÓRICO}$$

$$H_1 = \mu < \text{VALOR TEÓRICO}$$

$$\alpha = 0.05$$

Todas las pruebas de hipótesis son aceptadas. Tanto para la capa E1, que es la losa de concreto, E2 es la base estabilizada BE-35 y E3 que es la sub base.

Como se puede observar en las Figuras 2.27, 2.28, 2.29 y 2.30, el valor de H_0 es menor que el límite inferior del intervalo de confianza, lo que confirma la prueba de hipótesis H_0 , que establecía que la media de la muestra era mayor al valor teórico de diseño.

Lo que indica el resultado de este análisis, es que los módulos resilientes encontrados en el retrocálculo son aceptables para un nivel de confianza del 95%, dado que su valor medio es mayor o igual al valor teórico de diseño.

Por otra parte, es muy importante mencionar que en todos los tramos evaluados (204A, 204B, 211A y 211B) se observan algunos datos con módulos muy altos, posiblemente este problema se genere por utilizar un espesor tomado de planos que no corresponde a lo que se construyó en esas secciones.

De los análisis estadísticos realizados se obtienen los siguientes resultados para las pruebas de hipótesis.

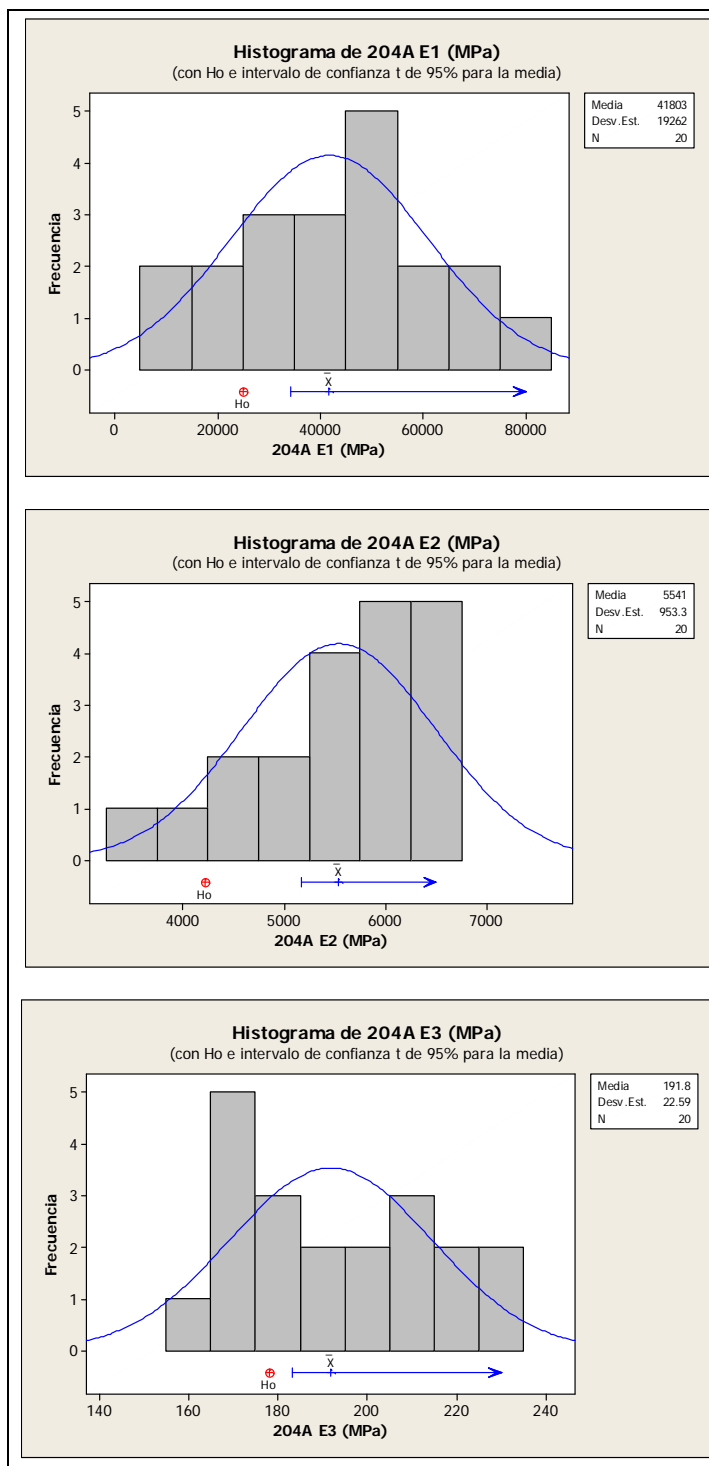


Figura 2.27. Gráficos de resultados de la prueba de hipótesis para los módulos resilientes del retrocálculo del tramo 204A.

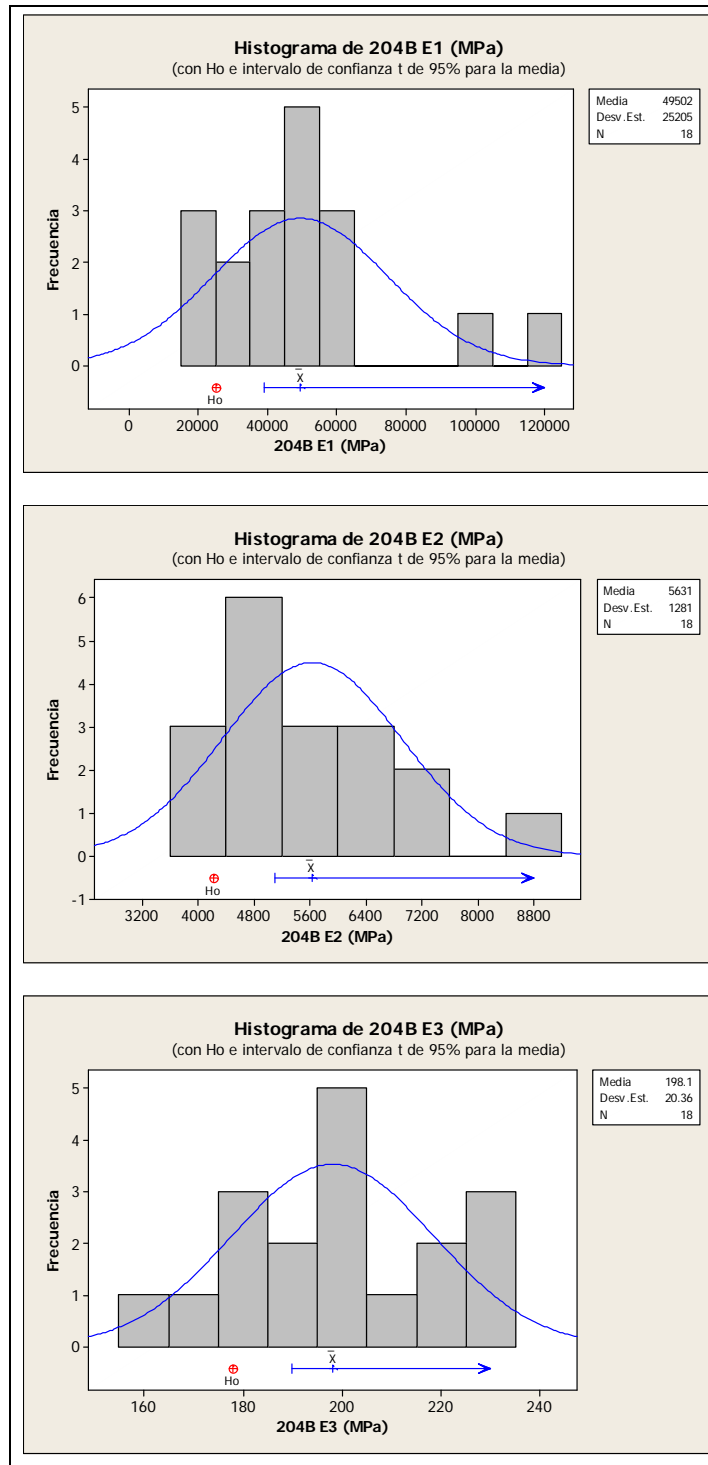


Figura 2.28. Gráficos de resultados de la prueba de hipótesis para los módulos resilientes del retrocálculo del tramo 204B.

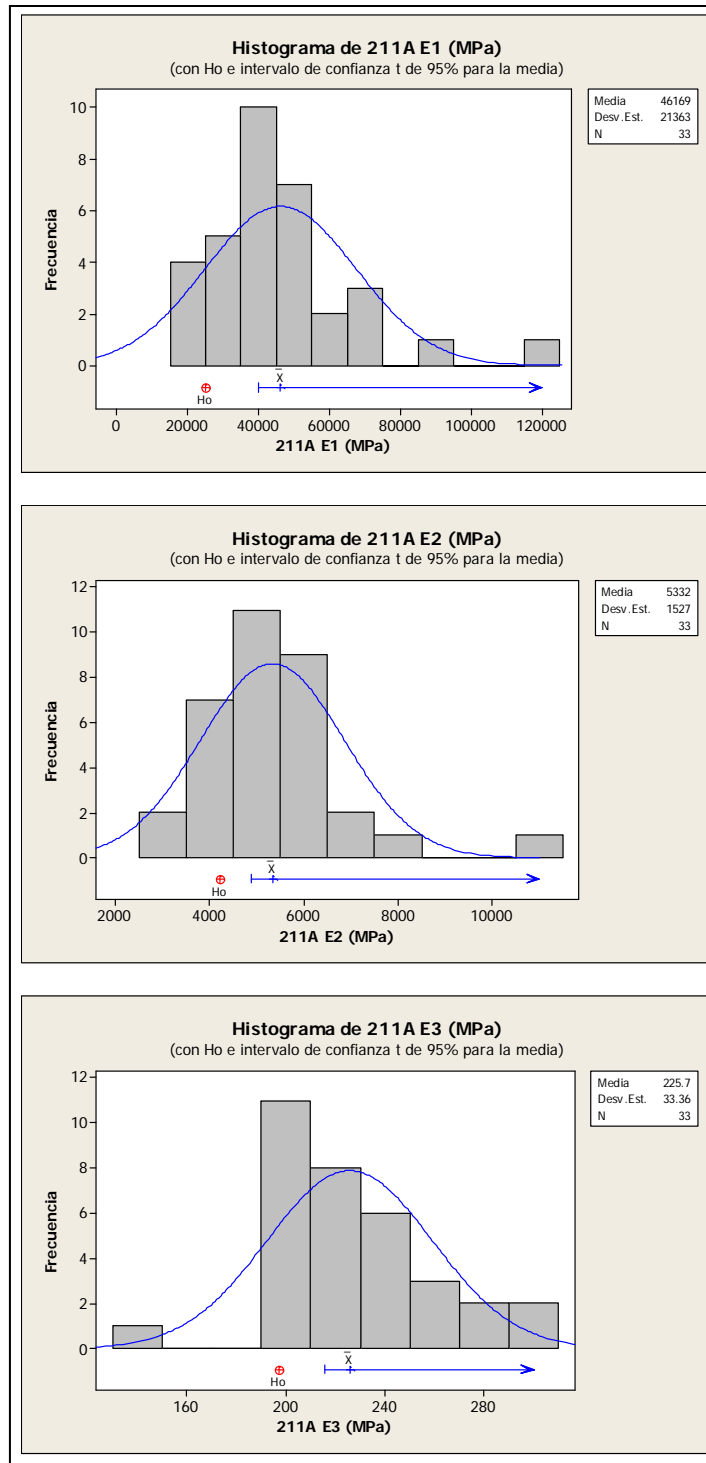


Figura 2.29. Gráficos de resultados de la prueba de hipótesis para los módulos resilientes del retrocálculo del tramo 211A.

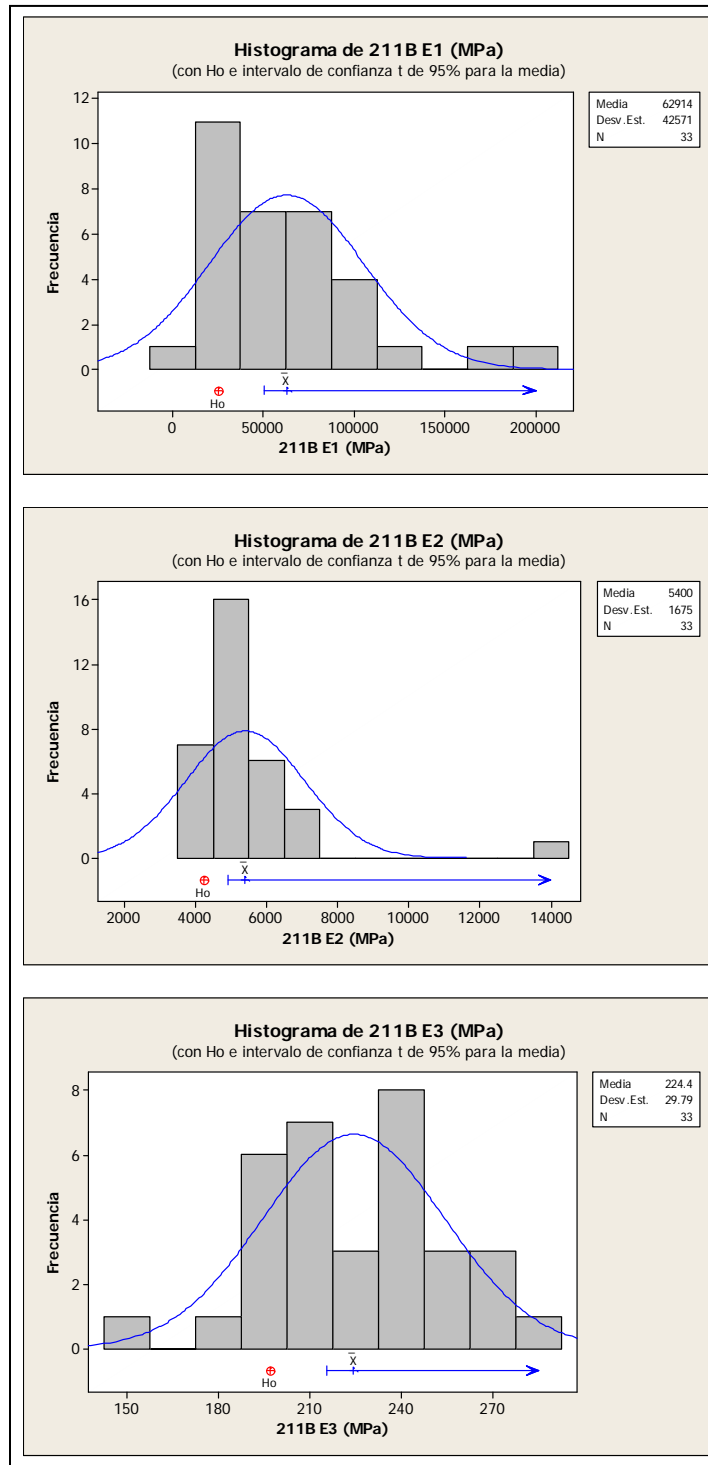


Figura 2.30. Gráficos de resultados de la prueba de hipótesis para los módulos resilientes del retrocálculo del tramo 211B.

2.5.2.4 Procedimiento para obtener el Módulo Elástico para diseño o rehabilitación.

La guía MEPDG recomienda un procedimiento para penalizar o ajustar los módulos elásticos encontrados directamente de proceso de retrocálculo. Este procedimiento se debe a que existen muchas características que influyen sobre el desempeño del concreto. Como por ejemplo las características específicas de los tipos de agregados, relaciones de agua-cemento, proporciones de pasta y agregado colocadas en sitio.

En un análisis mecanístico de la respuesta del pavimento de concreto, el módulo elástico del concreto (E_c) tiene una fuerte relación con la deflexión y los esfuerzos a los que se somete la estructura de pavimento. El alto valor de módulo elástico del concreto (comparado con las otras capas), hace que sea más susceptible a estas variaciones ocurridas en el proceso constructivo, y que en cierto grado sus variables no se pueden controlar por completo, por lo que la variabilidad a lo largo de la ruta es inevitable.

La guía MEPDG tiene un apartado específico en su parte 2, capítulo 2, para la caracterización del módulo elástico de pavimentos de concreto en servicio que se encuentren intactos o sin fallas evidentes. Las consideraciones principales que hay que tener en cuenta entre la caracterización de nuevos módulos y módulos para pavimentos existentes son que el módulo estimado para losas existentes, necesita ser ajustado para el daño que se ha sometido a la estructura de pavimento debido al tráfico y a los daños causados por el ambiente. Además es importante tener en consideración que el módulo adquirido o ganancia de módulo a través del tiempo no se considera debido a que el incremento no es significativo en los pavimentos de concreto.

A continuación se describe el procedimiento establecido por la guía MEPDG, en su parte 2, capítulo 2, para estimar el módulo elástico de pavimentos rígidos de concreto existentes para un nivel de información de nivel 1, que permite utilizar alternativamente pruebas no destructivas como la prueba de deflectometría.

Paso 1: Realizar la prueba de deflectometría en el centro de la losa. Estimar el valor promedio del proyecto del módulo elástico E_{TEST} utilizando el método de mejor ajuste para el retrocálculo de módulos (paso realizado con el software ELMOD6). Luego multiplicar este valor por 0,80 para obtener un valor estático del módulo elástico del pavimento de concreto intacto, sin agrietarse.

Paso 2: Determinar una condición general del pavimento existente utilizando las guías presentadas en la parte 2, capítulo 5 de la guía MEPDG. Se escoge un factor de condición del pavimento C_{BD} basado en la condición existe. Este paso se solventa con la información registrada de la auscultación visual realizada a los proyectos. Los posibles factores C_{BD} se presentan en el Cuadro 2.26.

Cuadro 2.26. Tabla con los valores recomendados del factor CBD. (Fuente: Tabla 2.5.15 de la guía MEPDG para determinar la condición del pavimento)

Descripción cualitativa de la condición del pavimento	Factor de condición recomendado, C_{BD}
Buenas	0,42 a 0,75
Moderada	0,22 a 0,42
Severa	0,042 a 0,22

Paso 3: Ajustar el módulo E_{TEST} encontrado en el paso 1, utilizando la siguiente ecuación para determinar el módulo elástico de la losa de concreto, en su condición existente.

$$E_{BASE/DISEÑO} = C_{BD}E_{TEST}$$

Esta condición del pavimento se realiza basándose en los lineamientos de la guía MEPDG

La guía MEPDG presenta una tabla con rangos de valores típicos como se muestra en el Cuadro 2.27.

Cuadro 2.27. Tabla con los rangos de valores recomendados de módulos de concreto. (Fuente: Tabla 2.5.15 de la guía MEPDG para determinar la condición del pavimento)

Descripción cualitativa de la condición del pavimento	Rangos de módulos típicos (MPa)
Adecuada	20 684 a 27 579
Marginal	6 895 a 20 684
Inadecuada	2 068 a 6 895

Resultados

Paso 1: Se utiliza el valor del módulo de proyecto el valor encontrado en el retrocálculo de módulos sin utilizar los tramos homogéneos que tentativamente se habían señalado. Se comparan los resultados y se decide que el valor para todo el proyecto es un valor adecuado y dentro de los valores esperados para el tipo de estructura que se está evaluando. Los resultados del retrocálculo de módulos se pueden consultar previamente.

Paso 2: Se determina la condición general pavimento utilizando los resultados de las evaluaciones realizadas en el proceso de auscultación visual y recopilación de datos importantes y necesarios para establecer una condición general del pavimento. Como se trata de un pavimento relativamente nuevo, no se aprecian daños considerables y su condición general es que se encuentra en buen estado, independientemente de las deficiencias o carencias constructivas que sufren ambos proyectos, 204 y 211, la condición general de las losas es de buen estado. Se le asigna el valor más alto recomendado, 0,75.

Paso 3: Los resultados de los módulos elásticos corregidos para simular la condición existente de las losas se resumen en el Cuadro 2.28 para la ruta 204 y en el Cuadro 2.29 para la ruta 211.

Cuadro 2.28. Módulos elásticos corregidos para la Ruta 204.

<i>Ruta 204 Zapote – San Francisco (204A)</i>	
Caída 9 (16kips)	
Módulo Elástico E_{Base/Diseño} (MPa)	
21 882	
 <i>Ruta 204 San Francisco – Zapote (204B)</i>	
Caída 9 (16kips)	
Módulo Elástico E_{Base/Diseño} (MPa)	
26 514	

Cuadro 2.29. Módulos elásticos corregidos para la Ruta 211.

<i>Ruta 211 San Francisco – La Colina (211A)</i>	
Caída 9 (16kips)	
Módulo Elástico	
E_{Base/Diseño} (MPa)	
25 149	
<i>Ruta 211 La Colina - San Francisco (211B)</i>	
Caída 9 (16kips)	
Módulo Elástico	
E_{Base/Diseño} (MPa)	
30 683	

Como una parte complementaria al análisis, los valores retro-calculados se pueden comparar con valores típicos de los materiales con el propósito de identificar capas de materiales débiles y establecer o formar un criterio general sobre la condición estructural del pavimento. La guía MEPDG sugiere utilizar los valores típicos encontrados en la base de datos de la LTPP (*Long Term Pavement Performance*).

Los materiales de los dos proyectos evaluados son prácticamente los mismos, se tienen las siguientes capas de materiales:

1. Losa de concreto portland.
2. Base estabilizada con cemento.
3. Subrasante de material limo arcilloso inorgánico de mediana plasticidad

En el Cuadro 2.30 se pueden observar los valores típicos que sugiere la guía MEPDG como valores típicos de los materiales citados.

Cuadro 2.30. Valores típicos de materiales de pavimentos obtenidos de ensayos de laboratorio o del retrocálculo. (Fuente: Tablas 2.5.17 y 2.5.18 de la guía MEPDG)

Variable de Medición	Tipo de Material	Rango de valores de la prueba		
		Bajo	Alto	Normal
Módulo, Mpa	Losas de Concreto Portland	20 684	51 711	31 026
Módulo Resilente, Mpa	Base Estabilizada con Cemento	1 724	6 895	4 137
Módulo de reacción k, kPa/mm	Arcilla de Moderada Plasticidad	6,786	58,36	32,57

Los resultados obtenidos del retrocálculo de módulos se resumen en el Cuadro 2.35

Cuadro 2.31. Resumen con los resultados del retrocálculo de módulos para la losa concreto, base estabilizada y módulo de reacción de la subrasante K.

Proyecto	Variable de Medición	Tipo de Material	Valor Obtenido
204A	Módulo, Mpa	Losas de Concreto Portland	21 882
	Módulo Resilente, Mpa	Base Estabilizada con Cemento	5 453
	Módulo de reacción k, kPa/mm	Arcilla de Moderada Plasticidad	55,64
204B	Módulo, Mpa	Losas de Concreto Portland	26 514
	Módulo Resilente, Mpa	Base Estabilizada con Cemento	5 508
	Módulo de reacción k, kPa/mm	Arcilla de Moderada Plasticidad	53,73
211A	Módulo, Mpa	Losas de Concreto Portland	25 149
	Módulo Resilente, Mpa	Base Estabilizada con Cemento	5 155
	Módulo de reacción k, kPa/mm	Arcilla de Moderada Plasticidad	54,55
211B	Módulo, Mpa	Losas de Concreto Portland	30 683
	Módulo Resilente, Mpa	Base Estabilizada con Cemento	5 233
	Módulo de reacción k, kPa/mm	Arcilla de Moderada Plasticidad	56,99

Al comparar los datos de los Cuadros 2.30 y 2.31 se observa que los cuatro módulos para el concreto encontrados en el retrocálculo están dentro del rango entre bajo y normal. Esto se debe probablemente al uso que han tenido las estructuras en operación. Es importante recordar que estos módulos fueron penalizados debido a este deterioro. Los módulos encontrados directamente del retrocálculo son mayores, con valores desde 36 469 MPa hasta 51 137 MPa, valores que evidentemente son elevados y conllevarían a un análisis erróneo al suponer estructuras en un estado mejor a las que se encuentran en

funcionamiento. Esto demuestra que es correcto el uso de la penalización por el factor para ingresar el deterioro al modelo.

En cuanto a los datos para la base estabilizada, se observa que los valores para el módulo están dentro del rango entre normal y alto. Podría indicar una buena construcción de la base, el uso de los materiales correctos especificados, y más importante que no ha sufrido mayor deterioro. Se podría suponer que el sistema drenajes existente está funcionando correctamente protegiendo la erosión en la base y capas inferiores.

El módulo de reacción de la subrasante k también es alto, esto puede ser porque el material es mejor que al que se relaciona en el Cuadro 2.30. El material que se encuentra en las rutas 204 y 211 es un limo arcilloso inorgánico de mediana plasticidad y en el Cuadro 2.31 se muestran valores para arcillas de moderada plasticidad.

El software ELMOD6 calcula los módulos de reacción k en el centro de la losa y en la juntas. Como se puede observar en los Cuadros 2.19, 2.21, 2.23 y 2.25 el programa genera en sus resultados una relación entre el módulo de la junta y el del centro de la losa. Se observan valores mayores a 1,0 en la mayoría de las estaciones donde se realizó la prueba, lo que indica que hay mayor soporte en las juntas que en el centro de la losa.

2.5.3 Modelado de elemento finito en ISLAB2000.

El análisis de elemento finito ha probado que es una herramienta confiable a la hora de resolver muchos problemas de ingeniería incluyendo las respuestas de los pavimentos de concreto como el cálculo de esfuerzos y deflexiones bajo la influencia las cargas del tránsito y factores climáticos.

El programa de software ISLAB2000 es de análisis de elemento finito especialmente diseñado con la intención de modelar estructuras de pavimentos rígidos.

Este trabaja en un sistema de coordenadas en dos dimensiones, X y Y. A partir de una geometría que ingresa el usuario se genera una malla con una densidad de nodos especificada por el usuario. Esta malla de nodos se autogenera con la condición de que en cada junta entre losas y esquinas de losas haya un nodo en esa coordenada.

En su computación genera los siguientes resultados para cada uno de los nodos:

- Esfuerzos en ambas coordenadas, X y Y.
- Esfuerzos principales.
- Deflexiones (Arriba, Abajo).

A continuación se describe de manera detallada los pasos a realizar para ingresar los datos en el programa ISLAB2000 para generar y evaluar el modelo de elemento finito de las losas de pavimentos rígidos.

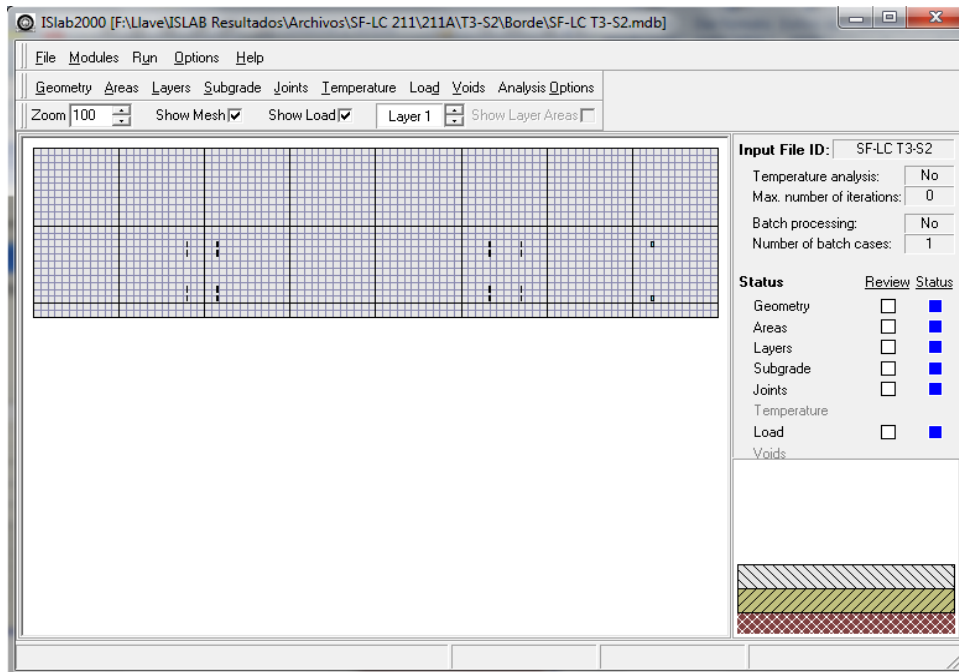


Figura 2.31. Pantalla principal del programa de software ISLAB2000

Las pestañas o ventanas que aparecen en el programa son:

“Geometry”o Geometría: En esta pestaña del programa se ingresan los datos de la geometría de las losas. Lo primero que hay que tener presente es que el programa funciona en dos dimensiones, las coordenadas X y Y. Es importante manejar este arreglo para ingresar futuros datos al programa. Además el programa utiliza unidades imperiales por lo que se deben ingresar las dimensiones en pulgadas.

Para la creación del modelo para representar las rutas de los proyectos 204 y 211 se ingresó una geometría de 8 losas en el eje Y, que para efectos de la evaluación representa el sentido de conducción del tránsito. Se utilizan 8 losas porque son las necesarias para que el camión de diseño evaluado quede contenido dentro del arreglo de losas. Estas losas conforman la superficie donde se colocará posteriormente la carga y son representativas del carril externo. Para que el modelo sea más representativo se recomienda insertar losas adyacentes a las evaluadas, que se utilizan para transferir esfuerzos y desplazamientos con el fin de impedir que se generen sobre-esfuerzos y/o desplazamientos excesivos. Ya que si no se insertan estas losas límites, las losas evaluadas, específicamente sus nodos límite no tendrían restricciones y se evaluarían como una especie de voladizos.

No se deben ingresar más losas o datos de los necesarios. Esto ingresaría datos inútiles o basura al programa y en un caso como el presente, en donde se tienen que ejecutar varias iteraciones del programa, estos datos basura se traducen en más tiempo de computación.

Cuando la geometría es correcta, se procede a generar la malla que posteriormente se utiliza para evaluar los nodos de cada elemento finito. Se puede escoger la densidad de la malla en función del grado de precisión que se quiera utilizar. Para la evaluación de los modelos generados, se utiliza una malla de media densidad, es la opción predeterminada del software y es recomendada. No se probaron otras densidades de malla puesto que no era parte del objetivo del trabajo verificar resultados del programa de software ISLAB2000 aplicando criterios de variabilidad en sus opciones para la computación de datos.

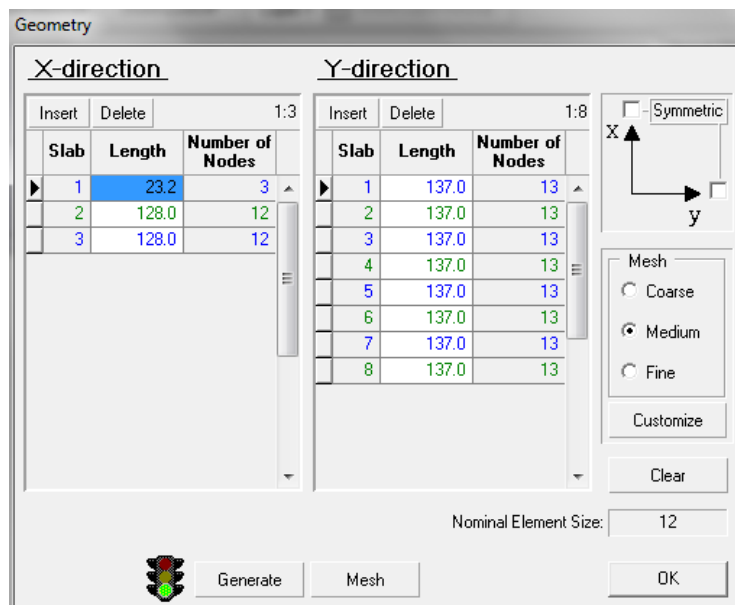


Figura 2.32. Pantalla de Geometría del software ISlab2000.

“Areas” o Áreas: Principalmente esta opción se utiliza para establecer diferentes áreas de la malla generada. Esto con el fin de evaluar diferentes condiciones. Se utiliza esta opción si se pretende utilizar la opción de “Voids” o vacíos, ya que se asignan zonas de vacíos en áreas identificadas. De lo contrario, si en el ensayo de deflectometría no se identificaron vacíos o no se realizó esta prueba, no es necesario utilizar esta opción.

“Layers” o Capas: En esta pestaña se ingresan en el programa las diferentes capas que tiene la estructura de pavimentos rígidos. En el modelo, la capa 1 son las losas de concreto, la capa 2 es la base estabilizada. A cada una de estas capas se le ingresan los espesores y las características de los materiales. Recordar que las unidades se deben ingresar en el sistema imperial.

Los espesores ingresados son de los datos recolectados de los planos constructivos. En una futura evaluación se recomienda utilizar un penetrómetro de radar *GPR* o realizar ensayos destructivos como el muestreo por medio de núcleos para asegurarse de los espesores y la incertidumbre de no estar completamente seguro de los espesores y así poder detectar problemas de variabilidad de las capas a lo largo de los tramos a evaluar.

En relación con los módulos de elasticidad, se ingresan los datos obtenidos del retrocálculo de módulos. Se pueden observar en el Cuadro 2.35

En cuanto las demás características, coeficiente de Poisson, coeficiente de expansión térmica y peso unitario del material se ingresaron datos típicos recomendados por la guía MEPDG, que se obtienen del capítulo 2, parte 2 de Materiales, en las tablas 2.2.29, 2.2.37 y 2.2.38.

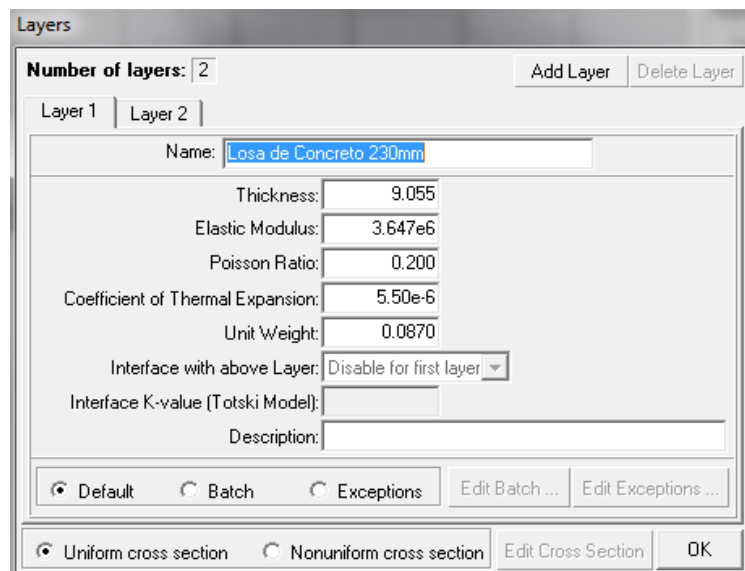


Figura 2.33. Pantalla de Capas del programa de software ISLAB2000.

La interface entre capas se modela como desligada. La guía MEPDG en el capítulo 4 de la parte 3, páginas 3.4.42 y 3.4.48, establece un periodo máximo de 5 años para considerar

la interacción de las losas con la base como ligada. La uniformidad de la base es lo que permite que se considere esta interface como ligada, en especial si es pavimento asfáltico. Al transcurrir el tiempo la interface ligada pasa a ser una interface desligada. Se decide modelar la interacción como desligada, esto debido a que a pesar de existir una capa delgada de asfalto entre la base estabilizada y las losas de concreto, se considera que ha pasado un tiempo considerable de aproximadamente 3 años entre la construcción y las pruebas de FWD. Además es conocido que la base estabilizada y esta capa de asfalto estuvieron expuestas al tránsito más del tiempo recomendable, por lo que los posibles deterioros sufridos se penalizan ingresando este factor de esta forma. Utilizar una interacción desligada implica que las dos capas están completamente desligadas pero no se permiten separación entre las capas y se asume un perfil de deflexiones iguales para ambas capas. (Fuente manual del ISLAB)

"Subgrade" o Subrasante: Se selecciona el modelo que se pretende utilizar para simular la subrasante. Por recomendación del programa se utiliza el modelo de Winkler, esto debido a su rigurosidad y precisión, además de que el programa ELMOD6 utiliza este mismo modelo para realizar el retrocálculo de módulos. Para este se tiene que ingresar el módulo de reacción k, en unidades imperiales (psi/in). Los datos ingresados para el módulo de reacción de la subrasante k, son los obtenidos del retrocálculo de módulos.

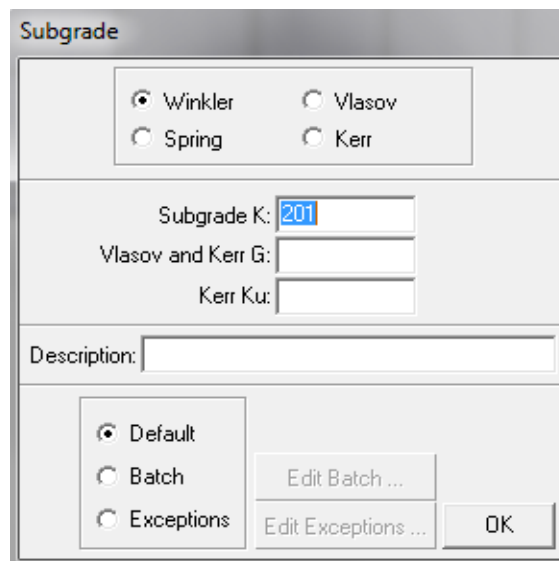


Figura 2.34. Pantalla de Subrasante del programa de software ISLAB2000.

“Joints” o Juntas: En esta pestaña del programa se ingresan las características de la interacción en las juntas entre losas. Existen dos opciones, se puede ingresar directamente el valor de eficiencia de transferencia de carga o se pueden especificar las características de los pasa juntas o dovelas, como dimensiones, espaciamiento, propiedades de materiales. Esto con el fin de que el programa simule la interacción en la junta entre losas.

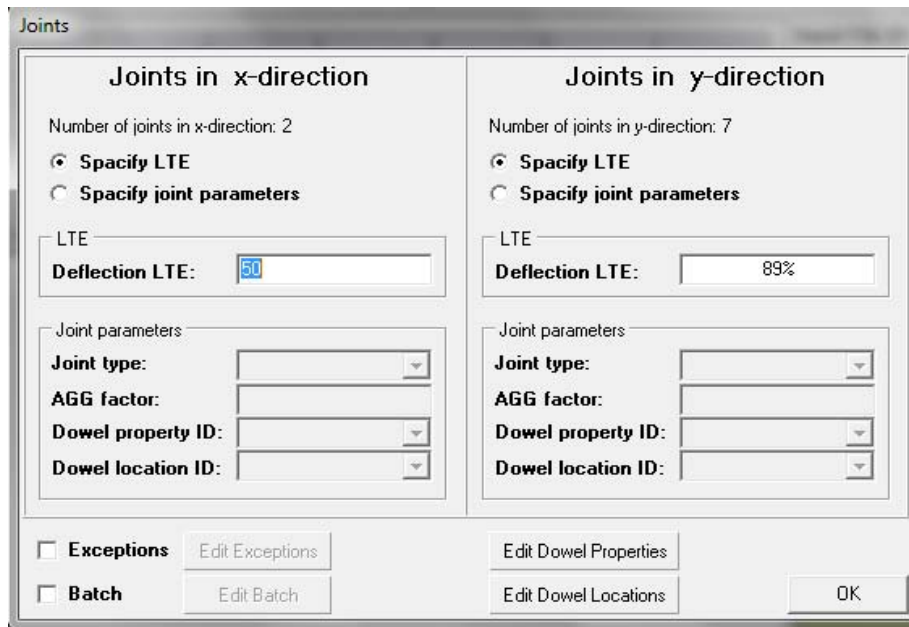


Figura 2.35. Pantalla de Juntas del programa de software ISLAB2000.

Como el propósito del presente trabajo es de evaluación, es indispensable ingresar el dato de LTE de proyecto encontrado previamente en los ensayos FWD realizados en sitio.

La guía MEPDG en su capítulo 4, parte 3.4.4.9, recomienda modelar las juntas transversales losa-loa con un 50% de LTE cuando estas estén unidas por barras. Además en el caso de la junta entre la losa del carril externo y la del espaldón, en el caso de los proyectos evaluados un cordón de caño y acera, sugiere utilizar un 10% de LTE en lo que llama “otro tipo de espaldón” que sea sin barras. Este 10% se utiliza considerando el soporte que puede generar la extensión de la base bajo estas estructuras.

En el programa se pueden ingresar diferentes valores de LTE en cualquiera de los dos sentidos, se accede a la pestaña de “exceptions” o excepciones y aquí se ingresa el valor de LTE que se requiera sea diferente. En el caso del modelo, se ingreso el 10% para la

interacción de las losas con el bordillo de caño/acera asignando a las juntas 1, en el sentido del eje X, las juntas 2 del modelo serían las juntas losa-losa entre carriles.

“Temperature” o Temperatura: En esta pestaña se ingresan los datos requeridos para realizar un análisis por temperatura del modelo. Es opcional ejecutar el análisis por temperatura. Si se selecciona realizar el análisis por temperatura se puede escoger entre tres tipos de análisis: Lineal, Cuadrática y No-Lineal.

No se pudo encontrar un procedimiento para realizar un ensayo en sitio para adquirir datos de temperatura del pavimento rígido. Se consultó con los expertos del ICYCC y se consultaron diferentes documentos, incluyendo la guía MEPDG, ésta sí incluye metodologías para tomar los datos en sitio pero únicamente en tramos para estudio y calibración de parámetros con sensores dentro de las losas colocados previamente a su colado. Metodologías para evaluación en sitio, no se encontraron.

El programa de software que se emplea simultáneamente con la guía MEPDG para diseñar o rehabilitar pavimentos utiliza modelos matemáticos que simulan el efecto del clima en las losas de concreto, el software adquiere información histórica climática de toda una red de estaciones climatológicas desplegadas a lo largo de los Estados Unidos de América, como la humedad, la temperatura, incidencia de los rayos del sol, histórico de precipitaciones, entre otros. Automáticamente adquiere la información de las estaciones más cercanas y hace las evaluaciones pertinentes con solo suministrar las coordenadas geográficas y altitud.

El deflectómetro de impacto con el que se hicieron los ensayos si puede medir la temperatura superficial del pavimento, sin embargo únicamente este dato no sirve de mucho ya que como mínimo se requiere la diferencia de temperaturas entre la parte superior e inferior de las losas.

Como alternativa se procedió a consultar la literatura disponible para obtener resultados de otros trabajos realizados con el fin de establecer un rango de temperatura para poder utilizar en el modelo para las computaciones en el programa ISLAB2000. Se encontraron parámetros característicos de la región (11), este indica los siguientes gradientes:

- Gradiente térmico Positivo: 0 a + 4 °F/in
- Gradiente térmico Negativo: - 4 °F/in

Se incorporan estos datos en el modelo para realizar la evaluación utilizando el modelo lineal y se utiliza como la temperatura referencia la que mide directamente el equipo de FWD a la hora de realizar el ensayo. Para las evaluaciones realizadas el valor promedio es de 24,5° C (76,10° F) y constante en todas las mediciones para ambas rutas, esta medición se realizó en horas de la noche y con lluvia leve. Para modelar el gradiente positivo se usa como temperatura de referencia 86° F (30° C).

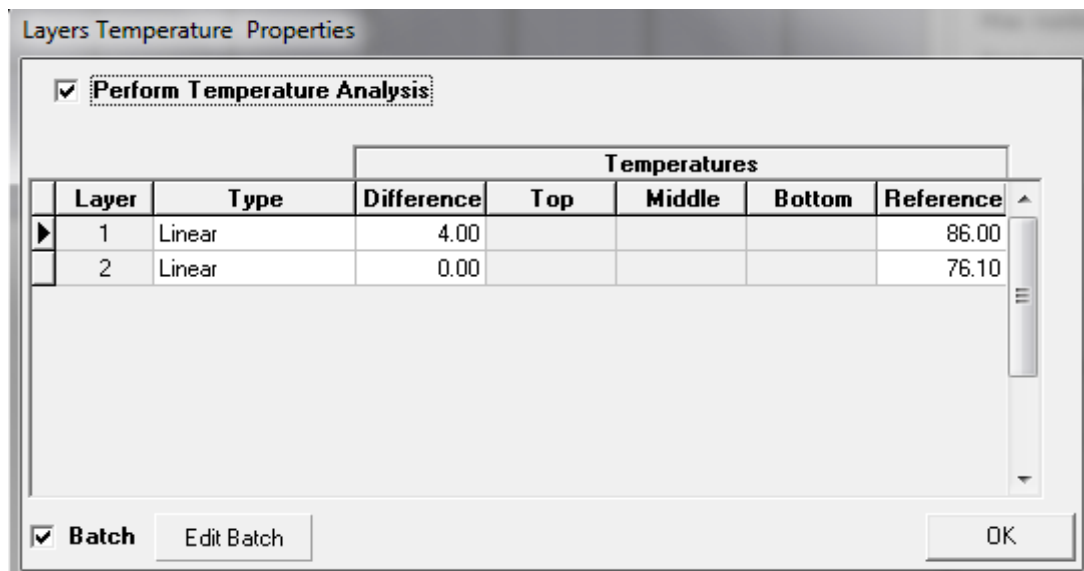


Figura 2.36. Pantalla de Temperatura del programa de software ISLAB2000.

“Load” o Cargas: Esta es una de las pestañas más importantes del programa ya que se ingresan las cargas en el modelo. Para ingresar estas cargas al modelo se hace mediante camiones de diseño. De igual forma el programa ISLAB2000 permite ingresar ejes de diseño o hasta una sola llanta.

A continuación se describe de manera más extensa el término y utilidad del camión de diseño.

2.5.3.1 Camión de diseño

Para la finalidad del presente trabajo se designa con el nombre de camión de diseño a la distribución geométrica de los ejes. Este se utiliza para ingresar las cargas al programa de software ISLAB2000 basándose en lo que legalmente rige en Costa Rica como carga máxima permitida y dimensiones máximas permitidas. Se utilizan el Autobus, Camión C2, Camión C3 y Camión de 5 ejes T3 –S2, que se consideran los más críticos para evaluar las condiciones en el modelado de los pavimentos rígidos.

La información se puede acceder públicamente en la página web del CONAVI. Las dimensiones máximas permitidas por ley son 2,60 metros de ancho y 21,0 metros de largo, con una altura máxima de 4,15 metros. El peso máximo autorizado es de 39 toneladas.

Es importante mencionar que existen otros vehículos que posiblemente circulen en las vías del territorio nacional que puedan generar escenarios más críticos que el vehículo escogido. Para citar algunos ejemplos como vehículos de carga especiales, grúas móviles especiales, etc. Sin embargo por ser poco comunes se consideran despreciables para el análisis dado que para el desarrollo del modelo se buscan resultados que representen en mayor grado la realidad de las rutas evaluadas.

Ejemplo: Camión de diseño T3-S2

Este es el camión más crítico, por esto se toma como modelo para ejemplificar los requisitos que se requieren ingresar en el programa de software ISLAB2000. La distribución de ejes corresponde a un eje sencillo direccional y dos ejes duales tándem, uno en la parte posterior del tracto camión y el otro en la parte posterior del semirremolque. Las cargas en los ejes son 6,0, 16,5, y 16,5 toneladas respectivamente y el peso máximo autorizado es de 39,0 toneladas.

Se utiliza por ser el camión generalmente utilizado a nivel mundial como camión de diseño (de 18 ruedas) y además se considera crítico para fines de este trabajo debido a que es el camión más común que transita en el territorio nacional que tiene la relación más alta de peso total entre total de ruedas. En la figura 2.37 se puede observar un esquema general del Camión de diseño T3-S2.

Camión de diseño **T3 - S2**

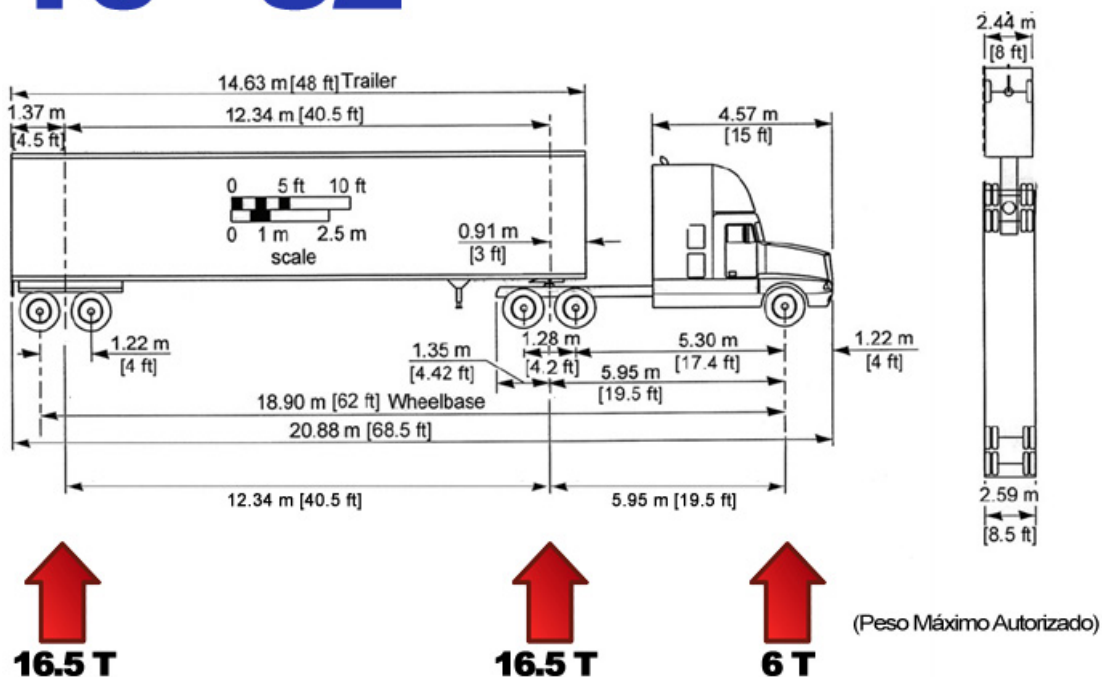


Figura 2.37. Esquema general del Camión de diseño T3-S2. (Fuente: Exhibit 2-15, A policy on geometric design of highways and streets, AASTHO 2004. Modificada por el autor con los pesos máximos autorizados por el CONAVI)

Un factor que se debe tener muy presente es que se deben ingresar los valores de las dimensiones del Camión de diseño en pulgadas en el ISLAB2000, esto porque utiliza unidades imperiales en lugar de las unidades del sistema internacional.

Dimensiones del eje en el sentido perpendicular del camión.

Se hizo un esfuerzo considerable al buscar en la literatura las dimensiones en sentido perpendicular del camión. Se consultaron manuales de diseño geométrico (8) y la guía MEPDG, específicamente el capítulo 2, parte 2.4.5.4, sin embargo lo único que se establecen son valores recomendados. Se optó realizar una medición manual en varios semirremolques y camiones y se encontraron mediciones muy similares por lo que en conclusión se utilizan valores promedios presentados en la Figura 2.38.

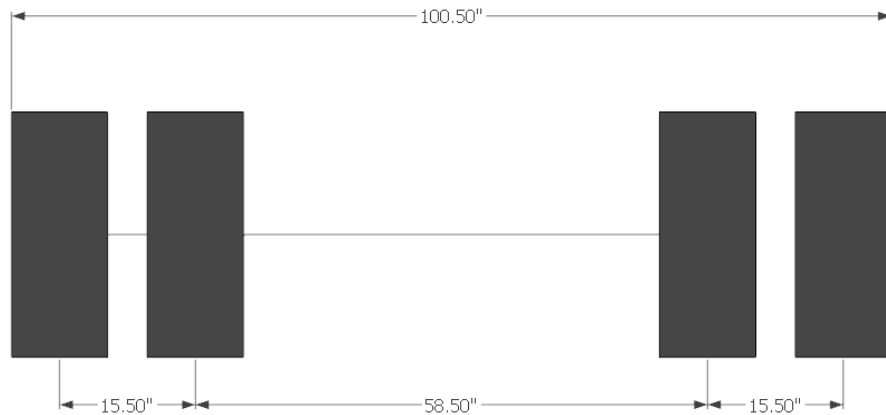


Figura 2.38. Esquema general de las dimensiones del eje dual en el sentido perpendicular del semirremolque.

Otros datos que hay que ingresar en el programa son la presión de inflado de las llantas y el ancho de la llanta o la relación diámetro/ancho, solamente alguno de estos dos.

Presión de inflado de las llantas:

La presión de inflado de las llantas se sugiere utilizar 120 psi, que es la presión de inflado típica ya con las ruedas calientes. (Fuente Parte 3.4.21 y Tabla 2.4.14 de la guía MEPDG)

Diámetro y ancho de las llantas:

Se utiliza un ancho de llantas de 11 pulgadas y un diámetro de 40 pulgadas. (Fuente: Tabla 2.4.13 de la guía MEPDG)

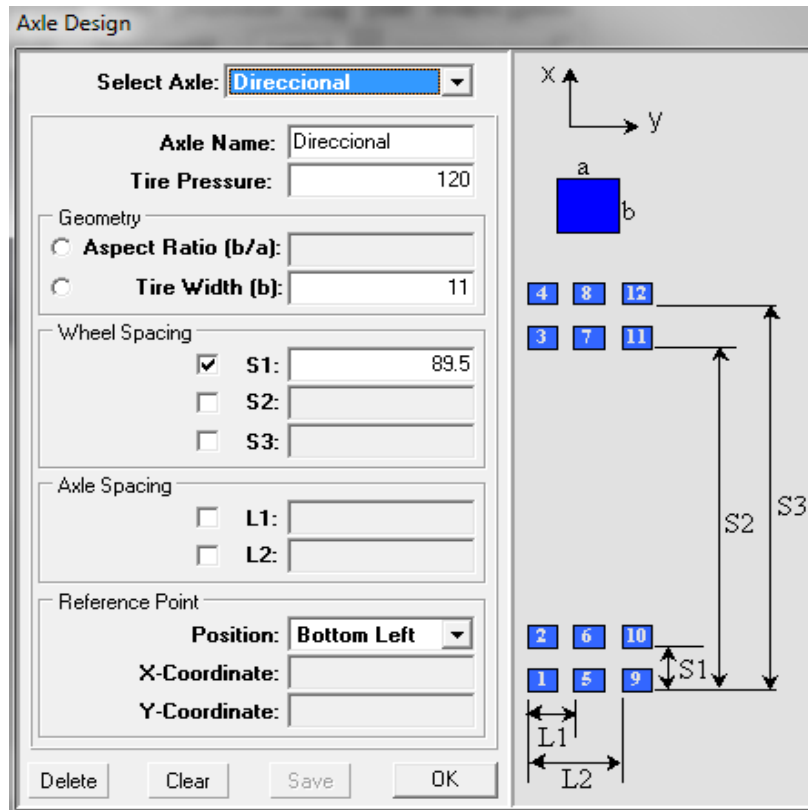


Figura 2.39: Pantalla de Diseño de Ejes del programa de software ISLAB2000.

Es importante resaltar que en este programa se trabaja con un sistema de ejes X-Y global. De igual forma en esta pestaña hay que respetar estas coordenadas y tanto para los ejes como los camiones de diseño se les hace referencia a un punto predeterminado que es la posición inferior izquierda relativa a cada uno de los ejes. Esto se puede variar e inclusive se puede ingresar X-Y coordenadas específicas para referenciar los ejes y camiones a gusto del usuario.

Para diseñar los camiones en el programa, primero se deben diseñar los ejes independientemente. Luego se hace un arreglo espacial con los ejes y se le asignan las cargas deseadas para crear los camiones de diseño como se puede observar en las Figuras 2.39 y 2.40.

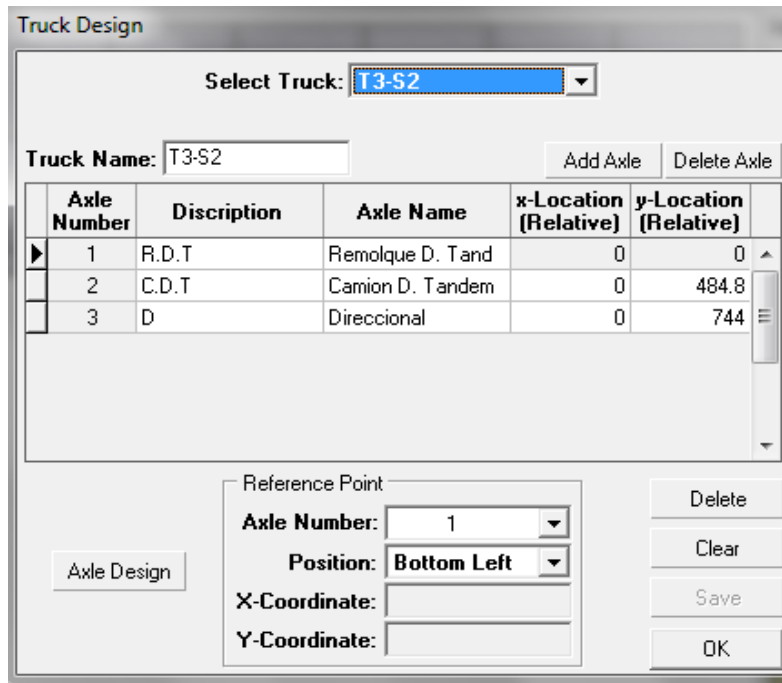


Figura 2.40. Pantalla de diseño de camión del programa de software ISLAB2000.

Ubicación del camión de diseño

Los problemas estructurales que afectan los pavimentos JPCP se relacionan con la fatiga que provoca grietas transversales a las losas. El agrietamiento transversal en las losas de concreto puede iniciar ya sea en la superficie de la losa y propagarse hacia abajo (agrietamiento de arriba – abajo) o viceversa (agrietamiento de abajo – arriba). Esto depende de las cargas y las condiciones climáticas y de igual manera de las propiedades de los materiales, características de diseño y condiciones que se dan en la construcción.

Se ubica el camión de diseño en las posiciones críticas que generan los criterios de falla, estos se amplían en el siguiente apartado.

2.6 Criterios de Falla

2.6.1 Agrietamientos transversales de Abajo – Arriba

Cuando alguno de los ejes está muy cerca del borde longitudinal de la losa y en el centro entre grietas transversales se genera un esfuerzo de tensión crítico en la parte de abajo de la losa. Este esfuerzo se incrementa considerablemente si existe un gradiente de temperatura positiva (temperatura más alta en la parte superior de la losa, condición que se da en el día) a través de la losa. Con una carga repetitiva de ejes pesados bajo las condiciones anteriores se generan daños por fatiga a lo largo del borde inferior de la losa y esta eventualmente se convierte en una grieta transversal que se propaga a la superficie de pavimento.

Para el camión de diseño utilizado el eje que causa más daños es el eje direccional debido a los esfuerzos son más concentrados.

Para evaluar esta condición se posiciona un eje simple en el centro entre juntas transversales y lo más cerca posible del borde de la losa contra el caño.

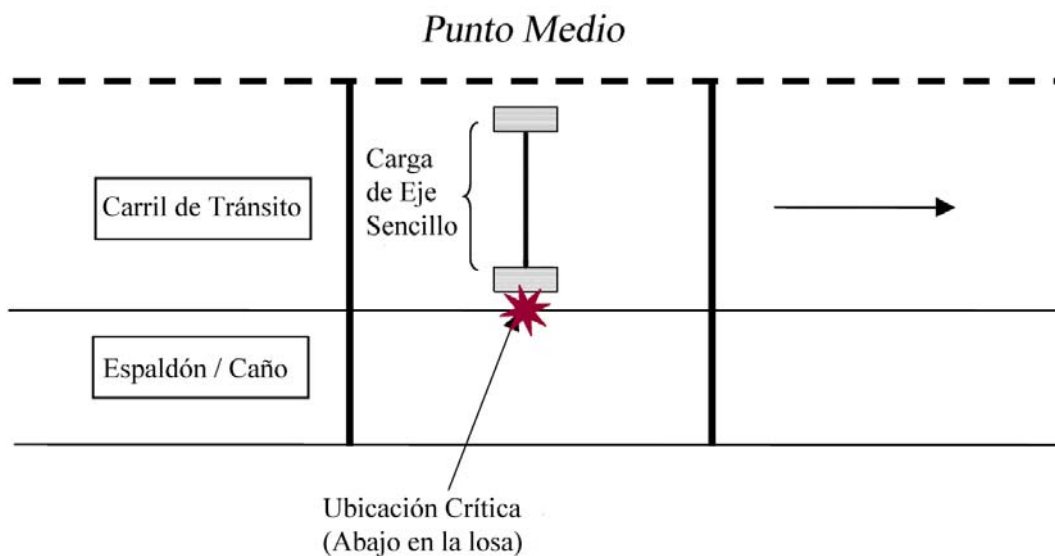


Figura 2.41. Ubicación del eje direccional del camión de diseño que genera los esfuerzos críticos de tensión en la parte de debajo de la losa.

2.6.2 Agrietamientos transversales de Arriba – Abajo

La condición más crítica para este tipo de daño es cuando por condiciones geométricas se da el caso de que los ejes del camión se posicionan en los extremos opuestos de la losa simultáneamente. Esto sumando a una condición en que el gradiente de temperatura a través de la losa es negativo (temperatura más alta en la parte inferior de la losa, condición que se da en la noche) se genera un esfuerzo de tensión crítico en la parte superior de la losa cerca del borde en la parte central de las losas.

En el caso de la evaluación realizada, las losas son cortas (3,25 metros y 3,50 metros), por lo que el camión de diseño no genera la condición crítica descrita anteriormente dado que es mucho más largo que una sola losa. Sin embargo, se puede colocar de tal manera que genere esfuerzos de tensión en la parte superior. Para esto, se colocan los ejes lo más cerca posible de la junta transversal y de igual manera los más cerca posible de la junta longitudinal del borde de la losa y esto sumando al gradiente de temperatura generan mayores esfuerzos de tensión en la parte superior de la losa, dependiendo del eje, se generan en la misma losa o se pueden generar en la losas adyacente si la transferencia de carga es efectiva.

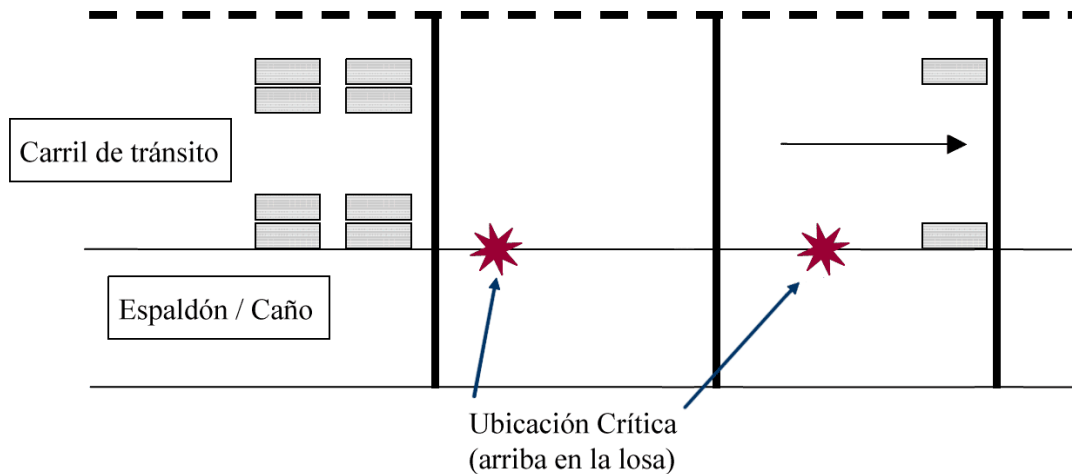


Figura 2.42. Ubicación del camión de diseño que genera los esfuerzos críticos de tensión en la parte de arriba de la losa, Camión T3-S2.

2.6.3 Resultados

Con el modelo del programa ISLAB2000 de la estructura de pavimentos rígidos para ambos proyectos, rutas 204 y 211, se realizan las computaciones con los diferentes escenarios que podrían generar esfuerzos críticos. Los escenarios son los siguientes:

Para evaluar la condición crítica en la que se generan agrietamientos transversales de abajo – arriba.

- El eje simple situado en el centro de la losa y cerca del borde longitudinal contra el caño.

Para evaluar la condición crítica en la que se generan agrietamientos transversales de arriba – abajo.

- El eje direccional situado en la esquina de la losa cerca de la junta longitudinal contra el caño.
- El eje tándem del camión situado en la esquina de la losa cerca de la junta longitudinal contra el caño.
- El eje tándem del remolque situado en la esquina de la losa cerca de la junta longitudinal contra el caño. (En el caso del camión T3-S2)

En la Figura 2.45 se muestra el resultado que genera el programa ISLAB2000. Este caso es para determinar los agrietamientos abajo – arriba, la posición crítica es cuando el eje direccional se ubica en el centro de la losa y cerca del borde longitudinal, sumado a esto se introduce gradiente positivo de temperatura lo que hace que la losa se pandee hacia arriba como se puede observar en la Figura 2.43, que además muestra la condición crítica

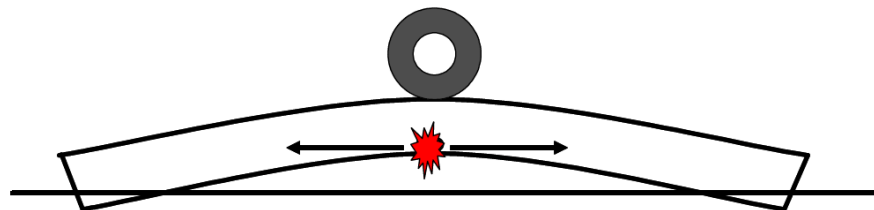


Figura 2.43. Esquema de pandeo bajo un gradiente de temperatura positivo.

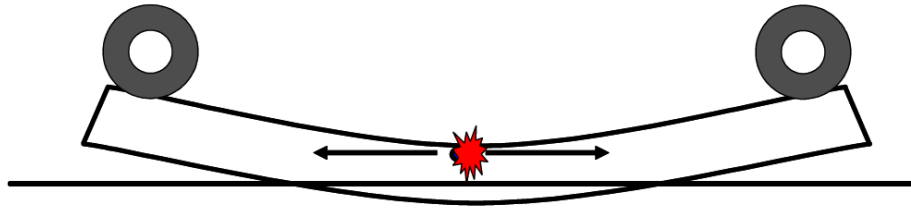


Figura 2.44. Esquema de pandeo bajo un gradiente de temperatura negativo.

del eje direccional. Se corrobora que se obtiene el esfuerzo más crítico en este caso encontrado para la ruta 204A. La Figura 2.44 muestra el caso contrario, cuando el gradiente de temperatura en la losa es negativo y se pandee hacia abajo.

El resto de los resultados de todas las computaciones realizadas con el programa se puede observar en los anexos 5 al 8.

Una vez encontrado el esfuerzo de tensión más crítico se hace uso de la ecuación calibrada mecanísticamente, Ecuación 4, para encontrar el número de aplicaciones para ocurra la falla, que corresponde al 50% de de agrietamientos en las losas y es función de la resistencia del pavimento de concreto y de los esfuerzos que se le aplican.

$$\log N = 2.81 SR^{-1.22} \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde:

N es el numero de aplicaciones para la falla

SR es la razón de esfuerzos

$$SR = \frac{\delta}{MR} \quad (\text{Ecuación 5})$$

δ es el esfuerzo total debido a cargas de tránsito y cargas ambientales

MR es el módulo de ruptura del concreto

Para las rutas evaluadas se encuentra el número aplicaciones para la falla, los resultados se resumen en el Cuadro 2.32 y 2.33.

204A

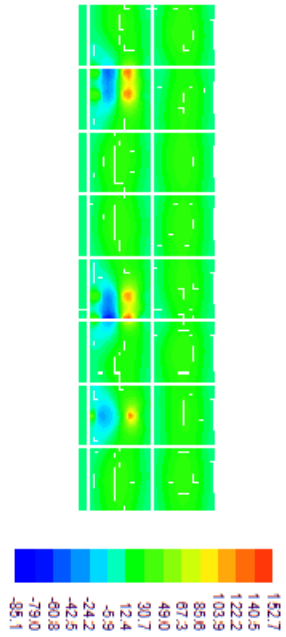
Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba
 Eje Direccional en el centro de la losa
 Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	280.20	23.2	895.7
Arriba	99.89	23.2	712.0

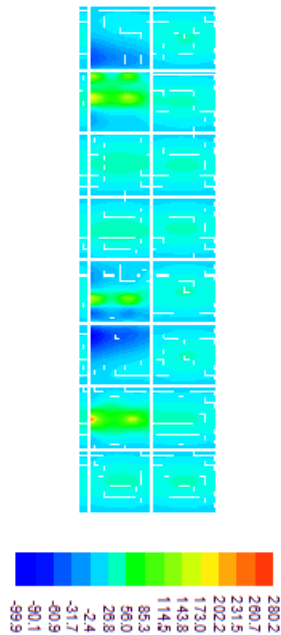
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	152.71	115.1	689.0
Arriba	85.15	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03726	23.2	689.0
Mínima	0.00321	92.1	780.9

Stresses in X-direction



Stresses in Y-direction



Deflections

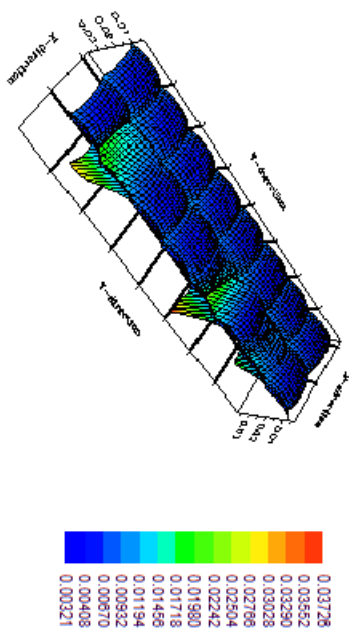


Figura 2.45. Resultado del programa ISLAB2000 modelando las losas de la ruta 204A.

Cuadro 2.32. Resumen de resultados de las aplicaciones (N) para la falla con los esfuerzos críticos. Ruta 204

Ruta	Ubicación	Condición de Cargas	Eje Crítico	Esfuerzo Crítico Aplicado (psi)	Módulo de Ruptura MR (psi)	Relación de Esfueros (SR)	Aplicaciones Permitidas (N)	Aplicaciones (n)	FD	Losas Agrietadas
204A	Abojo	Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]	Eje Sencillo Dual en el centro de la losa	503.82	567	0.889	1.76E+03	3.89E+07	2.21E+04	100.00%
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Autobus	96.92	567	0.171	1.76E+24	2.16E+06	1.23E-18	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión C2	193.79	567	0.342	2.58E+10	3.40E+06	1.32E-04	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión C3	90.85	567	0.160	1.73E+26	4.25E+05	2.46E-21	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión T3-52	128.89	567	0.227	1.33E+17	2.43E+05	1.82E-12	
									0.0001	0.00%
204B	Abojo	Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]	Eje Sencillo Tandem en el centro de la losa	539.87	567	0.952	9.62E+02	3.89E+07	4.04E+04	100.00%
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Autobus	104.90	567	0.185	1.04E+22	2.16E+06	2.09E-16	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión C2	200.79	567	0.354	9.35E+09	3.40E+06	3.64E-04	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión C3	98.32	567	0.173	6.70E+23	4.25E+05	6.34E-19	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión T3-52	139.19	567	0.245	3.90E+15	2.43E+05	6.22E-11	
									0.0004	0.02%

Cuadro 2.33. Resumen de resultados de las aplicaciones (N) para la falla con los esfuerzos críticos. Ruta 211

Ruta	Ubicación	Condición de Cargas	Eje Crítico	Esfuerzo Crítico Aplicado (psi)	Módulo de Ruptura MR (psi)	Relación de Esfueros (SR)	Aplicaciones Permitidas (N)	Aplicaciones (n)	FD	Losas Agrietadas
211A	Abojo	Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]	Eje Sencillo Tandem en el centro de la losa	459.17	567	0.810	4.31E+03	4.18E+07	9.69E+03	100.00%
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Autobus	79.83	567	0.141	5.26E+30	4.61E+06	8.76E-25	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión C2	156.46	567	0.276	3.29E+13	4.60E+08	1.39E-05	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión C3	113.51	567	0.200	9.90E+19	2.51E+06	2.53E-14	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión T3-52	113.14	567	0.200	1.19E+20	1.70E+06	1.42E-14	
								0.0000	0.00%	
211B	Abojo	Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]	Eje Sencillo Tandem en el centro de la losa	483.38	567	0.853	2.59E+03	4.18E+07	1.61E+04	100.00%
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Autobus	84.98	567	0.150	2.92E+28	4.61E+06	1.58E-22	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión C2	164.93	567	0.291	4.74E+12	4.60E+08	9.70E-05	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión C3	117.35	567	0.207	1.59E+19	2.51E+06	1.58E-13	
	Arriba	Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]	Camión T3-52	121.34	567	0.214	2.71E+18	1.70E+06	6.26E-13	
								0.000097	0.00%	

Cuadro 2.34. Aplicaciones para el periodo de diseño para la ruta 204.

Año	TPD	ESAL día	ESAL anual	ESAL anual acum.	Autobuses (1,78%)		Camión C2 (2,8%)		Camión C3 (0,35%)		Camión 5 Ejes T3-S2 (0,2%)					
					Diario	Annual	Diario	Annual	Diario	Annual	Diario	Annual				
2003	27 947	8 943	3 264 209	3 264 209	497	181 572	181 572	783	285 618	285 618	98	35 702	35 702	56	20 401	20 401
2004	29 418	9 414	3 436 010	6 700 219	524	191 128	372 700	824	300 651	586 269	103	37 581	73 284	59	21 475	41 876
2005	30 966	9 909	3 616 852	10 317 071	551	201 187	573 887	867	316 475	902 744	108	39 559	112 843	62	22 605	64 482
2006	32 596	10 431	3 807 213	14 124 284	580	211 776	785 663	913	333 131	1 235 875	114	41 641	154 484	65	23 795	88 277
2007	34 226	10 952	3 997 573	18 121 857	609	222 365	1 008 028	958	349 788	1 585 662	120	43 723	198 208	68	24 985	113 262
2008	35 937	11 500	4 197 452	22 319 309	640	233 483	1 241 512	1006	367 277	1 952 940	126	45 910	244 117	72	26 234	139 496
2009	37 734	12 075	4 407 325	26 726 634	672	245 157	1 486 669	1057	385 641	2 338 580	132	48 205	292 323	75	27 546	167 041
2010	39 621	12 679	4 627 691	31 354 325	705	257 415	1 744 084	1109	404 923	2 743 503	139	50 615	342 938	79	28 923	195 965
2011	41 602	13 313	4 859 076	36 213 400	741	270 286	2 014 370	1165	425 169	3 168 673	146	53 146	396 084	83	30 369	226 334
2012	43 682	13 978	5 102 029	41 315 430	778	283 800	2 298 171	1223	446 428	3 615 100	153	55 803	451 888	87	31 888	258 221
2013	45 866	14 677	5 357 131	46 672 560	816	297 990	2 596 161	1284	468 749	4 083 849	161	58 594	510 481	92	33 482	291 704
2014	48 159	15 411	5 624 987	52 297 548	857	312 890	2 909 051	1348	492 186	4 576 035	169	61 523	572 004	96	35 156	326 860
2015	50 567	16 181	5 906 237	58 203 784	900	328 534	3 237 585	1416	516 796	5 092 831	177	64 599	636 604	101	36 914	363 774
2016	53 095	16 991	6 201 548	64 405 333	945	344 961	3 582 547	1487	542 635	5 635 467	186	67 829	704 433	106	38 760	402 533
2017	55 750	17 840	6 511 626	70 916 959	992	362 209	3 944 756	1561	569 767	6 205 234	195	71 221	775 654	112	40 698	443 231
2018	58 538	18 732	6 837 207	77 754 166	1042	380 320	4 325 075	1639	598 256	6 803 490	205	74 782	850 436	117	42 733	485 964

Cuadro 2.35. Aplicaciones el periodo de diseño para la ruta 204.

Año	TPD	ESAL día	ESAL anual	ESAL anual acum.	Autobuses (3,86%)			Camión C2 (8,01%)			Camión C3 (2,1%)			Camión 5 Ejes T3-S2 (1,42%)		
					Diarlo	Annual	Annual Acum.	Diarlo	Annual	Annual Acum.	Diarlo	Annual	Annual Acum.	Diarlo	Annual	Annual Acum.
2003	27 265	9 543	3 483 127	3 483 127	1052	384 139	384 139	2184	797 139	797 139	573	208 988	208 988	387	141 315	141 315
2004	28 700	10 045	3 666 450	7 149 577	1108	404 357	788 496	2299	839 093	1 636 232	603	219 987	428 975	408	148 753	290 069
2005	30 211	10 574	3 859 421	11 008 997	1166	425 639	1 214 135	2420	883 256	2 519 488	634	231 565	660 540	429	156 582	446 651
2006	31 801	11 130	4 062 548	15 071 545	1228	448 041	1 662 176	2547	929 743	3 449 231	668	243 753	904 293	452	164 823	611 474
2007	33 474	11 716	4 276 366	19 347 912	1292	471 622	2 133 798	2681	978 677	4 427 908	703	256 582	1 160 875	475	173 498	784 972
2008	35 236	12 333	4 501 438	23 849 350	1360	496 444	2 630 243	2822	1 030 186	5 458 094	740	270 086	1 430 961	500	182 630	967 602
2009	37 091	12 982	4 738 356	28 587 706	1432	522 573	3 152 816	2971	1 084 407	6 542 501	779	284 301	1 715 262	527	192 242	1 159 844
2010	39 043	13 665	4 987 743	33 575 449	1507	550 077	3 702 892	3127	1 141 481	7 683 981	820	299 265	2 014 527	554	202 360	1 362 204
2011	40 995	14 348	5 237 130	38 812 580	1582	577 581	4 280 473	3284	1 198 555	8 882 536	861	314 228	2 328 755	582	212 478	1 574 682
2012	43 045	15 066	5 498 987	44 311 567	1662	606 460	4 886 933	3448	1 258 482	10 141 019	904	329 939	2 658 694	611	223 102	1 797 784
2013	45 197	15 819	5 773 936	50 085 503	1745	636 783	5 523 715	3620	1 321 407	11 462 425	949	346 436	3 005 130	642	234 257	2 032 040
2014	47 457	16 610	6 062 533	56 148 136	1832	668 622	6 192 337	3801	1 387 477	12 849 902	997	363 758	3 368 888	674	245 970	2 278 010
2015	49 830	17 440	6 365 765	62 513 901	1923	702 053	6 894 390	3991	1 456 851	14 306 753	1046	381 946	3 750 834	708	258 268	2 536 278
2016	52 321	18 312	6 684 053	69 197 954	2020	737 156	7 631 546	4191	1 529 693	15 836 446	1099	401 043	4 151 877	743	271 182	2 807 460
2017	54 937	19 228	7 018 256	76 216 210	2121	774 013	8 405 559	4400	1 606 178	17 442 624	1154	421 095	4 572 973	780	284 741	3 092 201
2018	57 684	20 190	7 369 168	83 585 378	2227	812 714	9 218 273	4621	1 686 487	19 129 111	1211	442 150	5 015 123	819	298 978	3 391 178

Los datos de los conteos vehiculares se obtuvieron de las especificaciones en planos constructivos que indican TPD y ESAL para el año 2003. Otros conteos obtenidos por medio del LANAMME, la estación N°195 para la ruta 204 y la estación N°204 y 207 para la ruta 211.

Con un crecimiento anual de 5%, se obtienen aplicaciones acumuladas para el periodo de diseño de las rutas, que es hasta el año 2018.

Se encontró el número de aplicaciones de carga para la falla por agrietamientos de Arriba – Abajo y Abajo - Arriba. Estos resultados se comparan con datos obtenidos de los conteos vehiculares. En el caso de los camiones, se calculan el total de aplicaciones obteniendo las aplicaciones acumuladas en todo el periodo de diseño. Para el caso de la simulación del eje simple aplicado, se compara con datos de ESAL acumulados para todo el periodo de diseño.

De los resultados obtenidos, en el caso del eje simple, se puede observar que el escenario simulado no es fiel a la realidad y por ende a la finalidad de un análisis de elemento finito. Esto conlleva a un resultado que no es congruente con la ecuación de fatiga. El resultado obtenido que se obtiene da una acumulación de fatiga muy elevada, en donde las aplicaciones permitidas, son mucho menores a las aplicaciones en el periodo de diseño, por ende lleva a un resultado en donde el 100% de las losas estarán agrietadas. Un caso similar pero de manera inversa se da para la simulación para la fatiga de Arriba – Abajo, el resultado es que la fatiga acumulada es muy leve. Esto debido a que no se contempla todo el espectro de ejes y únicamente se hace con los camiones que se consideraron más críticos. Con los datos e información que se tiene para este análisis, no se pueden utilizar las ecuaciones de la guía MEPGD para realizar un análisis de fatiga que genere resultados confiables. Para utilizar estas ecuaciones se tiene que seguir fielmente el procedimiento original de la guía MEPGD. Para esto se necesita que se fomente el desarrollo y la investigación de este tema en nuestro país.

CAPÍTULO 3 Conclusiones y Recomendaciones

Sobre los objetivos del trabajo

- Para cumplir con el objetivo de elaborar una guía de análisis, o en su defecto los lineamientos preliminares para establecer procedimientos a nivel nacional para el desarrollo de una guía para el análisis estructural de pavimentos rígidos, el capítulo 2 de este trabajo se debe utilizar como modelo o guía de apoyo.
- Durante el desarrollo del trabajo se identifican las experiencias positivas y las limitaciones que se encontraron, tanto a la hora de realizar las pruebas en campo, como en el uso de los programas de software utilizados. Estas experiencias se transmiten al interesado en el capítulo 2, con la finalidad de que si se continúa desarrollando el tema, se haga con mayor facilidad y no se incurran en los errores que se cometieron.
- Durante el desarrollo del trabajo se exploró o estudió con detalle la guía MEPDG, en lo que se refiere al análisis y diseño de pavimentos rígidos. Preliminarmente, se puede indicar que para llegar a aplicar con todo el criterio dicha guía, en nuestro país hay mucho que desarrollar en materia de calibración de parámetros para la modelación y la creación de las fuentes de datos que utiliza el programa de software que se desarrollo con la guía MEPDG. En este apartado la infraestructura de estaciones de recopilación de datos y base de datos para la información climática y de tránsito en Estados Unido, país de desarrolló de la guía, está mucho más avanzado que en nuestro país.

Sobre la recopilación de información de las rutas evaluadas

- En la construcción de ambas rutas (204 y 211) existió mucha variabilidad a lo largo de las rutas con respecto a los planos constructivos. Nacieron muchos problemas que no se contemplaron en los planos constructivos, estos se resolvieron en la obra, inclusive de maneras diferentes. Esto sumando a que los planos constructivos estaban mal hechos o faltos de detalles, hace que o sean una fuente confiable para tomar datos o información para realizar un análisis. El mayor

problema es que no se generaron planos *as built*, los que hubieran sido de gran ayuda para determinar espesores de capas y otras propiedades, ya que desde un inicio se planteó únicamente utilizar ensayos no destructivos. De los resultados del retrocálculo de módulos se obtienen en algunos estacionamientos valores altos o bajos con respecto a los valores típicos o esperados, especialmente para la capa de la losa de concreto. Esto puede deberse al factor de utilizar los espesores de capas de los planos, que seguramente son diferentes a los reales.

- En futuras evaluaciones, en donde no se conozcan con certeza los espesores de las capas, se recomienda hacer los ensayos necesarios para obtener estos datos, ya que del conocimiento certero de estos, depende el éxito del análisis estructural.
- En el proceso constructivo se debe tener especial cuidado en el manejo de los factores externos (tránsito, personas, animales, obstáculos) que pueden afectar de forma muy perjudicial las buenas prácticas constructivas de los pavimentos de concreto. Cualquier alteración externa afecta en forma directa la calidad final del pavimento.
- Se recomienda utilizar la bitácora de obra, en el sentido en que prevalezca más criterio técnico sobre el administrativo. Esto con el fin de guardar un expediente técnico de la obra.

Sobre la auscultación visual

- De la experiencia adquirida en las visitas a las rutas evaluadas, con el propósito de realizar una inspección general de la condición del pavimento y en general de las rutas, se recomienda, primeramente, tener mucha precaución y tomar todas las medidas del caso debido al peligro de sufrir un accidente o atropello. Se recomienda, por lo menos portar chaleco reflectivo y cuando sea posible llevar un vehículo escolta cuando se pretendan hacer mapeos específicos de identificación de daños.
- Como el propósito de realizar el análisis estructural, generalmente, es determinar el estado de las rutas para futuras intervenciones o rehabilitaciones, se recomienda realizar la auscultación visual y un mapeo detallado de los daños, previo a los

ensayos de deflectometría. Esto con el propósito de tener claramente localizado la ubicación de zonas o daños críticos. En este trabajo no se realizó el mapeo detallado, puesto que estaba fuera del alcance, pero hubiera sido de mayor ventaja contar con este tipo de análisis, por lo que es muy recomendable realizarlo.

- Es importante para el futuro desarrollo del tema, utilizar la metodología de auscultación de daños de pavimentos rígidos propuesta por el LANAMME, en este trabajo no se menciona ni se utiliza debido que se estaban desarrollando paralelamente.

Sobre la ejecución de las pruebas

- Al principio de la evaluación no se tenía claro cómo iban a resultar las pruebas en el pavimento rígido, ni cuantos recursos se iban a tomar. Debido a la limitante en la disponibilidad del equipo de deflectometría, se decidió realizar los ensayos a nivel de proyecto, a cada 50 m. En el caso de los proyectos evaluados, por ser rutas urbanas, que son relativamente cortas (el más largo, Ruta 211, mide 1,70 km), se obtuvieron muy pocos estacionamientos, lo que hace que se incremente la variabilidad de los datos. Luego de analizar los datos y hacer el procesamiento de los mismos, se llega a la conclusión de que se hubiesen tenido mejor resultados si se hubieran realizado los ensayos con mayor densidad, por ejemplo cada 10 m (cada 3 losas aproximadamente). Esto hubiera identificado mejor tramos homogéneos y pondría en evidencia más estacionamientos con deficiencias.
- Para futuras evaluaciones se recomienda tener presente, si las rutas son urbanas y de longitudes cortas, hacer un análisis en donde se tengan en cuenta la disponibilidad de los equipos, el consumo de recursos y tiempo, para establecer una distancia adecuada para posicionar los estacionamientos y obtener resultados más confiables. Se deberá respetar la distancia máxima de 50 m que se recomienda para garantizar una evaluación a nivel de proyecto. Idealmente, si se cuentan con todos los recursos, se deberían hacer las pruebas en todas las losas.
- Es muy importante tener presente que existen diferentes configuraciones del ensayo de deflectometría para cuando se analizan pavimentos flexibles o rígidos.

Antes de realizar las pruebas, verificar la configuración para utilizar la adecuada para cada caso.

- Los procedimientos sugeridos dentro de la guía MEPDG son para autopistas con condiciones muy diferentes a las rutas urbanas que se evaluaron en este trabajo y que generalmente presentan las calles de Costa Rica. Algunos de estos puntos son:
 - No existe espaldón en las calles evaluadas, sino más bien un bordillo de caño y acera. Al no existir espaldón, se impide la colocación de los equipos adecuadamente, por la interferencia con el bordillo de caño y la acera. Esto imposibilita realizar las pruebas en la huella de tránsito como se recomienda. La presencia de este bordillo de caño hace prácticamente imposible o muy difícil realizar el ensayo de detección de vacíos, esto nuevamente porque no se pueden colocar los equipos en las posiciones recomendadas.
 - En el carril externo se estacionan vehículos y además hay paradas de autobuses. Esto genera dos situaciones. La primera y más importante es que se esto hace que la mayoría del tránsito pesado y en general la mayoría del tránsito circule por el carril interno. Esto hace que haya que revalorar la sugerencia de la guía MEPDG de evaluar el carril externo (Esto porque tradicionalmente es el carril más crítico debido a que es el asignado internacionalmente para la circulación del tránsito pesado o lento). La otra situación que se genera es que a la hora de realizar los ensayos con el deflectómetro, hayan vehículos obstruyendo la colocación de los equipos.
- Se recomienda para futuras evaluaciones tomar en cuenta estos aspectos y hacer el análisis necesario para establecer ubicaciones ideales para realizar los ensayos requeridos y que se adapten a las condiciones de las rutas urbanas de nuestro país.
- Si no se tiene la experiencia en los ensayos de FWD para pavimentos rígidos, es recomendable realizar el procedimiento de marcado de losas mencionado en el apartado 2.4, para asegurarse de que se evalúen correctamente las rutas, esto porque se torna difícil ubicar los centros de las losas, especialmente si las pruebas se hacen en horario nocturno.

Sobre los resultados de eficiencia de transferencia de carga

- Con respecto a los resultados de la LTE, se obtuvieron valores altos, que no eran de esperarse debido a los problemas constructivos que se presenciaron en obra y fueron señalados en varios informes por el LANAMMEUCR. Sin embargo estos valores se pueden atribuir al corto tiempo que lleva el pavimento en operación luego del mejoramiento realizado. Además el uso de la base estabilizada, que se vio que aporta en gran medida a la eficiencia, junto con el uso de dovelas o pasajuntas. Todo esto hace que la eficiencia en la transferencia de carga se aumente.
- Se realizaron los ensayos para diferentes niveles de carga como se puede ver en el apartado 2.5.1, y los resultados obtenidos son prácticamente los mismos para la mayoría de los estacionamientos. En algunos casos los valores de LTE si varían, por lo que los datos de los diferentes niveles de carga se pueden utilizar para determinar la presencia de materiales que están ganando compactación o malas interacciones entre las capas. Pero la mayoría de los casos la LTE no varía para los diferentes niveles de carga, queda a criterio del responsable de realizar las pruebas, determinar a qué nivel de carga se debe efectuar el ensayo para determinar la LTE, recordar que la guía MEPDG recomienda 40 KN.
- Se recomienda, cuando se tengan los recursos necesarios, efectuar el ensayo con la secuencia de caídas sugeridas en el apartado 2.4.3.1.

Sobre los resultados del retrocálculo de módulos

- El programa de software ELMOD6 es de gran ayuda para el procesamiento de los datos, pero es importante tener los siguientes cuidados para que los resultados sean los correctos.
 - Obtener los espesores de las capas de una fuente confiable o realizar las pruebas necesarias para obtener los mismos.
 - Revisar las bases de datos que genera el equipo de deflectometría. Revisar que los estacionamientos sean correctos y correspondan a las pruebas

realizadas. Para utilizar todas las características del ELMOD6 para el retrocálculo de módulos de pavimentos rígidos es importante que la identificación de estacionamientos y losas sea adecuada para que no existan errores en el procesamiento de los datos. Además es importante revisar que las unidades de los datos sean las correctas.

- Los módulos de proyecto encontrados son ligeramente mayores a los valores teóricos o de diseño. Esto para la losa de concreto, la base estabilizada y el módulo de reacción de la subrasante. Comparando estos valores encontrados con los valores típicos sugeridos por la guía MEPDG, se encuentran en el rango de valores de normal a alto, como se puede observar en el apartado 2.5.2. Por otra parte, es muy importante mencionar que en todos los tramos evaluados (204A, 204B, 211A y 211B) se observan algunos datos con módulos muy altos, posiblemente este problema se genere por utilizar un espesor tomado de planos que no corresponde a lo que se construyó en esas secciones, como se mencionó anteriormente.

Sobre el análisis en ISLAB2000

- Es un programa de software de uso complicado y de interfaz menos amigable con el usuario. No es flexible en cuanto al ingreso de los datos y únicamente permite el uso de unidades en sistema imperial. Por esto se debe tener especial cuidado en el ingreso de los datos, en sus magnitudes y las direcciones de ejes predeterminados que utiliza.
- Para realizar el análisis por temperatura hubo mucha dificultad para encontrar un procedimiento para medir este dato en el sitio de las pruebas. Se consulto con los expertos del ICYCC y del LANAMMEUCR, y muchas fuentes de literatura incluida la guía MEPDG y no se encontraron procedimientos específicos para medir el dato en sitio. Se encontraron modelos matemáticos de alta complejidad que para su aplicación se requieren parámetros muy difíciles de adquirir en nuestro medio (por muchas condiciones: falta de equipo, falta de recursos, etc.) y procedimientos para medir la temperatura directamente en el pavimento pero para tramos de calibración con sensores embebidos en el concreto. En este aspecto, en nuestro país falta mucho desarrollo puesto que el programa de software que se emplea

simultáneamente con la guía MEPDG para diseñar o rehabilitar pavimentos utiliza modelos matemáticos que simulan el efecto del clima en las losas de concreto, el software adquiere información histórica climática de toda una red de estaciones climatológicas desplegadas a lo largo de los Estados Unidos, como la humedad, la temperatura, incidencia de los rayos del sol, histórico de precipitaciones, entre otros. Automáticamente adquiere la información de las estaciones más cercanas y hace las evaluaciones pertinentes con solo suministrar las coordenadas geográficas y altitud, y este genera este dato automáticamente.

- Una vez más interviene el uso de datos relacionados con los espesores de las capas de la estructura de pavimentos, en este programa se ingresan los valores de diseño, pero es recomendable realizar el análisis con los valores reales de los espesores para brindar resultados sobre lo que realmente está construido. En una futura evaluación se recomienda utilizar un penetrómetro de radar *GPR* o realizar ensayos destructivos como el muestreo por medio de núcleos para asegurarse de los espesores y así poder detectar problemas de variabilidad de las capas a lo largo de los tramos a evaluar.

Sobre el análisis de fatiga

- Con la información típica disponible en Costa Rica, se hace un intento para utilizar las ecuaciones de fatiga de la guía MEPDG y de manera simplificada poder realizar un análisis. Se requiere de información muy detallada que no se tiene en Costa Rica, y modelar hasta miles de casos para encontrar los esfuerzos críticos de un determinado proyecto. Se creía que modelando los camiones más críticos era suficiente para encontrar los esfuerzos críticos. Pero no es así, en el procedimiento de la guía se transforma el tránsito pesado en un espectro de diferentes ejes críticos y suma la fatiga mensual que cada aplicación le aporta hasta sumar la fatiga de todo en el periodo de análisis. Este procedimiento lo hace la MEPDG en su software mediante una RED NEURAL previamente calibrada con millones de modelos que toman en cuenta todas las variables posibles para encontrar los esfuerzos críticos para cada aplicación. No se pudo realizar el correcto análisis debido a que los procedimientos de la guía son muy elevados y se basan en

muchos años de experiencia y desarrollo. Para poder utilizar el procedimiento de la guía MEPDG se requiere calibración y desarrollo y mucha más investigación sobre el tema.

En cuanto los resultados del análisis propio, los resultados específicos y demás detalles se pueden encontrar en los mismos apartados en donde se desarrollan cada uno de los temas.

De manera general:

- Por las características de diseño y construcción de los pavimentos rígidos, se establece que actualmente no se cuenta con suficientes equipos y lineamientos que permitan el control y calidad final de los pavimentos construidos. Es recomendable adquirir más equipos para garantizar el control de calidad adecuado.
- En cuanto a los daños visuales, según las evaluaciones se estableció que los tramos evaluados presentan algún tipo de deterioro y que a pesar de que son de reciente construcción presentan características de deterioro estructural leve según la clasificación sugerida para este efecto.
- En nuestro país se requiere una integración mayor entre las instituciones encargadas de realizar evaluaciones de mantenimiento, las instituciones encargadas de auditoría y las encargadas de ejecución de las obras, esto con el fin de que este intento por unificar el criterio de diseño y evaluación tenga posibilidad de ser desarrollado exitosamente.
- Hay muchas limitaciones que por las condiciones propias de las rutas evaluadas que son muy particulares de Costa Rica, además de la carencia de equipos, esto entorpece el procedimiento de los ensayos o pruebas tal y como se especifica en las guías consultadas. Estas condiciones especiales y muy particulares de nuestro país se deben tener en consideración en el posterior desarrollo del tema y en futuras evaluaciones.

Bibliografía

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. (2004). *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. AASHTO, Washington, DC, Estados Unidos de América.
2. American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. AASTHO, Washington, DC, Estados Unidos de América.
3. Chaverri, J. (2010). *Notas de Clase del Curso Pavimentos: IC-1031*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
4. Delatte, N. (2008). *Concrete Pavement Design, Construction and Performance*. New York, NY, Estados Unidos de América: Taylor & Francis.
5. Dynatest International A/S. (2010). *Guía de Usuario ELMOD6*. Dinamarca.
6. ERES Consultants. (2000). *USER'S GUIDE "ISLAB2000-Finite Element Analysis Program for Rigid and Composite Pavements"*. Champaign, IL, Estados Unidos de América.
7. Federal Highway Administration. (Junio 2003). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*. FHWA, McLean, VA, Estados Unidos de América.
8. Federal Highway Administration. (Diciembre 2006). *Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometers Measurements*. FHWA, McLean, VA, Estados Unidos de América.
9. Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (Second ed.). Upper Saddle River, NJ, Estados Unidos de América: Pearson Prentice Hall.
10. National Cooperative Highway Research Program. (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*. Estados Unidos de América.

11. Román Avila, L. R. (2008). *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Anexos

Anexo 1. Resultados de cálculo de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 204A, sentido Zapote – San Francisco.

ID Estación	Estacionamiento	ID Caída	Presión (KPa)	Fuerza (KN)	D1 (µm)	D2 (µm)	D3 (µm)	D4 (µm)	D5 (µm)	D6 (µm)	D7 (µm)	D8 (µm)	D9 (µm)	LTE	Promedio
2	0	10	597.0	42.2	112.3	114.1	111.4	91.0	84.0	69.8	57.7	46.1	37.3	98%	98%
		11	597.0	42.2	112.0	113.9	111.2	90.7	83.4	69.4	57.3	45.7	37.2	98%	
		12	596.0	42.1	113.4	115.2	112.6	92.0	84.8	71.1	58.7	47.0	38.6	98%	
		97%	13	755.0	53.3	144.3	144.8	139.7	115.1	106.0	87.5	72.2	57.8	46.7	96%
			14	756.0	53.4	143.7	143.1	138.3	114.8	105.9	87.3	71.9	57.5	46.6	97%
			15	755.0	53.4	143.0	143.9	138.9	114.1	104.6	86.5	71.4	57.2	46.4	97%
			16	1017.0	71.9	197.1	196.9	188.8	156.3	143.9	118.5	97.8	78.2	62.8	96%
			17	996.0	70.4	192.7	193.7	186.5	153.5	140.9	116.3	95.5	76.2	61.0	96%
			18	1028.0	72.7	196.7	197.0	188.1	156.6	144.2	119.0	98.2	78.4	63.1	95%
4	0.05	28	597.0	42.2	167.1	184.0	144.0	111.6	96.7	76.5	57.0	39.0	29.3	78%	79%
		29	597.0	42.2	165.9	182.9	144.3	111.3	95.8	77.6	56.9	38.5	29.4	79%	
		30	595.0	42.1	165.2	181.6	142.9	110.2	94.9	76.0	56.0	37.6	28.2	79%	
		78%	31	756.0	53.4	211.4	232.4	181.6	141.7	122.9	97.5	72.3	49.2	37.0	78%
			32	756.0	53.5	211.8	232.3	180.7	141.3	122.5	96.6	72.0	48.7	36.7	78%
			33	754.0	53.3	211.6	231.6	180.8	141.4	122.3	96.6	71.9	48.8	36.7	78%
			34	1006.0	71.1	287.1	313.1	249.0	192.9	167.0	132.8	97.7	65.9	48.8	80%
			35	999.0	70.6	289.1	313.7	255.8	194.8	166.6	136.4	100.0	65.8	48.8	82%
			36	1009.0	71.3	291.0	316.1	255.7	196.7	167.3	138.8	101.5	65.9	49.8	81%
7	0.1	55	590.0	41.7	96.3	95.9	90.4	78.1	73.2	63.1	54.2	46.0	39.2	94%	94%
		56	588.0	41.5	95.9	95.6	90.5	78.1	73.1	62.8	54.1	45.9	39.0	95%	
		57	587.0	41.5	95.9	95.3	90.0	77.8	72.9	62.6	53.9	45.5	38.7	94%	
		94%	58	751.0	53.1	120.3	121.1	114.1	98.9	92.2	79.2	68.0	58.0	49.6	94%
			59	756.0	53.4	121.0	122.0	114.9	99.8	93.0	79.7	68.5	58.2	49.7	94%
			60	754.0	53.3	120.8	121.9	114.8	99.5	92.7	79.3	68.2	58.0	49.3	94%
			61	1023.0	72.3	163.2	163.2	153.5	132.6	123.2	105.7	90.7	76.8	65.6	94%
			62	1005.0	71.0	161.2	161.3	151.7	131.1	122.0	104.7	89.8	76.0	64.7	94%
			63	1012.0	71.5	161.7	161.6	152.0	131.3	122.3	104.9	90.0	76.2	65.0	94%
9	0.15	73	590.0	41.7	123.2	130.7	98.6	91.7	83.3	69.1	55.6	43.0	34.0	75%	75%
		74	593.0	41.9	123.8	131.5	99.5	92.2	83.6	69.1	55.5	43.0	33.7	76%	
		75	589.0	41.6	123.1	131.1	98.3	92.0	83.5	68.0	54.8	42.7	33.8	75%	
		76%	76	754.0	53.3	156.1	166.4	126.1	117.2	106.5	87.4	70.4	54.8	43.2	76%
			77	754.0	53.3	157.2	167.4	126.6	117.6	106.8	87.3	70.4	55.0	43.3	76%
			78	758.0	53.6	157.4	167.9	127.2	118.2	107.1	87.5	70.6	55.1	43.6	76%
			79	1036.0	73.2	214.7	229.5	178.3	161.5	146.0	119.6	96.3	74.9	58.8	78%
		80	1002.0	70.9	209.0	223.2	172.5	156.9	141.8	116.4	93.6	72.6	57.0	77%	

		81	999.0	70.6	211.0	225.3	174.0	158.1	143.2	117.2	94.3	73.3	57.6	77%	
11	0.21	91	592.0	41.8	118.9	120.3	107.3	92.6	84.7	68.0	54.4	42.3	33.1	89%	89%
		92	588.0	41.6	119.0	120.0	107.1	92.5	84.5	68.2	54.5	42.3	32.8	89%	
		93	589.0	41.6	118.7	120.0	107.6	92.5	84.1	68.5	55.2	42.1	33.0	90%	
		94	753.0	53.2	152.0	155.2	139.3	118.8	108.3	86.9	69.3	53.7	41.7	90%	90%
		95	759.0	53.6	153.0	156.0	139.7	119.5	108.8	87.9	70.1	53.8	42.0	90%	
		96	753.0	53.3	152.9	155.4	139.1	118.9	108.3	87.7	70.2	53.6	42.0	90%	
		97	1023.0	72.3	212.3	215.1	193.6	164.4	149.1	119.9	94.9	72.8	55.9	90%	90%
		98	999.0	70.6	207.9	210.6	189.8	161.0	145.8	117.6	93.2	71.2	55.0	90%	
		99	1012.0	71.6	210.3	214.4	192.0	163.5	148.4	118.8	94.3	71.9	55.3	90%	
13	0.26	109	587.0	41.5	124.5	131.4	110.9	88.2	79.2	69.7	55.3	43.8	35.5	84%	84%
		110	587.0	41.5	124.9	131.7	111.1	88.5	79.2	69.8	55.6	44.3	36.1	84%	
		111	586.0	41.4	125.4	132.0	111.8	88.3	79.1	69.5	55.4	44.1	35.9	85%	
		112	762.0	53.9	164.5	173.3	137.1	115.6	103.8	88.4	71.0	56.7	46.2	79%	79%
		113	758.0	53.6	163.2	171.6	136.8	114.2	102.3	87.3	70.2	55.8	45.6	80%	
		114	754.0	53.3	163.0	171.9	136.7	114.6	102.7	87.2	70.0	56.0	46.0	80%	
		115	1008.0	71.2	224.5	238.9	180.7	157.4	141.3	116.3	93.9	75.6	62.0	76%	79%
		116	1014.0	71.7	224.5	232.2	185.7	154.7	138.5	119.0	94.8	75.3	61.6	80%	
		117	997.0	70.5	223.5	229.1	184.9	152.5	137.0	118.6	94.4	75.2	62.0	81%	
15	0.32	127	590.0	41.7	83.9	82.0	74.1	63.7	59.6	47.3	41.0	34.8	29.5	90%	89%
		128	589.0	41.6	83.3	81.8	72.5	63.2	59.3	47.2	40.9	34.7	29.7	89%	
		129	585.0	41.4	82.6	81.5	72.3	63.2	59.2	46.4	40.4	34.7	29.5	89%	
		130	766.0	54.1	105.2	106.0	98.9	81.0	74.1	63.8	53.6	44.1	37.5	93%	93%
		131	755.0	53.4	104.3	104.8	97.6	80.2	73.6	62.6	52.6	43.6	37.0	93%	
		132	757.0	53.5	104.7	105.6	96.9	80.7	74.1	62.8	53.0	43.9	37.2	92%	
		133	998.0	70.5	146.9	144.1	131.8	109.7	100.2	83.3	70.2	59.3	51.0	91%	91%
		134	1029.0	72.7	149.5	145.6	126.8	110.9	102.1	82.3	70.4	60.1	51.7	87%	
		135	1002.0	70.8	144.5	142.1	135.2	108.3	99.2	81.9	69.2	58.6	50.5	95%	
17	0.37	145	581.0	41.1	123.6	136.5	112.8	84.5	74.9	58.9	48.2	39.7	32.9	83%	82%
		146	569.0	40.2	121.5	134.2	110.7	83.2	73.8	58.1	47.5	39.4	32.6	82%	
		147	566.0	40.0	121.1	133.6	110.0	83.0	73.8	58.2	47.8	39.5	33.0	82%	
		148	757.0	53.5	160.1	177.0	149.2	110.2	97.3	76.7	62.6	51.6	42.6	84%	84%
		149	753.0	53.3	159.4	176.1	148.7	109.7	97.1	76.5	62.5	51.8	42.7	84%	
		150	756.0	53.4	159.7	177.0	149.3	110.0	97.2	76.5	62.7	51.9	42.6	84%	
		151	1023.0	72.3	218.9	239.4	202.2	148.3	131.1	103.4	84.5	69.2	57.1	84%	84%
		152	1016.0	71.8	215.5	236.0	199.1	146.4	129.3	101.8	83.6	68.3	56.5	84%	
		153	992.0	70.1	213.1	233.4	196.3	144.5	127.6	100.7	82.3	67.3	55.4	84%	
19	0.42	163	586.0	41.4	83.3	82.3	78.3	63.8	57.6	46.1	37.4	30.1	24.5	95%	95%
		164	566.0	40.0	80.4	79.3	75.4	61.4	55.6	44.4	36.0	28.8	23.6	95%	
		165	569.0	40.2	80.6	79.3	75.3	61.7	55.9	44.6	36.2	29.1	23.5	95%	
		166	764.0	54.0	109.2	107.0	98.8	83.3	75.2	60.8	49.1	38.8	31.3	92%	92%
		167	756.0	53.4	108.4	106.0	97.4	82.8	74.7	60.3	48.6	38.6	31.2	92%	
		168	758.0	53.6	108.3	106.2	96.1	82.7	74.8	60.5	48.7	38.5	31.2	90%	92%
		169	1018.0	71.9	151.3	146.5	134.9	114.1	102.6	85.3	68.0	53.4	42.5	92%	

		170	1020.0	72.1	150.9	145.3	132.9	113.0	101.3	84.1	67.1	52.7	42.0	91%	
		171	1010.0	71.4	149.2	142.4	131.3	111.6	100.5	82.6	65.9	51.9	41.7	92%	
21	0.47	181	586.0	41.4	95.2	99.6	84.5	70.6	64.1	52.8	44.1	36.3	30.8	85%	85%
		182	584.0	41.3	95.2	99.2	84.1	70.1	63.9	52.6	43.8	36.2	30.5	85%	
		183	568.0	40.1	92.2	96.6	82.3	68.6	62.4	51.1	42.5	35.3	29.6	85%	
		184	764.0	54.0	126.8	129.3	110.7	92.3	83.7	68.7	57.0	47.3	39.5	86%	86%
		185	755.0	53.4	126.4	128.5	110.2	91.5	83.2	68.3	56.9	47.0	39.4	86%	
		186	759.0	53.6	126.4	128.7	110.2	91.8	83.2	68.3	56.8	47.1	39.6	86%	
		187	1027.0	72.6	172.2	175.8	151.5	125.8	113.8	93.1	77.3	63.9	53.5	86%	86%
		188	997.0	70.5	170.5	173.2	149.1	123.8	112.0	91.7	76.2	62.6	52.6	86%	
		189	1027.0	72.6	171.2	175.0	151.1	125.3	113.3	92.8	77.3	63.5	53.2	86%	
23	0.52	199	586.0	41.4	92.8	99.0	80.8	68.5	62.0	48.5	39.4	31.4	25.5	82%	82%
		200	567.0	40.1	89.3	95.7	78.2	66.1	59.8	46.6	37.5	30.5	24.5	82%	
		201	566.0	40.0	89.1	94.8	77.1	65.6	59.7	46.4	37.7	30.3	24.6	81%	
		202	760.0	53.7	122.7	128.7	105.6	89.4	80.7	63.4	51.0	40.9	33.2	82%	82%
		203	760.0	53.7	123.1	129.0	105.9	89.5	80.7	63.7	51.4	41.1	33.2	82%	
		204	756.0	53.4	122.4	128.3	105.4	89.1	80.3	63.1	51.1	40.7	33.2	82%	
		205	1011.0	71.5	171.2	177.9	145.9	124.4	112.0	87.7	70.7	56.3	45.2	82%	82%
		206	1018.0	72.0	171.5	178.2	145.8	124.1	111.8	87.8	70.7	56.3	45.4	82%	
		207	1017.0	71.9	170.1	176.1	143.9	122.6	110.3	86.3	69.5	55.5	44.5	82%	
26	0.58	226	586.0	41.4	80.9	82.5	72.8	64.6	59.5	48.9	40.6	33.0	27.1	88%	89%
		227	588.0	41.5	81.4	83.5	74.0	64.9	59.5	49.0	40.6	33.2	27.2	89%	
		228	588.0	41.6	80.9	82.8	73.8	64.5	59.2	48.9	40.6	33.2	27.3	89%	
		229	756.0	53.4	107.1	107.5	95.2	82.9	76.5	63.4	52.8	43.1	35.3	89%	88%
		230	757.0	53.5	106.8	107.6	94.8	83.3	77.0	63.5	52.8	43.2	35.6	88%	
		231	755.0	53.4	106.9	107.5	94.3	83.1	77.1	63.5	52.7	43.1	35.4	88%	
		232	1032.0	72.9	148.7	149.9	131.2	116.4	107.8	89.0	74.0	60.4	49.6	88%	87%
		233	1006.0	71.1	144.8	146.2	127.2	112.9	104.9	86.7	71.9	58.7	48.2	87%	
		234	989.0	69.9	145.3	147.2	128.5	113.5	105.0	87.1	72.4	59.0	48.6	87%	
28	0.63	244	590.0	41.7	121.7	136.1	90.7	92.7	84.9	69.8	58.3	46.0	36.8	67%	67%
		245	592.0	41.9	121.2	135.9	90.7	92.5	85.2	69.4	57.8	46.0	36.7	67%	
		246	593.0	41.9	121.5	135.8	91.1	92.6	85.2	69.6	58.3	46.1	36.8	67%	
		247	752.0	53.2	158.6	174.6	116.3	118.7	108.8	88.7	74.3	58.9	46.8	67%	67%
		248	756.0	53.4	158.8	175.2	117.0	119.1	109.0	89.2	74.6	59.3	47.2	67%	
		249	760.0	53.7	159.4	175.9	117.2	119.5	109.2	89.7	75.2	59.3	47.5	67%	
		250	1006.0	71.1	215.4	238.6	161.2	162.3	148.2	121.8	102.6	80.9	64.4	68%	68%
		251	1023.0	72.3	216.5	239.0	161.4	162.8	148.9	121.8	100.9	81.0	64.4	68%	
		252	1002.0	70.8	212.9	235.2	159.3	160.1	146.4	120.4	101.1	79.8	63.9	68%	
30	0.69	262	583.0	41.2	84.4	87.2	79.2	68.7	63.3	54.1	47.1	38.9	33.3	91%	91%
		263	568.0	40.1	80.9	84.1	76.4	66.0	61.1	52.3	45.6	37.6	32.2	91%	
		264	567.0	40.1	81.1	84.4	76.6	66.5	61.5	52.6	46.0	38.0	32.5	91%	
		265	763.0	53.9	112.6	113.2	103.0	89.1	82.0	70.2	61.0	50.3	42.7	91%	91%
		266	764.0	54.0	112.2	112.3	102.7	89.0	81.4	70.2	61.6	50.5	43.3	91%	
		267	754.0	53.3	112.2	112.3	102.5	89.1	81.7	70.5	61.9	51.2	44.0	91%	

		268	1017.0	71.9	150.2	151.3	137.7	119.3	109.7	93.7	80.9	67.3	57.3	91%	92%
		269	985.0	69.6	149.8	149.3	137.0	118.7	108.4	93.3	81.6	67.4	57.4	92%	
		270	1013.0	71.6	153.3	152.6	141.0	121.6	110.1	95.1	83.6	68.3	58.1	92%	
32	0.78	280	584.0	41.3	68.0	65.2	95.4	56.4	58.6	54.7	46.4	41.2	35.5	68%	69%
		281	568.0	40.1	67.5	64.2	91.3	55.4	56.9	53.1	47.3	40.2	33.9	70%	
		282	568.0	40.1	67.4	64.4	92.7	55.5	57.1	52.8	47.3	40.1	34.1	69%	
		283	758.0	53.6	89.6	87.6	109.4	75.0	75.4	69.6	61.7	52.5	47.3	80%	78%
		284	759.0	53.7	89.0	87.0	113.2	74.6	75.2	69.7	61.8	52.4	46.7	77%	
		285	756.0	53.4	88.6	86.5	111.4	74.5	75.1	69.5	61.7	52.4	46.8	78%	82%
		286	1015.0	71.7	124.6	118.3	146.1	99.8	100.4	93.3	82.9	69.6	60.8	81%	
		287	1001.0	70.7	124.2	119.0	143.9	100.3	101.0	93.5	82.8	70.6	60.7	83%	
		288	1015.0	71.7	125.8	118.4	142.8	100.2	100.8	93.7	83.4	70.4	60.4	83%	
34	0.84	298	566.0	40.0	90.9	94.9	82.0	74.1	70.0	60.6	52.8	45.3	38.7	86%	86%
		299	568.0	40.1	90.8	95.4	81.5	74.1	70.2	60.6	52.9	45.4	39.1	85%	
		300	564.0	39.9	90.7	94.6	81.5	73.7	69.5	60.5	52.8	45.4	39.0	86%	
		301	759.0	53.7	119.6	125.8	108.5	98.2	92.4	80.0	69.5	59.8	51.2	86%	86%
		302	757.0	53.5	119.3	125.4	108.2	97.6	92.1	79.5	69.3	59.4	50.9	86%	
		303	754.0	53.3	119.1	125.0	108.6	97.6	91.9	79.4	69.3	59.2	50.9	87%	
		304	1023.0	72.3	163.4	169.2	150.2	132.6	124.4	107.8	93.1	79.8	67.6	89%	89%
		305	994.0	70.3	160.5	166.3	147.4	131.8	123.7	107.9	94.0	81.0	69.7	89%	
		306	1004.0	71.0	162.3	168.4	149.3	132.0	123.4	107.0	92.3	78.9	67.1	89%	
36	0.89	316	562.0	39.7	95.5	99.4	92.2	81.8	77.5	68.0	58.8	48.2	41.2	93%	93%
		317	567.0	40.1	97.0	100.3	93.7	82.7	78.1	68.3	58.3	49.1	41.7	93%	
		318	567.0	40.1	97.3	99.6	93.8	82.9	78.3	68.1	57.8	49.2	41.7	94%	
		319	751.0	53.1	131.5	132.5	122.8	108.4	102.0	90.9	78.8	63.3	54.3	93%	94%
		320	755.0	53.4	132.3	132.7	125.0	109.7	103.2	90.9	77.8	64.8	55.2	94%	
		321	758.0	53.6	132.2	132.9	125.0	109.8	103.0	90.9	77.8	64.7	55.2	94%	
		322	1014.0	71.7	175.4	180.5	169.2	147.9	138.5	121.1	103.7	86.3	73.4	94%	93%
		323	1007.0	71.2	175.4	181.4	167.6	147.0	137.7	119.4	102.2	85.4	72.8	92%	
		324	1004.0	71.0	176.2	181.8	168.1	147.4	138.0	119.7	102.5	86.1	73.2	92%	
38	0.94	334	561.0	39.7	97.6	100.9	98.2	83.1	77.3	70.2	61.3	51.6	44.4	97%	98%
		335	567.0	40.1	98.1	101.7	100.0	83.7	77.8	70.9	62.1	52.0	45.3	98%	
		336	569.0	40.2	98.0	101.2	98.7	83.5	77.8	71.0	62.3	52.0	45.6	98%	
		337	757.0	53.5	131.6	135.3	130.1	110.9	103.5	93.1	81.1	69.0	59.0	96%	97%
		338	751.0	53.1	131.6	134.7	130.6	110.4	103.0	92.6	80.9	68.8	58.8	97%	
		339	760.0	53.7	132.5	136.1	132.0	111.5	104.0	93.5	81.3	69.3	59.1	97%	
		340	1017.0	71.9	180.8	188.2	180.7	152.3	141.4	127.3	111.1	93.6	80.9	96%	96%
		341	1019.0	72.0	179.3	186.9	179.5	151.0	140.1	126.5	109.8	93.1	80.0	96%	
		342	1010.0	71.4	176.9	184.5	174.9	149.2	138.1	124.5	108.2	92.0	79.1	95%	
40	0.99	352	583.0	41.2	94.8	94.5	89.1	78.3	74.6	64.2	57.6	47.7	38.4	94%	94%
		353	563.0	39.8	91.1	91.6	86.1	75.7	72.2	62.0	55.2	46.5	37.4	94%	
		354	570.0	40.3	91.7	92.2	86.7	75.9	72.2	62.0	54.9	46.5	37.9	94%	
		355	763.0	53.9	122.9	124.2	116.3	101.7	95.8	82.9	72.8	61.2	51.3	94%	94%
		356	754.0	53.3	121.8	122.9	115.5	100.9	95.1	82.2	72.3	61.2	50.8	94%	

		357	754.0	53.3	122.4	123.5	115.9	101.3	95.8	82.6	72.6	61.3	51.0	94%			
		358	1030.0	72.8	169.0	168.6	158.5	138.5	130.3	112.0	98.8	82.2	68.1	94%			
		359	989.0	69.9	164.2	164.8	154.1	135.3	127.3	109.1	96.6	80.3	65.7	94%	94%		
		360	1014.0	71.7	168.1	168.8	160.0	139.0	131.1	113.2	101.2	81.7	67.1	95%			
42	1.04	370	585.0	41.3	81.1	84.9	81.4	68.4	61.9	57.1	48.2	36.9	31.4	96%	96%		
		371	567.0	40.1	78.6	81.9	78.5	66.3	60.1	55.6	47.3	36.1	31.3	96%			
		372	567.0	40.1	77.7	80.7	77.6	65.1	58.6	54.4	45.7	34.6	29.4	96%			
				373	765.0	54.0	109.1	110.8	106.2	89.3	81.2	74.3	62.8	49.1	41.8	96%	96%
				374	758.0	53.6	109.1	110.6	105.6	88.8	80.8	73.6	62.1	48.7	41.6	95%	
				375	753.0	53.3	108.3	110.0	105.4	88.6	80.7	73.5	61.9	49.5	41.8	96%	
				376	1029.0	72.7	150.2	153.2	146.3	123.1	112.7	101.1	85.7	68.5	57.7	95%	96%
				377	996.0	70.4	147.1	149.7	142.3	120.1	109.8	98.9	83.3	66.7	56.2	95%	
				378	1021.0	72.2	148.5	151.7	145.7	122.2	110.8	101.3	85.2	67.7	57.3	96%	

Anexo 2. Resultados de cálculo de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 204B, sentido San Francisco - Zapote.

ID Estación	Estacionamiento	ID Calda	Presión (KPa)	Fuerza (KN)	D1 (µm)	D2 (µm)	D3 (µm)	D4 (µm)	D5 (µm)	D6 (µm)	D7 (µm)	D8 (µm)	D9 (µm)	LTE	Promedio		
2	0	10	577.0	40.8	130.1	138.6	127.7	100.9	92.1	75.8	61.7	48.6	37.8	92%	92%		
		11	568.0	40.1	128.3	135.7	124.3	99.0	90.6	74.3	60.1	47.7	37.1	92%			
		12	567.0	40.1	128.2	136.0	124.2	98.9	90.9	73.9	59.9	47.4	36.9	91%			
				13	760.0	53.7	168.4	180.1	165.9	131.1	119.1	98.3	79.5	62.8	48.9	92%	92%
				14	755.0	53.4	167.9	180.2	165.1	131.0	119.0	98.6	80.2	63.0	49.3	92%	
				15	754.0	53.3	167.8	179.9	164.6	130.8	118.9	98.2	79.5	62.6	49.0	91%	
				16	1035.0	73.2	229.9	245.4	224.8	178.4	162.2	132.8	107.0	84.3	65.8	92%	92%
				17	997.0	70.5	224.2	238.7	221.8	173.8	157.8	129.1	103.5	81.5	63.2	93%	
				18	1016.0	71.8	228.2	243.2	223.0	176.3	160.4	131.3	105.3	83.0	64.1	92%	
4	0.06	28	576.0	40.7	122.9	131.2	112.1	96.7	89.1	73.5	60.6	49.2	39.9	85%	86%		
		29	567.0	40.0	120.3	128.2	110.0	94.9	87.4	72.0	59.4	48.1	39.1	86%			
		30	567.0	40.1	120.8	128.7	110.2	95.2	87.7	72.0	59.5	48.3	39.0	86%			
				31	761.0	53.8	163.7	174.4	149.1	127.9	117.5	97.0	79.7	64.1	52.3	85%	86%
				32	757.0	53.5	162.6	173.3	149.1	127.0	116.7	96.4	79.2	63.8	52.1	86%	
				33	755.0	53.4	161.6	172.7	148.4	126.8	116.5	96.0	78.9	63.5	51.8	86%	
				34	1038.0	73.3	229.8	242.0	208.1	176.4	161.4	132.6	108.8	87.1	71.0	86%	86%
				35	1016.0	71.8	222.1	234.7	200.4	171.2	156.9	128.6	105.7	84.9	69.3	85%	
				36	995.0	70.3	220.7	233.0	199.6	170.2	155.9	128.3	105.2	84.4	69.0	86%	
6	0.11	46	575.0	40.6	291.0	322.2	305.1	218.9	197.2	154.7	119.6	90.6	69.6	95%	94%		

		47	567.0	40.1	286.9	317.6	299.1	216.3	194.9	153.5	118.7	89.9	69.4	94%	
		48	568.0	40.1	285.8	317.2	299.0	215.8	194.1	152.4	118.0	89.7	69.2	94%	
		49	758.0	53.6	378.6	415.4	388.9	282.7	254.3	199.2	153.9	117.8	91.0	94%	
		50	758.0	53.6	377.8	415.4	388.0	282.6	253.7	198.8	153.3	117.7	90.6	93%	
		51	755.0	53.4	376.3	414.1	386.5	281.9	252.8	198.2	153.0	117.2	90.4	93%	
		52	1001.0	70.7	496.2	541.8	504.8	369.2	330.6	258.4	199.4	154.0	119.2	93%	
		53	1022.0	72.2	501.0	546.7	510.8	372.7	334.0	260.8	201.4	155.4	120.4	93%	
		54	1017.0	71.9	497.0	541.2	505.5	368.8	330.7	258.3	199.6	154.4	119.6	93%	
8	0.16	64	579.0	40.9	113.4	121.1	101.3	86.1	78.9	63.8	50.8	38.8	30.0	84%	83%
		65	566.0	40.0	111.0	118.7	98.8	84.6	77.1	62.2	49.4	37.7	29.1	83%	
		66	566.0	40.0	110.1	117.6	98.3	83.9	76.7	61.6	49.0	37.7	29.1	84%	
		67	766.0	54.1	151.7	160.1	135.2	114.0	103.9	83.1	66.2	51.2	39.1	84%	84%
		68	757.0	53.5	151.2	159.3	134.3	113.5	103.3	82.7	66.1	51.1	39.3	84%	
		69	755.0	53.4	150.5	158.7	134.1	113.0	103.2	82.7	65.8	51.0	39.3	84%	
		70	1047.0	74.0	210.0	222.1	189.1	158.1	143.9	115.5	92.3	71.2	54.8	85%	85%
		71	967.0	68.4	201.3	214.3	183.1	152.5	138.7	111.0	88.7	68.6	52.6	85%	
72	1049.0	74.2	210.5	223.5	190.8	158.8	144.6	115.5	92.2	71.5	54.9	85%			
10	0.21	82	574.0	40.6	107.3	113.7	102.4	86.8	80.0	67.9	56.4	45.6	36.9	90%	90%
		83	567.0	40.1	105.2	112.0	100.4	85.9	79.0	67.4	55.9	45.1	36.7	90%	
		84	568.0	40.2	105.6	112.1	100.5	85.9	79.0	67.7	56.2	45.4	36.7	90%	
		85	760.0	53.7	142.0	149.4	132.8	113.5	104.5	88.7	73.7	59.5	48.1	89%	89%
		86	753.0	53.2	140.7	148.0	132.4	112.8	103.8	88.1	73.1	58.9	47.7	89%	
		87	749.0	52.9	140.8	148.5	132.0	113.1	104.1	88.2	73.0	58.9	47.8	89%	
		88	1052.0	74.4	196.8	204.4	183.2	155.8	142.2	122.3	100.8	81.2	65.5	90%	90%
		89	998.0	70.5	189.6	196.1	176.5	149.2	136.1	116.8	96.4	77.7	62.9	90%	
		90	1025.0	72.4	191.6	198.9	177.4	151.4	137.9	118.2	97.8	78.7	63.6	89%	
12	0.27	100	573.0	40.5	156.2	170.6	139.5	115.8	104.9	84.0	67.0	52.8	41.9	82%	82%
		101	564.0	39.9	154.5	168.7	138.1	114.5	103.7	83.2	66.5	52.1	41.5	82%	
		102	567.0	40.1	155.5	169.2	138.5	114.9	104.3	83.6	66.8	52.3	41.9	82%	
		103	756.0	53.5	203.4	223.0	182.3	150.9	136.6	109.7	87.3	68.5	54.7	82%	82%
		104	757.0	53.5	203.1	222.7	181.8	150.7	136.3	109.4	87.3	68.1	54.4	82%	
		105	757.0	53.5	203.3	222.8	181.6	150.9	136.5	109.6	87.4	68.4	54.8	82%	
		106	1034.0	73.1	276.6	300.6	247.0	202.8	183.1	147.1	117.7	91.2	73.5	82%	82%
		107	1010.0	71.4	269.6	292.8	240.2	197.7	178.5	143.2	114.3	89.0	71.5	82%	
		108	1010.0	71.4	268.0	292.1	238.8	196.9	177.6	142.4	113.6	88.5	71.2	82%	
14	0.36	118	571.0	40.4	90.0	91.8	81.5	72.6	67.7	57.9	49.3	40.6	33.9	89%	89%
		119	566.0	40.0	90.0	91.2	80.9	72.1	67.3	57.6	48.9	40.4	33.4	89%	
		120	566.0	40.0	89.8	91.2	81.1	72.4	67.4	57.5	48.8	40.4	33.5	89%	
		121	757.0	53.5	116.9	121.5	107.4	96.0	89.2	76.2	64.7	53.8	44.5	88%	89%
		122	754.0	53.3	116.4	120.6	106.9	95.3	88.7	75.7	64.3	53.4	44.2	89%	
		123	756.0	53.4	117.3	121.4	107.4	95.9	89.1	76.2	64.7	53.5	44.6	88%	
		124	1042.0	73.7	161.7	166.6	148.0	131.7	122.2	104.3	88.6	73.4	60.8	89%	89%
		125	992.0	70.1	156.0	161.0	142.7	126.6	117.6	100.6	85.2	70.4	58.7	89%	
		126	1016.0	71.8	160.8	163.9	145.1	129.0	119.6	102.4	86.7	71.5	59.5	89%	

16	0.42	136	554.0	39.2	86.4	91.0	86.9	64.1	58.3	48.1	39.8	32.1	26.1	95%	95%
		137	567.0	40.1	88.4	92.9	88.4	65.5	59.9	49.2	41.0	32.9	26.8	95%	
		138	566.0	40.0	88.6	92.9	88.8	65.5	59.6	49.1	40.9	32.7	26.6	96%	
		139	750.0	53.0	116.2	121.9	115.4	85.9	78.4	64.4	52.9	43.0	35.2	95%	
		140	755.0	53.3	117.7	123.3	116.4	86.9	79.4	65.1	53.4	43.6	35.4	94%	
		141	755.0	53.4	117.8	123.3	116.5	86.8	79.6	65.2	53.4	43.7	35.6	94%	
		142	1036.0	73.2	159.4	167.9	159.9	118.5	107.8	88.8	73.4	59.2	48.2	95%	
		143	1001.0	70.8	154.1	162.1	154.3	114.4	103.9	85.5	70.6	56.7	46.2	95%	
144	1004.0	71.0	156.5	164.6	156.4	116.0	105.4	86.8	71.9	57.6	47.2	95%			
18	0.47	154	549.0	38.8	106.9	109.3	100.2	81.4	74.6	60.7	49.1	38.9	31.6	92%	91%
		155	561.0	39.7	109.2	112.1	102.3	83.2	76.4	61.8	49.8	39.9	32.1	91%	
		156	564.0	39.9	109.6	112.5	103.0	83.7	76.9	62.1	50.1	40.1	32.2	92%	
		157	750.0	53.0	145.7	149.5	137.3	111.3	101.4	83.4	67.8	53.3	43.3	92%	
		158	751.0	53.1	146.2	149.6	137.7	111.7	101.9	83.7	67.8	53.5	43.3	92%	
		159	756.0	53.4	147.5	151.2	139.4	112.6	102.7	84.6	68.7	54.0	43.9	92%	
		160	1025.0	72.5	201.8	208.1	193.5	154.7	140.4	116.0	94.1	73.9	59.9	93%	
		161	1009.0	71.3	198.7	203.7	190.7	151.9	137.8	114.0	92.3	72.5	58.5	94%	
162	1014.0	71.6	198.0	202.6	190.4	151.2	137.1	113.7	92.4	72.4	58.4	94%			
20	0.53	172	559.0	39.5	187.6	215.4	98.2	115.5	100.1	76.6	59.1	44.4	32.9	46%	46%
		173	566.0	40.0	188.5	216.6	99.5	116.6	101.2	76.8	59.3	44.6	33.7	46%	
		174	571.0	40.3	189.4	217.1	99.5	116.8	101.5	76.9	59.2	44.4	33.6	46%	
		175	747.0	52.8	240.7	272.4	138.7	150.6	130.6	99.9	77.4	58.3	44.4	51%	
		176	757.0	53.5	244.1	276.1	139.8	152.3	132.1	101.3	78.5	59.2	44.6	51%	
		177	756.0	53.5	245.5	277.1	139.2	152.9	132.6	101.5	78.8	59.2	44.9	50%	
		178	1024.0	72.4	322.7	361.3	204.0	204.9	178.1	136.8	106.2	80.0	61.6	56%	
		179	1025.0	72.4	320.4	355.9	202.0	202.2	175.4	135.6	105.1	78.8	60.8	57%	
180	998.0	70.5	314.0	349.5	196.2	198.8	171.9	133.4	103.5	77.9	59.6	56%			
22	0.58	190	567.0	40.1	90.0	91.6	82.3	69.3	63.5	51.3	41.9	33.5	25.5	90%	90%
		191	567.0	40.1	89.7	91.4	82.4	69.3	63.4	51.0	41.5	32.9	25.6	90%	
		192	564.0	39.8	89.4	90.7	81.7	69.0	63.1	51.0	41.5	33.1	25.4	90%	
		193	760.0	53.7	120.3	124.0	111.8	94.1	85.8	69.2	55.8	43.7	35.2	90%	
		194	752.0	53.1	120.1	123.7	111.3	93.9	85.6	69.1	55.9	43.8	35.3	90%	
		195	757.0	53.5	120.2	124.0	111.4	94.0	85.6	69.0	55.6	43.7	35.3	90%	
		196	1035.0	73.1	170.8	174.9	158.3	132.5	120.6	97.7	78.7	61.6	48.7	91%	
		197	1011.0	71.5	166.0	170.6	154.3	129.2	117.5	95.0	76.4	59.6	47.5	90%	
198	999.0	70.6	164.9	170.0	153.6	129.0	117.3	94.5	76.1	59.0	47.8	90%			
24	0.63	208	572.0	40.4	139.7	152.2	117.5	99.3	88.9	73.2	58.4	46.0	36.2	77%	77%
		209	562.0	39.7	138.0	150.1	116.4	98.1	87.9	72.1	57.9	45.4	35.6	78%	
		210	569.0	40.2	138.3	150.8	116.6	98.4	88.6	72.9	58.3	45.8	36.1	77%	
		211	752.0	53.2	182.2	198.4	156.9	129.8	116.6	95.1	76.4	60.3	47.4	79%	
		212	760.0	53.7	182.8	199.2	158.1	130.7	117.1	95.9	77.0	60.4	47.7	79%	
		213	757.0	53.5	182.1	198.5	157.1	129.9	116.8	95.1	76.4	60.5	47.6	79%	
		214	1040.0	73.5	247.0	269.3	218.3	176.9	158.9	128.6	103.6	81.6	64.1	81%	
		215	1001.0	70.8	239.6	261.5	211.9	171.8	154.3	125.4	101.0	79.4	62.5	81%	

		216	1025.0	72.4	241.7	263.8	214.0	173.3	155.7	126.5	101.9	80.0	63.1	81%	
26	0.68	226	570.0	40.3	87.1	89.4	81.7	69.0	63.9	53.9	45.0	37.1	31.1	91%	91%
		227	565.0	39.9	85.9	88.6	81.0	68.1	63.2	53.5	44.7	36.5	30.2	91%	
		228	568.0	40.2	86.8	89.2	81.4	68.6	63.5	53.7	44.5	36.7	30.6	91%	
		229	754.0	53.3	115.6	118.0	108.2	91.0	83.9	71.0	59.2	48.2	40.0	92%	92%
		230	755.0	53.4	115.7	117.9	108.2	91.2	84.2	71.4	59.6	48.4	40.3	92%	
		231	754.0	53.3	116.1	118.6	108.6	91.5	84.5	71.4	59.7	48.7	40.4	92%	
		232	1047.0	74.0	161.1	163.5	149.9	125.9	116.0	97.9	81.4	66.5	54.9	92%	92%
		233	1008.0	71.3	155.0	157.9	144.7	121.4	111.9	94.6	78.7	64.1	52.9	92%	
		234	1007.0	71.2	155.0	157.5	144.3	121.3	112.0	94.8	78.8	64.2	53.1	92%	
28	0.74	244	572.0	40.4	88.4	91.1	79.2	68.7	64.0	54.1	45.6	37.5	31.8	87%	87%
		245	565.0	40.0	87.7	90.3	78.6	68.4	63.6	53.7	45.1	37.0	31.5	87%	
		246	567.0	40.0	87.4	90.1	78.3	67.8	63.3	53.3	45.0	37.1	31.5	87%	
		247	757.0	53.5	114.7	120.0	103.2	89.9	83.4	71.1	60.2	49.6	40.3	86%	86%
		248	757.0	53.5	114.3	120.2	103.2	90.0	83.4	71.2	60.2	49.6	40.0	86%	
		249	753.0	53.3	114.4	120.1	103.2	89.7	83.2	70.8	60.0	49.5	40.0	86%	
		250	1048.0	74.1	158.2	166.1	141.5	123.3	114.2	96.9	81.8	67.3	54.6	85%	86%
		251	997.0	70.5	153.1	159.9	137.3	119.3	110.2	93.7	79.0	64.9	52.8	86%	
		252	1014.0	71.7	154.9	162.3	139.3	121.0	111.8	95.2	80.1	65.9	53.7	86%	
30	0.84	262	564.0	39.9	67.8	67.4	65.1	57.1	53.9	47.1	41.4	34.1	29.9	97%	96%
		263	568.0	40.1	67.9	67.8	64.9	57.4	54.2	47.3	41.2	34.4	29.7	96%	
		264	567.0	40.1	67.9	67.7	65.0	57.2	54.2	47.4	41.5	34.2	29.7	96%	
		265	757.0	53.5	91.6	90.0	85.9	76.1	71.9	63.1	54.9	46.0	39.5	95%	96%
		266	755.0	53.4	91.4	89.7	85.8	76.1	71.9	62.8	55.0	45.9	39.3	96%	
		267	758.0	53.6	92.0	90.1	86.0	76.4	71.9	63.1	55.2	46.0	39.6	95%	
		268	1050.0	74.2	127.1	124.3	117.6	105.6	99.7	87.3	75.8	63.9	53.5	95%	95%
		269	1000.0	70.7	122.2	119.6	113.2	101.4	95.6	83.5	72.6	61.5	51.2	95%	
		270	1009.0	71.3	123.7	120.4	115.2	102.3	96.5	84.6	73.4	62.3	52.1	96%	
32	0.9	280	567.0	40.1	82.8	83.6	77.2	67.9	63.2	54.2	46.4	38.2	32.0	92%	92%
		281	567.0	40.0	83.1	84.2	76.5	68.2	63.7	54.2	46.0	38.2	31.8	91%	
		282	570.0	40.3	83.2	83.8	76.9	68.0	63.4	54.0	46.0	37.8	31.6	92%	
		283	749.0	52.9	108.5	109.8	99.1	89.3	83.3	70.8	60.1	50.1	41.7	90%	90%
		284	761.0	53.8	109.6	110.8	100.3	90.4	84.1	71.6	60.7	50.8	42.0	91%	
		285	755.0	53.4	109.2	110.3	98.8	89.9	83.6	70.9	60.2	50.1	41.7	90%	
		286	1051.0	74.3	149.4	150.3	136.4	122.6	113.6	96.7	81.9	67.5	56.0	91%	91%
		287	997.0	70.4	143.0	144.3	132.9	117.7	109.0	93.0	78.4	65.1	53.4	92%	
		288	1010.0	71.4	145.8	146.7	133.4	120.0	111.2	94.7	80.2	66.0	55.1	91%	
34	0.95	298	568.0	40.1	96.2	98.4	91.1	77.8	73.0	62.7	53.2	43.6	35.9	93%	93%
		299	568.0	40.2	96.2	97.9	91.5	77.9	72.9	63.5	53.5	43.7	36.0	93%	
		300	568.0	40.2	95.6	97.6	91.4	77.8	72.5	63.3	53.2	43.6	35.7	94%	
		301	750.0	53.0	125.1	127.5	119.9	101.9	94.3	82.8	69.9	56.7	46.7	94%	94%
		302	756.0	53.4	126.0	128.9	120.7	102.6	95.0	83.6	70.6	57.4	47.1	94%	
		303	760.0	53.7	126.1	129.0	120.6	102.5	95.0	83.3	70.2	57.0	46.9	93%	
		304	1050.0	74.2	170.5	176.2	163.7	139.9	129.6	112.2	94.6	77.0	62.8	93%	

		305	1005.0	71.0	163.7	170.2	157.5	134.2	124.9	107.0	90.3	74.2	60.6	93%	
		306	1006.0	71.1	164.9	171.8	158.4	135.5	126.1	107.4	90.6	74.6	60.8	92%	
36	1	316	577.0	40.8	112.8	118.2	101.4	79.5	71.6	56.0	43.0	30.6	21.0	86%	86%
		317	564.0	39.9	110.7	115.9	99.5	78.5	70.6	55.2	42.7	30.4	20.9	86%	
		318	569.0	40.2	111.8	116.9	100.4	78.9	71.2	55.7	43.3	30.6	21.1	86%	
		319	758.0	53.6	146.4	154.6	132.6	105.2	94.6	74.0	57.5	40.3	27.8	86%	
		320	757.0	53.5	146.0	154.5	131.9	104.8	94.2	73.9	56.9	40.3	27.3	85%	86%
		321	754.0	53.3	146.3	154.7	132.4	105.0	94.4	73.9	57.0	40.4	27.4	86%	
		322	1030.0	72.8	204.4	217.3	182.7	147.4	132.5	103.7	79.8	56.4	37.2	84%	84%
		323	1008.0	71.2	199.2	211.6	179.0	143.8	129.2	101.3	77.9	55.1	36.7	85%	
324	1012.0	71.5	198.4	210.9	178.3	143.3	128.8	100.8	77.7	54.7	36.3	85%			
38	1.05	334	564.0	39.9	120.4	127.0	108.5	84.5	76.3	62.0	50.7	40.3	32.5	85%	85%
		335	570.0	40.3	122.2	127.8	109.3	85.1	77.2	62.8	51.1	40.6	32.9	86%	
		336	566.0	40.0	121.0	127.2	108.6	84.3	76.6	62.4	51.0	40.3	32.5	85%	
		337	755.0	53.4	157.0	168.5	143.3	112.1	101.2	82.3	67.2	53.5	43.2	85%	85%
		338	756.0	53.4	157.2	168.5	143.2	112.2	101.5	82.5	67.4	53.5	43.0	85%	
		339	755.0	53.4	157.6	168.8	144.0	112.4	101.4	82.8	67.6	53.7	43.3	85%	
		340	1045.0	73.9	215.9	230.8	198.6	154.2	138.7	113.2	92.4	73.1	58.9	86%	86%
		341	1001.0	70.8	208.7	223.9	191.4	149.0	134.5	109.1	89.1	70.7	56.7	85%	
		342	1017.0	71.9	211.5	225.4	193.6	150.6	135.6	110.2	89.9	71.3	57.4	86%	

Anexo 3. Resultados de cálculo de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 211A, sentido San Francisco – La Colina.

ID Estación	Estacionamiento	ID Caída	Presión (kPa)	Fuerza (KN)	D1 (µm)	D2 (µm)	D3 (µm)	D4 (µm)	D5 (µm)	D6 (µm)	D7 (µm)	D8 (µm)	D9 (µm)	LTE	Promedio
2	0	10	603.0	42.6	127.7	138.7	124.2	101.7	94.8	80.1	67.6	55.0	44.6	90%	89%
		11	603.0	42.6	128.0	140.1	125.1	102.0	95.5	80.6	68.6	54.8	45.7	89%	
		12	602.0	42.5	127.4	139.1	124.7	101.6	95.2	80.3	68.4	54.6	46.4	90%	
		13	756.0	53.5	157.7	174.2	155.6	126.8	118.6	99.9	84.9	68.0	57.0	89%	89%
		14	755.0	53.4	157.6	174.0	155.4	126.6	118.4	100.0	84.9	68.1	57.1	89%	
		15	754.0	53.3	157.3	173.7	154.7	126.4	118.1	99.6	84.5	67.6	56.8	89%	
		16	985.0	69.6	208.3	226.7	204.1	165.4	154.2	130.2	110.2	88.7	73.3	90%	90%
		17	1001.0	70.8	211.7	229.1	206.0	168.4	156.5	132.7	111.8	91.1	74.0	90%	
18	994.0	70.3	212.5	231.2	207.2	169.2	157.4	133.5	112.9	90.8	75.3	90%			
4	0.05	28	598.0	42.2	80.9	87.2	72.2	60.3	55.2	47.2	40.5	33.9	28.7	83%	83%
		29	598.0	42.3	80.4	87.0	72.1	59.9	54.9	47.0	39.9	33.4	28.4	83%	
		30	599.0	42.4	79.9	86.4	71.5	59.3	54.1	46.4	39.3	32.8	27.6	83%	

		31	754.0	53.3	101.6	108.3	89.8	75.1	69.0	58.9	50.4	42.3	35.6	83%	83%
		32	758.0	53.6	101.6	108.9	90.4	75.6	69.4	59.3	50.7	42.8	35.9	83%	
		33	753.0	53.2	101.8	108.7	90.1	75.3	69.1	59.0	50.6	42.3	35.5	83%	
		34	977.0	69.1	133.7	141.8	118.1	99.2	91.2	78.1	67.0	56.3	47.4	83%	
		35	1006.0	71.1	136.4	144.8	120.6	101.3	92.8	79.4	68.2	57.1	48.4	83%	
		36	1002.0	70.8	135.6	144.4	120.3	101.2	92.7	79.6	68.2	57.3	48.3	83%	
6	0.11	46	592.0	41.8	83.4	86.7	74.0	60.8	55.3	46.1	39.1	32.6	27.3	85%	86%
		47	591.0	41.8	84.1	87.1	74.5	61.2	55.4	46.4	39.2	32.7	27.4	86%	
		48	593.0	41.9	84.1	87.1	74.7	61.0	55.5	46.3	39.1	32.7	27.3	86%	
		49	754.0	53.3	100.6	109.3	93.4	77.1	70.3	58.7	49.5	41.6	35.1	85%	85%
		50	756.0	53.4	101.3	109.9	93.7	77.2	70.6	59.0	49.5	41.5	35.4	85%	
		51	750.0	53.0	101.1	109.6	93.6	77.4	70.4	58.7	49.4	41.4	35.0	85%	
		52	975.0	68.9	135.4	142.8	121.6	100.5	91.4	76.6	64.4	54.0	45.5	85%	85%
		53	994.0	70.3	138.7	145.9	124.2	102.6	93.1	78.0	65.5	54.7	46.4	85%	
		54	1002.0	70.8	140.3	147.2	125.1	103.2	93.9	78.6	66.0	55.1	46.7	85%	
8	0.16	64	581.0	41.1	139.6	148.7	132.1	100.0	90.4	73.0	58.9	47.0	37.4	89%	89%
		65	569.0	40.2	137.2	145.5	129.4	98.0	88.5	71.6	57.5	45.8	36.2	89%	
		66	569.0	40.2	137.1	145.6	129.0	98.0	88.4	71.4	57.1	45.6	35.8	89%	
		67	760.0	53.7	176.3	191.3	168.4	128.8	115.8	93.9	75.6	59.8	48.1	88%	88%
		68	758.0	53.5	175.6	190.5	167.9	128.5	115.6	93.9	75.4	59.8	47.8	88%	
		69	757.0	53.5	175.0	189.7	167.1	127.8	115.0	93.3	75.1	59.3	47.4	88%	
		70	969.0	68.5	224.5	240.7	211.6	162.6	146.2	118.6	95.5	75.6	60.4	88%	88%
		71	994.0	70.3	229.3	246.2	216.2	166.5	149.9	121.4	97.8	77.3	61.7	88%	
		72	1002.0	70.8	231.5	248.1	217.9	167.5	151.1	122.4	98.8	78.1	62.4	88%	
10	0.21	82	593.0	41.9	68.3	68.8	62.8	55.3	51.8	44.6	38.7	32.6	28.3	91%	91%
		83	592.0	41.9	68.0	68.4	62.5	55.1	51.9	44.8	39.0	32.8	28.4	91%	
		84	592.0	41.8	68.3	68.6	62.7	55.3	51.9	44.8	38.9	33.1	28.3	91%	
		85	754.0	53.3	83.3	86.5	80.0	69.5	65.1	56.0	48.6	41.1	35.2	92%	93%
		86	755.0	53.4	84.4	87.3	80.8	70.5	65.8	57.0	49.4	42.0	36.1	93%	
		87	755.0	53.3	83.8	86.9	80.8	70.3	65.6	56.6	49.2	41.8	35.9	93%	
		88	976.0	69.0	109.9	112.6	102.9	91.0	85.1	73.5	63.7	53.5	45.8	91%	92%
		89	995.0	70.4	111.7	114.7	105.3	92.6	86.6	74.7	64.6	54.4	46.6	92%	
		90	996.0	70.4	112.9	115.9	106.0	93.2	87.1	75.2	64.9	54.7	46.8	91%	
12	0.26	100	583.0	41.2	73.7	75.3	68.8	59.2	55.0	47.2	40.3	33.9	28.9	91%	91%
		101	574.0	40.5	71.5	73.3	66.4	57.4	53.3	45.9	39.3	32.9	28.3	91%	
		102	568.0	40.2	71.1	72.7	65.7	57.0	53.1	45.2	38.9	32.8	28.3	90%	
		103	766.0	54.1	94.9	97.4	88.8	76.7	70.5	60.7	51.8	43.5	37.6	91%	91%
		104	757.0	53.5	93.4	96.1	87.4	75.6	69.9	59.9	51.1	43.1	37.3	91%	
		105	756.0	53.5	93.6	96.0	87.5	75.4	69.6	59.8	51.0	43.0	36.9	91%	
		106	980.0	69.3	121.4	123.4	112.7	96.9	88.6	76.6	65.2	54.3	46.7	91%	92%
		107	981.0	69.4	124.2	125.4	115.0	98.8	88.6	78.5	66.7	55.4	47.8	92%	
		108	998.0	70.5	125.7	127.2	116.8	100.3	90.1	79.7	67.6	56.2	48.5	92%	
14	0.32	118	584.0	41.3	60.6	59.9	58.6	52.8	50.2	44.3	39.1	33.5	29.2	98%	97%

		119	568.0	40.1	60.2	59.3	57.5	51.8	49.2	43.4	38.3	32.9	28.7	97%	96%
		120	568.0	40.1	60.7	59.3	57.3	51.6	48.9	42.9	37.9	32.5	28.0	97%	
		121	765.0	54.0	78.4	81.9	77.9	69.9	65.1	56.8	49.1	42.5	37.6	95%	
		122	754.0	53.3	77.7	81.3	77.6	69.7	64.8	56.9	49.1	42.6	37.7	95%	
		123	756.0	53.4	77.9	78.1	75.4	68.5	64.7	56.8	49.5	42.9	37.2	97%	
		124	970.0	68.6	106.1	105.3	100.0	90.0	83.4	73.0	62.4	54.2	48.1	95%	
		125	990.0	70.0	107.5	106.9	101.4	92.2	85.8	75.1	64.3	56.1	49.2	95%	
		126	997.0	70.5	107.8	106.9	101.5	92.2	85.6	74.9	64.0	55.9	49.4	95%	
16	0.37	136	583.0	41.2	60.3	62.8	54.4	47.7	44.7	38.4	32.7	27.4	23.0	87%	86%
		137	567.0	40.1	58.8	61.3	53.0	46.8	43.7	37.3	31.9	26.7	22.6	86%	
		138	567.0	40.1	58.5	60.9	52.6	46.6	43.5	37.2	31.9	26.8	22.6	86%	
		139	762.0	53.8	79.1	81.6	71.0	62.0	57.8	49.7	42.2	35.6	30.0	87%	87%
		140	757.0	53.5	78.6	80.9	70.3	61.6	57.4	49.4	41.7	35.2	29.5	87%	
		141	755.0	53.4	78.1	80.7	70.4	61.9	57.4	49.3	41.8	35.2	29.6	87%	
		142	972.0	68.7	102.4	104.6	91.1	80.3	74.6	64.1	54.1	45.5	38.3	87%	87%
		143	1005.0	71.0	104.8	106.9	93.2	82.1	76.2	65.5	55.4	46.7	39.2	87%	
144	992.0	70.1	105.8	108.0	94.4	82.4	76.5	65.5	55.1	46.6	39.2	87%			
18	0.43	154	582.0	41.2	63.8	66.5	57.6	51.9	48.9	41.8	36.0	30.4	25.8	87%	87%
		155	568.0	40.1	62.6	64.8	56.2	50.5	47.4	40.7	34.8	29.2	25.0	87%	
		156	569.0	40.2	62.5	64.5	56.0	50.3	47.4	40.8	34.9	29.0	24.9	87%	
		157	765.0	54.0	83.8	85.7	75.3	67.4	63.0	54.0	46.5	39.0	33.1	88%	87%
		158	756.0	53.4	82.5	85.3	74.3	66.6	62.3	53.7	46.1	38.8	32.9	87%	
		159	754.0	53.3	82.4	84.9	74.3	66.8	62.4	53.6	46.1	38.6	32.7	88%	
		160	985.0	69.6	108.8	111.0	97.0	87.2	81.2	69.8	60.1	50.4	42.8	87%	87%
		161	997.0	70.5	110.5	112.2	97.7	87.9	81.9	70.7	60.6	50.8	43.1	87%	
162	992.0	70.1	111.3	113.3	98.6	88.6	82.7	71.1	61.0	51.3	43.6	87%			
20	0.48	172	580.0	41.0	60.9	60.6	56.2	49.2	45.9	38.8	33.1	27.5	23.1	93%	93%
		173	566.0	40.0	59.6	59.4	55.4	48.2	45.1	38.0	32.2	26.6	22.5	93%	
		174	568.0	40.2	60.2	59.9	55.6	48.5	45.3	38.6	32.6	27.4	23.1	93%	
		175	763.0	53.9	77.8	79.1	73.5	64.2	59.6	51.0	43.1	36.0	30.3	93%	93%
		176	755.0	53.3	77.6	78.6	73.1	63.8	59.4	50.8	43.1	35.9	30.1	93%	
		177	753.0	53.2	78.1	78.8	73.3	63.9	59.4	50.8	43.0	35.9	30.1	93%	
		178	983.0	69.5	101.9	100.9	93.9	82.5	76.3	65.2	55.1	45.8	38.6	93%	93%
		179	1000.0	70.7	104.0	102.9	95.8	84.2	77.8	66.5	56.2	46.7	39.3	93%	
180	1008.0	71.3	104.2	103.5	96.5	84.7	78.3	66.9	56.6	47.1	39.4	93%			
22	0.53	190	579.0	40.9	112.9	118.0	106.7	87.3	79.2	63.8	50.8	39.8	31.2	90%	90%
		191	567.0	40.1	112.0	116.6	104.9	85.8	77.8	62.9	50.1	39.1	30.4	90%	
		192	568.0	40.1	111.7	116.4	104.8	85.6	77.8	62.5	49.7	38.8	30.5	90%	
		193	762.0	53.8	144.4	153.1	138.1	112.1	101.4	81.6	64.8	50.5	39.2	90%	90%
		194	753.0	53.3	144.1	152.1	137.2	111.9	101.4	81.9	65.5	51.4	40.2	90%	
		195	758.0	53.6	144.5	152.5	137.3	111.9	101.3	81.9	65.2	51.2	40.1	90%	
		196	983.0	69.5	186.3	192.8	174.3	141.7	128.1	103.5	82.4	64.7	51.0	90%	90%
		197	990.0	69.9	189.2	196.1	177.7	144.0	130.0	105.0	83.7	65.6	51.5	91%	
198	997.0	70.5	191.2	197.8	178.9	145.1	131.1	106.0	84.6	66.3	52.1	90%			

24	0.58	208	581.0	41.1	104.0	104.3	96.9	78.6	71.1	56.6	44.3	34.1	25.9	93%	93%
		209	565.0	40.0	102.0	101.3	94.0	76.3	69.2	55.0	43.2	32.9	25.3	93%	
		210	570.0	40.3	102.7	102.0	94.6	76.7	69.6	55.4	43.4	33.0	25.4	93%	
		211	761.0	53.8	128.3	136.1	126.6	102.9	93.3	74.4	58.4	44.6	34.4	93%	93%
		212	755.0	53.4	127.8	135.0	125.6	101.9	92.3	73.6	57.7	44.0	33.9	93%	
		213	754.0	53.3	128.6	135.3	126.2	102.4	92.7	73.9	58.0	44.4	34.5	93%	
		214	964.0	68.1	172.2	176.8	164.9	133.9	120.9	96.5	75.6	57.5	44.1	93%	93%
		215	995.0	70.3	175.8	181.3	168.6	137.3	123.9	98.9	77.5	59.3	45.4	93%	
216	989.0	69.9	177.4	182.7	169.9	138.2	124.7	99.6	78.1	59.7	45.9	93%			
26	0.63	226	578.0	40.8	85.0	81.9	75.6	66.6	62.7	55.2	48.2	41.7	35.5	92%	92%
		227	565.0	40.0	82.6	79.6	73.6	64.6	60.7	53.5	46.7	40.3	34.3	92%	
		228	568.0	40.1	83.0	80.0	73.3	64.6	61.1	54.0	47.0	40.7	34.6	92%	
		229	755.0	53.4	100.5	104.6	94.0	84.8	79.9	70.3	61.4	53.0	45.2	90%	91%
		230	754.0	53.3	101.1	105.3	94.9	85.4	80.4	70.9	61.9	53.3	45.7	90%	
		231	757.0	53.5	101.8	105.8	97.8	85.9	81.0	71.1	62.1	53.2	45.7	92%	91%
		232	969.0	68.5	129.4	133.5	120.1	108.8	102.1	90.2	78.7	67.4	57.8	90%	
		233	982.0	69.4	133.1	136.0	125.6	111.1	104.5	92.1	80.4	68.5	59.3	92%	
234	995.0	70.3	134.7	137.9	123.2	112.7	106.4	93.3	81.7	69.2	60.1	89%			
28	0.69	244	582.0	41.1	102.2	110.3	90.0	69.5	62.4	50.0	40.0	32.2	25.8	82%	82%
		245	566.0	40.0	100.1	107.7	88.2	67.9	61.0	48.9	39.6	31.4	25.1	82%	
		246	564.0	39.9	100.0	107.5	87.7	67.6	60.7	48.5	39.2	31.2	25.0	82%	
		247	759.0	53.6	128.8	143.1	116.3	90.2	80.9	65.1	52.6	41.9	33.7	81%	81%
		248	758.0	53.6	128.9	143.5	116.5	90.7	81.2	65.6	52.6	42.0	34.2	81%	
		249	757.0	53.5	127.8	142.7	115.5	90.1	80.7	64.9	52.4	41.8	33.6	81%	81%
		250	975.0	68.9	168.6	185.0	150.4	117.1	104.6	84.2	68.2	53.9	43.5	81%	
		251	994.0	70.3	173.5	189.6	154.3	119.9	107.1	86.4	70.0	55.2	44.7	81%	
252	1020.0	72.1	175.1	191.2	155.5	120.8	108.1	87.1	70.3	55.8	45.3	81%			
30	0.74	262	559.0	39.5	49.2	45.8	42.9	38.1	35.6	30.5	26.4	22.5	19.4	94%	94%
		263	574.0	40.6	49.1	46.1	43.6	39.0	36.7	31.4	27.2	23.4	20.2	95%	
		264	565.0	40.0	49.5	46.4	43.5	38.6	36.1	31.1	26.9	22.9	19.8	94%	
		265	761.0	53.8	66.2	62.5	58.5	51.7	48.7	41.9	36.1	30.9	26.9	94%	94%
		266	754.0	53.3	65.5	61.9	57.9	51.2	48.1	41.4	35.9	30.7	26.7	94%	
		267	756.0	53.4	66.2	62.0	58.2	51.5	48.4	41.8	36.1	31.1	26.9	94%	94%
		268	969.0	68.5	86.3	80.1	75.0	66.8	62.3	53.9	46.5	39.9	34.5	94%	
		269	983.0	69.5	87.8	82.0	76.7	68.2	63.5	55.1	47.3	40.7	35.2	94%	
270	999.0	70.6	89.7	83.1	77.7	69.1	64.5	55.8	47.9	41.1	35.6	94%			
32	0.79	280	571.0	40.4	73.6	74.7	73.2	61.9	58.7	51.8	45.1	38.5	32.7	98%	98%
		281	565.0	40.0	72.6	73.8	72.4	61.0	58.3	51.5	44.9	38.6	32.5	98%	
		282	564.0	39.9	72.6	73.7	72.3	61.2	58.1	51.2	44.6	38.3	32.3	98%	
		283	760.0	53.7	93.9	97.7	95.5	81.6	77.1	68.1	59.5	50.9	43.4	98%	98%
		284	752.0	53.1	93.8	97.3	94.7	81.3	76.6	67.6	59.2	50.8	43.2	97%	
		285	755.0	53.3	93.9	97.2	94.7	81.4	76.9	67.7	59.3	50.8	43.2	97%	97%
		286	983.0	69.5	124.5	125.5	122.2	105.0	99.2	87.2	76.1	65.1	55.2	97%	
		287	997.0	70.5	125.8	126.7	123.2	106.1	100.3	88.5	77.1	66.2	56.3	97%	
288	982.0	69.4	125.2	127.2	123.5	106.4	100.5	88.6	77.3	66.3	56.6	97%			

34	0.84	298	579.0	40.9	65.3	66.0	61.5	53.9	51.2	45.0	39.6	33.7	29.4	93%	93%
		299	565.0	40.0	63.0	64.2	59.3	52.7	49.9	44.2	38.3	33.1	28.9	92%	
		300	571.0	40.4	63.2	64.5	59.6	52.8	50.2	44.2	38.5	33.4	28.7	92%	
		301	757.0	53.5	84.8	85.1	78.7	69.9	66.0	58.1	50.7	43.8	37.7	92%	93%
		302	760.0	53.7	85.0	85.3	79.2	69.8	65.9	58.1	50.8	43.6	37.8	93%	
		303	756.0	53.4	84.8	85.1	78.7	69.8	65.7	57.9	50.4	43.5	37.3	92%	
		304	988.0	69.9	111.8	110.2	102.9	90.3	85.3	74.8	65.6	56.0	48.3	93%	93%
		305	987.0	69.8	111.2	110.8	103.1	91.1	85.8	75.5	66.0	56.5	48.7	93%	
306	1006.0	71.1	113.0	112.1	104.4	92.2	86.7	76.3	66.6	57.0	48.9	93%			
36	0.89	316	576.0	40.7	89.1	97.0	77.4	66.2	60.9	50.2	41.7	34.7	30.0	80%	80%
		317	567.0	40.1	87.9	95.6	76.5	64.8	59.5	49.1	41.1	33.9	29.2	80%	
		318	569.0	40.2	88.4	96.1	76.6	65.3	59.8	49.4	41.3	34.1	29.5	80%	
		319	757.0	53.5	118.3	126.3	101.3	86.8	79.0	65.5	55.0	45.6	38.9	80%	80%
		320	753.0	53.3	118.1	126.1	101.4	86.6	78.9	65.2	54.9	45.5	38.8	80%	
		321	757.0	53.5	118.2	126.6	101.8	87.4	79.5	65.5	54.9	45.7	39.0	80%	
		322	979.0	69.2	153.7	162.8	132.7	112.8	102.3	84.2	70.2	57.8	49.1	82%	82%
		323	977.0	69.1	155.0	165.4	135.0	114.6	104.2	85.6	71.8	59.4	50.3	82%	
324	1010.0	71.4	157.8	168.9	137.7	116.7	106.2	87.3	73.0	60.3	51.0	82%			
38	0.94	334	579.0	40.9	74.7	77.1	70.2	57.3	52.8	45.2	38.6	33.1	28.8	91%	91%
		335	567.0	40.1	73.1	75.8	69.1	56.2	51.9	44.5	38.1	32.5	28.7	91%	
		336	567.0	40.1	73.1	75.8	69.0	55.9	51.6	44.3	37.8	32.2	28.1	91%	
		337	761.0	53.8	98.8	99.8	90.9	74.2	68.4	58.5	50.0	42.4	37.2	91%	91%
		338	757.0	53.5	98.3	98.7	89.9	73.4	67.4	57.8	49.3	41.9	36.5	91%	
		339	755.0	53.4	98.8	99.3	90.4	74.0	68.2	58.4	49.9	42.4	37.3	91%	
		340	974.0	68.8	128.0	128.0	116.9	96.1	88.5	75.1	63.6	54.4	46.9	91%	91%
		341	990.0	70.0	129.9	130.5	119.1	97.8	90.1	76.5	64.9	55.4	47.8	91%	
342	1002.0	70.8	129.5	131.4	119.7	98.4	90.3	76.6	65.1	55.3	47.9	91%			
40	1	352	583.0	41.2	73.8	76.8	70.5	57.1	54.2	48.5	40.8	34.6	30.2	92%	93%
		353	565.0	39.9	70.9	73.9	69.4	53.9	52.1	48.1	39.9	33.4	29.3	94%	
		354	567.0	40.1	72.6	75.1	70.2	55.2	52.7	47.9	39.9	33.5	29.4	93%	
		355	758.0	53.6	95.1	98.1	91.1	73.5	69.7	63.1	53.0	44.8	39.2	93%	93%
		356	762.0	53.9	95.4	98.7	91.7	73.6	70.0	63.4	53.3	45.1	39.3	93%	
		357	755.0	53.3	94.6	97.8	91.0	73.0	69.4	62.7	52.8	44.6	38.9	93%	
		358	974.0	68.9	125.6	126.9	117.7	96.0	90.6	80.8	68.7	58.0	50.2	93%	93%
		359	1007.0	71.2	128.1	129.8	120.0	97.9	92.5	82.2	69.8	59.1	51.3	92%	
360	1003.0	70.9	128.5	130.3	120.5	98.6	93.0	82.5	70.0	59.6	51.6	92%			
42	1.05	370	577.0	40.8	73.3	76.5	69.0	57.4	53.1	44.7	37.8	31.5	26.8	90%	90%
		371	565.0	39.9	71.9	74.9	67.5	56.2	52.0	43.8	37.0	30.8	26.1	90%	
		372	568.0	40.1	72.2	74.9	67.9	56.3	52.2	43.9	37.1	31.0	26.4	91%	
		373	758.0	53.6	97.1	98.6	89.3	74.6	68.9	58.1	48.9	40.6	34.4	91%	91%
		374	753.0	53.2	97.0	98.4	89.0	74.5	68.8	58.2	49.0	40.6	34.5	90%	
		375	758.0	53.6	97.2	98.6	89.3	74.6	69.0	58.0	49.1	40.6	34.4	91%	
		376	972.0	68.7	126.6	127.2	115.8	96.8	89.1	75.2	63.6	52.9	44.6	91%	91%
		377	1002.0	70.9	130.3	130.5	119.2	99.4	91.5	77.3	65.3	54.4	46.1	91%	

		378	1014.0	71.7	131.0	131.6	120.0	100.3	92.2	77.4	65.1	54.1	45.9	91%	
44	1.1	388	584.0	41.3	86.3	93.1	82.8	69.4	64.1	54.6	46.4	38.9	33.6	89%	89%
		389	566.0	40.0	84.2	90.4	80.3	67.5	62.3	53.3	45.1	37.8	32.8	89%	
		390	565.0	39.9	84.2	90.9	80.9	67.6	62.3	53.0	44.8	37.3	32.3	89%	
		391	761.0	53.8	113.9	119.2	106.9	89.3	82.0	70.3	59.5	49.5	43.1	90%	90%
		392	756.0	53.4	112.8	118.2	106.7	89.0	81.9	70.3	59.7	49.6	43.1	90%	
		393	756.0	53.4	112.9	118.1	106.0	88.9	81.8	70.1	59.3	49.5	43.0	90%	
		394	965.0	68.2	148.0	151.0	136.9	113.7	104.3	89.3	75.4	63.6	53.9	91%	90%
		395	1003.0	70.9	151.9	154.2	139.2	116.5	107.0	91.2	77.1	65.0	55.8	90%	
396	994.0	70.2	150.4	154.4	137.8	116.6	107.3	90.9	77.0	64.7	55.8	89%			
46	1.15	406	577.0	40.8	101.6	109.2	100.3	76.5	70.0	57.4	48.3	40.6	34.6	92%	92%
		407	568.0	40.2	99.5	107.1	98.3	75.0	68.4	56.4	47.3	40.0	34.0	92%	
		408	565.0	39.9	99.7	107.2	98.4	75.0	68.6	56.2	46.9	39.8	34.0	92%	
		409	757.0	53.5	130.2	139.0	127.4	97.5	88.4	73.6	61.5	51.1	43.4	92%	92%
		410	758.0	53.5	130.2	139.4	128.0	98.1	88.7	73.8	61.6	51.5	43.8	92%	
		411	756.0	53.5	132.1	140.7	128.7	98.8	89.8	74.7	62.5	52.4	44.7	91%	
		412	980.0	69.3	170.2	178.0	162.1	125.7	114.2	94.7	79.0	66.0	55.8	91%	91%
		413	995.0	70.3	174.6	181.7	166.2	128.2	115.9	96.7	80.3	67.0	56.6	91%	
414	1008.0	71.3	176.1	184.2	167.6	129.4	117.2	97.3	80.7	67.2	56.8	91%			
48	1.2	424	572.0	40.5	111.5	118.9	102.2	79.0	72.9	62.1	53.5	46.1	40.0	86%	86%
		425	567.0	40.1	109.6	117.3	100.7	78.1	71.7	61.0	52.9	45.7	39.6	86%	
		426	568.0	40.1	109.4	117.2	100.8	77.7	71.7	61.0	52.5	45.7	39.3	86%	
		427	760.0	53.7	137.0	151.6	132.0	101.3	92.8	79.3	68.1	59.0	50.7	87%	87%
		428	758.0	53.5	136.4	150.9	131.6	101.1	92.7	79.0	68.0	58.9	50.6	87%	
		429	753.0	53.2	136.6	150.7	131.5	100.9	92.7	78.9	67.8	58.7	50.8	87%	
		430	980.0	69.3	177.2	190.8	169.7	128.8	117.9	100.4	86.2	74.0	63.8	89%	89%
		431	999.0	70.6	180.4	194.0	172.9	130.9	119.7	102.0	87.3	75.4	65.3	89%	
432	997.0	70.5	181.5	195.0	174.0	131.5	120.3	102.4	87.6	75.4	64.8	89%			
50	1.25	442	573.0	40.5	86.2	88.7	71.1	61.8	56.9	49.1	43.0	37.4	32.5	80%	80%
		443	567.0	40.1	85.8	88.0	70.1	61.1	56.6	48.6	42.6	37.2	32.5	80%	
		444	567.0	40.0	85.2	87.6	69.9	61.3	56.6	48.7	42.7	37.2	32.3	80%	
		445	757.0	53.5	106.5	113.8	92.2	79.6	73.3	63.2	55.6	48.4	42.1	81%	81%
		446	756.0	53.5	107.3	114.2	92.4	79.7	73.3	63.3	55.4	48.1	42.0	81%	
		447	758.0	53.5	106.8	113.6	91.8	79.4	73.2	63.0	55.3	48.1	41.9	81%	
		448	978.0	69.2	139.3	144.4	117.9	101.7	93.6	80.3	70.2	61.2	53.4	82%	82%
		449	1001.0	70.7	142.2	147.3	120.0	103.2	94.9	81.7	71.4	62.4	54.2	81%	
450	1003.0	70.9	142.4	148.1	120.6	103.7	95.3	82.2	72.1	62.9	54.8	81%			
52	1.31	460	580.0	41.0	70.0	71.1	64.1	55.3	51.6	44.2	37.9	32.0	27.0	90%	91%
		461	565.0	39.9	69.0	69.6	63.4	54.4	50.6	43.1	37.1	31.3	26.3	91%	
		462	568.0	40.2	69.0	69.7	63.5	54.6	50.7	43.1	36.9	31.1	26.2	91%	
		463	756.0	53.4	90.4	91.7	83.7	72.0	66.8	56.9	48.4	40.6	34.7	91%	91%
		464	753.0	53.2	89.9	91.9	83.7	71.9	66.9	57.0	48.6	41.0	34.7	91%	
		465	760.0	53.7	90.4	92.1	83.8	72.3	66.9	57.1	48.9	41.1	35.0	91%	
466	978.0	69.1	115.2	117.6	107.0	92.5	85.5	72.9	62.0	52.1	44.3	91%	91%		

		467	986.0	69.7	117.3	120.4	109.5	94.5	87.2	74.4	63.3	53.3	45.2	91%	
		468	1000.0	70.7	118.2	121.4	110.5	95.5	88.3	75.2	63.8	53.8	45.6	91%	
54	1.38	478	571.0	40.3	72.7	74.9	60.7	56.7	52.7	45.1	38.0	31.9	27.2	81%	81%
		479	566.0	40.0	72.3	74.8	60.4	56.3	52.4	44.5	37.8	31.7	26.9	81%	
		480	570.0	40.3	72.3	74.8	60.5	56.3	52.4	45.0	37.7	31.9	27.1	81%	
		481	756.0	53.4	89.9	98.2	79.8	74.2	68.8	59.2	49.4	41.5	36.2	81%	
		482	753.0	53.3	89.6	98.3	79.7	73.8	68.5	58.1	49.7	41.9	35.7	81%	81%
		483	756.0	53.4	89.7	98.3	80.0	74.0	68.8	58.4	49.9	41.7	35.8	81%	
		484	990.0	70.0	122.8	128.1	104.5	96.1	88.8	75.5	64.0	53.7	45.8	82%	82%
		485	1001.0	70.8	123.8	129.9	105.8	97.1	89.8	76.2	65.0	54.4	46.6	81%	
486	996.0	70.4	124.5	130.2	106.1	97.4	90.0	76.2	65.3	54.8	46.5	81%			
56	1.41	496	579.0	40.9	68.0	71.1	57.4	49.5	45.6	38.7	33.1	29.0	25.3	81%	81%
		497	565.0	39.9	65.5	68.2	55.2	48.2	44.4	37.6	32.4	28.3	24.8	81%	
		498	568.0	40.2	66.7	69.2	55.9	48.3	44.8	37.8	32.6	28.6	24.6	81%	
		499	761.0	53.8	87.3	91.9	74.5	64.2	59.0	49.9	43.1	37.3	32.6	81%	81%
		500	754.0	53.3	86.0	90.7	73.2	63.5	58.6	49.6	42.5	36.6	32.5	81%	
		501	753.0	53.2	85.7	90.7	73.8	63.6	58.5	49.6	42.3	36.7	32.4	81%	
		502	973.0	68.8	113.7	118.5	96.7	82.6	75.9	64.1	55.1	48.0	41.9	82%	82%
		503	1000.0	70.7	116.3	120.7	98.8	84.5	77.4	65.4	56.2	48.9	42.4	82%	
504	996.0	70.4	116.4	121.5	99.3	85.2	77.9	65.7	56.5	49.3	42.9	82%			
58	1.46	514	576.0	40.7	73.3	80.5	68.9	54.5	49.8	42.5	36.6	31.8	28.2	86%	86%
		515	565.0	40.0	72.3	79.1	67.9	53.7	49.0	42.1	35.9	31.4	27.9	86%	
		516	564.0	39.9	71.9	79.3	67.7	53.1	49.0	41.9	36.0	31.1	27.8	85%	
		517	753.0	53.2	95.6	103.2	88.6	70.0	64.0	54.9	47.3	41.1	36.7	86%	86%
		518	759.0	53.6	96.2	103.7	88.8	70.2	64.4	55.0	47.5	41.2	36.7	86%	
		519	753.0	53.3	96.1	103.4	88.9	70.3	64.2	54.9	47.5	41.1	36.7	86%	
		520	979.0	69.2	123.7	133.2	114.4	90.0	82.3	70.2	60.6	52.8	46.9	86%	86%
		521	998.0	70.5	126.5	135.9	116.5	91.9	83.9	71.3	61.6	53.5	47.8	86%	
522	1019.0	72.1	127.5	137.1	117.7	92.8	84.6	72.1	62.0	53.8	47.8	86%			
60	1.53	532	566.0	40.0	67.7	73.6	65.1	50.2	46.8	39.4	34.1	29.3	25.0	88%	89%
		533	569.0	40.2	68.1	73.8	65.9	50.4	46.8	39.9	34.6	29.3	25.5	89%	
		534	568.0	40.1	68.6	74.1	66.0	50.9	47.6	40.4	35.1	30.2	26.3	89%	
		535	748.0	52.9	88.6	95.6	85.6	65.5	60.6	51.7	44.4	37.9	33.1	90%	89%
		536	757.0	53.5	89.5	96.8	86.6	66.1	61.2	52.2	44.9	38.4	33.5	89%	
		537	755.0	53.3	89.5	96.9	86.5	66.2	61.2	52.1	44.9	38.2	33.3	89%	
		538	977.0	69.0	116.9	124.4	111.5	85.5	78.7	67.0	57.7	49.2	42.5	90%	89%
		539	1000.0	70.7	119.6	127.7	113.8	87.1	80.6	68.5	58.7	50.0	43.3	89%	
540	1005.0	71.0	120.9	128.2	114.8	88.0	81.1	68.9	59.0	50.3	43.8	90%			
62	1.58	550	568.0	40.1	87.7	89.5	80.5	66.6	60.8	53.9	44.9	37.6	33.5	90%	90%
		551	565.0	40.0	87.7	89.8	80.3	66.6	61.2	53.7	45.1	37.5	33.0	89%	
		552	570.0	40.3	87.6	89.6	80.7	66.8	61.1	54.0	45.1	37.6	33.2	90%	
		553	751.0	53.1	114.0	116.5	103.9	87.1	79.7	70.2	58.8	49.1	43.3	89%	89%
		554	757.0	53.5	114.7	117.1	104.8	87.4	80.0	70.6	58.9	49.5	43.4	89%	
		555	753.0	53.2	113.5	116.1	103.3	86.5	79.2	69.6	58.0	48.3	42.7	89%	

		556	973.0	68.7	148.2	151.0	133.1	111.6	102.2	90.7	75.1	63.7	55.4	88%	88%		
		557	1010.0	71.4	151.8	154.5	136.1	114.2	104.4	92.9	76.7	64.7	56.4	88%			
		558	1007.0	71.2	151.8	154.5	136.4	114.0	104.5	93.0	76.7	64.8	56.5	88%			
64	1.63	568	562.0	39.7	104.3	114.1	102.6	71.7	64.1	51.7	42.3	33.3	28.4	90%	90%		
		569	568.0	40.2	105.0	114.6	103.1	72.3	64.6	52.0	42.5	33.8	28.5	90%			
		570	568.0	40.2	105.0	114.7	102.8	72.0	64.3	51.9	42.5	33.8	28.6	90%			
				571	756.0	53.5	135.8	147.1	131.3	93.7	83.7	67.5	55.2	44.2	37.3	89%	89%
				572	748.0	52.9	135.4	146.6	130.8	93.3	83.4	67.1	54.6	44.0	36.9	89%	
				573	755.0	53.4	136.2	147.5	131.4	93.8	83.7	67.2	54.6	43.7	36.7	89%	
				574	981.0	69.4	175.0	187.4	165.7	120.1	107.2	86.3	69.5	56.8	47.7	88%	88%
				575	986.0	69.7	177.7	190.6	168.5	121.9	108.9	87.5	70.6	57.9	48.4	88%	
				576	1001.0	70.8	179.7	192.6	170.5	123.5	110.3	88.8	72.0	58.6	49.2	89%	
66	1.69	586	572.0	40.4	100.9	107.3	101.2	75.9	69.7	59.4	51.5	44.8	39.0	94%	94%		
		587	569.0	40.2	100.1	106.3	100.4	75.3	69.5	59.0	51.2	44.4	38.9	94%			
		588	569.0	40.2	100.1	106.3	100.2	75.3	69.4	59.1	51.0	44.4	38.8	94%			
				589	758.0	53.5	129.8	137.9	130.4	98.3	90.5	77.2	66.8	58.5	51.0	95%	95%
				590	757.0	53.5	129.3	137.4	130.0	97.9	90.3	77.0	66.7	58.2	50.7	95%	
				591	752.0	53.2	129.2	137.0	129.7	97.7	90.0	76.9	66.3	58.1	50.6	95%	
				592	971.0	68.7	168.6	176.2	166.7	126.4	116.1	99.5	85.9	75.1	65.4	95%	95%
				593	1006.0	71.1	173.1	181.2	171.4	129.6	118.8	102.2	88.3	76.6	67.2	95%	
				594	994.0	70.3	173.1	180.8	173.1	129.8	118.7	102.2	88.6	76.9	67.3	96%	

Anexo 4. Resultados de cálculo de eficiencia de transferencia de carga (LTE) para el tramo 211, sentido La Colina - San Francisco

ID Estación	Estacionamiento	ID Calda	Presión (KPa)	Fuerza (KN)	D1 (µm)	D2 (µm)	D3 (µm)	D4 (µm)	D5 (µm)	D6 (µm)	D7 (µm)	D8 (µm)	D9 (µm)	LTE	Promedio		
2	0	10	612.0	43.3	111.3	119.1	110.9	86.2	79.4	68.4	57.2	47.3	40.4	93%	94%		
		11	615.0	43.4	110.6	118.2	111.5	86.1	79.1	68.1	56.7	47.2	40.2	94%			
		12	612.0	43.3	110.7	118.7	110.7	86.5	79.3	68.0	57.0	47.4	40.2	93%			
				13	757.0	53.5	134.6	144.7	136.2	104.9	96.2	82.3	69.2	57.2	48.6	94%	94%
				14	759.0	53.7	134.6	144.9	137.5	105.3	96.3	82.6	69.5	57.6	49.0	95%	
				15	758.0	53.6	134.5	145.0	136.0	105.3	96.5	82.6	69.7	57.8	49.4	94%	
				16	987.0	69.7	178.5	188.8	180.9	137.0	125.4	107.3	88.9	73.6	62.3	96%	94%
				17	1016.0	71.8	181.8	192.6	181.2	139.8	127.8	109.2	91.3	75.8	64.6	94%	
				18	995.0	70.4	180.7	191.1	178.7	139.0	127.2	109.2	90.9	75.9	64.5	94%	
4	0.06	28	611.0	43.2	78.9	78.0	73.0	64.0	59.2	51.1	45.2	37.4	30.5	94%	94%		
		29	612.0	43.3	78.8	77.8	73.1	63.8	58.6	50.6	44.8	36.8	29.8	94%			
		30	612.0	43.2	78.9	77.6	73.1	63.7	58.5	50.6	44.8	37.3	30.0	94%			

		31	754.0	53.3	95.7	95.8	89.7	78.6	71.9	62.0	55.1	45.2	37.5	94%	93%
		32	756.0	53.4	95.6	95.9	89.2	78.2	72.2	62.5	54.9	45.1	37.5	93%	
		33	752.0	53.2	95.1	95.8	89.0	78.3	72.3	62.2	54.6	44.7	37.3	93%	
		34	996.0	70.4	126.2	126.2	116.6	103.3	95.5	82.4	71.5	58.8	49.1	92%	92%
		35	995.0	70.3	128.6	128.0	118.1	104.8	96.5	83.2	73.1	59.9	49.9	92%	
		36	1008.0	71.3	129.8	129.3	118.7	106.3	98.1	84.3	73.6	60.4	50.7	92%	
6	0.11	46	600.0	42.4	73.8	72.4	68.2	58.7	54.7	47.3	41.1	35.4	30.5	94%	94%
		47	601.0	42.5	74.4	72.9	68.5	59.2	55.5	47.5	41.6	35.8	31.2	94%	
		48	599.0	42.3	73.7	72.5	68.1	58.5	54.7	46.8	40.6	34.9	30.1	94%	
		49	752.0	53.1	91.3	90.7	85.3	73.4	68.3	59.3	51.6	44.4	38.7	94%	94%
		50	753.0	53.2	90.5	90.1	85.0	73.4	68.2	59.7	51.6	44.6	38.7	94%	
		51	758.0	53.6	91.9	91.5	86.0	73.8	68.3	59.8	51.8	44.4	38.6	94%	
		52	994.0	70.2	123.0	121.0	113.8	97.7	90.1	79.1	68.2	58.4	50.6	94%	95%
		53	998.0	70.5	124.2	121.7	115.1	98.4	90.5	80.6	69.2	59.5	51.7	95%	
		54	991.0	70.0	125.2	122.3	116.1	99.2	91.1	81.2	69.7	59.7	52.2	95%	
8	0.16	64	591.0	41.8	71.0	76.3	58.2	53.7	49.9	42.9	37.4	31.3	27.4	76%	76%
		65	592.0	41.9	71.3	76.8	58.7	53.4	49.8	43.3	37.6	31.8	27.6	76%	
		66	593.0	41.9	69.3	74.9	57.0	53.4	49.8	42.7	37.2	31.9	27.7	76%	
		67	756.0	53.4	90.2	97.0	77.2	68.2	63.3	55.0	48.2	40.7	35.5	80%	79%
		68	755.0	53.4	89.4	96.6	76.2	67.5	62.8	54.4	47.7	40.3	35.1	79%	
		69	754.0	53.3	89.5	96.3	76.3	67.3	62.2	54.0	47.4	39.7	34.2	79%	
		70	994.0	70.2	117.2	125.8	98.5	88.7	82.3	70.5	60.8	51.3	44.4	78%	77%
		71	1000.0	70.7	119.1	127.9	98.0	90.0	83.5	71.6	62.0	52.0	45.0	77%	
		72	996.0	70.4	119.8	128.3	98.4	90.2	83.9	71.8	62.0	52.4	45.3	77%	
10	0.25	82	580.0	41.0	59.4	59.1	54.7	52.5	50.5	46.1	41.7	37.7	34.0	93%	92%
		83	567.0	40.1	58.6	57.7	53.2	51.2	49.1	44.8	40.6	36.3	33.0	92%	
		84	570.0	40.3	58.8	57.9	53.1	51.2	49.2	44.6	40.5	36.4	33.0	92%	
		85	764.0	54.0	77.7	75.7	69.8	67.7	65.3	59.3	53.8	48.6	44.3	92%	92%
		86	755.0	53.4	77.5	75.5	69.6	66.7	64.2	58.8	53.2	48.1	43.4	92%	
		87	755.0	53.3	77.3	75.5	69.5	66.9	64.3	58.5	52.9	47.6	43.2	92%	
		88	996.0	70.4	99.1	97.3	89.5	85.9	82.6	74.9	67.6	60.9	55.0	92%	92%
		89	1004.0	71.0	100.6	98.6	90.4	87.1	83.5	75.6	68.3	61.5	55.6	92%	
		90	1003.0	70.9	101.1	99.0	90.7	87.2	83.5	75.6	68.3	61.6	55.6	92%	
12	0.3	100	586.0	41.4	63.9	64.5	59.9	52.4	49.2	43.1	38.1	33.8	30.4	93%	93%
		101	567.0	40.1	61.5	61.8	57.4	49.7	46.9	41.1	36.6	32.3	28.6	93%	
		102	567.0	40.1	62.3	62.5	57.9	50.2	47.4	41.2	36.4	32.0	28.6	93%	
		103	765.0	54.1	83.3	82.4	76.3	66.9	62.7	54.8	48.6	42.8	38.0	93%	93%
		104	756.0	53.4	82.0	81.2	75.4	65.8	62.0	54.0	47.5	42.0	37.3	93%	
		105	755.0	53.3	82.5	81.7	75.8	66.4	62.1	54.1	47.9	42.0	37.6	93%	
		106	986.0	69.7	106.9	106.1	98.0	85.9	80.1	69.8	61.4	54.0	47.9	92%	92%
		107	1003.0	70.9	107.7	107.3	99.2	86.8	81.1	70.6	62.3	54.7	48.5	92%	
		108	1001.0	70.8	108.7	108.0	99.7	87.2	81.5	71.0	62.4	54.8	48.6	92%	
14	0.35	118	585.0	41.3	53.5	54.4	48.4	45.0	42.2	37.6	34.0	29.9	26.9	89%	89%

		119	566.0	40.0	51.6	52.7	47.0	43.5	40.7	36.4	32.9	29.0	25.8	89%	
		120	567.0	40.1	51.8	52.9	47.0	43.9	41.0	36.6	33.3	29.3	26.2	89%	
		121	760.0	53.7	71.4	71.1	63.5	59.0	55.4	49.4	44.4	39.1	34.8	89%	
		122	756.0	53.4	71.4	71.1	63.5	58.9	55.0	49.1	44.4	38.8	34.6	89%	
		123	755.0	53.4	70.9	70.7	63.3	58.7	55.0	49.0	44.3	39.0	34.6	90%	
		124	986.0	69.7	93.3	92.1	82.0	76.8	71.9	63.8	56.9	50.1	44.7	89%	
		125	990.0	70.0	95.1	93.8	83.2	78.1	73.3	64.9	58.0	50.8	45.3	89%	
		126	1013.0	71.6	95.9	94.8	84.2	79.0	74.2	65.8	58.6	51.5	45.9	89%	
16	0.4	136	581.0	41.1	62.9	61.1	58.8	51.7	48.4	41.5	36.0	30.9	26.9	96%	96%
		137	569.0	40.2	61.9	60.2	57.8	50.6	47.3	40.6	35.2	30.0	26.1	96%	
		138	568.0	40.2	61.7	60.3	58.1	50.7	47.4	40.6	35.0	30.0	26.0	96%	
		139	759.0	53.7	81.7	79.6	75.4	66.9	62.4	53.8	46.7	40.0	34.7	95%	95%
		140	753.0	53.3	81.3	79.5	75.8	66.8	62.2	53.8	46.6	39.9	34.8	95%	
		141	757.0	53.5	81.7	79.3	75.4	67.1	62.3	53.9	46.7	39.9	34.8	95%	
		142	987.0	69.7	106.7	102.9	97.0	86.4	80.6	69.4	59.9	51.4	44.6	94%	94%
		143	1005.0	71.0	108.5	104.7	98.6	88.1	81.9	70.8	61.1	52.3	45.3	94%	
144	997.0	70.5	108.8	105.1	99.3	88.2	82.1	70.6	61.1	52.2	45.1	94%			
18	0.46	154	575.0	40.7	71.2	70.8	65.4	55.9	51.4	43.5	37.6	32.1	27.7	92%	93%
		155	568.0	40.1	70.3	69.7	64.3	55.1	50.7	42.9	37.3	31.8	27.7	92%	
		156	569.0	40.2	69.6	69.2	64.3	54.1	49.7	42.0	36.0	30.3	26.3	93%	
		157	761.0	53.8	93.6	92.0	82.7	72.9	66.9	57.0	48.8	41.9	36.5	90%	91%
		158	754.0	53.3	92.5	91.1	82.2	72.2	66.2	56.3	48.6	41.5	36.1	90%	
		159	756.0	53.4	92.9	91.1	83.3	72.6	66.4	56.5	48.7	41.4	36.3	91%	
		160	987.0	69.8	121.9	118.8	107.7	93.8	85.4	72.6	62.6	53.2	46.6	91%	91%
		161	1001.0	70.7	123.5	120.2	109.9	95.8	86.0	73.6	63.2	54.0	47.3	91%	
162	1003.0	70.9	124.0	121.0	111.3	96.3	86.3	73.9	63.5	54.7	47.8	92%			
20	0.51	172	570.0	40.3	65.1	65.5	61.7	56.1	53.5	48.4	43.5	38.6	34.7	94%	94%
		173	567.0	40.1	64.5	65.2	61.2	55.7	53.2	48.0	43.1	38.1	34.4	94%	
		174	567.0	40.1	64.7	64.9	61.0	55.5	53.2	47.7	42.9	38.4	34.6	94%	
		175	755.0	53.3	84.5	84.3	78.7	71.9	68.2	61.8	55.1	48.7	44.0	93%	94%
		176	755.0	53.4	85.0	84.7	79.4	72.4	68.8	62.1	55.7	49.4	44.7	94%	
		177	755.0	53.4	84.7	85.0	79.6	72.5	69.0	62.1	55.7	49.6	44.6	94%	
		178	969.0	68.5	108.3	107.7	100.3	91.7	86.8	78.4	69.9	62.1	55.8	93%	93%
		179	1004.0	71.0	110.7	109.9	102.1	93.6	88.8	79.7	71.5	63.4	57.1	93%	
180	997.0	70.4	111.4	110.2	102.7	94.1	89.0	80.3	71.9	63.8	57.3	93%			
22	0.56	190	575.0	40.6	63.5	64.1	55.3	48.3	45.0	38.8	33.9	29.5	25.9	86%	86%
		191	567.0	40.1	63.7	64.0	55.6	48.3	45.0	38.6	33.8	29.3	25.9	87%	
		192	568.0	40.2	63.4	63.6	54.9	47.8	44.7	38.6	33.8	29.5	26.3	86%	
		193	758.0	53.6	75.3	83.5	71.4	62.8	58.3	50.5	44.2	38.5	34.5	86%	86%
		194	759.0	53.7	75.1	83.7	71.6	62.6	58.2	50.2	43.8	37.8	33.9	86%	
		195	753.0	53.2	74.7	82.8	71.2	61.9	57.7	49.9	43.7	37.7	33.4	86%	
		196	975.0	68.9	102.0	106.8	91.3	79.6	73.5	63.7	55.5	47.8	42.4	85%	85%
		197	1000.0	70.7	104.6	109.0	93.0	81.0	74.8	64.7	56.2	48.4	43.0	85%	
198	1003.0	70.9	105.2	109.5	92.9	81.4	75.2	65.0	56.6	48.6	43.4	85%			

24	0.61	208	584.0	41.3	56.8	53.5	51.8	47.1	45.6	40.8	36.8	32.7	29.5	97%	97%
		209	563.0	39.8	55.8	51.8	50.1	45.3	43.9	39.2	35.7	31.4	28.2	97%	
		210	569.0	40.2	56.1	52.4	50.5	46.2	44.6	39.6	36.0	32.0	28.5	96%	
		211	762.0	53.8	68.0	68.5	66.5	60.4	58.0	52.0	47.1	41.8	37.6	97%	97%
		212	760.0	53.7	68.0	68.4	66.0	60.3	57.8	51.9	46.8	41.6	37.3	96%	
		213	753.0	53.2	67.2	67.7	65.4	59.8	57.5	51.6	46.5	41.3	37.1	97%	
		214	973.0	68.7	88.1	87.4	84.0	77.2	73.5	66.2	59.9	53.2	47.6	96%	96%
		215	993.0	70.2	91.1	89.5	86.3	79.1	75.5	67.9	61.3	54.5	49.1	96%	
216	1007.0	71.2	90.5	89.2	85.5	78.6	75.2	67.4	61.1	54.4	48.8	96%			
26	0.67	226	573.0	40.5	56.6	55.3	50.5	46.3	44.0	38.3	33.5	29.3	25.8	91%	91%
		227	569.0	40.2	56.4	55.0	49.9	45.7	43.5	37.7	33.5	29.0	25.6	91%	
		228	567.0	40.0	56.5	54.8	49.7	45.7	43.3	37.7	33.3	28.8	25.6	91%	
		229	758.0	53.6	74.4	72.9	66.0	61.2	57.8	50.3	44.6	38.4	34.0	91%	91%
		230	753.0	53.2	74.5	72.7	65.9	61.2	57.6	50.2	44.6	38.6	33.9	91%	
		231	755.0	53.4	74.5	72.8	65.8	61.1	57.6	50.3	44.5	38.5	33.7	90%	
		232	970.0	68.6	98.4	94.7	85.9	79.6	74.7	65.3	57.7	49.9	43.6	91%	91%
		233	995.0	70.3	100.2	96.6	87.0	81.0	76.0	66.5	58.6	50.8	44.6	90%	
234	999.0	70.6	101.1	97.1	88.1	81.9	76.9	67.2	59.3	51.3	44.8	91%			
28	0.72	244	566.0	40.0	61.3	59.4	56.9	51.2	49.3	43.8	39.4	34.6	30.8	96%	96%
		245	566.0	40.0	61.5	59.3	57.0	51.0	49.4	44.0	39.2	34.8	30.9	96%	
		246	565.0	39.9	61.4	59.4	57.0	51.2	49.4	44.1	39.4	35.0	31.1	96%	
		247	753.0	53.3	78.6	79.0	75.2	68.4	65.4	58.8	52.8	46.9	42.2	95%	95%
		248	756.0	53.5	77.9	78.3	74.3	67.2	64.3	57.5	51.6	45.4	40.5	95%	
		249	754.0	53.3	77.9	78.1	74.7	67.5	64.4	57.7	51.5	45.6	40.9	96%	
		250	963.0	68.1	101.6	99.6	95.4	86.1	82.0	73.5	65.7	58.1	51.6	96%	96%
		251	983.0	69.5	104.9	102.6	98.0	88.3	84.2	75.3	67.1	59.4	52.6	96%	
252	999.0	70.6	105.8	103.3	99.2	89.3	85.0	76.2	68.0	60.2	53.4	96%			
30	0.77	262	568.0	40.1	56.2	53.9	50.2	46.9	45.0	39.4	34.8	30.3	26.6	93%	93%
		263	563.0	39.8	55.6	53.2	49.4	46.5	44.6	39.4	34.7	30.3	27.2	93%	
		264	566.0	40.0	56.3	53.6	50.0	47.2	45.1	39.9	35.3	31.2	27.5	93%	
		265	749.0	52.9	71.8	69.9	65.9	61.4	58.9	52.2	46.1	40.5	36.0	94%	94%
		266	757.0	53.5	72.1	70.3	66.3	61.7	59.1	52.1	46.3	40.5	35.8	94%	
		267	759.0	53.7	72.1	70.3	66.1	61.6	58.9	52.2	46.3	40.6	36.0	94%	
		268	963.0	68.1	95.6	90.3	85.1	79.6	75.8	67.1	59.3	51.8	46.1	94%	94%
		269	992.0	70.1	97.5	92.3	86.9	81.3	77.3	68.3	60.2	52.7	46.2	94%	
270	1005.0	71.1	98.0	92.8	87.5	81.8	78.1	69.0	60.8	53.2	46.9	94%			
32	0.82	280	568.0	40.2	88.8	90.1	79.4	66.5	61.2	51.2	42.6	35.0	29.6	88%	88%
		281	565.0	40.0	87.6	88.8	78.6	66.1	60.6	50.3	41.9	34.4	29.0	89%	
		282	565.0	39.9	88.3	89.0	78.8	66.2	60.9	50.7	42.3	35.1	29.4	89%	
		283	756.0	53.4	113.0	119.0	105.6	88.3	80.7	67.5	56.3	45.8	38.8	89%	89%
		284	754.0	53.3	112.9	119.2	105.8	88.4	80.6	67.4	56.3	45.6	38.8	89%	
		285	758.0	53.6	112.8	119.6	106.7	88.4	80.7	67.7	56.2	45.8	39.0	89%	
		286	965.0	68.2	148.9	153.3	136.7	113.6	103.3	86.3	71.9	56.6	49.3	89%	89%
		287	991.0	70.1	153.0	156.6	139.9	116.4	105.7	88.4	73.7	58.9	50.5	89%	
288	993.0	70.2	154.8	159.1	140.7	117.8	106.9	89.6	74.4	58.7	51.1	88%			

34	0.88	298	588.0	41.6	74.1	71.8	68.0	62.0	59.0	52.0	45.5	38.4	33.0	95%	95%
		299	589.0	41.7	74.5	71.0	67.7	61.5	58.4	51.7	45.4	38.1	32.8	95%	
		300	588.0	41.6	74.4	70.6	67.6	61.3	58.5	51.9	45.4	38.2	33.1	96%	
		301	754.0	53.3	85.0	92.6	86.4	79.4	75.2	66.4	57.8	48.8	41.8	93%	93%
		302	754.0	53.3	85.8	92.7	86.8	79.6	75.4	66.5	58.1	49.3	42.2	94%	
		303	756.0	53.5	86.5	93.1	86.6	79.7	75.4	66.6	58.2	49.5	42.4	93%	
		304	981.0	69.4	123.1	122.2	114.3	104.7	98.9	87.0	75.7	64.2	54.6	94%	93%
		305	999.0	70.6	125.3	124.2	115.9	106.7	100.6	88.9	77.4	65.7	56.2	93%	
306	986.0	69.7	126.2	124.9	116.5	107.3	101.2	89.2	77.3	65.8	56.0	93%			
36	0.93	316	586.0	41.4	73.7	73.0	69.5	60.5	56.5	48.2	40.6	33.7	28.3	95%	95%
		317	587.0	41.5	74.0	72.4	69.1	60.5	56.4	47.8	40.3	33.7	28.2	95%	
		318	586.0	41.4	74.5	72.9	69.3	60.5	56.5	48.0	40.3	33.5	28.1	95%	
		319	768.0	54.3	89.1	94.4	90.6	78.8	73.5	62.6	52.9	44.1	37.0	96%	96%
		320	754.0	53.3	89.2	94.1	90.2	78.0	72.7	62.0	52.4	43.5	36.7	96%	
		321	757.0	53.5	89.0	94.1	90.2	78.3	73.1	62.2	52.5	43.6	36.9	96%	
		322	969.0	68.5	125.5	125.3	119.1	103.6	96.2	81.3	68.3	56.6	47.3	95%	95%
		323	1012.0	71.5	128.6	128.3	121.6	105.7	98.0	83.3	69.8	57.7	48.5	95%	
324	996.0	70.4	127.7	127.5	120.9	105.2	97.6	82.8	69.5	57.6	48.0	95%			
38	0.98	334	592.0	41.9	64.8	63.7	58.7	50.4	44.8	39.2	34.0	28.0	23.2	92%	92%
		335	591.0	41.8	64.8	63.0	57.6	49.9	45.2	39.3	33.6	27.9	23.3	91%	
		336	594.0	42.0	65.3	63.0	57.6	50.1	45.6	39.3	33.4	27.7	23.3	91%	
		337	754.0	53.3	79.2	79.4	72.5	63.5	57.7	49.5	42.8	35.5	29.3	91%	91%
		338	752.0	53.2	80.0	79.8	72.7	64.2	58.3	49.7	42.9	35.7	29.7	91%	
		339	758.0	53.6	78.6	78.0	70.8	62.3	56.8	47.9	41.1	33.8	27.9	91%	
		340	990.0	70.0	107.7	105.2	96.4	84.8	77.2	65.0	56.5	46.5	38.4	92%	92%
		341	985.0	69.6	109.0	106.4	98.6	86.3	77.9	64.4	59.7	48.1	38.5	93%	
342	1007.0	71.2	110.8	107.9	99.6	87.5	79.4	65.6	60.1	48.6	39.0	92%			
40	1.03	352	573.0	40.5	89.6	91.5	85.1	71.3	65.4	53.5	43.2	33.8	27.0	93%	93%
		353	570.0	40.3	88.8	90.7	84.9	70.4	64.7	53.0	43.3	33.7	26.7	94%	
		354	566.0	40.0	88.4	90.9	85.2	71.0	64.8	53.4	43.4	33.8	26.8	94%	
		355	756.0	53.4	120.5	122.0	118.9	95.5	87.0	71.6	58.3	45.4	36.4	97%	97%
		356	756.0	53.4	120.2	122.0	117.9	95.4	87.0	71.5	58.1	45.6	36.5	97%	
		357	753.0	53.2	120.1	121.9	117.1	95.3	86.8	71.2	57.9	45.3	36.2	96%	
		358	993.0	70.2	161.0	164.1	155.3	127.4	116.2	95.1	77.1	60.5	48.2	95%	95%
		359	998.0	70.5	163.0	166.4	157.2	129.1	117.6	96.2	78.0	61.0	48.7	94%	
360	1011.0	71.5	164.0	167.2	159.2	129.6	117.8	96.7	78.5	61.0	48.7	95%			
42	1.09	370	574.0	40.6	69.1	69.8	69.4	55.0	53.5	47.8	40.8	33.1	26.4	99%	99%
		371	566.0	40.0	68.1	69.3	69.1	53.7	52.9	46.8	40.0	32.5	27.0	100%	
		372	570.0	40.3	68.1	70.4	69.7	54.3	53.3	47.1	40.2	32.9	26.9	99%	
		373	757.0	53.5	90.1	96.5	97.3	74.3	73.0	65.8	56.9	44.7	41.3	101%	###
		374	759.0	53.7	88.8	94.9	95.0	72.7	71.4	63.6	55.0	42.9	38.8	100%	
		375	754.0	53.3	87.9	94.1	94.8	71.9	70.4	63.2	54.9	42.4	39.5	101%	
		376	981.0	69.4	121.1	124.3	117.4	99.0	95.3	83.2	71.5	57.1	49.8	94%	98%
		377	988.0	69.8	123.4	126.9	123.3	100.7	96.8	85.4	72.5	58.5	50.3	97%	

		378	1012.0	71.5	125.2	130.0	132.6	100.9	97.6	85.9	73.4	58.9	50.2	102%	
44	1.14	388	573.0	40.5	85.1	82.5	79.7	70.4	65.2	54.3	44.3	34.8	27.1	97%	96%
		389	570.0	40.3	84.4	81.2	78.4	69.4	64.4	53.3	43.6	34.0	26.7	97%	
		390	568.0	40.2	84.9	81.6	78.6	69.7	64.7	53.7	44.1	34.6	27.0	96%	
		391	767.0	54.2	113.3	110.1	106.3	94.3	87.3	72.8	59.5	46.8	36.7	97%	96%
		392	756.0	53.4	111.9	109.2	105.2	93.3	86.4	72.0	58.6	46.3	36.2	96%	
		393	754.0	53.3	112.2	109.3	105.5	93.4	86.4	71.8	58.6	46.3	36.3	97%	
		394	1001.0	70.7	153.0	146.6	141.3	125.7	116.1	96.6	78.9	61.9	49.0	96%	96%
		395	997.0	70.5	154.5	147.5	142.0	126.5	116.9	97.5	79.4	62.4	49.1	96%	
		396	1023.0	72.3	157.1	150.0	144.5	128.7	118.7	98.9	80.4	63.2	49.6	96%	
46	1.19	406	581.0	41.1	74.0	74.8	67.2	57.3	52.4	43.1	35.9	29.2	24.0	90%	89%
		407	569.0	40.2	72.9	73.1	65.3	55.8	50.9	42.1	34.7	28.3	23.4	89%	
		408	556.0	39.3	70.5	71.5	63.8	54.4	50.0	40.9	33.8	27.5	22.8	89%	
		409	758.0	53.6	95.4	96.9	86.8	74.3	67.7	55.9	46.5	37.9	31.3	90%	89%
		410	758.0	53.6	95.1	96.7	85.8	74.0	67.6	55.7	46.3	37.8	31.1	89%	
		411	752.0	53.1	94.8	96.8	85.8	73.8	67.3	55.6	46.3	37.5	31.1	89%	
		412	1016.0	71.8	128.3	130.6	115.7	99.4	90.4	74.5	61.8	50.2	41.7	89%	89%
		413	1002.0	70.8	127.3	130.1	115.1	98.5	89.2	74.3	61.3	49.9	41.9	88%	
		414	1000.0	70.7	127.8	130.8	116.1	99.0	89.6	74.8	61.8	50.1	42.0	89%	
48	1.24	424	583.0	41.2	90.0	88.0	78.4	68.3	62.4	51.5	42.4	34.6	28.5	89%	90%
		425	568.0	40.2	88.2	85.6	77.3	67.0	61.2	50.3	41.2	33.4	27.3	90%	
		426	567.0	40.0	87.1	85.0	76.6	66.5	60.7	50.3	41.1	33.7	27.8	90%	
		427	772.0	54.6	116.5	115.5	104.2	90.6	82.4	68.6	56.2	45.9	38.0	90%	90%
		428	756.0	53.5	114.2	113.9	102.1	89.0	81.1	67.1	55.3	45.2	37.3	90%	
		429	758.0	53.5	114.1	113.6	102.2	89.1	81.0	67.3	55.4	45.4	37.2	90%	
		430	1002.0	70.8	156.4	152.0	138.2	120.0	108.6	90.2	74.2	60.8	49.9	91%	91%
		431	997.0	70.5	154.9	151.1	137.1	119.8	108.6	90.2	74.0	60.8	50.1	91%	
		432	1009.0	71.3	157.9	154.4	139.9	121.6	109.9	91.2	74.7	61.1	50.2	91%	
50	1.3	442	580.0	41.0	62.6	60.2	58.1	50.8	46.7	39.6	33.1	27.2	22.5	97%	96%
		443	566.0	40.0	61.4	58.6	56.3	49.3	45.5	38.5	32.5	26.7	22.3	96%	
		444	567.0	40.1	60.4	58.2	56.3	49.4	45.7	38.7	32.5	26.8	22.2	97%	
		445	762.0	53.8	81.0	78.3	75.5	66.6	61.6	52.1	43.9	36.0	29.9	96%	96%
		446	757.0	53.5	80.3	77.9	74.9	66.3	61.4	51.9	43.6	35.9	29.7	96%	
		447	752.0	53.1	79.5	77.1	74.1	65.8	61.2	51.6	43.5	35.7	29.3	96%	
		448	979.0	69.2	110.4	104.6	100.4	89.1	82.4	69.6	58.6	47.9	39.4	96%	96%
		449	1017.0	71.9	113.1	107.2	102.8	91.2	84.4	71.2	60.0	49.1	40.4	96%	
		450	993.0	70.2	112.6	106.0	102.0	90.6	83.2	70.5	59.4	48.9	40.4	96%	
52	1.35	460	575.0	40.6	85.7	89.5	77.7	65.9	60.7	51.2	43.2	35.7	29.6	87%	87%
		461	569.0	40.2	84.4	88.4	76.2	64.9	60.1	50.6	42.6	35.2	29.2	86%	
		462	568.0	40.1	84.4	88.2	76.6	64.9	59.9	50.5	42.5	35.2	29.2	87%	
		463	754.0	53.3	111.3	115.8	105.0	86.1	78.4	66.8	56.5	46.3	38.9	91%	91%
		464	753.0	53.2	111.5	116.0	105.8	86.0	78.5	67.0	56.5	46.3	38.8	91%	
		465	757.0	53.5	111.9	115.7	104.5	86.1	78.5	66.9	56.4	46.3	38.7	90%	
		466	980.0	69.3	147.5	152.3	133.1	113.0	104.0	87.8	73.7	60.7	50.3	87%	88%

		467	1005.0	71.0	151.6	156.0	137.0	116.3	106.6	90.2	75.9	62.3	52.1	88%	
		468	1011.0	71.5	151.6	156.5	137.4	116.1	106.8	90.2	75.7	62.3	51.8	88%	
54	1.4	478	573.0	40.5	62.2	59.5	59.0	49.3	44.8	40.4	33.9	28.2	24.5	99%	99%
		479	568.0	40.1	61.6	59.0	58.6	48.9	44.4	40.1	33.8	27.6	24.2	99%	
		480	569.0	40.2	62.0	59.2	58.1	49.1	44.1	40.4	34.2	27.3	24.5	98%	
		481	763.0	54.0	82.0	80.2	76.8	66.3	60.2	54.2	45.4	37.7	32.9	96%	96%
		482	750.0	53.0	80.9	78.9	76.4	65.1	59.6	53.1	44.7	37.3	32.1	97%	
		483	759.0	53.7	81.9	79.8	76.4	65.9	59.9	53.7	44.8	37.4	32.4	96%	
		484	993.0	70.2	109.0	104.7	96.9	86.7	78.6	70.6	58.9	48.5	42.5	93%	94%
		485	1010.0	71.4	110.6	106.2	98.5	87.7	79.8	71.3	59.6	49.2	42.9	93%	
486	989.0	69.9	110.4	105.8	101.2	87.2	78.9	71.1	59.4	48.6	42.7	96%			
56	1.45	496	572.0	40.5	67.3	66.4	62.8	53.7	50.6	44.4	39.0	33.2	30.4	95%	95%
		497	566.0	40.0	67.2	65.2	62.4	53.0	49.9	43.8	38.4	32.7	30.1	96%	
		498	567.0	40.0	66.7	65.1	61.9	53.1	50.2	43.9	38.3	32.7	30.3	95%	
		499	750.0	53.0	88.7	86.7	82.0	70.5	66.2	58.0	51.1	43.6	40.0	95%	95%
		500	759.0	53.6	88.8	87.3	82.3	70.9	66.3	57.8	51.0	43.3	40.4	94%	
		501	754.0	53.3	89.9	88.0	83.3	71.7	67.0	58.9	52.0	44.3	41.5	95%	
		502	994.0	70.3	116.1	114.7	107.4	92.7	86.6	75.6	66.6	57.1	52.4	94%	94%
		503	1001.0	70.8	117.6	116.1	108.8	94.0	87.8	76.3	67.4	57.7	52.8	94%	
		504	1015.0	71.7	117.5	115.7	109.2	94.0	87.7	75.5	67.3	57.8	52.2	94%	
58	1.5	514	568.0	40.1	68.3	70.6	61.9	53.9	50.6	42.8	38.0	32.0	28.8	88%	88%
		515	569.0	40.2	68.4	71.2	62.5	53.5	50.2	42.6	37.9	31.7	29.1	88%	
		516	570.0	40.3	68.6	71.1	62.3	53.7	50.4	42.7	38.1	31.8	28.9	88%	
		517	760.0	53.7	89.4	93.3	83.5	71.0	66.3	56.4	49.9	42.5	38.4	89%	89%
		518	757.0	53.5	88.9	93.3	83.0	70.6	66.0	56.1	49.7	42.0	37.8	89%	
		519	752.0	53.1	88.7	93.0	83.0	70.2	65.8	55.8	49.3	41.8	37.4	89%	
		520	1001.0	70.8	118.9	121.3	107.4	92.1	86.0	73.2	64.9	55.2	49.5	89%	89%
		521	1000.0	70.7	119.0	121.9	109.5	92.5	86.2	73.3	65.1	55.2	49.5	90%	
		522	1000.0	70.7	120.1	123.0	108.8	93.1	86.8	73.8	65.4	55.6	49.8	88%	
60	1.56	532	570.0	40.3	98.0	97.2	94.5	81.1	74.7	63.3	54.3	45.5	39.1	97%	98%
		533	568.0	40.1	97.7	97.0	94.8	80.7	74.3	62.9	54.1	45.0	39.1	98%	
		534	570.0	40.3	97.4	96.8	94.9	80.6	74.3	63.0	53.8	44.9	38.8	98%	
		535	756.0	53.4	131.5	127.7	124.9	106.6	98.0	83.6	71.9	60.3	52.1	98%	97%
		536	758.0	53.5	131.6	128.1	124.4	107.1	98.6	84.1	71.8	60.6	51.7	97%	
		537	755.0	53.4	131.8	128.2	124.9	107.1	98.6	84.1	71.9	60.4	52.0	97%	
		538	997.0	70.5	173.1	168.7	163.9	141.0	129.7	111.2	94.7	79.9	68.3	97%	97%
		539	993.0	70.2	174.6	170.2	166.3	142.5	130.9	112.3	95.9	80.9	68.9	98%	
		540	1019.0	72.0	177.2	172.1	167.9	143.7	131.9	113.0	96.5	80.9	69.1	98%	
62	1.61	550	583.0	41.2	54.3	50.9	50.4	45.2	43.1	39.0	34.9	30.2	27.1	99%	99%
		551	572.0	40.4	53.5	49.8	49.2	44.2	42.2	38.2	34.1	29.3	26.3	99%	
		552	570.0	40.3	52.7	48.8	48.2	43.7	41.9	37.6	33.8	29.2	26.2	99%	
		553	758.0	53.6	67.6	66.5	64.0	59.1	56.2	50.5	45.2	39.3	35.0	96%	96%
		554	763.0	53.9	67.1	66.4	64.1	59.0	56.3	50.7	45.3	39.2	35.1	97%	
		555	753.0	53.2	66.8	66.0	63.6	58.9	56.2	50.5	45.2	39.1	35.0	96%	

		556	991.0	70.0	92.7	88.1	84.5	78.5	74.3	66.8	59.7	51.9	46.2	96%	96%		
		557	1011.0	71.5	92.5	88.0	85.0	79.0	75.1	67.6	60.7	52.7	46.8	97%			
		558	1006.0	71.1	92.7	88.2	85.1	78.7	74.9	67.4	60.1	52.3	46.5	96%			
64	1.67	568	579.0	40.9	61.3	60.8	57.0	51.9	49.4	43.7	38.1	32.7	27.5	94%	94%		
		569	566.0	40.0	59.8	59.0	55.7	50.7	48.2	42.5	37.1	32.0	27.0	94%			
		570	569.0	40.2	60.7	60.0	56.8	51.1	48.5	42.8	37.3	31.8	26.7	95%			
				571	758.0	53.6	81.3	80.1	74.9	68.7	65.1	57.5	50.7	43.4	37.0	94%	94%
				572	760.0	53.7	81.1	79.8	75.2	69.0	65.2	57.6	50.5	43.4	37.1	94%	
				573	754.0	53.3	80.4	79.2	74.0	68.1	64.5	57.0	50.0	42.9	36.6	93%	
				574	993.0	70.2	108.2	106.9	99.1	92.0	86.8	76.8	67.3	57.9	49.4	93%	93%
				575	1011.0	71.5	109.7	107.8	100.6	92.7	87.7	77.6	68.1	58.3	49.9	93%	
				576	1012.0	71.5	109.7	107.5	100.8	92.7	87.7	77.8	68.3	58.5	50.1	94%	
66	1.72	586	576.0	40.7	106.2	111.9	104.0	79.4	72.9	60.8	50.7	41.5	34.0	93%	93%		
		587	564.0	39.9	104.9	109.8	102.0	77.8	71.4	59.7	49.7	40.7	33.2	93%			
		588	571.0	40.3	105.5	110.3	102.8	78.5	72.2	60.4	50.3	41.5	33.6	93%			
				589	760.0	53.7	141.5	149.5	138.9	106.6	97.5	81.2	68.1	55.5	45.5	93%	93%
				590	761.0	53.8	140.3	147.8	137.7	105.6	96.7	80.9	67.6	55.3	45.4	93%	
				591	754.0	53.3	140.7	148.5	138.2	105.6	96.4	80.3	67.3	55.1	45.1	93%	
				592	999.0	70.6	191.4	201.1	186.1	143.2	130.8	109.2	91.9	74.9	61.6	93%	92%
				593	1005.0	71.1	192.6	203.1	187.8	144.5	131.9	109.9	92.3	75.3	61.6	92%	
				594	1004.0	71.0	193.7	203.8	188.4	145.0	132.4	110.1	92.6	75.4	61.7	92%	

Anexo 5. Resultados de ISLAB2000 para la ruta 204^a

204A

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

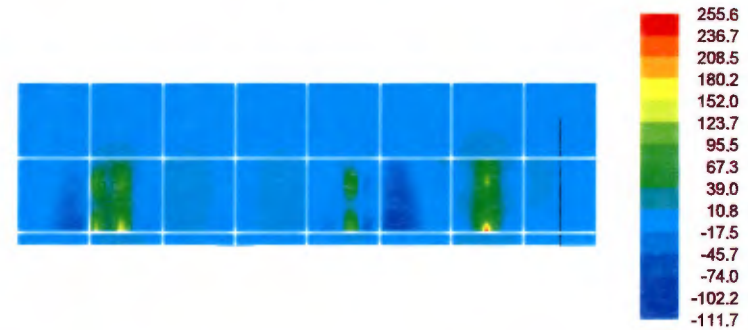
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	255.58	23.2	895.7
Arriba	111.67	23.2	723.5

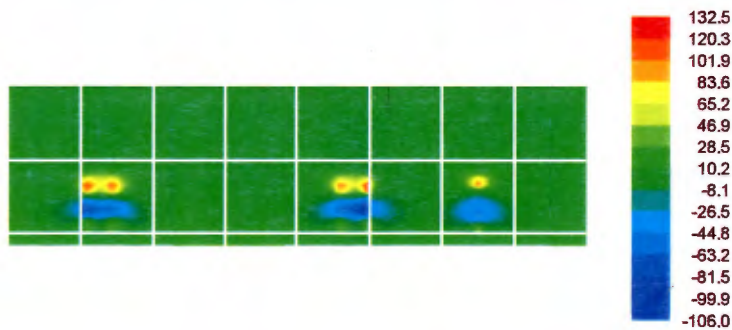
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	132.49	115.1	689.0
Arriba	105.97	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02690	23.2	689.0
Mínima	-0.00166	161.0	275.6

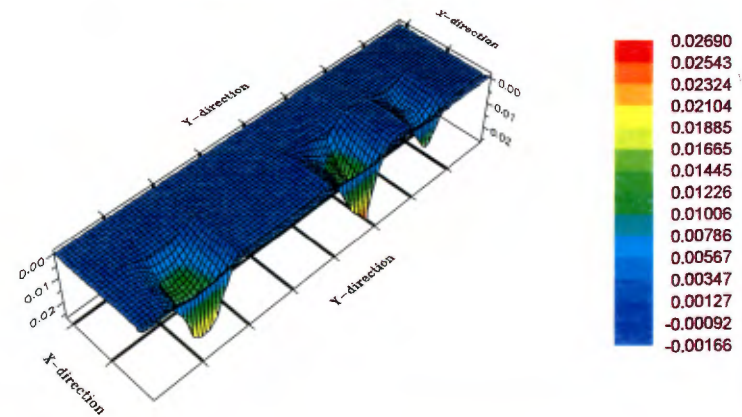
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

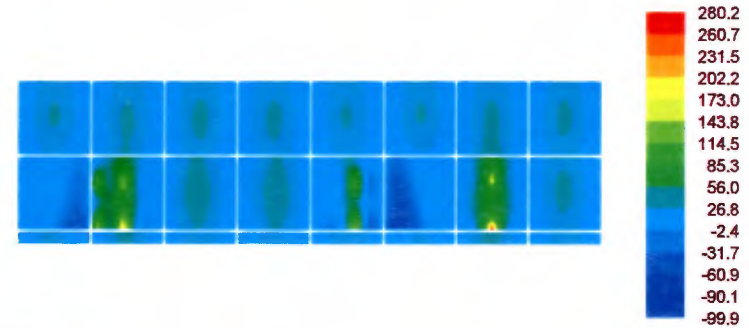
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	280.20	23.2	895.7
Arriba	99.89	23.2	712.0

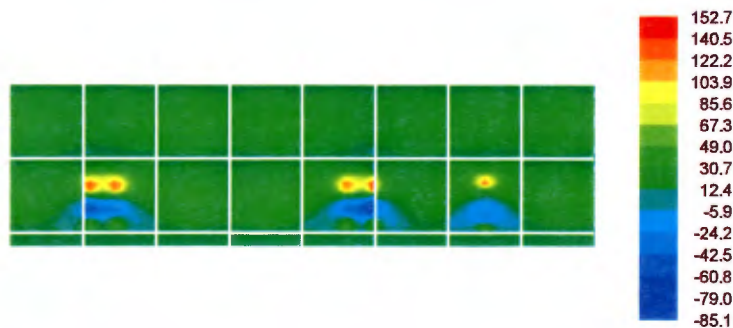
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	152.71	115.1	689.0
Arriba	85.15	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03726	23.2	689.0
Mínima	0.00321	92.1	780.9

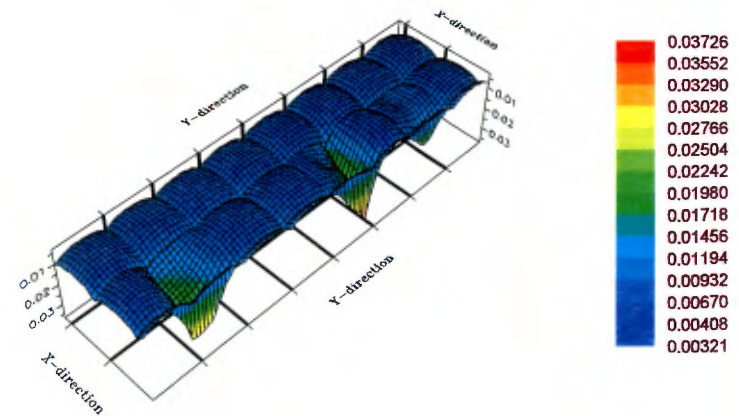
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

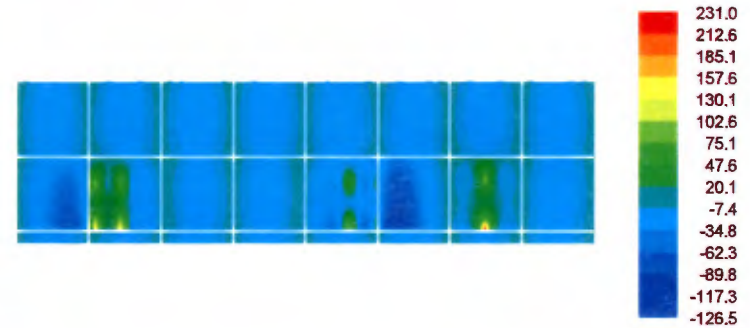
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	230.96	23.2	895.7
Arriba	126.51	23.2	723.5

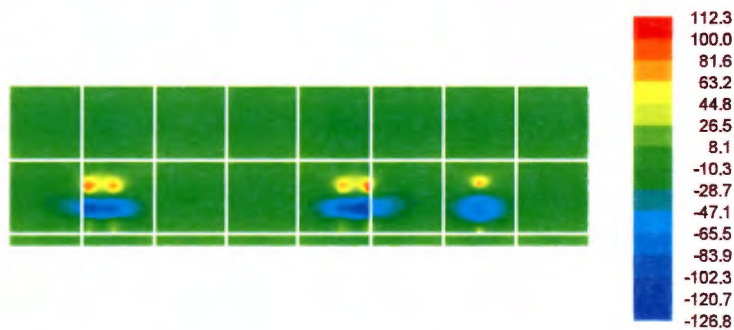
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	112.28	115.1	689.0
Arriba	126.79	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02831	23.2	689.0
Mínima	-0.00042	161.0	275.6

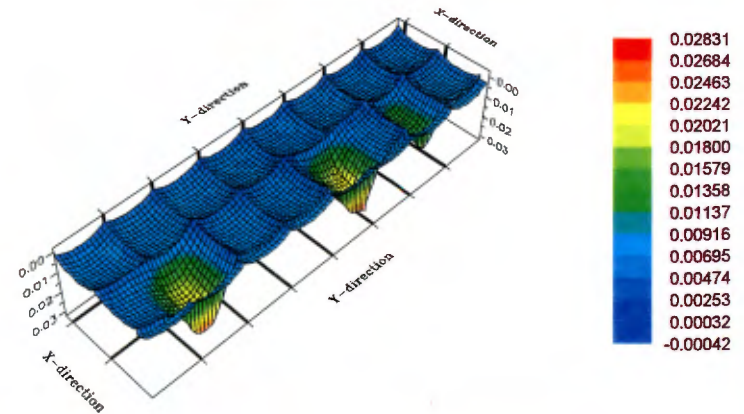
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

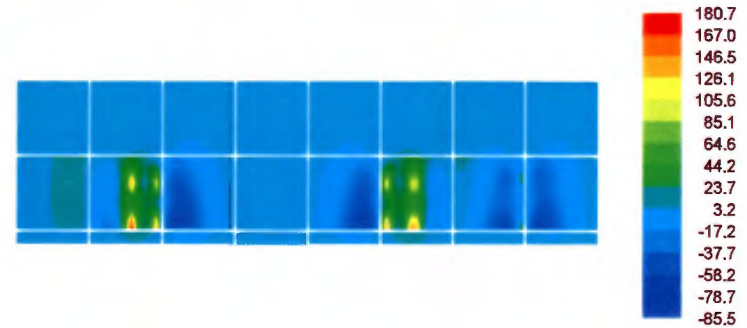
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	180.65	23.2	218.2
Arriba	85.48	23.2	310.1

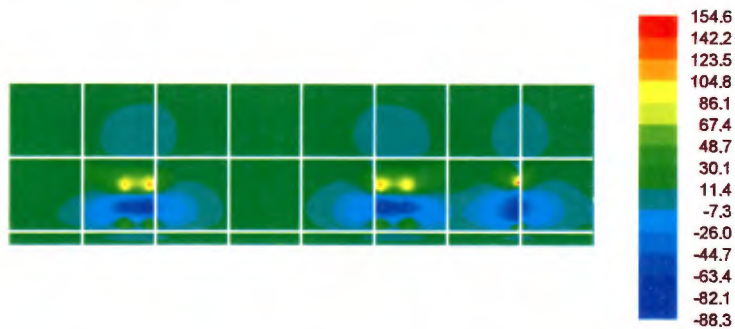
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	154.64	115.1	964.6
Arriba	88.28	57.7	964.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02219	23.2	252.6
Mínima	-0.00196	0.0	826.8

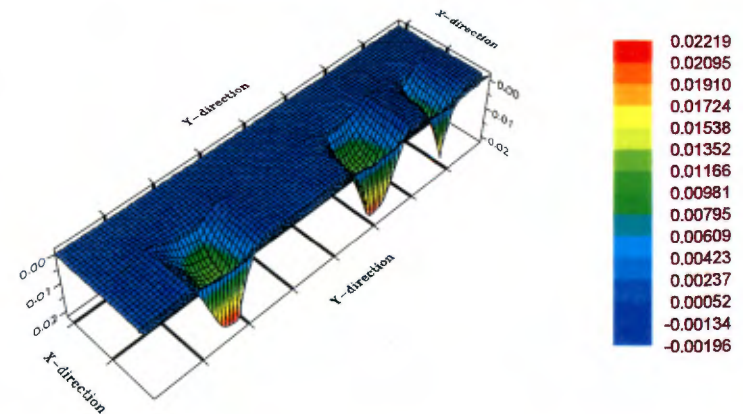
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

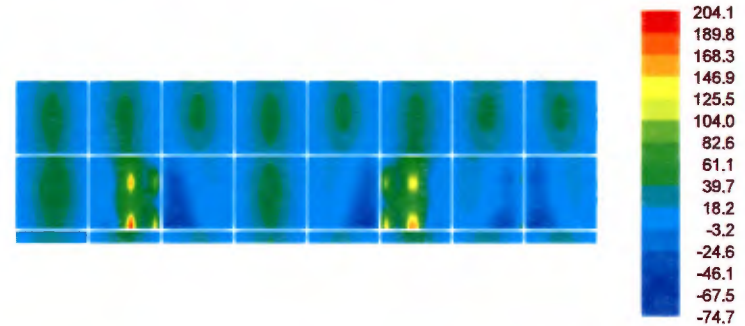
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	204.07	23.2	218.2
Arriba	74.66	23.2	298.6

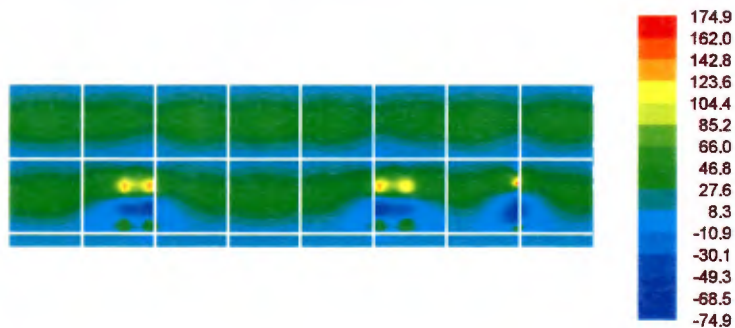
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	174.85	115.1	964.6
Arriba	74.91	46.2	964.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03150	23.2	275.6
Mínima	0.00338	92.1	872.7

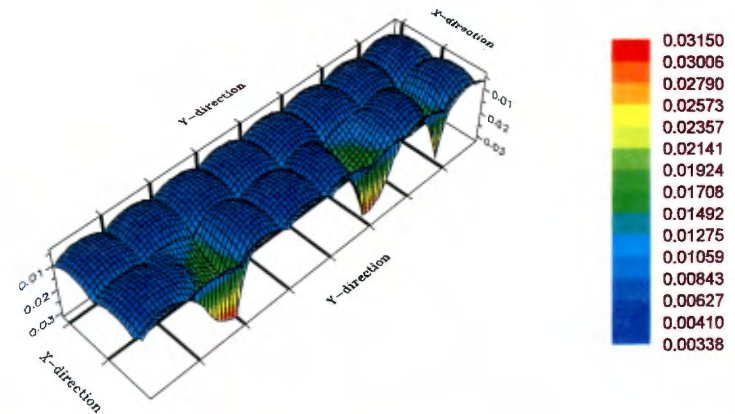
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

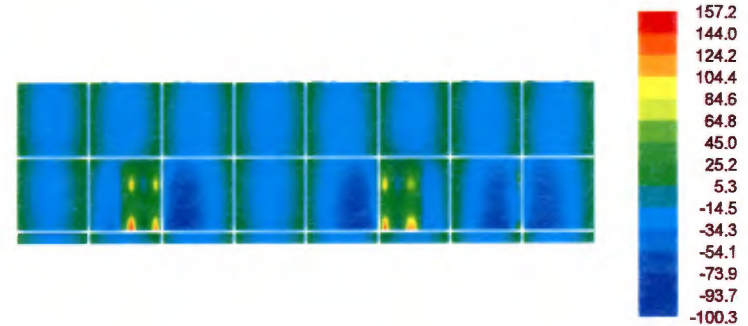
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	157.23	23.2	218.2
Arriba	100.32	23.2	310.1

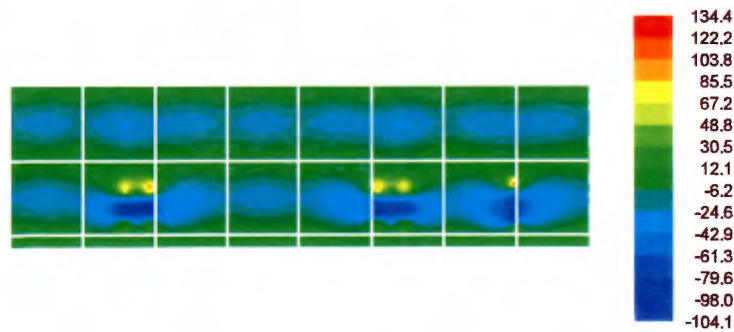
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	134.42	115.1	964.6
Arriba	104.08	57.7	964.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02581	23.2	241.2
Mínima	-0.00056	161.0	826.8

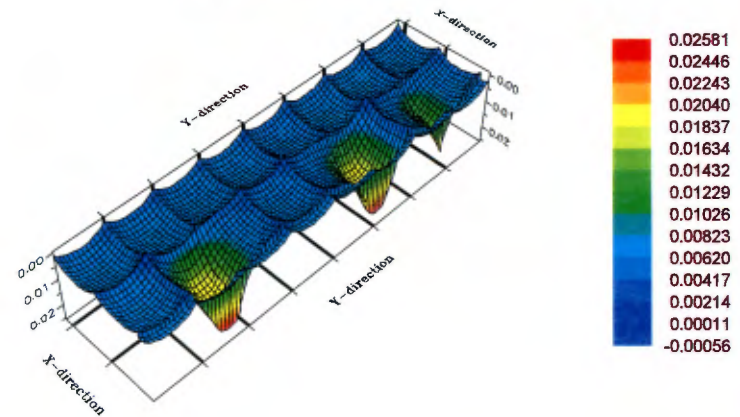
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

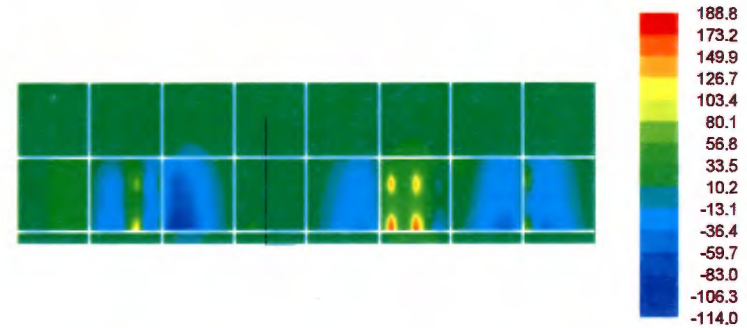
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	188.77	23.2	712.0
Arriba	114.04	23.2	310.1

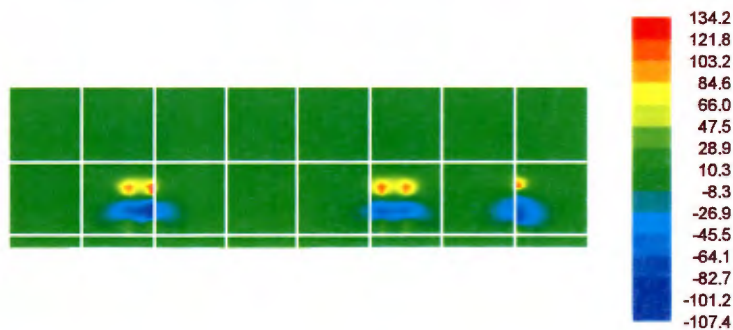
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	134.20	115.1	275.6
Arriba	107.44	69.1	275.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02755	23.2	275.6
Mínima	-0.00186	0.0	826.8

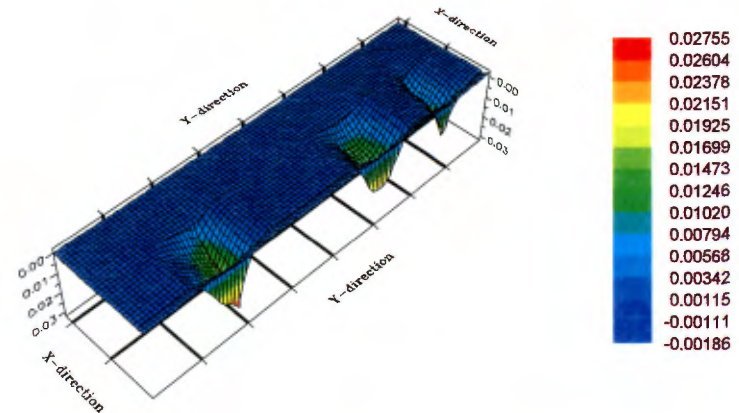
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

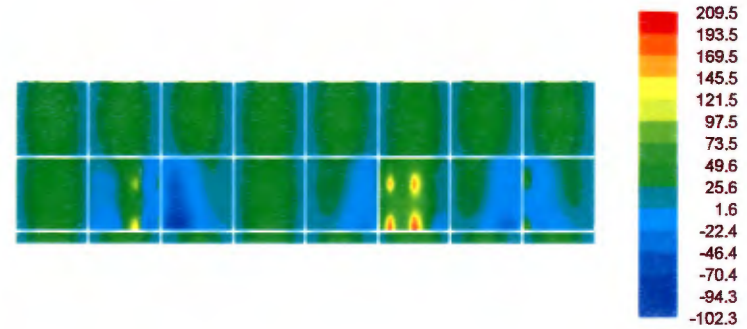
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	188.77	23.2	712.0
Arriba	114.04	23.2	310.1

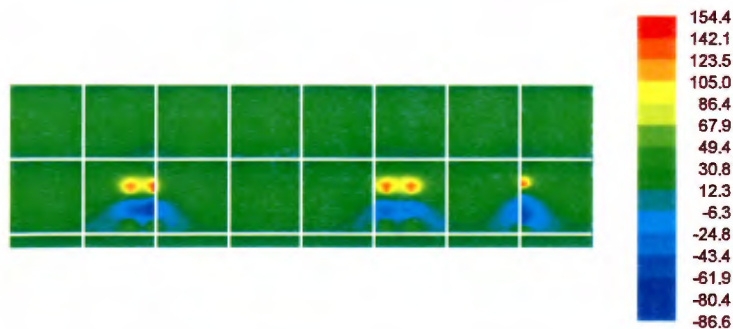
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	134.20	115.1	275.6
Arriba	107.44	69.1	275.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02755	23.2	275.6
Mínima	-0.00186	0.0	826.8

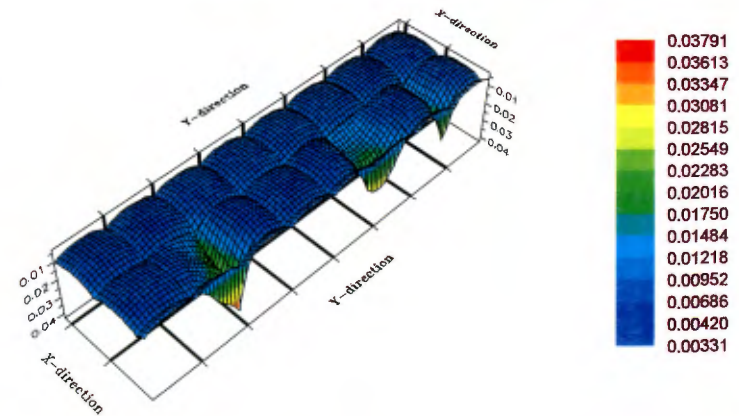
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

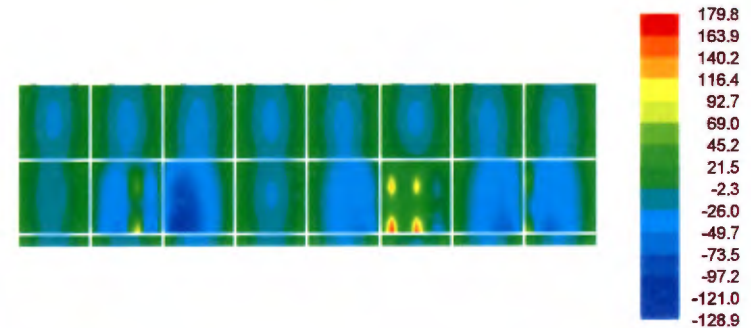
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	179.76	23.2	712.0
Arriba	128.89	23.2	310.1

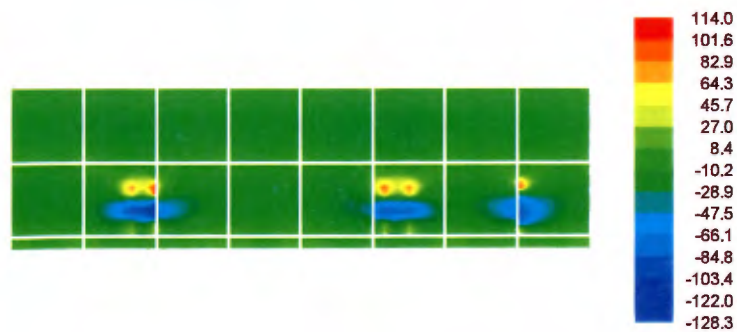
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	113.98	115.1	275.6
Arriba	128.26	69.1	275.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02896	23.2	275.6
Mínima	-0.00057	161.0	826.8

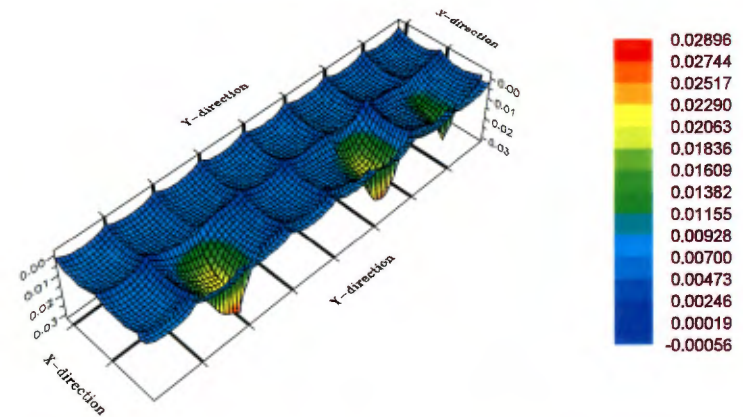
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



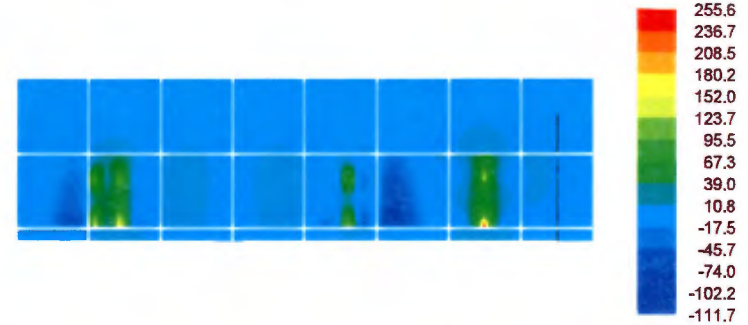
204A
 Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
 Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa
 Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	255.58	23.2	895.7
Arriba	111.67	23.2	723.5

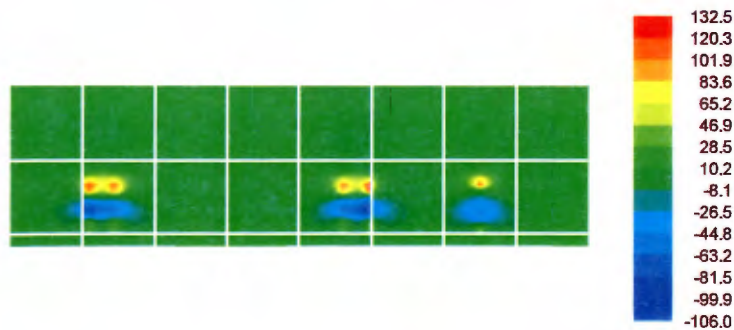
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	132.49	115.1	689.0
Arriba	105.97	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02690	23.2	689.0
Mínima	-0.00166	161.0	275.6

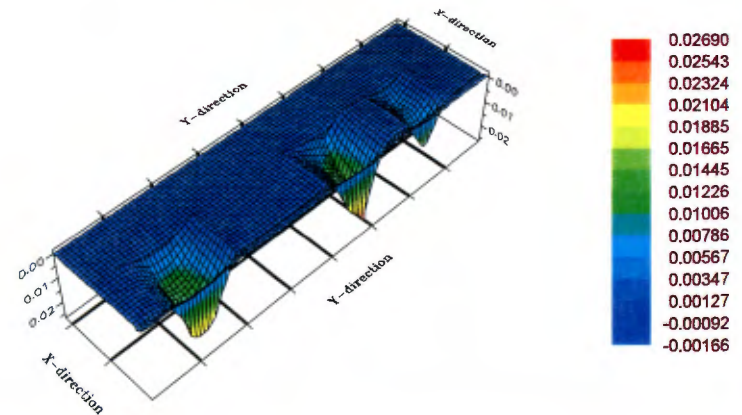
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa

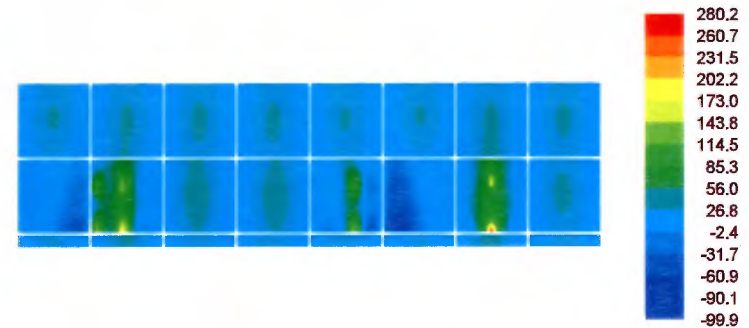
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	280.20	23.2	895.7
Arriba	99.89	23.2	712.0

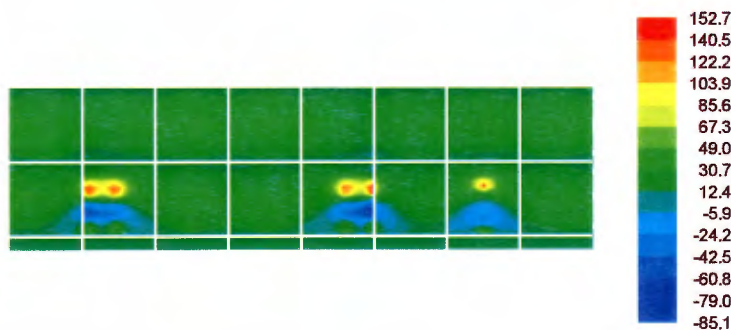
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	152.71	115.1	689.0
Arriba	85.15	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03726	23.2	689.0
Mínima	0.00321	92.1	780.9

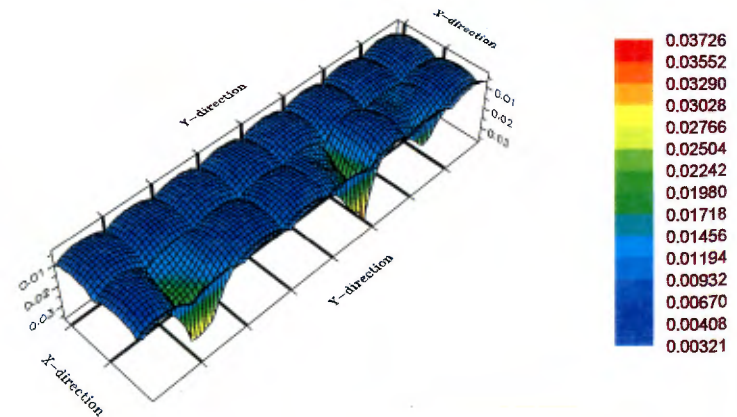
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204A

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa

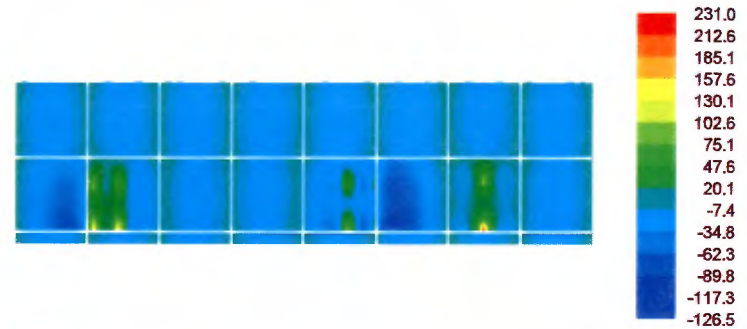
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	230.96	23.2	895.7
Arriba	126.51	23.2	723.5

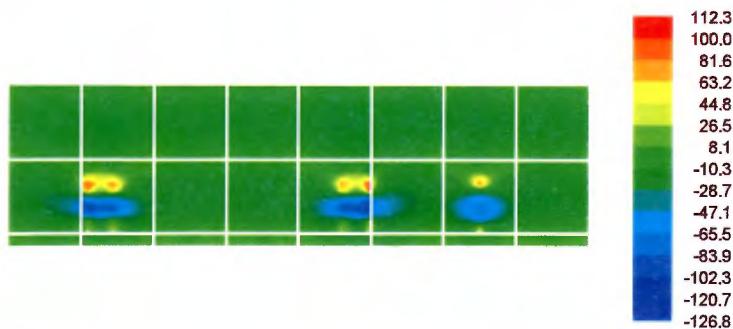
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	112.28	115.1	689.0
Arriba	126.79	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02831	23.2	689.0
Mínima	-0.00042	161.0	275.6

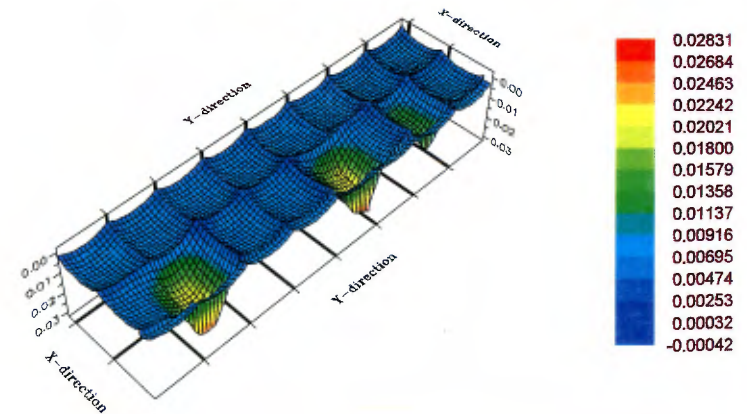
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



Anexo 6. Resultados de ISLAB2000 para la ruta 204B

204B

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

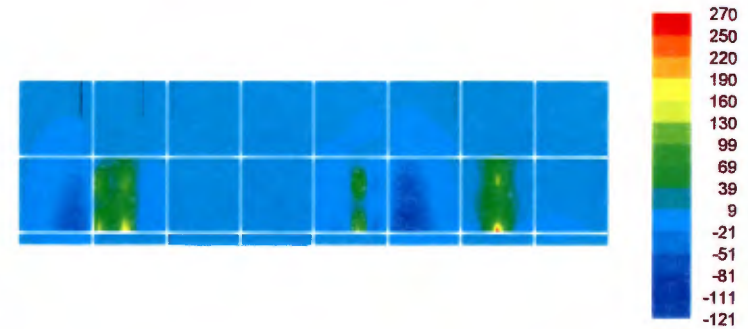
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	269.82	23.2	895.7
Arriba	121.01	23.2	723.5

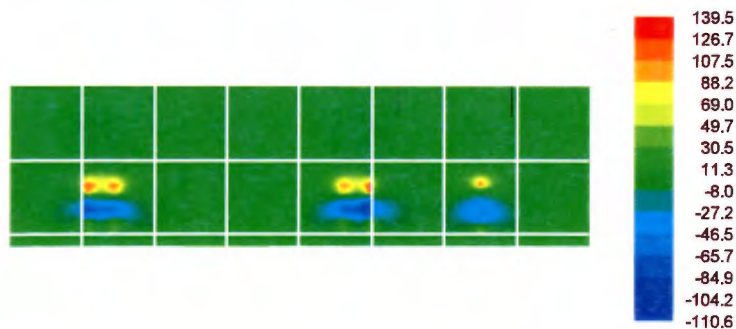
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	139.52	115.1	689.0
Arriba	110.58	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02658	23.2	689.0
Mínima	-0.00175	161.0	275.6

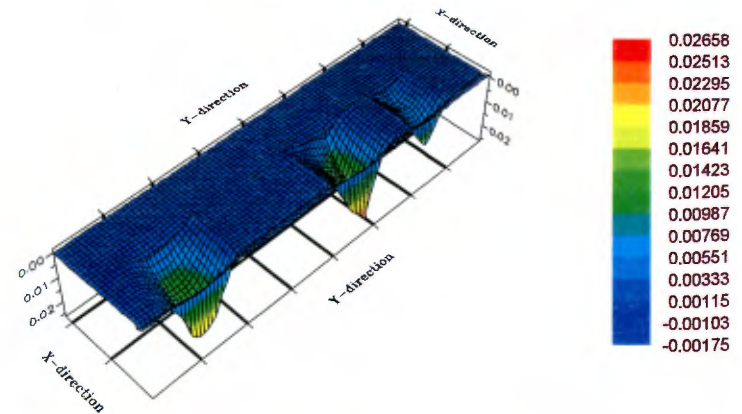
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

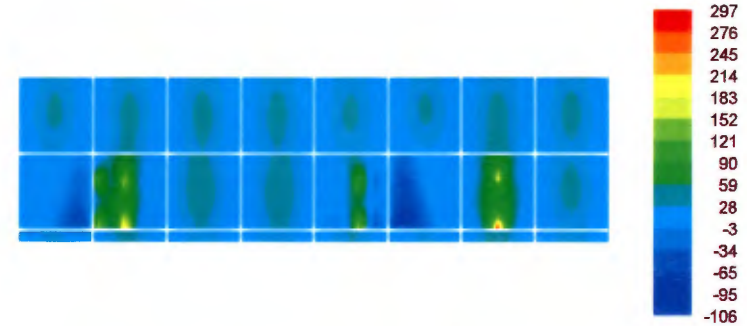
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	296.54	23.2	895.7
Arriba	105.79	23.2	712.0

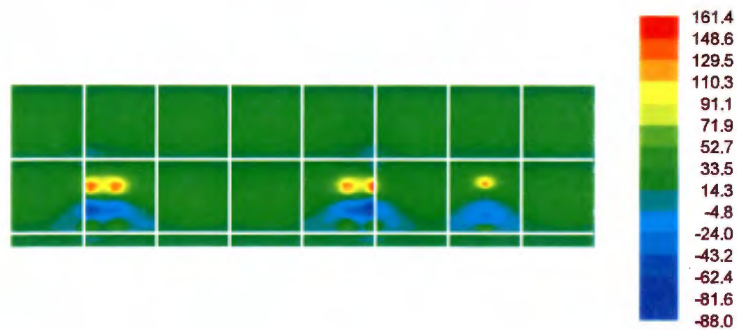
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	161.43	115.1	689.0
Arriba	87.98	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03759	23.2	689.0
Mínima	0.00331	92.1	780.9

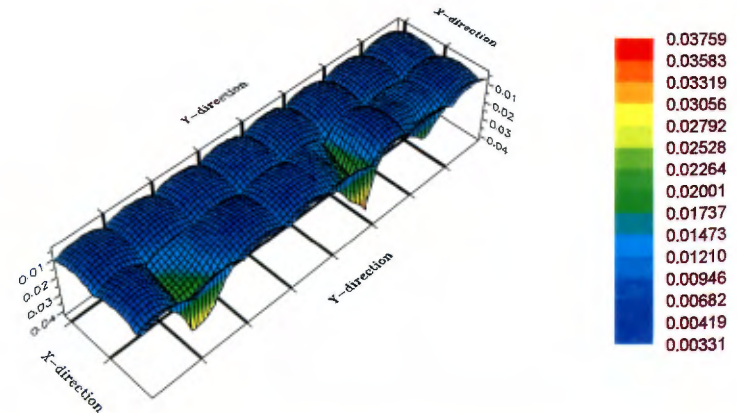
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

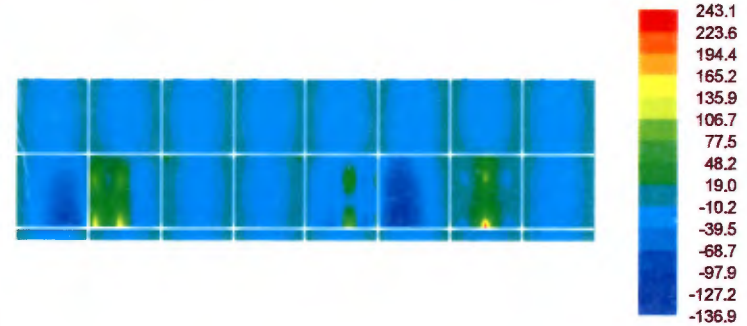
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	243.11	23.2	895.7
Arriba	136.91	23.2	723.5

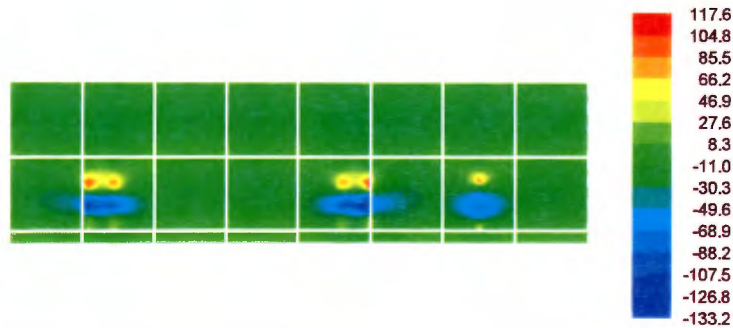
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	117.61	115.1	689.0
Arriba	133.18	69.1	689.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02776	23.2	689.0
Mínima	-0.00077	161.0	275.6

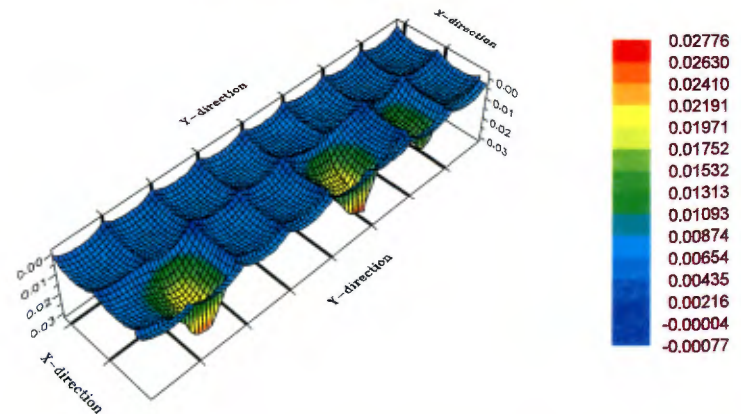
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

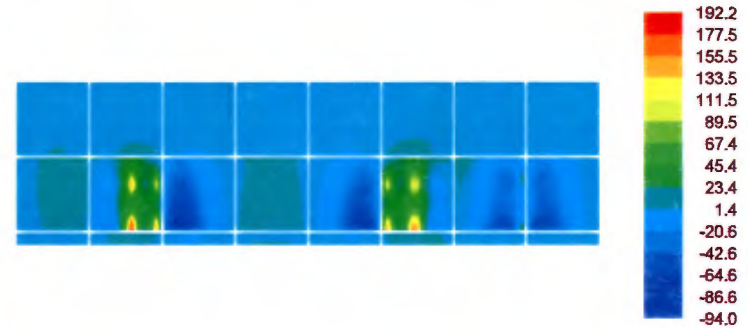
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	192.16	23.2	218.2
Arriba	93.96	23.2	310.1

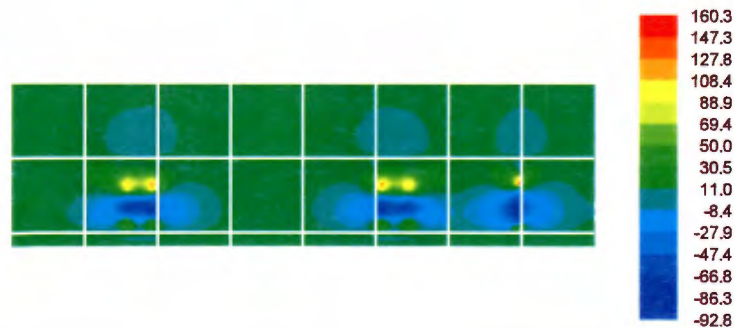
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	160.28	115.1	964.6
Arriba	92.79	57.7	964.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02206	23.2	252.6
Mínima	-0.00202	0.0	826.8

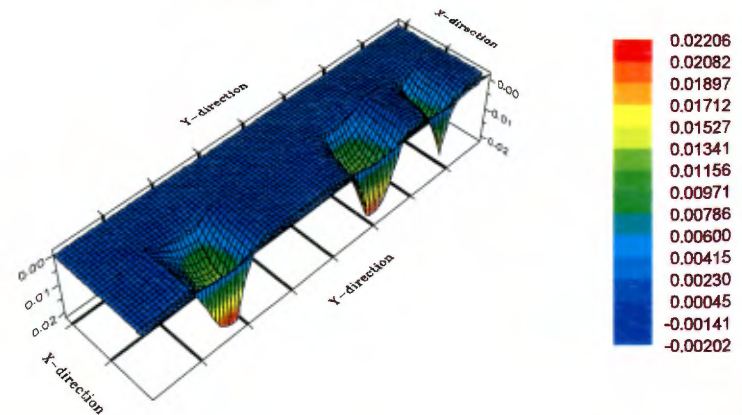
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

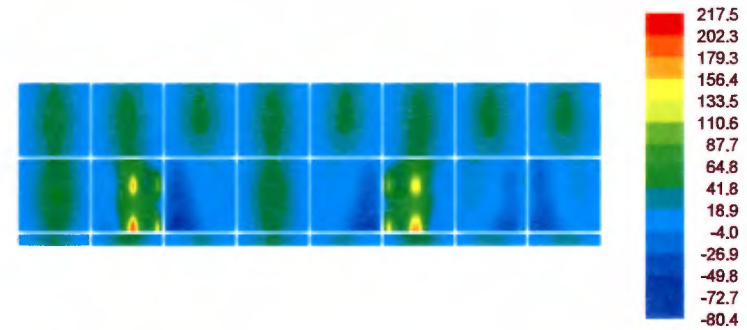
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	217.54	23.2	218.2
Arriba	80.39	23.2	298.6

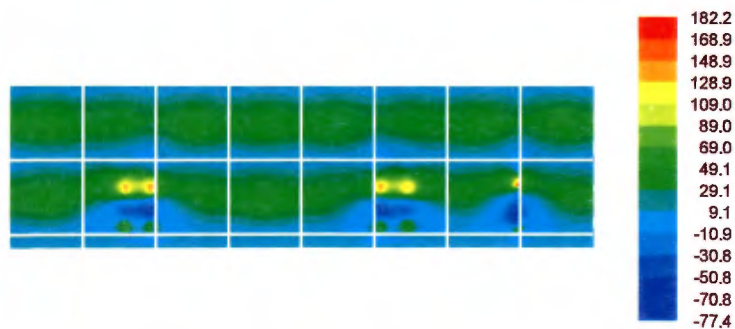
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	182.19	115.1	964.6
Arriba	77.43	46.2	964.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03221	23.2	275.6
Mínima	0.00344	92.1	872.7

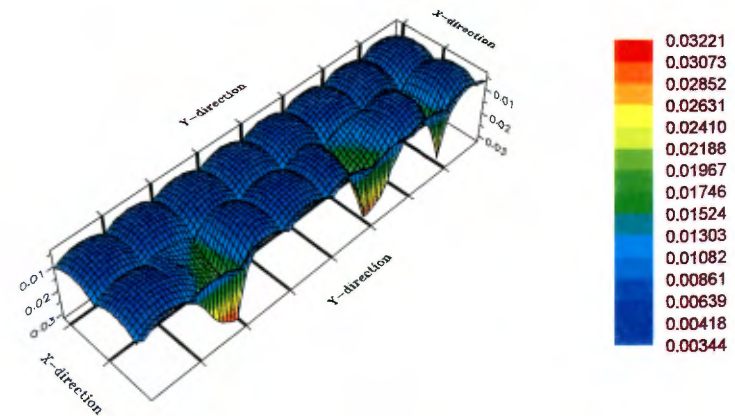
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

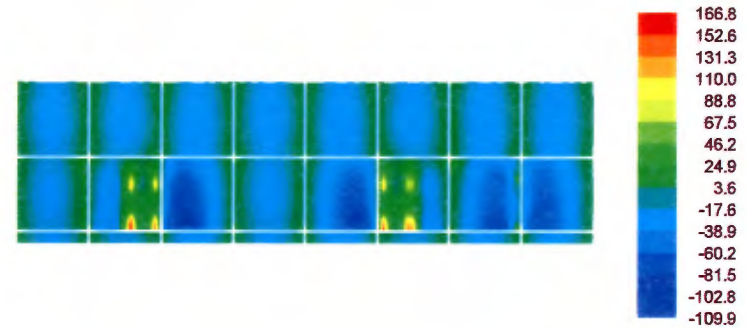
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	166.78	23.2	218.2
Arriba	109.85	23.2	310.1

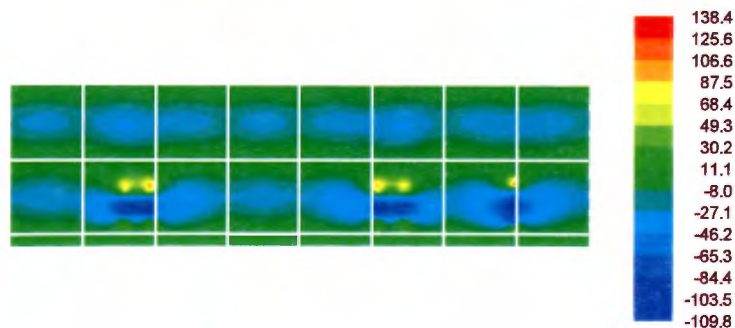
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	138.38	115.1	964.6
Arriba	109.82	57.7	964.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02569	23.2	241.2
Mínima	-0.00101	161.0	826.8

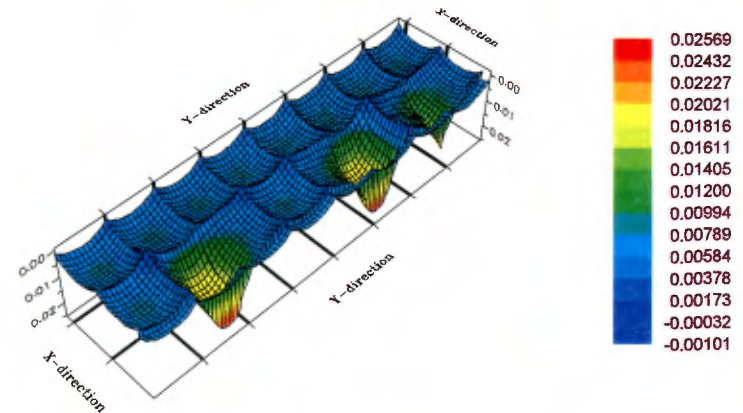
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

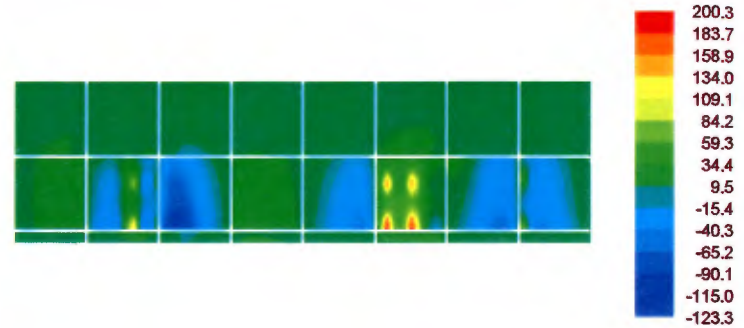
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	200.35	23.2	757.9
Arriba	123.29	23.2	310.1

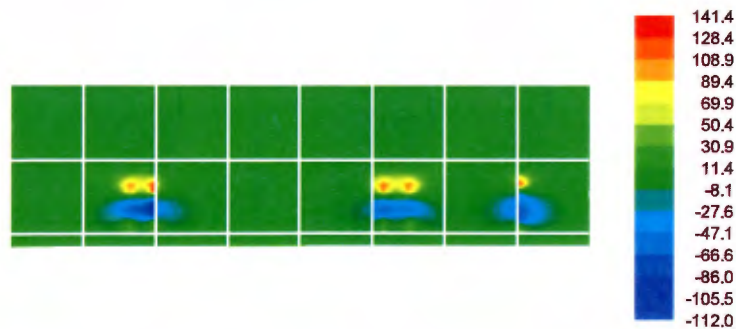
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	141.37	115.1	275.6
Arriba	112.03	69.1	275.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02721	23.2	275.6
Mínima	-0.00191	161.0	826.8

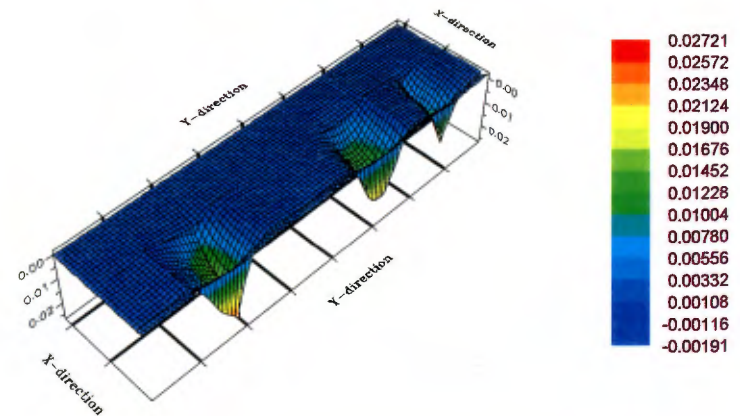
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

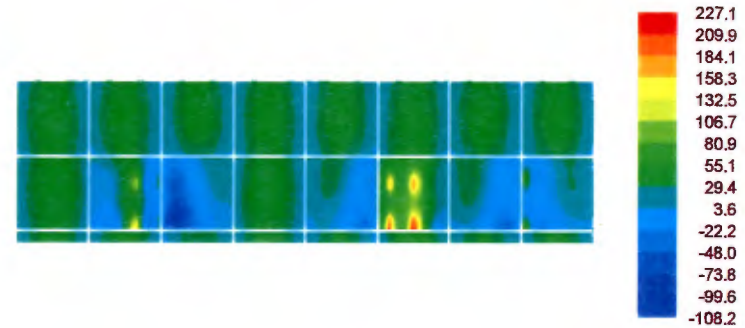
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	227.06	23.2	757.9
Arriba	108.19	23.2	298.6

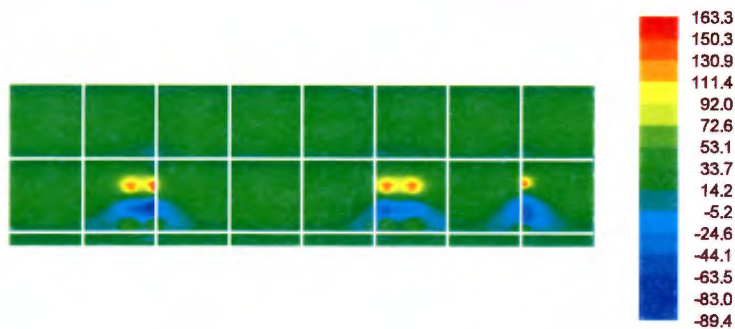
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	163.28	115.1	275.6
Arriba	89.43	69.1	275.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03822	23.2	275.6
Mínima	0.00339	92.1	367.5

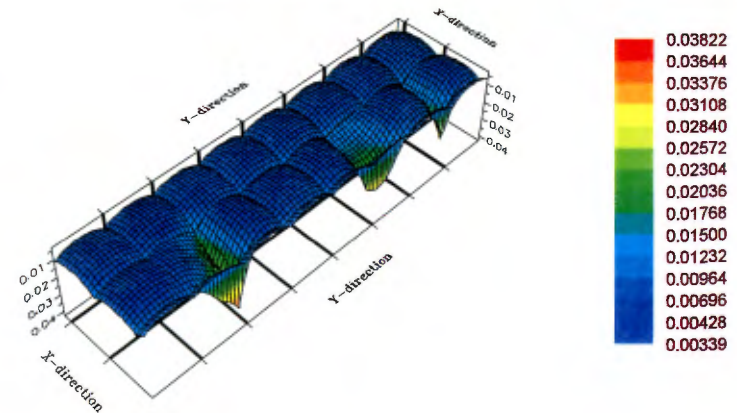
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

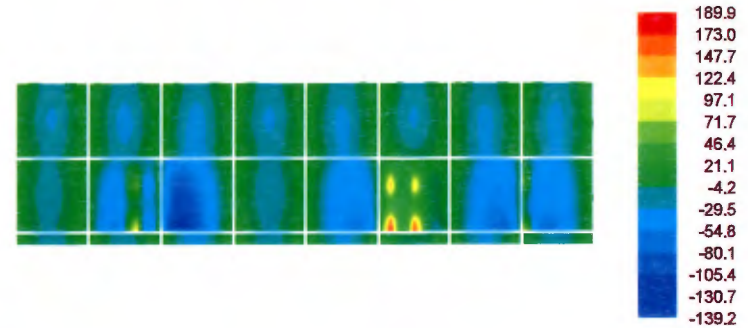
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
 Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
 Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	189.86	23.2	712.0
Arriba	139.19	23.2	310.1

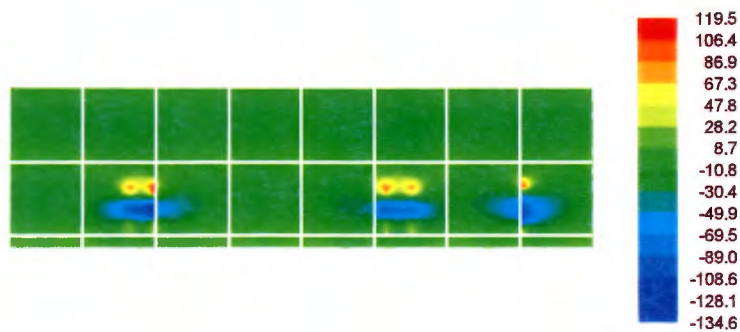
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	119.46	115.1	275.6
Arriba	134.63	69.1	275.6

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02839	23.2	275.6
Mínima	-0.00093	161.0	826.8

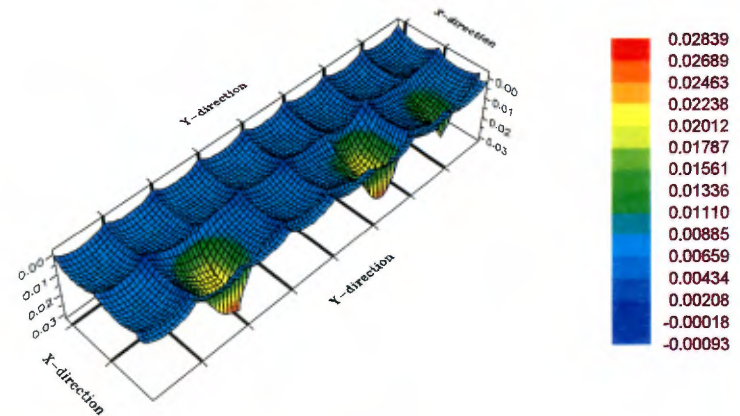
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

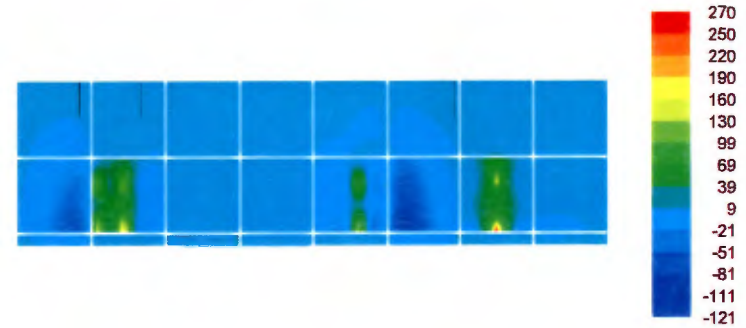
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	269.82	23.20	895.70
Arriba	121.01	23.20	723.45

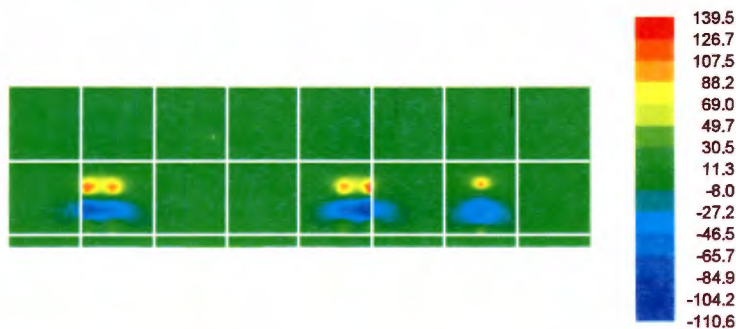
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	139.52	115.07	689.00
Arriba	110.58	69.13	689.00

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02658	23.20	689.00
Mínima	-0.00175	161.00	275.60

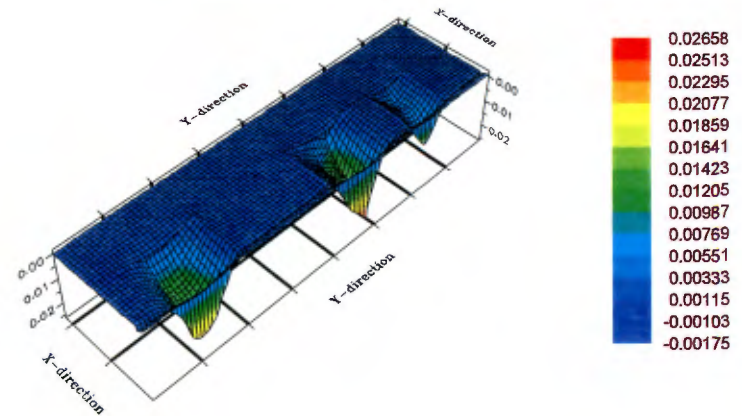
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



204B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa

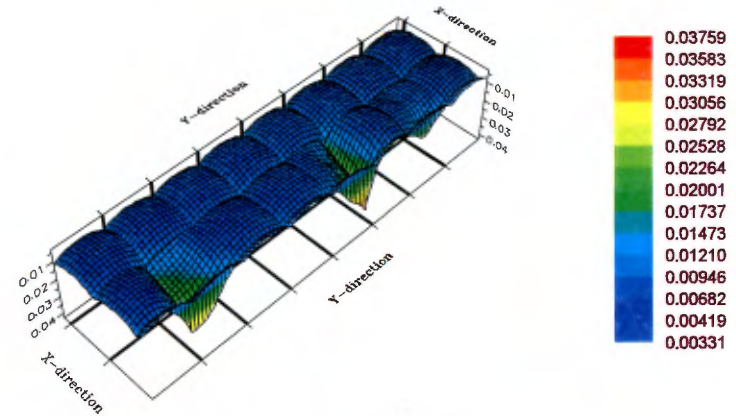
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	296.54	23.20	895.70
Arriba	105.79	23.20	711.97

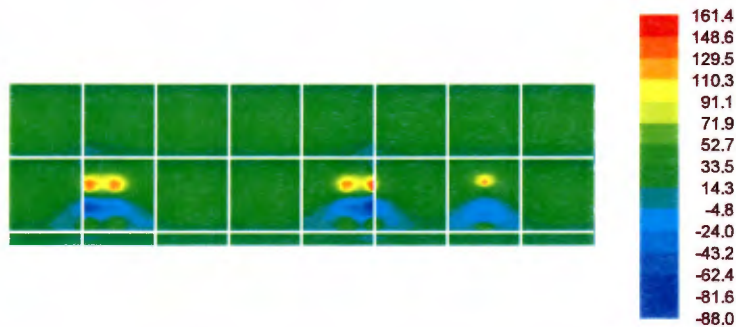
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	161.43	115.07	689.00
Arriba	87.98	69.13	689.00

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03759	23.20	689.00
Mínima	0.00331	92.10	780.87

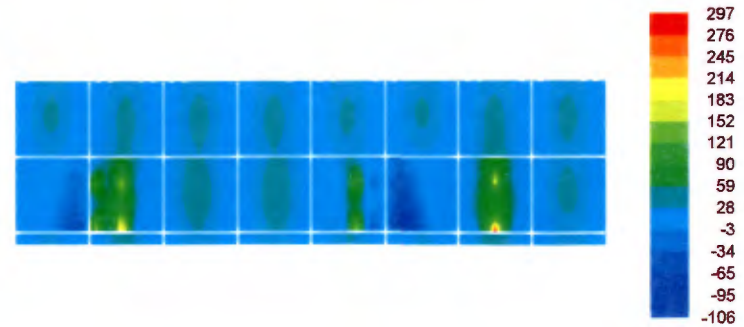
Deflections



Stresses in X-direction



Stresses in Y-direction



204B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa

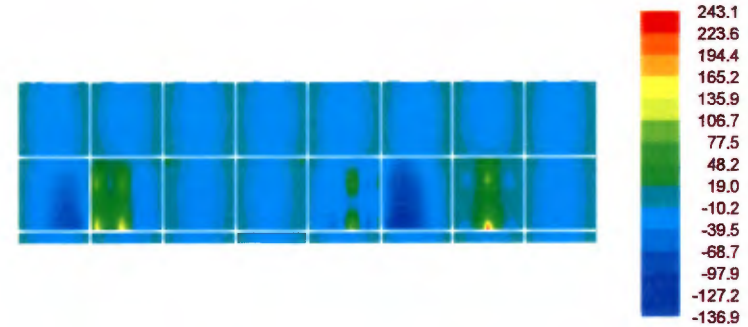
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	269.82	23.20	895.70
Arriba	121.01	23.20	723.45

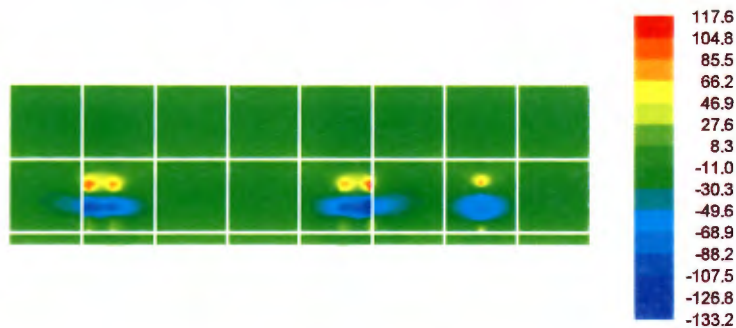
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	139.52	115.07	689.00
Arriba	110.58	69.13	689.00

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02658	23.20	689.00
Mínima	-0.00175	161.00	275.60

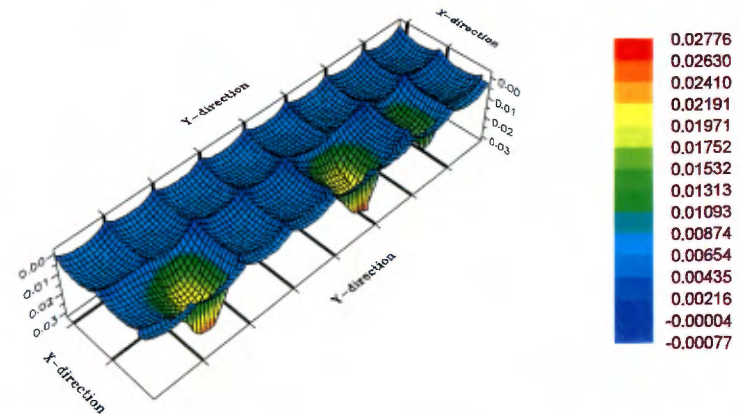
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



Anexo 7. Resultados de ISLAB2000 para la ruta 211A

211A

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

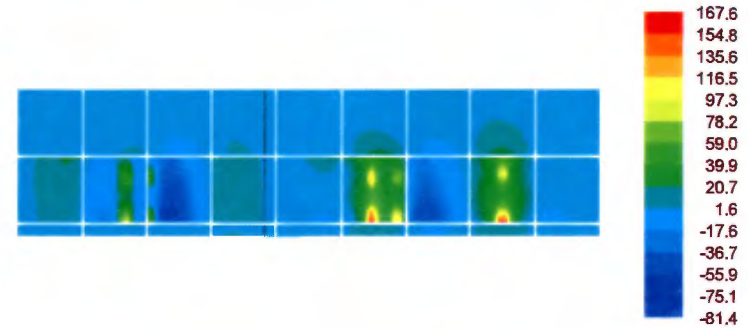
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	167.56	23.2	965.8
Arriba	81.44	23.2	302.6

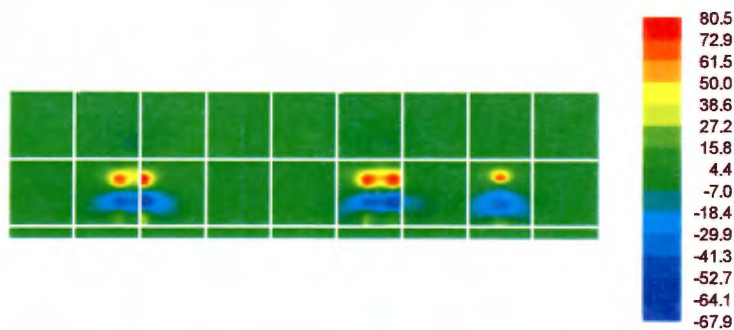
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	80.47	116.3	256.0
Arriba	67.91	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02372	23.2	256.0
Mínima	-0.00184	151.2	128.0

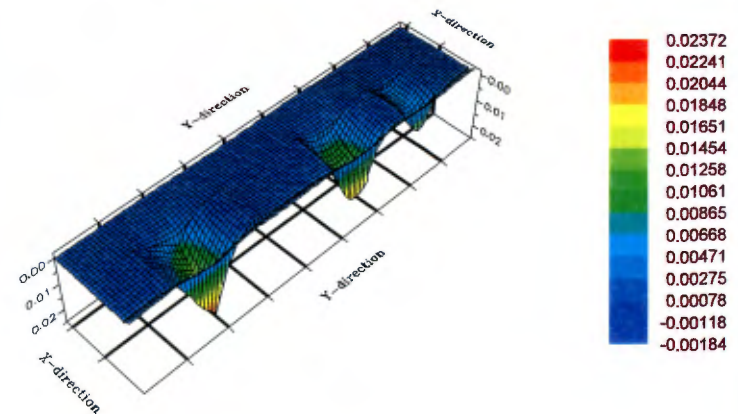
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

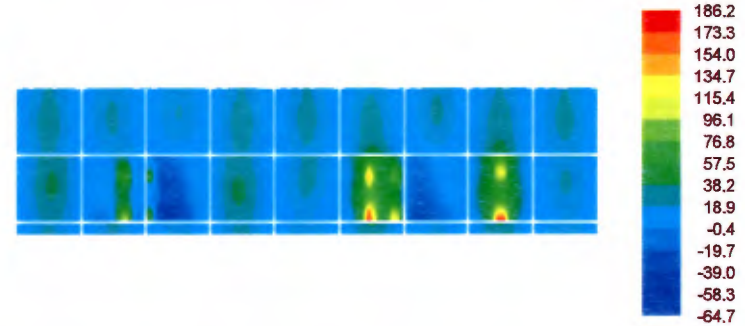
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	186.16	23.2	965.8
Arriba	64.70	23.2	302.6

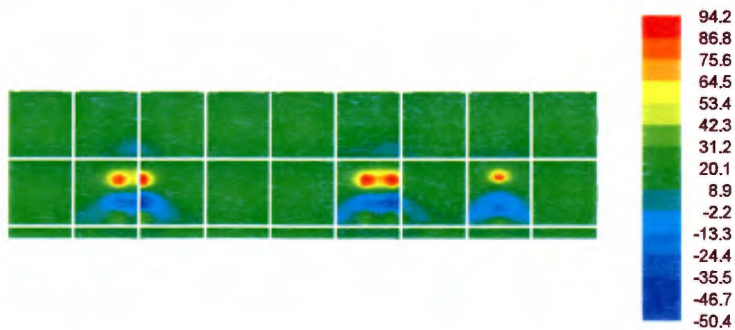
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	94.18	116.3	256.0
Arriba	50.36	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03542	23.2	256.0
Mínima	0.00482	0.0	837.8

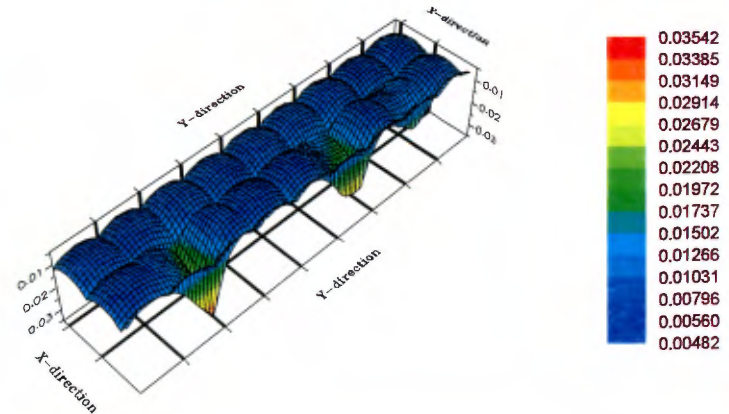
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

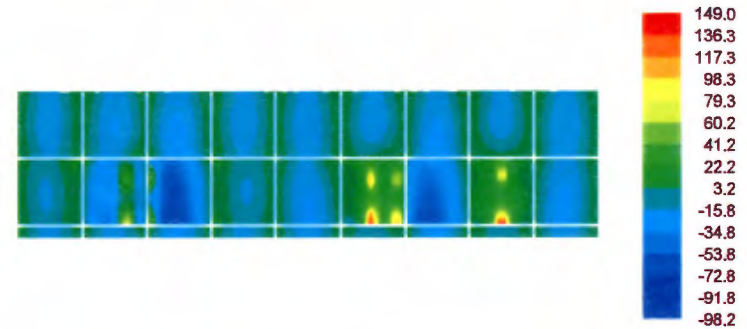
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	148.97	23.2	965.8
Arriba	98.18	23.2	302.6

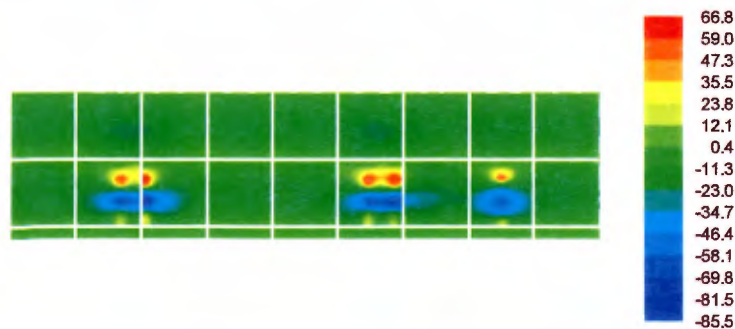
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	66.77	116.3	256.0
Arriba	85.45	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02677	23.2	256.0
Mínima	0.00102	151.2	128.0

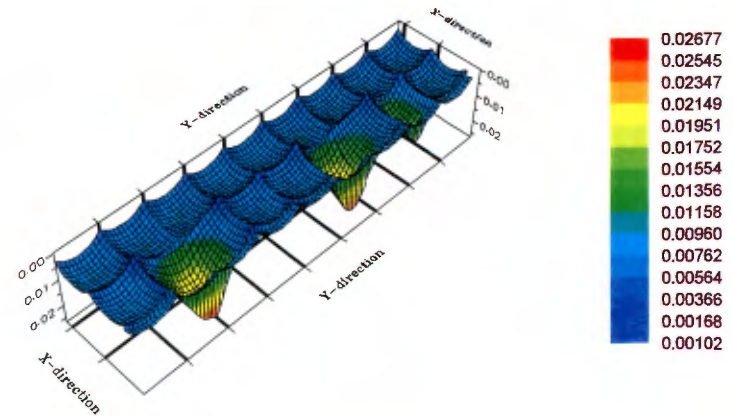
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

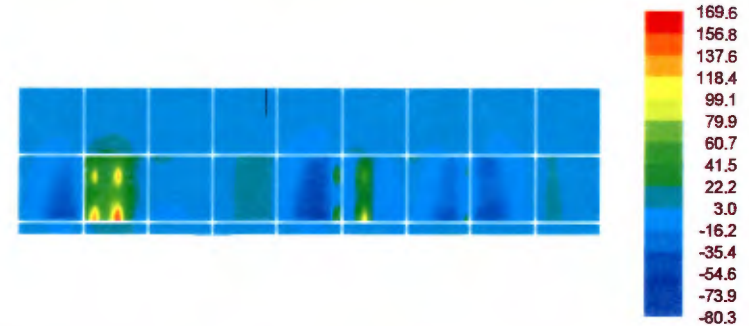
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	169.61	23.2	197.8
Arriba	80.27	23.2	593.5

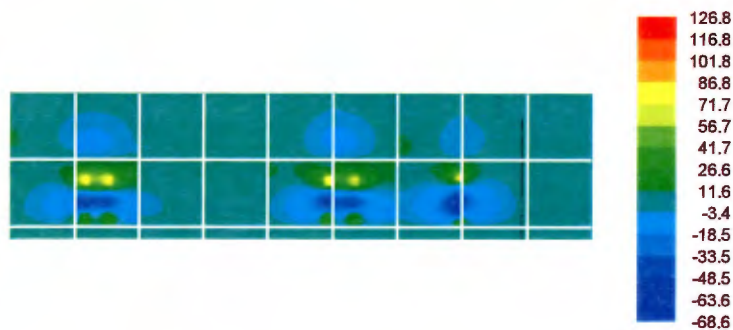
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	126.83	116.3	896.0
Arriba	68.56	58.1	896.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02332	23.2	640.0
Mínima	-0.00246	151.2	768.0

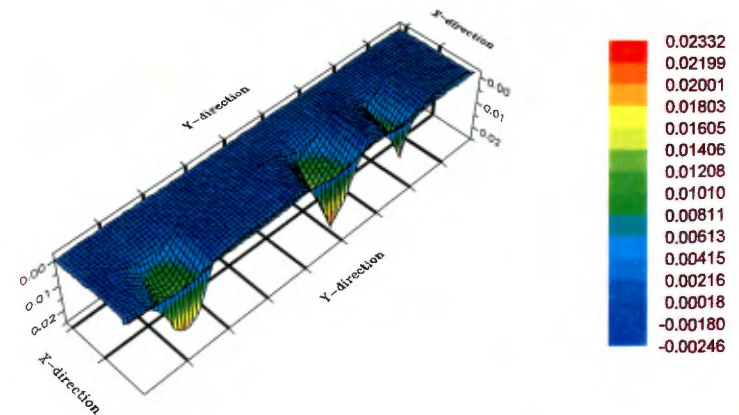
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

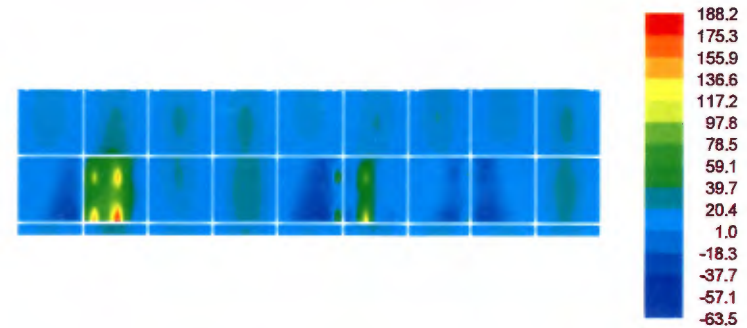
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	188.21	23.2	197.8
Arriba	63.53	23.2	593.5

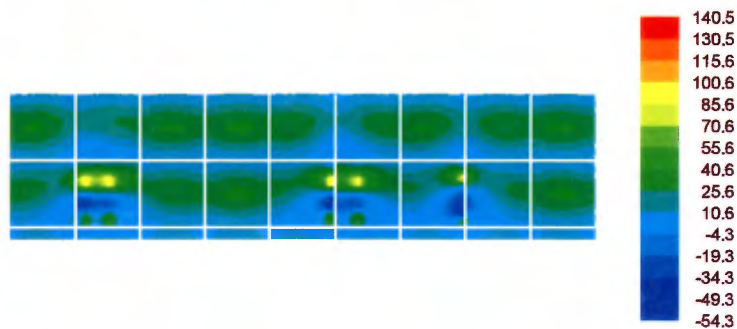
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	140.54	116.3	896.0
Arriba	54.30	58.1	896.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03502	23.2	640.0
Mínima	0.00468	0.0	58.2

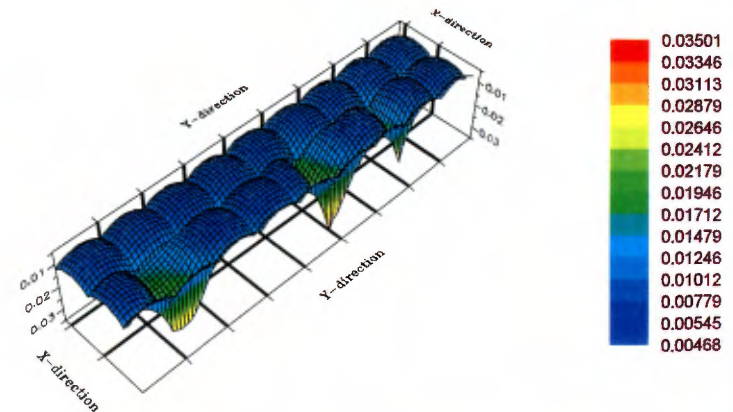
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

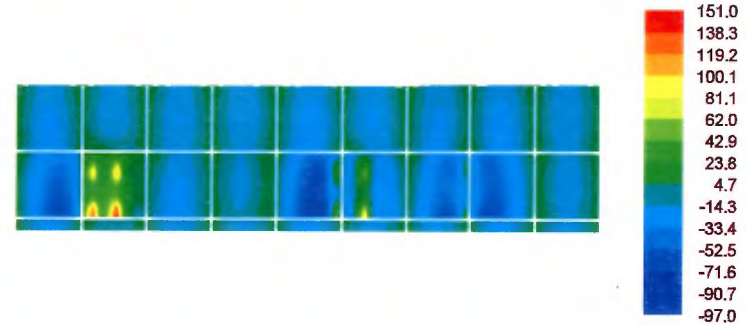
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	151.01	23.2	197.8
Arriba	97.01	23.2	593.5

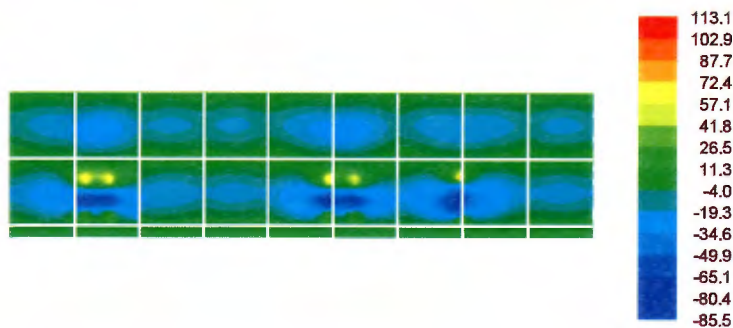
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	113.13	116.3	896.0
Arriba	85.50	69.8	640.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02637	23.2	640.0
Mínima	0.00040	151.2	768.0

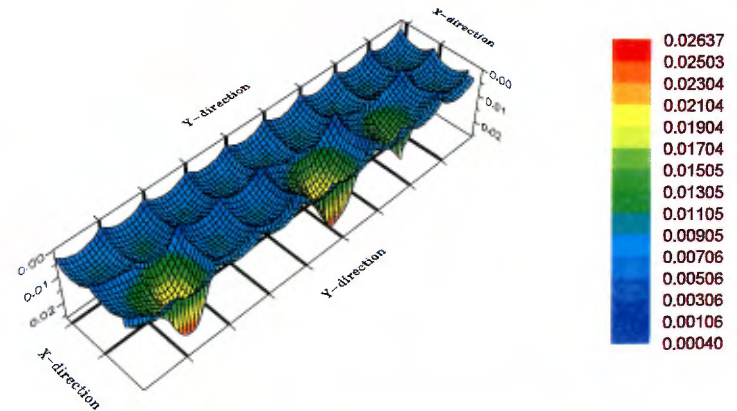
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

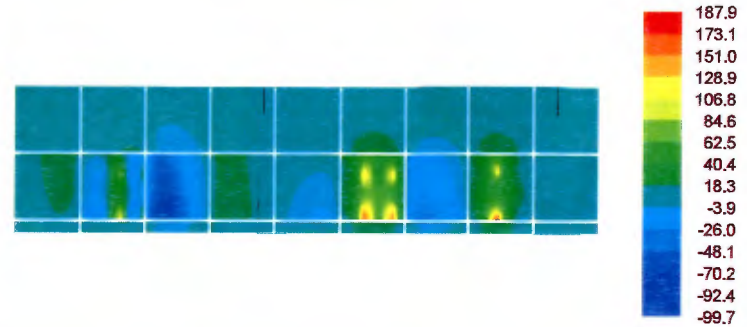
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	187.89	23.2	954.2
Arriba	99.74	23.2	290.9

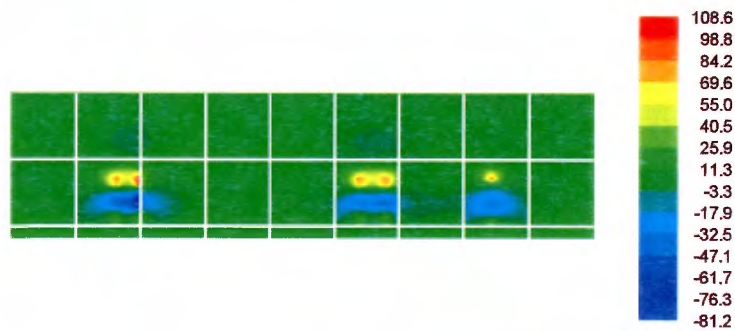
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	108.55	116.3	256.0
Arriba	81.15	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02436	23.2	256.0
Mínima	-0.00190	151.2	128.0

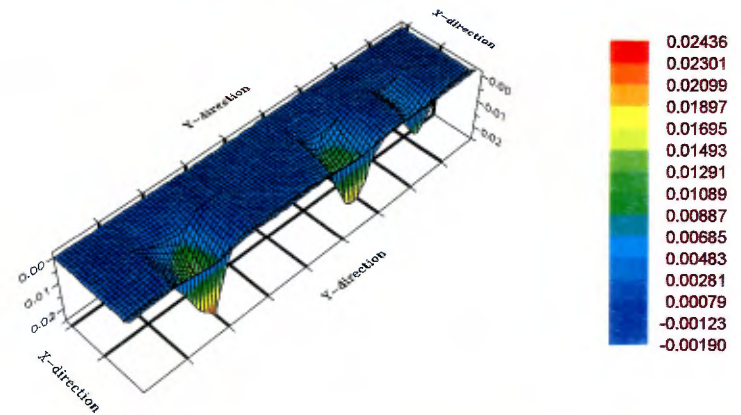
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

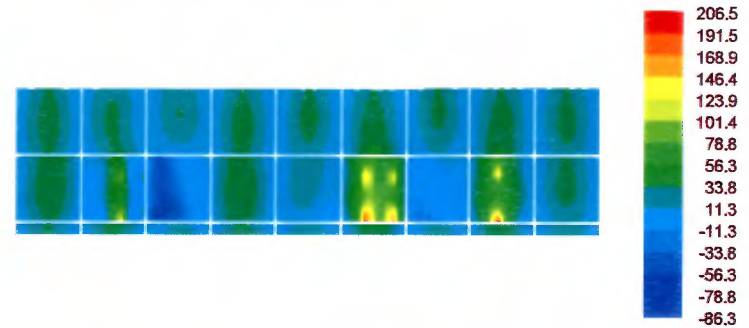
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	206.48	23.2	954.2
Arriba	86.33	23.2	290.9

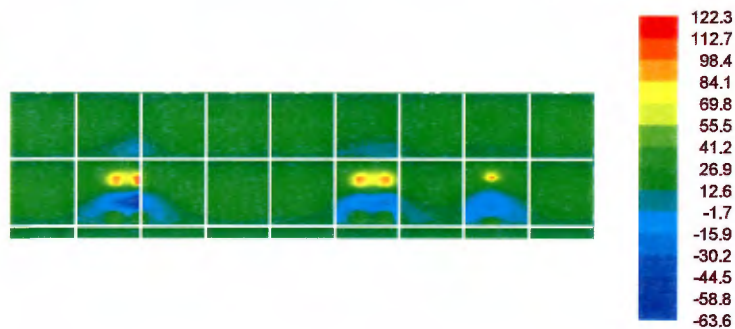
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	122.26	116.3	256.0
Arriba	63.61	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03605	23.2	256.0
Mínima	0.00483	0.0	837.8

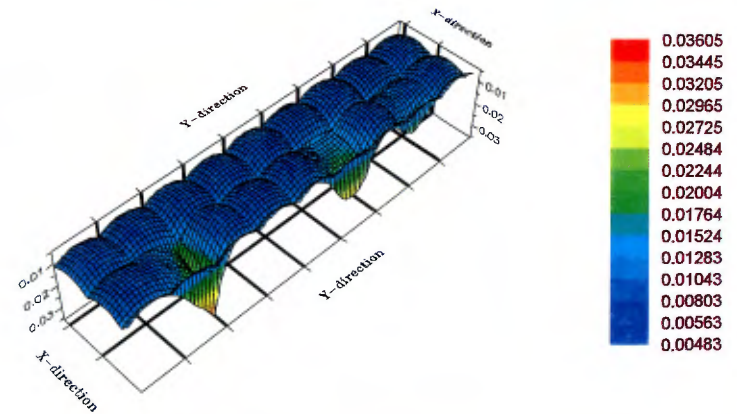
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

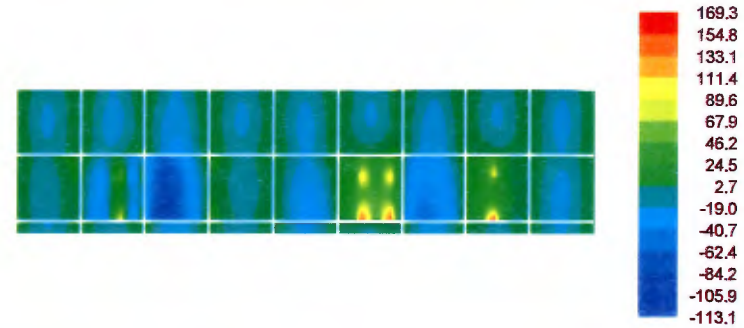
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
 Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
 Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	169.29	23.2	954.2
Arriba	113.14	23.2	290.9

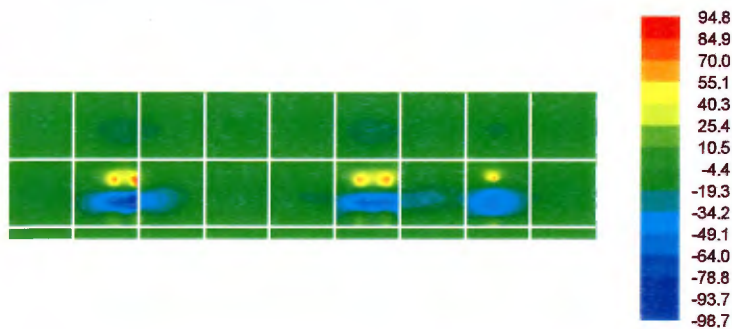
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	94.85	116.3	256.0
Arriba	98.70	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02741	23.2	256.0
Mínima	0.00096	151.2	128.0

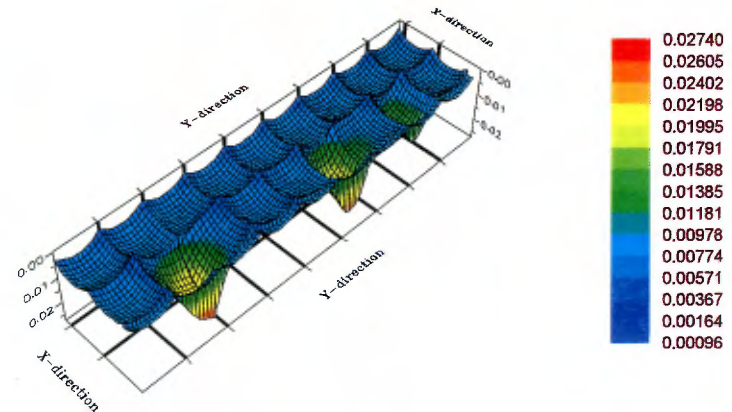
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

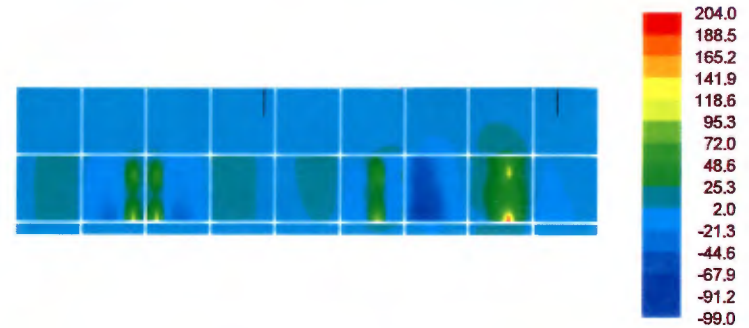
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	204.05	23.2	977.5
Arriba	98.99	23.2	802.9

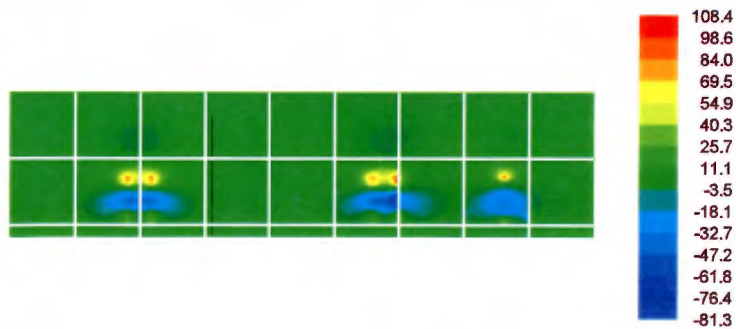
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	108.36	116.3	768.0
Arriba	81.28	69.8	768.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02405	23.2	768.0
Mínima	-0.00184	151.2	640.0

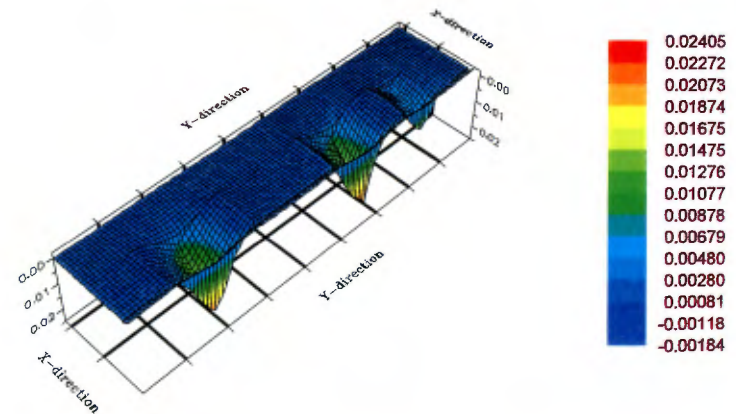
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

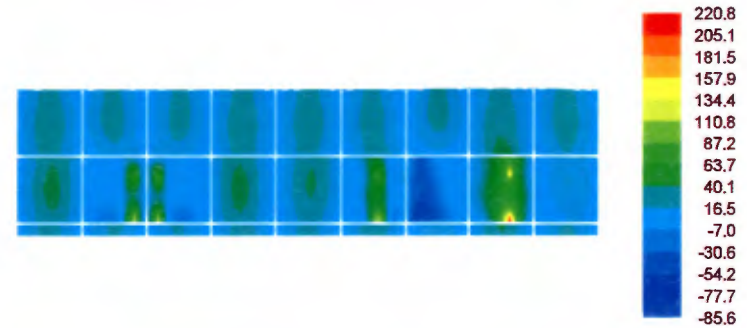
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
 Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa
 Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	220.79	23.2	977.5
Arriba	85.59	23.2	802.9

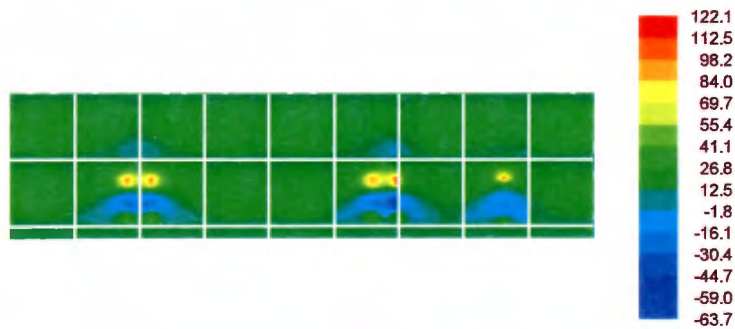
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	122.06	116.3	768.0
Arriba	63.73	69.8	768.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03575	23.2	768.0
Mínima	0.00484	0.0	837.8

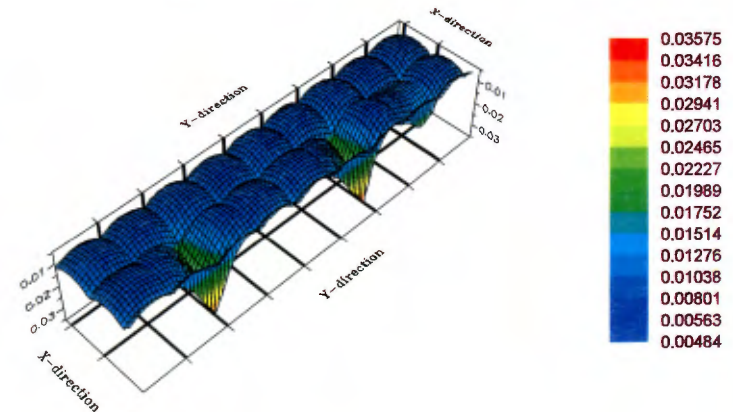
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211A

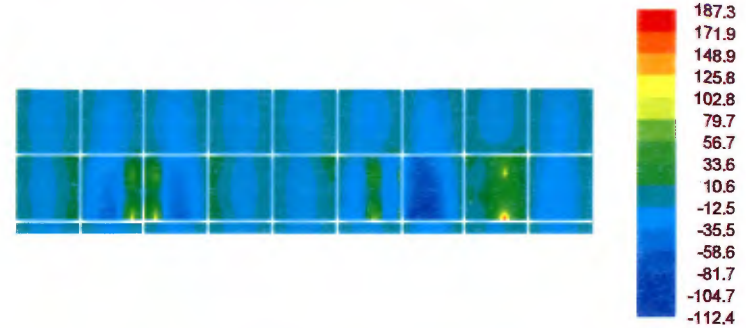
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
 Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa
 Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	187.30	23.2	977.5
Arriba	112.39	23.2	802.9

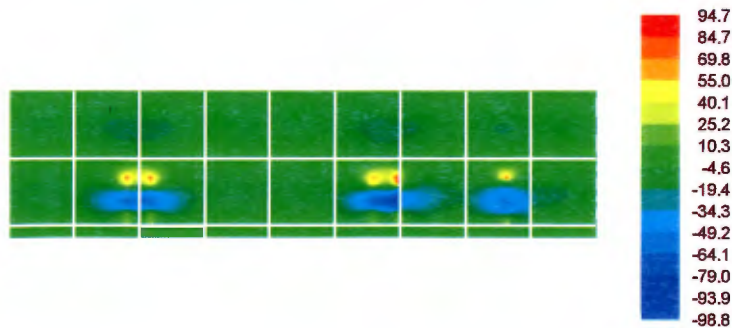
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	94.65	116.3	768.0
Arriba	98.83	69.8	768.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02710	23.2	768.0
Mínima	0.00102	151.2	640.0

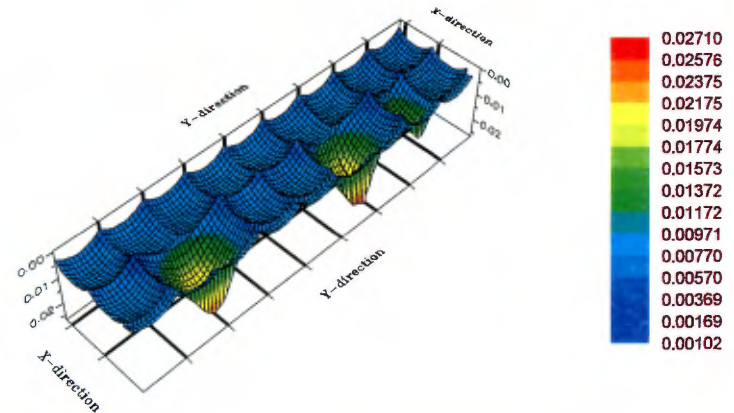
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



Anexo 8. Resultados de ISLAB2000 para la ruta 211B

211B

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

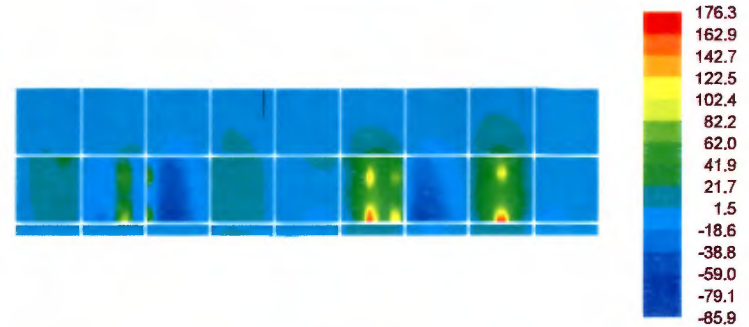
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	176.30	23.2	965.8
Arriba	85.85	23.2	302.6

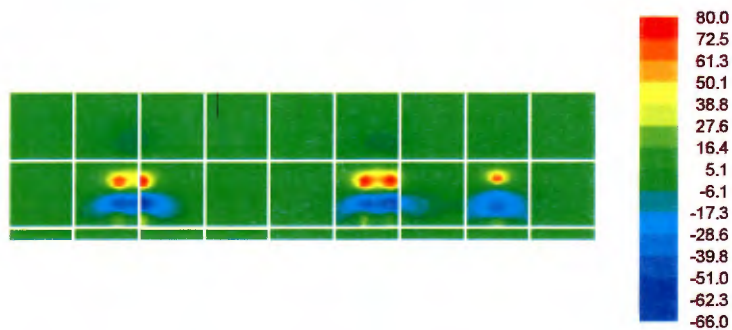
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	80.02	116.3	256.0
Arriba	66.01	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02203	23.2	256.0
Mínima	-0.00179	151.2	128.0

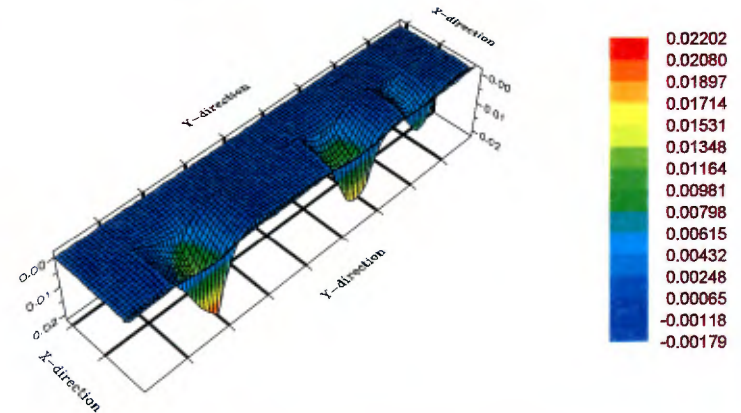
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

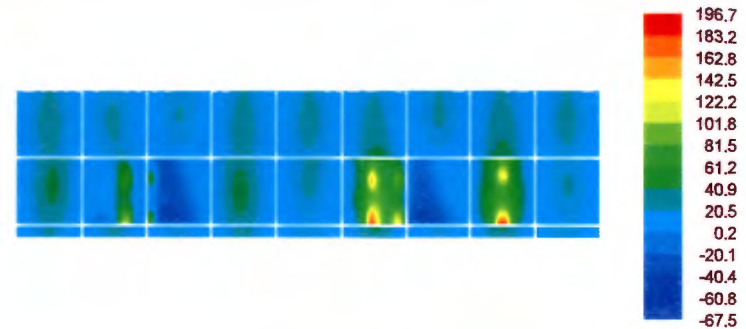
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	196.70	23.2	965.8
Arriba	67.55	23.2	302.6

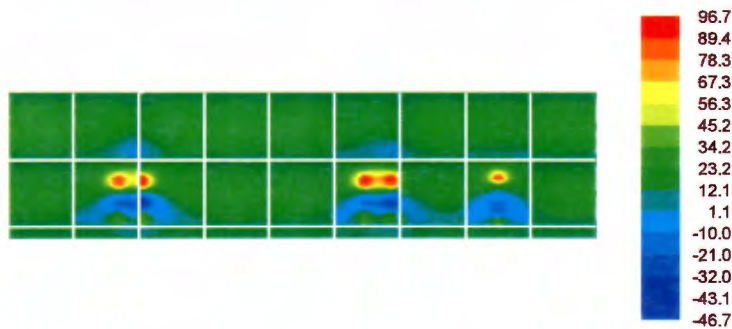
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	96.73	116.3	698.2
Arriba	46.74	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03362	23.2	256.0
Mínima	0.00452	0.0	837.8

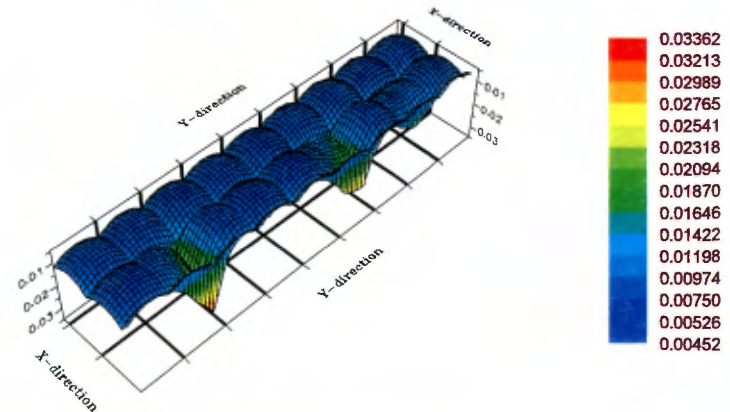
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

Agrietamiento Transversal de Abajo - Arriba

Eje Direccional en el centro de la losa

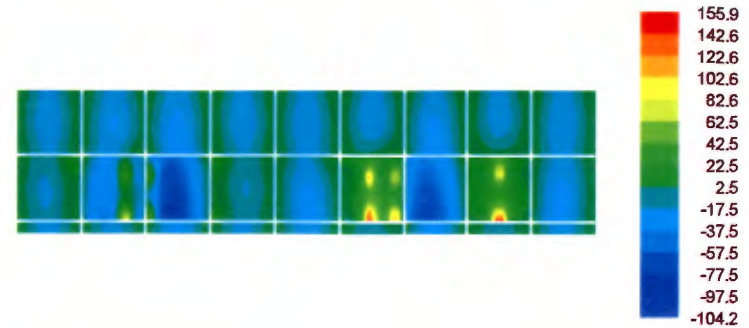
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	155.91	23.2	965.8
Arriba	104.16	23.2	302.6

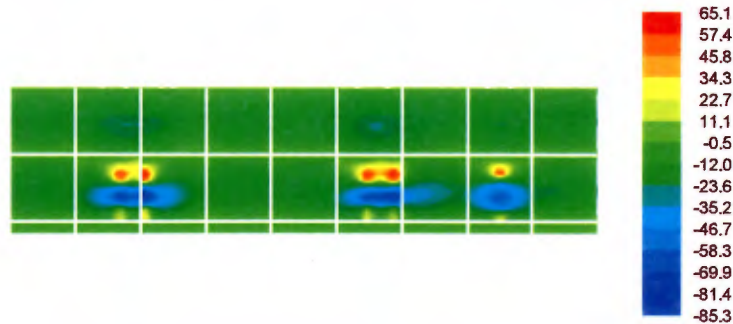
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	65.10	116.3	256.0
Arriba	85.28	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02454	23.2	256.0
Mínima	0.00053	151.2	128.0

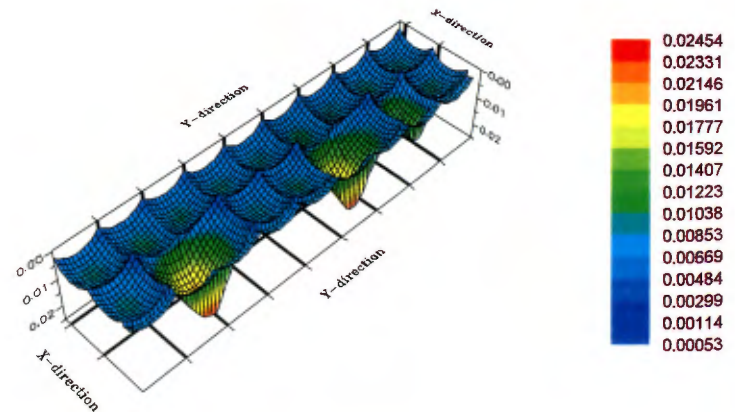
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

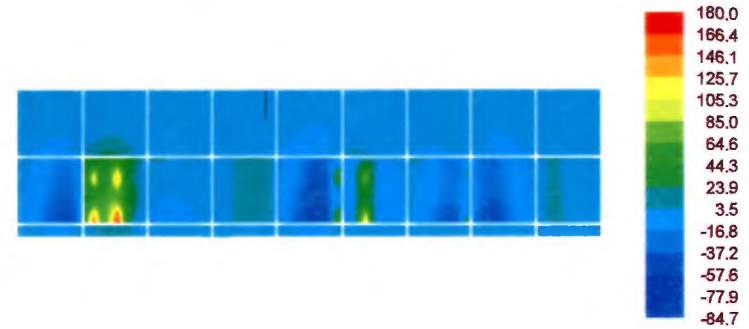
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	180.01	23.2	197.8
Arriba	84.70	23.2	593.5

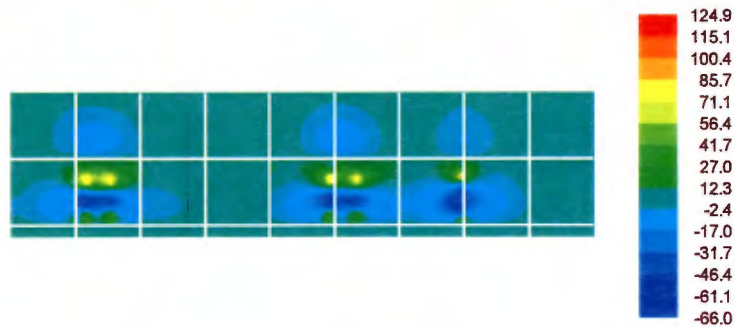
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	124.89	116.3	896.0
Arriba	65.99	58.1	896.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02167	23.2	640.0
Mínima	-0.00244	151.2	768.0

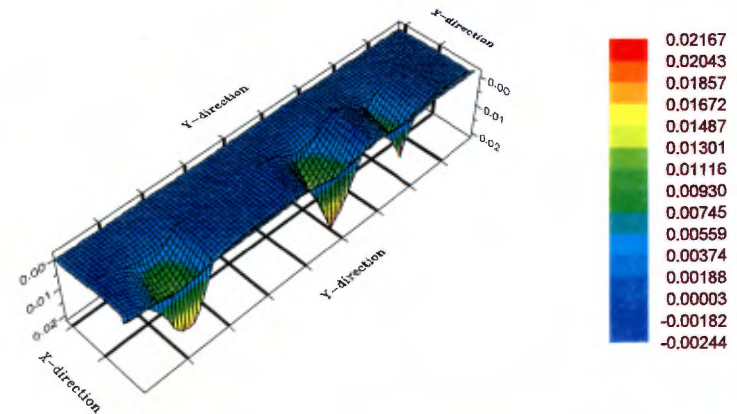
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

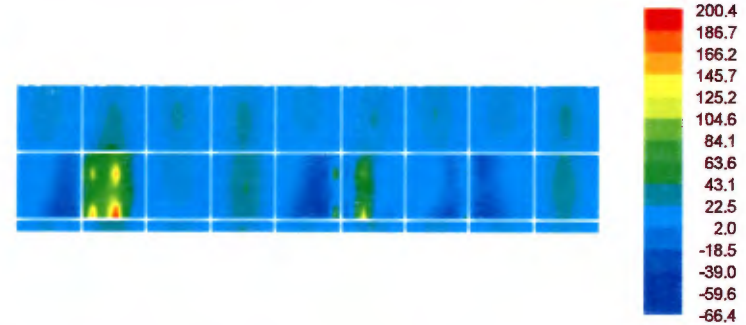
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	200.40	23.2	197.8
Arriba	66.40	23.2	593.5

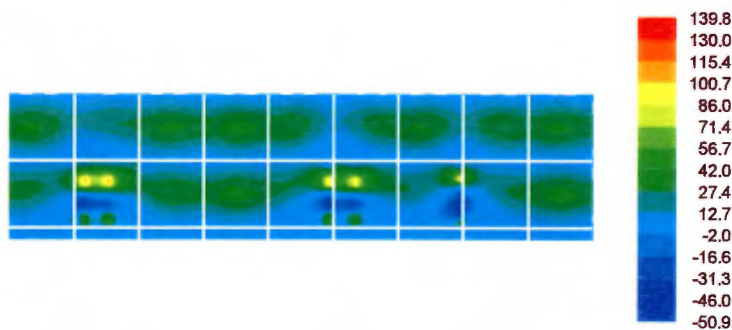
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	139.81	116.3	896.0
Arriba	50.87	46.5	896.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03326	23.2	640.0
Mínima	0.00433	0.0	58.2

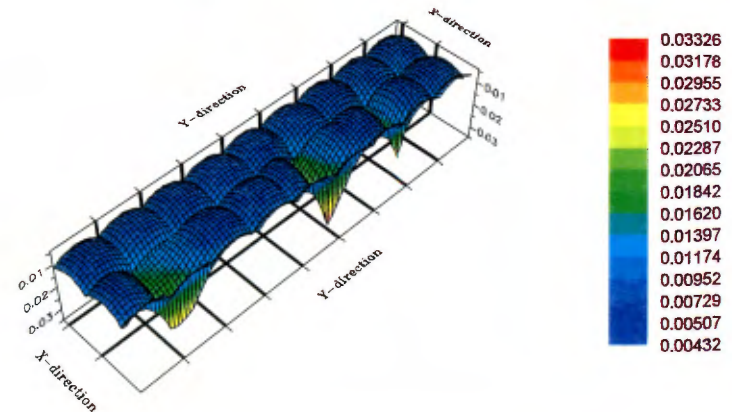
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Direccional en la esquina de la losa

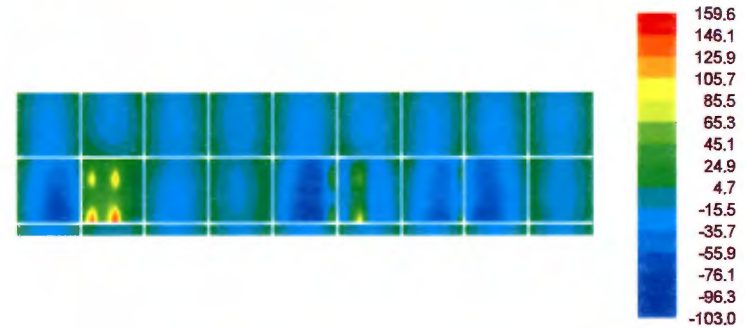
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	159.61	23.2	197.8
Arriba	103.01	23.2	593.5

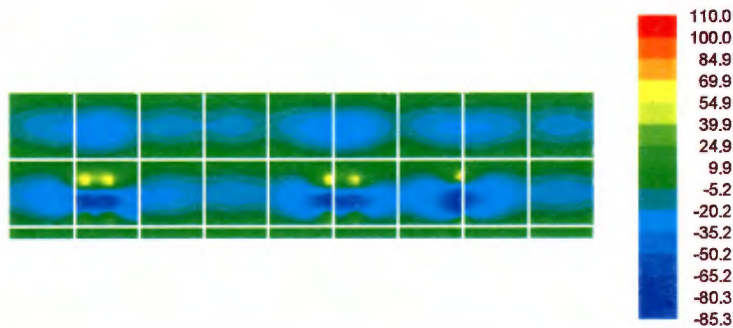
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	109.97	116.3	896.0
Arriba	85.26	69.8	640.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02418	23.2	640.0
Mínima	-0.00012	151.2	768.0

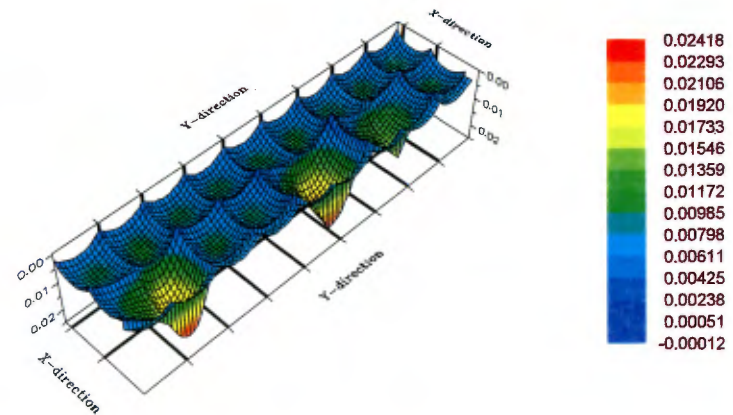
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

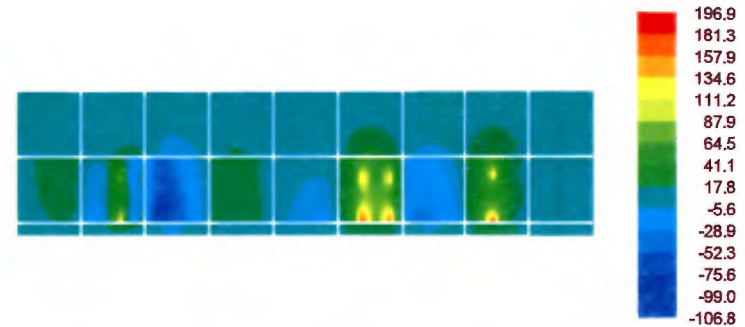
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	196.88	23.2	954.2
Arriba	106.80	23.2	290.9

Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	106.14	116.3	256.0
Arriba	77.11	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02237	23.2	256.0
Mínima	-0.00180	151.2	128.0

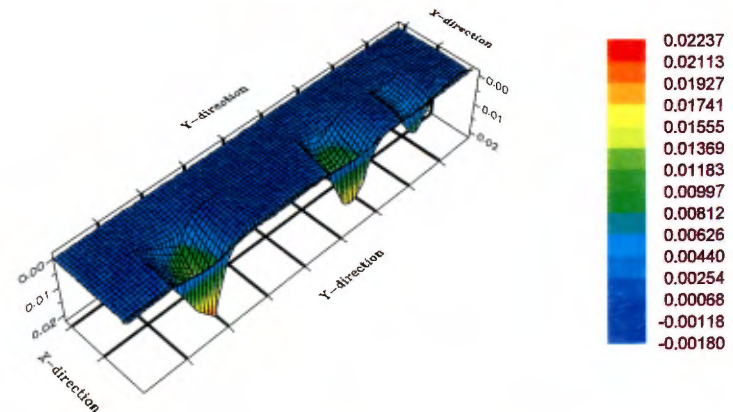
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

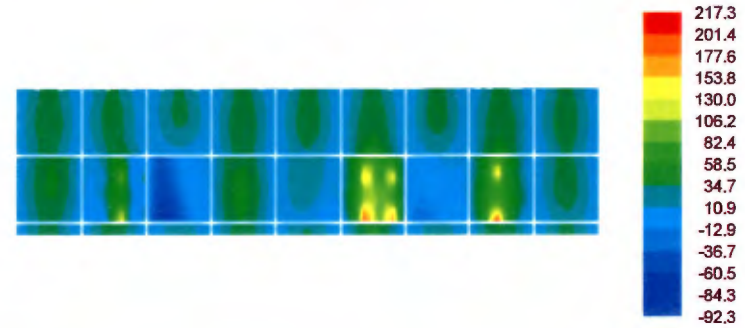
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	217.28	23.2	954.2
Arriba	92.25	23.2	290.9

Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	121.06	116.3	256.0
Arriba	57.84	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03396	23.2	256.0
Mínima	0.00452	0.0	837.8

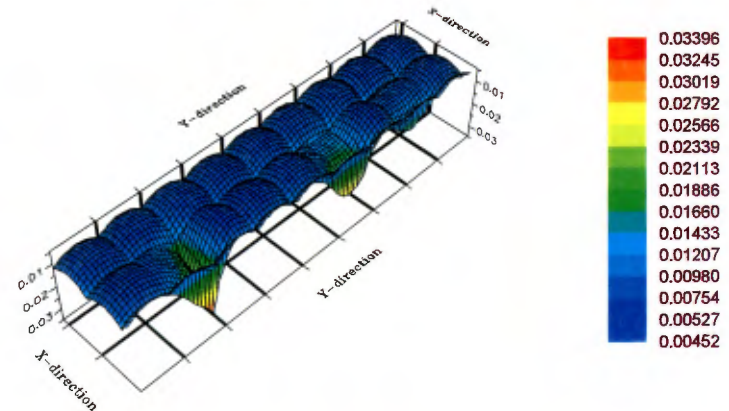
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

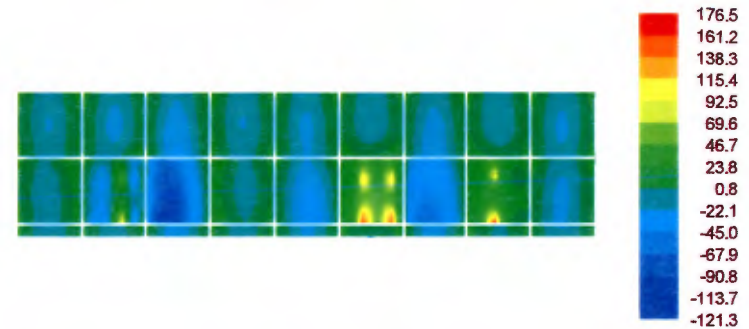
Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo
 Eje Tandem del Remolque en la esquina de la losa
 Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	176.48	23.2	954.2
Arriba	121.34	23.2	290.9

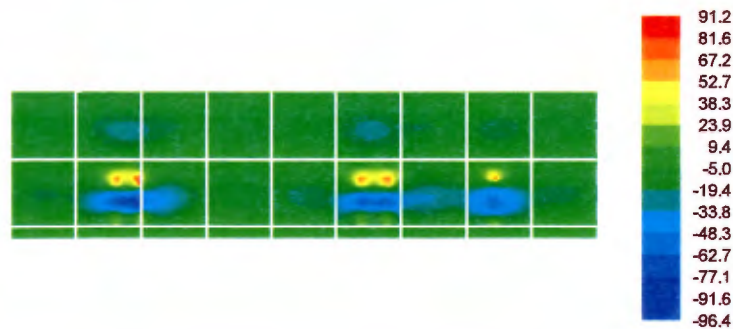
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	91.22	116.3	256.0
Arriba	96.38	69.8	256.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02488	23.2	256.0
Mínima	0.00052	151.2	128.0

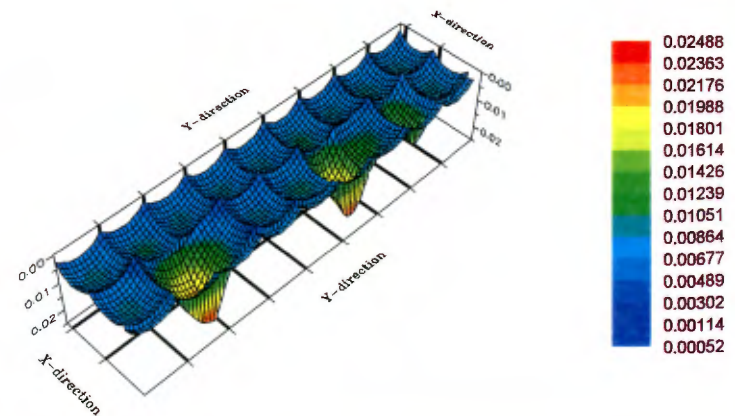
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa

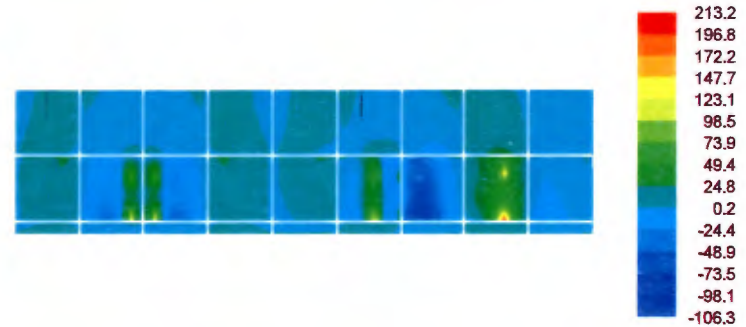
Solo Carga

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	213.19	23.2	977.5
Arriba	106.28	23.2	802.9

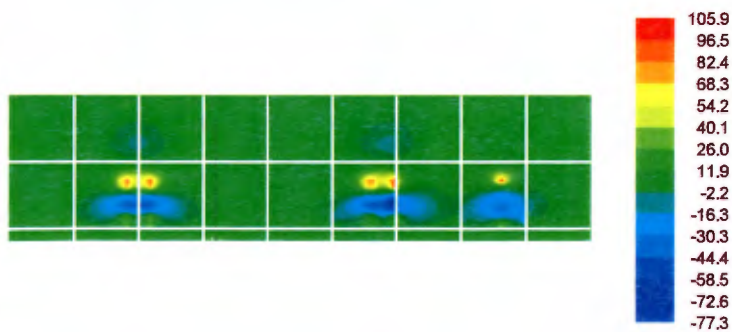
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	105.92	116.3	768.0
Arriba	77.34	69.8	768.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02208	23.2	768.0
Mínima	-0.00174	151.2	640.0

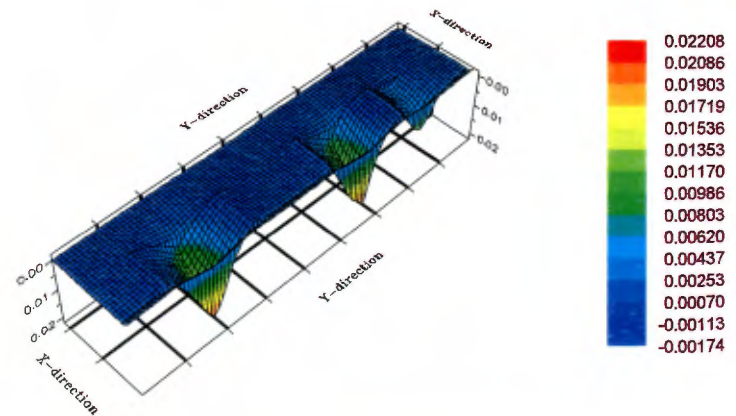
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa

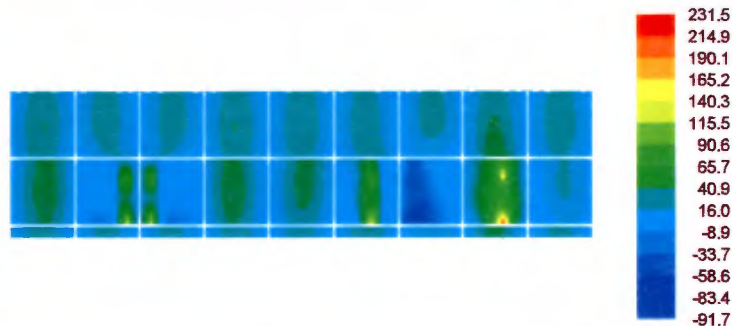
Carga + Temperatura [Gradiente Positivo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	231.49	23.2	977.5
Arriba	91.73	23.2	802.9

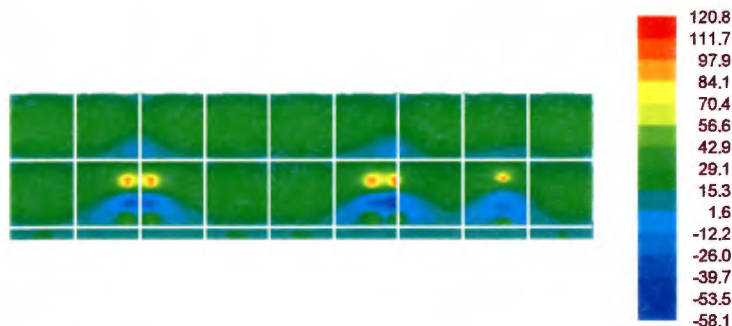
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	120.84	116.3	768.0
Arriba	58.07	69.8	768.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.03368	23.2	768.0
Mínima	0.00455	0.0	837.8

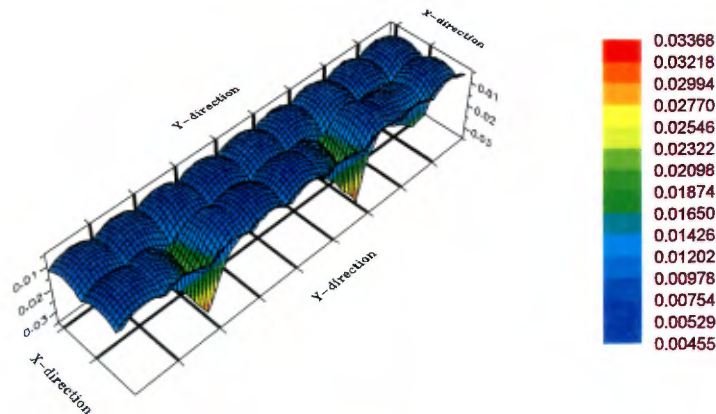
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



211B

Agrietamiento Transversal de Arriba - Abajo

Eje Tandem del Camión en la esquina de la losa

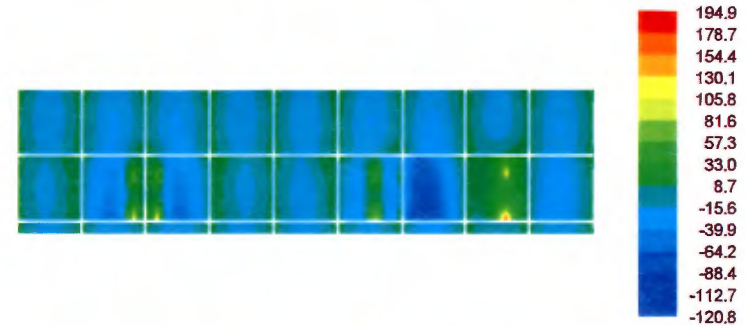
Carga + Temperatura [Gradiente Negativo]

Esfuerzos en Y			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	194.88	23.2	977.5
Arriba	120.82	23.2	802.9

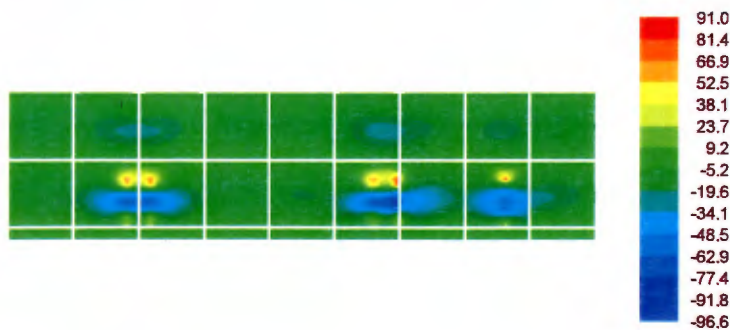
Esfuerzos en X			
Lado	(psi)	Ubicación X	Ubicación Y
Abajo	91.00	116.3	768.0
Arriba	96.61	69.8	768.0

Deflexión			
Lado	in	Ubicación X	Ubicación Y
Máxima	0.02460	23.2	768.0
Mínima	0.00058	151.2	640.0

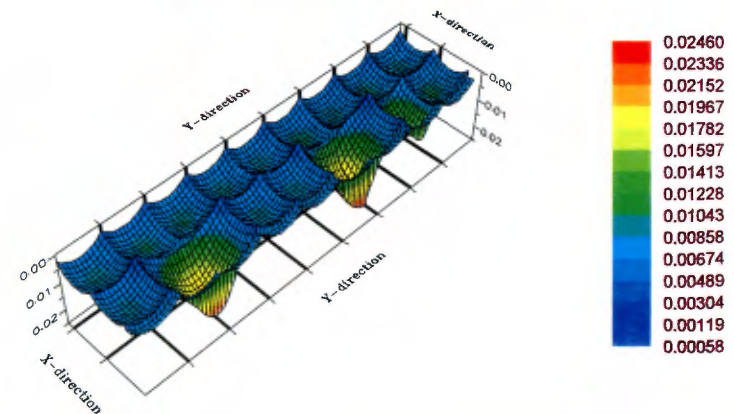
Stresses in Y-direction



Stresses in X-direction



Deflections



Anexo 9. Esquema General de un Análisis Estructural de Pavimentos Rígidos

Diagrama de Análisis Estructural de Pavimentos Rígidos

