

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS
PAVIMENTOS RÍGIDOS DE GEOMETRÍA
OPTIMIZADA”**

PRESENTADO POR:

ULISES ALFREDO LÓPEZ CRUZ

JONATHAN ALBERTO VILLEDA RIVAS

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título :

**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PAVIMENTOS
RÍGIDOS DE GEOMETRÍA OPTIMIZADA”**

Presentado por :

ULISES ALFREDO LÓPEZ CRUZ

JONATHAN ALBERTO VILLEDA RIVAS

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

ING. MARIO ALEJANDRO AVELAR PINEDA

ING. JOSÉ ROBERTO DOUGLAS LEMUS

San Salvador, Marzo de 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

ING. MARIO ALEJANDRO AVELAR PINEDA

ING. JOSÉ ROBERTO DOUGLAS LEMUS

DEDICATORIA

A mis padres, Alfredo López y Josefina Cruz, por apoyarme en todo momento y fomentar en mí el deseo de superación y triunfo en la vida.

A mis asesores, Mauricio Ernesto Valencia, Mario Alejandro Avelar Pineda, José Roberto Lemus y Alex Javier Pineda Mancía, por brindarnos su tiempo y colaboración en el desarrollo de la investigación.

A mis familiares por su cariño y aprecio, especialmente mi hermano, Oscar López, por acompañarme en el día a día y demostrarme su apoyo incondicional.

A mis maestros, amigos y compañeros, por su paciencia y por acompañarme a lo largo de mi formación profesional. Especialmente a Sergio Jaasiel Portillo y Marvin Vitalicio Romero, por brindarnos su tiempo y colaboración en el trabajo de campo realizado.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que estuvieron presentes a lo largo de mi formación profesional y que me motivaron a seguir adelante para alcanzar mis metas.

Ulises Alfredo López Cruz

DEDICATORIA

A Dios Todo Poderoso; por haberme dado la sabiduría, perseverancia y fortaleza para poder culminar mis estudios y no abatirme a pesar de los obstáculos que se presentaron durante estos.

A mis padres: Clara María Antonieta Rivas de Villeda y Rufino Dolmis Villeda, por darme su amor y apoyarme tanto moral como económicamente, por creer en mí y sobre todo por estar siempre pendientes de mí y estimularme a querer superarme y ser una mejor persona.

A mis asesores: Mauricio Ernesto Valencia, José Roberto Lemus, Mario Alejandro Avelar Pineda y Alex Javier Pineda Mancía, por aportar sus conocimientos y parte de su tiempo en la culminación de esta investigación.

A mis hermanos: Ricardo Josué y Dolmis Alexander, por apoyarme y estar siempre cuando más necesite de su ayuda.

A mis familiares: por estar pendientes de mí. En especial a mi **Tía Hilda, Tío Nelson, Mama Lucita, Abuelo Ramón, Abuela Ovidia, Abuela Berta, Primo Emerson, Tía Roció (QEPD), Abuelito Juan (QEPD) y Abuelita Anita (QEPD),** porque de alguna u otra manera influyeron directamente en la persona que soy ahora y en la culminación de mis estudios.

A la Familia Bernal Ramos: por estar pendientes de mí y brindarme su apoyo a pesar de no tener la obligación de hacerlo. En especial a mi novia **María Eugenia** por estar conmigo en las buenas y en las malas durante todos estos años de estudio.

A mis amigos/as: por estar pendientes de mí y brindarme su apoyo cuando más falta me hizo. En especial a **Adriana Elizabeth Castro Iraheta** por ser una excelente amiga, por ser un ejemplo a seguir y porque siempre estuvo cuando la necesite; a **Sergio Jaasiel Portillo y Marvin Vitalicio Romero** porque sin su apoyo en el trabajo de campo esta investigación hubiese sido mucho más difícil.

Finalmente a todos mis profesores y compañeros/as que estuvieron conmigo durante todos estos años e hicieron de mi la persona que soy ahora.

Jonathan Alberto Villeda Rivas

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a dios todopoderoso por poner los medios para poder culminar exitosamente nuestra carrera.

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a nuestros asesores Mauricio Ernesto Valencia, Mario Alejandro Avelar Pineda y José Roberto Lemus, por la paciencia, la dedicación y el esmero que brindaron para poder realizar nuestra investigación. Así mismo agradecemos al Ing. Tony Walter Sandoval Gochez Gerente General del Viceministerio de Obras Públicas (VMOP) y al Ing. Víctor Orellana Asesor de Calidad de FOVIAL porque gracias a su apoyo y a la gestión realizada pudimos culminar exitosamente la presente investigación.

Finalmente agradecemos el apoyo brindado por parte de la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Obra Pública del Ministerio de Obras Públicas (MOP), Gerencia Técnica del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), Policía Nacional Civil (PNC), delegaciones de Delegaciones de Acajutla, Santa Tecla y Lourdes Colón, Dirección General del Observatorio Nacional del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), a las empresas HOLCIM de EL Salvador, ALBA PETRÓLEOS de El Salvador, TOBAR S.A. de C.V., Empresa MAQCO S.A. de C.V. por apoyarnos de forma directa en el desarrollo de nuestra investigación.

RECONOCIMIENTOS:

Dirección de Investigación y Desarrollo de la Obra Pública, Ministerio de Obras Públicas

Policía Nacional Civil, Delegaciones de Acajutla, Santa Tecla y Lourdes Colón.

Fondo de Conservación Vial

Empresa HOLCIM El Salvador

Empresa Alba Petróleos de El Salvador

Empresa TOBAR S.A. de C.V.

Empresa MAQCO S.A. de C.V.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
CAPITULO I GENERALIDADES.-	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	4
1.4 ALCANCES	5
1.5 LIMITACIONES.....	6
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	7
CAPITULO II GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.-.....	8
2.1 DEFINICIÓN.....	8
2.2 ESTRUCTURA.....	9
2.3 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	11
2.3.1 Pavimentos Rígidos sin elementos de transferencia de carga:	11
2.3.2 Pavimentos Rígidos con elementos de transferencia de carga:	11
2.3.3 Pavimentos Rígidos con refuerzo de acero no estructural	12
2.3.4 Pavimentos Rígidos con refuerzo de acero estructural.....	12
2.3.5 Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo	13
2.4 JUNTAS DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS	14
2.4.1 Juntas de Dilatación	15
2.4.2 Juntas de Contracción	16
2.4.3 Juntas de Construcción	16
2.5 TRANSFERENCIA DE CARGA EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	17
2.6 ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS	17
2.6.1 Esfuerzos debido al Alabeo de la losa.....	18
2.6.2 Esfuerzo debido a las cargas a las que es sometido el pavimento.....	18

2.6.3 Esfuerzos debido a la Fricción.....	19
2.7 DETERIOROS QUE AFECTAN A LOS PAVIMENTOS RIGIDOS	20
2.7.1 Agrietamientos	20
2.7.2 Deterioros de las juntas	21
2.7.3 Deterioros superficiales	21
2.7.4 Deterioros avanzados	22
CAPITULO III CONCEPTO DE PAVIMENTO RÍGIDO DE GEOMETRÍA OPTIMIZADA.-	24
3.1 ENFOQUE DE DISEÑO	24
3.2 HISTORIA.....	25
3.3 DESCRIPCIÓN DE TRAMOS A EVALUAR.....	26
3.3.1 Intercepción Bypass Metapán.....	26
3.3.2 Calle de Acceso a la Planta de producción Alba Petróleos	30
3.3.3 Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 Noviembre	33
3.3.4 Tramo Santa Tecla - La Cuchilla, Carretera Los Chorros.....	36
3.4 DETERIOROS A EVALUAR	40
3.4.1 Daño de sello de Juntas	40
3.4.2 Despostillamiento de Junta	41
3.4.3 Bombeo de Finos	41
3.4.4 Agrietamiento	43
3.4.4.1 Grietas de Esquina.....	43
3.4.4.2 Grietas Longitudinales	43
3.4.4.3 Grietas Transversales.....	43
3.4.5 Escalonamiento	44
3.4.6 Índice de Rugosidad Superficial (IRI)	47
3.6 EQUIPO A UTILIZAR	48
3.6.1 Deflectómetro de Impacto (FWD).....	48
3.6.2 Dipstick.....	51
3.6.3 Perfilómetro Láser (RSP)	52
3.7 METODOLOGIA	53

3.7.1 Metodología del Levantamiento de Deterioros por medio de Inspección visual	53
3.7.2 Metodología para evaluar la transferencia de carga	54
3.7.2.1 Determinación de deflexiones en sitio	57
3.7.3 Metodología para la medición del índice de rugosidad Internacional (IRI).....	59
3.7.4 Metodología para la seguridad vial y prevención de riesgos en la zona de trabajo	63
3.7.4.1 Seguridad en la vía	63
3.7.4.2 Análisis de riesgo del trabajo	64
3.5 Procedimiento para el análisis de deterioros por medio del software HIPERPAV III	65
CAPITULO IV ANÁLISIS DE DETERIOROS.-	80
4.1 Intercepción By Pass Metapán	80
4.1.1 Calculo del PCI	81
4.2 Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	83
4.2.1 Cálculo del PCI	84
4.2.2 Evaluación de la transferencia de carga y Escalonamiento	85
4.2.2.1 Resultados de la evaluación de Escalonamiento	85
4.2.2.2 Resultados de la Evaluación de la transferencia de carga.....	86
4.3 Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	87
4.3.1 Cálculo del PCI	88
4.4 Tramo Santa Tecla - La Cuchilla, Carretera Los Chorros.....	89
4.4.1 Cálculo del PCI	90
4.4.2 Resultados de la Evaluación de la transferencia de carga	91
4.4.3 Evaluación del IRI.....	92
4.5 Análisis en el Software HIPERPAV III	93
4.5.1 Intersección By Pass Metapán	93
4.5.1.1 Resultados de análisis a largo plazo	96
4.5.2 Calle de Acceso a la Planta de producción de Alba petróleos.....	98
4.5.2.1 Resultados de análisis a largo plazo	101
4.5.3 Calle que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre	103

4.5.3.1 Resultados de análisis a largo plazo	106
4.5.4 Tramo Santa Tecla – La cuchilla, Carretera los Chorros	108
4.5.4.1 Resultados de análisis a largo plazo	111
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	116
BIBLIOGRAFIA	118
ANEXOS	120

INDICE DE ILUSTRACIONES

Capítulo I

Ilustración 1.1 Estructura de los pavimentos rígidos	9
Ilustración 1.2 Juntas sin elementos de transferencia de carga	11
Ilustración 1.3 Juntas con elementos de transferencia de carga	11
Ilustración 1.4 Pavimento con refuerzo de acero no estructural	12
Ilustración 1.5 Pavimento con refuerzo estructural	12
Ilustración 1.6 Pavimento con refuerzo continuo.....	13

Capítulo III

Ilustración 3.1 Intercepción By Pass Metapán.....	26
Ilustración 3.2 Vista satelital del By Pass Metapán	27
Ilustración 3.3 Plano By Pass Metapán	28
Ilustración 3.4 Detalle By Pass Metapán	29
Ilustración 3.5 Calle de Acceso a la Planta de Producción Alba Petróleos	30
Ilustración 3.6 Vista satelital Calle de Acceso a la Planta de Producción Alba Petróleos.....	31
Ilustración 3.7 Plano Calle de Acceso a la Planta de Producción Alba Petróleos.....	32
Ilustración 3.8 Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	33
Ilustración 3.9 Vista satelital Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	34
Ilustración 3.10 Plano Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	35
Ilustración 3.11 Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	36
Ilustración 3.12 Vista satelital Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	37
Ilustración 3.13 Plano Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	38
Ilustración 3.14 Forma de Medir el escalonamiento	44
Ilustración 3.15 Deflectómetro de Impacto (FWD)	48
Ilustración 3.16 Dipstick	51
Ilustración 3.17 Perfilómetro laser (RSP)	52
Ilustración 3.18 Ubicación de puntos para evaluación de transferencia de carga	56

Ilustración 3.19 limitación del área de trabajo	63
Ilustración 3.20 Selección del tipo de análisis	68
Ilustración 3.21 Identificación del proyecto	68
Ilustración 3.22 Geografía del proyecto	69
Ilustración 3.23 Lluvia acumulada mensual	79
Ilustración 3.24 Información de la estrategia	70
Ilustración 3.25 Geometría de la estrategia	70
Ilustración 3.26 Diseño de la mezcla de concreto	71
Ilustración 3.27 Condiciones de construcción a edad temprana.....	72
Ilustración 3.28 Condiciones ambientales	73
Ilustración 3.29 Análisis de la estrategia a edad temprana	73
Ilustración 3.30 Resultados a edad temprana	74
Ilustración 3.31 Diferentes estrategias a edad temprana.....	74
Ilustración 3.32 Estrategia a largo plazo.....	75
Ilustración 3.33 Parámetros de desempeño	76
Ilustración 3.34 Diseño de juntas	77
Ilustración 3.35 Carga de tráfico	77
Ilustración 3.36 Tasa y función de crecimiento.....	78
Ilustración 3.37 Análisis de la estrategia a largo plazo.....	78
Ilustración 3.38 Resultados del análisis a largo plazo	79

Capítulo IV

Ilustración 4.1 Escalonamiento según HIPERPAV III, Intersección By Pass Metapán	96
Ilustración 4.2 Agrietamiento transversal según HIPERPAV III, Intersección By Pass Metapán	96
Ilustración 4.3 Agrietamiento longitudinal según HIPERPAV III, Intersección By Pass Metapán	97
Ilustración 4.4 IRI según HIPERPAV III, Intersección By Pass Metapán	97
Ilustración 4.5 Escalonamiento según HIPERPAV III, Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	101
Ilustración 4.6 Agrietamiento transversal según HIPERPAV III,	

Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	101
Ilustración 4.7 Agrietamiento longitudinal según HIPERPAV III,	
Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	102
Ilustración 4.8 IRI según HIPERPAV III,	
Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	102
Ilustración 4.9 Escalonamiento según HIPERPAV III,	
Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	106
Ilustración 4.10 Agrietamiento transversal según HIPERPAV III,	
Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	106
Ilustración 4.11 Agrietamiento longitudinal según HIPERPAV III,	
Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	107
Ilustración 4.12 IRI según HIPERPAV III,	
Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	107
Ilustración 4.13 Escalonamiento según HIPERPAV III,	
Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	111
Ilustración 4.14 Agrietamiento transversal según HIPERPAV III,	
Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	111
Ilustración 4.15 Agrietamiento longitudinal según HIPERPAV III,	
Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	112
Ilustración 4.16 IRI según HIPERPAV III,	
Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	112

INDICE DE TABLAS

Capítulo III

Tabla 3.1 Hoja Resumen de tramos a evaluar	39
Tabla 3.2 Tipos de daño y niveles de severidad para pavimentos rígidos	45-46
Tabla 3.3 Análisis de riesgo del trabajo	64
Tabla 3.4 Parámetros de entrada para el software HIPERPAV III	66-67

Capítulo IV

Tabla 4.1 Resumen de deterioros encontrados en Intercepción By Pass Metapán...	80
Tabla 4.2 Calculo de valores deducidos en Intercepción By Pass Metapán	81
Tabla 4.3 Calculo del numero admisible máximo de deducidos (Despostillamiento), Intercepción By Pass Metapán	81
Tabla 4.4 Calculo del numero admisible máximo de deducidos (Sello de Juntas), Intercepción By Pass Metapán	82
Tabla 4.5 Resumen de deterioros encontrados en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	83
Tabla 4.6 Calculo de valores deducidos en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	84
Tabla 4.7 Calculo del numero admisible máximo de deducidos (Despostillamiento), Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	84
Tabla 4.8 Resultados de la medición del escalonamiento en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	85
Tabla 4.9 Resultados de la evaluación de transferencia de carga en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	86
Tabla 4.10 Resumen de deterioros encontrados en Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre.....	87
Tabla 4.11 Calculo de valores deducidos en Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	88
Tabla 4.12 Calculo del numero admisible máximo de valores deducidos (Despostillamiento), Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	88

Tabla 4.13 Resumen de deterioros encontrados en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros.....	89
Tabla 4.14 Calculo de valores deducidos en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros.....	90
Tabla 4.15 Calculo del numero admisible máximo de valores deducidos (Despostillamiento), Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	90
Tabla 4.16 Resultados de la evaluación de la transferencia de carga en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	91
Tabla 4.17 Resultados de la medición del IRI en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros	92
Tabla 4.18 Parámetros de entrada a edad temprana para Intersección By Pass Metapán	93-94
Tabla 4.19 Parámetros de entrada a edad tardía para Intersección By Pass Metapán	95
Tabla 4.20 Parámetros de entrada a edad temprana para Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	98-99
Tabla 4.21 Parámetros de entrada a edad tardía para Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos.....	100
Tabla 4.22 Parámetros de entrada a edad temprana para Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	103-104
Tabla 4.23 Parámetros de entrada a edad tardía para Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	105
Tabla 4.24 Parámetros de entrada a edad temprana para Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros.....	108-109
Tabla 4.25 Parámetros de entrada a edad tardía para Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros.....	110

INDICE DE ANEXOS

Memoria Fotográfica	121
Intersección By Pass Metapán	121
Calle de Acceso a la planta de Producción de Alba petróleos.....	123
Calle que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre	125
Tramo Santa Tecla - La cuchilla, Carretera Los Chorros	126
Gestión Realizada.....	128
Carta 1 Gestión realizada en el MOP para el Préstamo de Equipo	128
Carta 2 Gestión realizada en el VMT solicitando el TPDA de la Carretera Los Chorros y la Calle que conduce de Ilobasco hacía la Presa 5 de Noviembre	129
Carta 3 Gestión realizada en el MOP para el préstamo de equipo	130
Carta 4 Gestión realizada en FOVIAL solicitando apoyo en los levantamientos a realizar	131
Carta 5 Gestión realizada en el SNET solicitando información sobre las condiciones climatológicas de cada zona de estudio.....	132
Carta 6 Gestión realizada en el MOP solicitando parámetros de diseño de los tramos a evaluar	133
Carta 7 Gestión realizada en FOVIAL solicitando parámetros de diseño de los tramos a evaluar	134
Carta 8 Respuesta por parte del FOVIAL confirmando el apoyo a brindar en los levantamientos.....	135
Carta 9 Gestión realizada en la PNC solicitando seguridad durante los levantamientos a realizar	136
Carta 10 Memorándum dirigido a las diferentes delegaciones de la PNC	137
Carta 11 Respuesta por parte de la PNC confirmando el apoyo a brindar en los levantamientos.....	138
Resultados proporcionados por el MOP	139
Hoja 1 Resultados de la evaluación de la transferencia de carga en el tramo Santa Tecla-La Cuchilla.....	140

Hoja 2 Resultados de la evaluación de la transferencia de carga en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos	141
Hoja 3 Resultados de la Evaluación del IRI en el tramo Santa Tecla-La Cuchilla	142
Hoja 4 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos, PUNTO 1	143
Hoja 5 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos, PUNTO 2	144
Hoja 6 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos, PUNTO 3	145
Hoja 7 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos, PUNTO 4	146
Hoja 7 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos, PUNTO 5	147
Hojas del Levantamiento de Deterioros Realizado.....	148

INTRODUCCION

En toda sociedad, las carreteras son parte fundamental del desarrollo, ya que a través de ellas se crean rutas comerciales que contribuyen al desarrollo de la economía nacional y también funcionan como rutas de acceso entre ciudades para brindar a la población mayor disponibilidad de diferentes servicios. Es por ello que los pavimentos son estructuras diseñadas para garantizar al usuario seguridad y comodidad al conducir, esto significa que los pavimentos deben poseer un nivel de servicio acorde a las necesidades de la vía.

Dentro de este aspecto existe la evaluación técnica de pavimentos, que permite determinar la condición funcional y estructural de los pavimentos; las cuales son actividades distintas pero complementarias. El objetivo de la evaluación de las vías es diagnosticar el estado de los pavimentos conforme el paso del tiempo. Este monitoreo permite identificar y cuantificar los deterioros presentes en un pavimento para analizarlos y poder determinar el momento más oportuno para intervenirlos, con lo que se logra prolongar la vida útil del pavimento.

CAPITULO I

GENERALIDADES.-

1.1 ANTECEDENTES

El método que se utiliza actualmente para el diseño pavimentos rígidos, es el método AASHTO 93 con suplemento de la guía AASHTO 98, Sin embargo el método de diseño, es un método empírico, que considera variables que intervienen en el diseño para la obtención de un espesor de la losa de concreto que será la superficie de rodadura del pavimento.

La aplicación de estos métodos, y los estudios realizados hasta la fecha, han permitido desarrollar mejoras a los sistemas estructurales de los pavimentos; Siendo el diseño de Losas de concreto de geometría optimizada, una de las mejores aplicaciones utilizadas en nuestro país; Dicho sistema se basa en los conceptos de diseño antes mencionados, y consiste en reducir las dimensiones superficiales de las losas de concreto, para disminuir los espesores de las mismas. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de tránsito, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Este método, además de disminuir los espesores de las losas, propone que la transferencia de carga entre losas adyacentes, sea únicamente por trabazón de agregados, excluyendo así el uso de dovelas.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La utilización de juntas en pavimentos rígidos es indispensable, ya que estas son necesarias para el control de fisuras por contracción, cambios de temperatura y humedad. También son necesarias para modular las losas de concreto de tal manera que sus dimensiones faciliten la construcción de las mismas. Las juntas deben estar diseñadas para transferir correctamente la carga entre losas adyacentes y así garantizar la capacidad estructural del pavimento.

En los pavimentos rígidos, la mayoría de deterioros pueden atribuirse a fallas en las juntas, los cuales pueden consistir en deterioros tales como escalonamiento, despostillamiento, grietas de esquina, grietas transversales, etc. Estos deterioros no solo producen incomodidad al conducir, sino que también afectan las condiciones de apoyo entre losas adyacentes, generando discontinuidad y cavidades bajo las losas, lo que compromete la integridad estructural y el desempeño de los pavimentos.

El sistema de losas de geometría optimizada es un método de diseño que considera mayor cantidad de losas que un pavimento de concreto convencional, por lo que los daños en este tipo de pavimentos pueden ser más recurrentes. Sin embargo, estudios internacionales han demostrado, que las losas de dimensiones optimizadas tienen menos probabilidad de que sean afectadas por los gradientes térmicos y de humedad. Es por ello que se vuelve necesario realizar una investigación que determine el comportamiento actual de este tipo de pavimentos en nuestro país mediante la evaluación de daños presentes y la transferencia de carga.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar el desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada en El Salvador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar la transferencia de carga entre losas adyacentes de los pavimentos rígidos de geometría optimizada.
- Determinar los deterioros presentes en los pavimentos sujetos a evaluación.
- Proponer recomendaciones que ayuden a mejorar el diseño de pavimentos rígidos de geometría optimizada en El Salvador.

1.4 ALCANCES

La investigación está enfocada a realizar un estudio que permita dejar expuesto el desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada en El Salvador y de cómo estos se ven afectados por daños ocasionados ante el tráfico vehicular y las condiciones atmosféricas de nuestro país.

Los tramos de estudio a evaluar en la presente investigación son los siguientes:

1. Intersección Bypass, Metapán
2. Calle de Acceso a la planta de producción de Alba Petróleos, Acajutla
3. Carretera que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre
4. Tramo Santa Tecla - La cuchilla, Carretera Los chorros

El estudio comprenderá la evaluación de diferentes indicadores de desempeño en cada uno de los tramos, con el fin de determinar la condición actual de los pavimentos y por medio de ello realizar un análisis que permita formular recomendaciones para enriquecer los parámetros de diseño y prácticas constructivas de los pavimentos rígidos de geometría optimizada en nuestro país.

Los elementos a evaluar para determinar el desempeño de los tramos de estudio son los siguientes:

- Deterioros Superficiales
- Escalonamiento
- Índice de Rugosidad Internacional

1.5 LIMITACIONES

- El estudio se limita a evaluar pavimentos rígidos de geometría optimizada en nuestro país.
- La investigación se realizará con técnicas y equipo de evaluación de pavimentos disponibles en nuestro medio.
- Se excluirán los vicios ocultos que pudieron generarse durante la construcción.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El Salvador cuenta con una de las mejores infraestructuras viales a nivel centro americano, esto debido al progreso investigativo que se realiza esta área, actualmente las nuevas tendencias van generando alternativas de diseño que permiten mejorar el desempeño de los pavimentos, sin embargo, estos nuevos sistemas requieren la actualización de conocimientos y el desarrollo de investigaciones que permitan comprender y analizar estos métodos.

En nuestro país el diseño de Pavimentos rígidos de geometría optimizada, es un tema que aún está en desarrollo, hasta la fecha no hay estudios que permitan evaluar el desempeño de dichos pavimentos. Por tal razón, se vuelve necesario realizar una investigación que esté enfocada a analizar deterioro en las juntas, que permita evaluar el daño existente e identificar factores que intervienen en el deterioro de los pavimentos; Los resultados obtenidos, permitirán formular recomendaciones de diseño para que este tipo de pavimentos se desempeñen de una mejor manera en nuestro país.

Profundizar en este tema abre las puertas a futuras investigaciones que permitirán mejorar el diseño de los pavimentos, permitirá que se hagan mejoras a nuestro sistema vial con propuestas innovadoras y más eficientes que se adapten a las condiciones particulares de nuestro país.

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.-

2.1 DEFINICIÓN

Un pavimento es una estructura simple o compuesta que tiene una superficie regularmente lisa destinada a la circulación de vehículos. Su estructura es una combinación de capas de agregados con una gradación de resistencia creciente hacia la superficie de rodadura, colocada sobre un terreno de fundación resistente a las cargas, a los agentes climatológicos y a los efectos abrasivos del tránsito.

Los pavimentos rígidos son aquellas estructuras formadas por losas de concreto hidráulico sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Estas estructuras poseen una considerable resistencia a la flexo-compresión que les permite trabajar como una viga que descansa sobre las mínimas irregularidades sobre las que descansa en la subrasante transmitiendo así las cargas sobre esta. En este tipo de pavimento el concreto hidráulico es el único encargado de absorber todas las tensiones inducidas por el tránsito así como también las variaciones de temperatura y humedad.

En general, un pavimento está conformado por capas de mejor calidad y mayor costo cuanto más cercanas se encuentran a la superficie de rodadura puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad. La división en capas de los pavimentos obedece a un factor económico, ya que el objetivo es darle un espesor mínimo a la capa, para que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

2.2 ESTRUCTURA

Como ya se mencionó anteriormente, un pavimento rígido está compuesto por capas de diferente calidad, espesor y material. Dicha estructura se compone de una sub rasante, base y capa de rodadura. La diferencia fundamental entre pavimentos rígidos y flexibles es la resistencia a la flexión que presentan debido al tipo estructura que los componen, por lo general la superficie de rodadura de los pavimentos rígidos es una losa de concreto hidráulico, y la de los pavimentos flexibles es una capa de concreto asfáltico. Sin embargo ambos tipos de pavimento pueden solventar satisfactoriamente los requerimientos de una carretera. El criterio de selección para el tipo de pavimento a usar dependerá principalmente del factor económico y funcional.

Pavimentos Rígidos

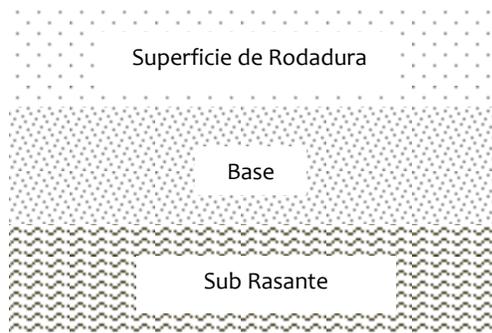


Ilustración 1.1 Estructura de los pavimentos Rígidos

Sub Rasante

Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), la cual soporta la estructura del pavimento. El espesor del pavimento dependerá grandemente de la calidad que la subrasante posea, ya que esta debe de cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad y no debe permitir la expansión ni la contracción por los efectos de la humedad.

Base

Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una súbbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Es la capa que está destinada a soportar, transmitir y distribuir uniformemente las cargas aplicadas en la superficie de rodadura hacia la Sub rasante. Entre otras funciones está la de controlar la ascensión capilar del agua y la de drenaje protegiendo así la estructural del pavimento.

Superficie de Rodadura

Estructura constituida por diferentes materiales comúnmente agregados de diferentes granulometrías ligados entre sí por aglutinantes, tales como cemento o materiales bituminosos, destinada a soportar y transmitir de forma directa las cargas peatonales o vehiculares para los cuales se diseñó el pavimento. La superficie de rodadura debe poseer textura adecuada y color conveniente así como también debe resistir los efectos abrasivos del tráfico e impedir el paso de agua a las capas inferiores.

2.3 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.3.1 Pavimentos Rígidos sin elementos de transferencia de carga:

En este tipo de pavimentos la transferencia de carga se da directamente por trabazón de agregados en las juntas de las losas de concreto.

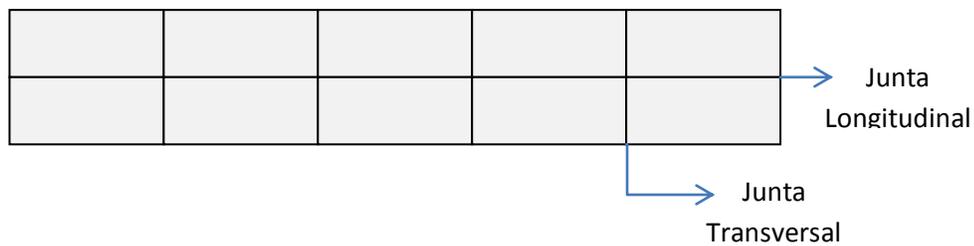


Ilustración 1.2 Juntas sin elementos de transferencia de carga

2.3.2 Pavimentos Rígidos con elementos de transferencia de carga:

En este tipo de pavimentos la transferencia de carga se da por medio de barras de acero generalmente lisas que se colocan de manera perpendicular a las juntas transversales del pavimento uniendo así dos losas consecutivas y mejorando la transferencia de carga, pudiendo así disminuir en gran medida el escalonamiento.

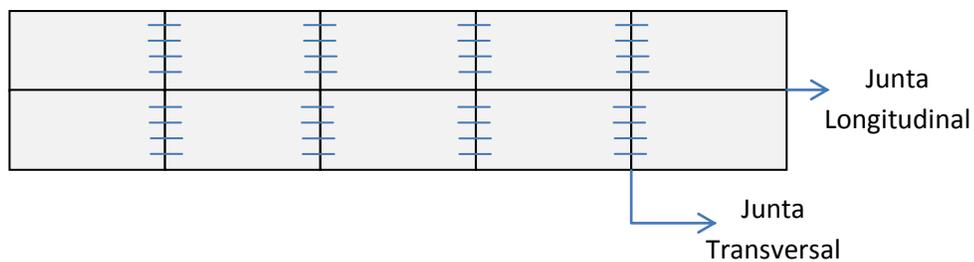


Ilustración 1.3 Juntas con elementos de transferencia de carga

2.3.3 Pavimentos Rígidos con refuerzo de acero no estructural

En este tipo de pavimento como su nombre lo dice, el acero no cumple con ningún tipo de exigencia estructural ya que su única función es resistir los esfuerzos de contracción del concreto en estado joven y así poder controlar los agrietamientos dentro de este.



Ilustración 1.4 Pavimento con refuerzo de acero no estructural

2.3.4 Pavimentos Rígidos con refuerzo de acero estructural

En este tipo de pavimentos el acero asume los esfuerzos de flexo-compresión, dando como resultado una disminución en los espesores de las losas. Este tipo de pavimento es mayormente utilizado en pisos industriales y en todos aquellos que lo que la exigencia de carga se muy considerable.

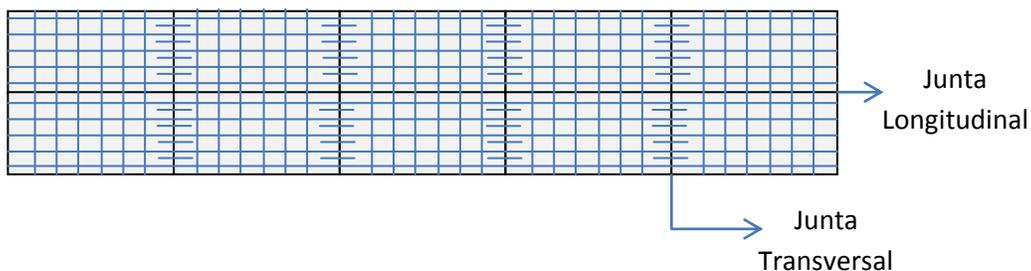


Ilustración 1.5 Pavimento con refuerzo estructural

2.3.5 Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo

En este tipo de pavimentos el refuerzo de acero continuo es el encargado de absorber todas las deformaciones en el pavimento generadas por las cargas así como por temperatura, eliminando de esta manera las juntas de contracción y quedando únicamente las juntas de construcción y las juntas de dilatación para alguna obra de paso que exista en la carretera.



Ilustración 1.6 Pavimento con refuerzo continuo

2.4 JUNTAS DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

Debido a que el concreto presenta deformaciones plásticas a causa a la contracción que se produce desde el fraguado los pavimentos de concreto hidráulico deben ser dimensionados en secciones de un largo máximo para formar lo que se denomina una losa de concreto, este dimensionamiento permite controlar el agrietamiento, las deformaciones y los esfuerzos asociados por alabeo y cargas. Los cortes que definen la dimensión de una losa de concreto son denominados juntas del pavimento.

El efecto de estas deformaciones es generalmente el levantamiento de los bordes en las juntas, lo que produce el alabeo de la losa, y que tiene como consecuencia una disminución de las zonas de apoyo sobre la base. Debido al peso de la zona levantada, este alabeo le induce esfuerzos de tracción al concreto, las cuales aumentan más al ser dicha zona cargada por el tránsito, lo cual constituye el principal criterio que busca controlar el diseño del pavimento de concreto.

El diseño de las juntas forma parte integrante del sistema estructural de los pavimentos de concreto, ya que sus características (espaciamiento, tipo, dimensiones, barras, sellos, etc.) Son un factor importante a considerar con relación a los esfuerzos de la losa y la durabilidad del pavimento y por lo tanto condicionan importantemente su diseño y comportamiento en servicio.

Se distinguen los siguientes tipos de juntas:

- Juntas de dilatación.
- Juntas de contracción.
- Juntas de construcción.

2.4.1 Juntas de Dilatación

Se denominan de esta forma a aquéllas que se prevén para absorber las expansiones provocadas por los aumentos de temperatura, evitando empujes indeseables que podrían producir la rotura del pavimento. Para ello se interpone un material compresible entre las losas en contacto.

Sólo son necesarias en casos específicos, ya que la propia retracción del concreto, su capacidad para soportar compresiones y el rozamiento con el terreno hacen que, en general, el pavimento sea capaz de resistir sin problemas estas dilataciones.

Los casos en los que se han de proyectar juntas de dilatación son principalmente tres:

1. En carreteras, caminos o calles cuando el radio de una curva sea inferior a 200 m. Las juntas de dilatación deben colocarse al comienzo y al final de dicha curva, así como en el centro de la misma si su longitud es superior a 100 m.
2. Cuando el pavimento esté limitado por algún elemento muy rígido (sumideros, pozos de registro, puentes, edificios, etc.). Además de la junta de dilatación, es también conveniente prever una junta de contracción transversal, porque en caso de no disponerla es muy probable que se produzcan espontáneamente fisuras.
3. En cruces de calles. Como precaución suplementaria, debe evitarse en ellos la formación de cuñas estrechas en el pavimento, que suelen presentar problemas de fisuración. Los bordes han de disponerse de forma que se cuente con una dimensión mínima de losa igual a 30 cm.

2.4.2 Juntas de Contracción

Son las más frecuentes en un pavimento de concreto y pueden ser tanto transversales como longitudinales. Su misión fundamental es limitar las dimensiones de las losas con objeto de disminuir, hasta valores admisibles, las tensiones producidas tanto por los fenómenos de retracción como por los gradientes térmicos, de forma que no se produzcan fisuras por ello.

La distancia a la que deben disponerse las juntas de contracción depende de factores tales como la mayor o menor retracción del concreto, su coeficiente de dilatación, el espesor del pavimento, la amplitud de las variaciones de temperatura, el rozamiento existente con la capa de base, etc.

2.4.3 Juntas de Construcción

Las juntas de construcción son las que se forman entre bandas de concreto, o bien, en una misma banda, entre losas contiguas ejecutadas con un desfase de tiempo importante.

Estas últimas son necesarias al final de la jornada de trabajo y en paradas prolongada de la puesta en obra del concreto. Siempre que sea posible deben hacerse coincidir con una junta de contracción. Deben ejecutarse formando un plano perpendicular a la superficie del pavimento.

2.5 TRANSFERENCIA DE CARGA EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

El concepto de transferencia de cargas en las juntas transversales, se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa adyacente. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa adyacente, reduciendo por tanto sus tensiones de borde. Para lograr una efectiva transferencia de cargas entre losas adyacentes existen dos formas, las cuales son:

1. **Por medio de dovelas:** Consiste en utilizar barras de acero en las juntas transversales de losas adyacentes
2. **Por trabazón de agregados:** Se da por medio de la fricción entre agregados gruesos en las zonas de contacto de las juntas.

2.6 ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

Debido a que la rigidez del concreto es mucho mayor que la rigidez del material de apoyo de la base granular que la soporta, la capacidad de carga está principalmente determinada por la capacidad de la losa a deformarse y soportar estas deformaciones repetitivas al paso de los vehículos, efecto que le genera esfuerzos durante su uso, y que la llevan a fallar principalmente por fatiga (acciones repetitivas de carga del tránsito). Los principales esfuerzos sobre las juntas de pavimentos rígidos son:

- Esfuerzo debido al Alabeo de la losa
- Esfuerzo debido a las cargas a las que es sometido
- Esfuerzos debido a la Fricción

2.6.1 Esfuerzos debido al Alabeo de la losa

Durante el día, cuando la temperatura en la parte superior de la losa es mayor que en la parte inferior, la parte superior tiende a expandirse con respecto al eje neutro durante el cual la parte inferior tiende a contraerse. Sin embargo, el peso de la losa restringe la expansión y la contracción de la misma, de esta manera, esfuerzos de compresión son inducidos en lo alto de la losa cuando el esfuerzo de tensión ocurre en el fondo.

En la noche cuando la temperatura en la parte superior de la losa es inferior que en el fondo, la parte superior tiende a contraerse con respecto al fondo, así, esfuerzos de tensión son inducidos en la parte superior y los esfuerzos de compresión en la parte inferior.

2.6.2 Esfuerzo debido a las cargas a las que es sometido el pavimento

Estos esfuerzos son, en general, de los más importantes que pueden producirse. Debido a que el concreto es un elemento que funciona muy bien a compresión, los esfuerzos de tensión producidos en la flexión de la losa, son críticos. Para su cálculo se utilizan fórmulas originalmente obtenidas por Westergaard. Estas fórmulas están sujetas a las hipótesis de que la losa está formada por un material elástico homogéneo e isótropo; que los esfuerzos de interacción entre ella y el suelo soporte son verticales y proporcionales a las deflexiones de la propia losa y que ésta es horizontal y de espesor constante. La segunda hipótesis implica continuidad entre losa y apoyo. Westergaard estudió tres condiciones de carga; en esquina, en el borde y en el centro de la losa.

2.6.3 Esfuerzos debido a la Fricción

La fricción entre una losa de concreto y su fundación causa esfuerzos de tensión en el concreto, en el acero de refuerzo y a veces en las barras de amarre. Para el diseño del pavimento de concreto, el espaciamiento entre las juntas de contracción debe ser escogido de tal forma que los esfuerzos debido a la fricción no causen fracturas al concreto. Para espaciamientos de juntas más largos, el acero de refuerzo se debe ser suministrado para evitar los esfuerzos causados por la fricción. El número de barras ligadas requeridas es controlado por la fricción.

Además, existen otros esfuerzos posibles en la losa de concreto, tales como los del fraguado inicial, los causados por cambios de humedad en el concreto o los de infiltración, debidos al confinamiento de agregados y materias extrañas en las grietas que puedan formarse en la losa, pero en general estos esfuerzos son de pequeña magnitud y no suelen tomarse en cuenta en los análisis. Debe notarse que la condición crítica para el diseño de la losa no se obtendrá calculando todos los esfuerzos mencionados y sumándolos. Esto sería, sin duda, una condición excesivamente conservadora.

2.7 DETERIOROS QUE AFECTAN A LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

En los pavimentos rígidos de concreto hidráulico los daños han sido clasificados en 4 grandes categorías, las cuales son:

- a) Agrietamientos
- b) Deterioro de las juntas
- c) Deterioro superficial
- d) Deterioros avanzados

2.7.1 Agrietamientos

- **Grietas de equina**

Una porción de la losa separada por una grieta que intercepta las juntas adyacentes transversal y longitudinal, describiendo aproximadamente un ángulo de 45° en la dirección del tránsito. La longitud de los lados varía de 0,3 m a un medio ($\frac{1}{2}$) el ancho de la losa, en cada lado de la esquina.

Niveles de severidad: Baja, Media y Alta

- **Agrietamiento tipo “D”**

Patrón de agrietamiento delgado cercanamente espaciado con apariencia de Cuarto de luna. Ocurre adyacente a las juntas, grietas, u orillas libres; con inicio en las esquinas de la losa. De coloración oscura en el patrón de agrietamiento y el área circunvecina.

Niveles de severidad: Baja, Media y Alta.

- **Agrietamiento longitudinal**

Grietas predominantemente paralelas a la línea central del pavimento.

Niveles de severidad: Baja, Media y Alta

- **Agrietamiento transversal**

Grietas predominantemente perpendiculares a la línea central del pavimento.

Niveles de severidad: Baja, Media y Alta

2.7.2 Deterioros de las juntas

- **Perdida de sello en las juntas Longitudinales y transversales**

El daño en el sello es cualquier condición que permite que material incompresible o una cantidad importante de agua se infiltre a la junta desde la superficie.

Niveles de severidad: Baja, Media y Alta

- **Despostillamiento de las juntas longitudinales**

Agrietamiento, rotura, desconche o desgaste de las orillas de la losa dentro de 0,6 m desde la junta longitudinal.

Niveles de severidad: Baja, Media y Alta

- **Despostillamiento de las juntas transversales**

Agrietamiento, rotura, desconche o desgaste de las orillas de la losa dentro de 0,6 m desde la junta longitudinal.

Niveles de severidad: Baja, Media y Alta

2.7.3 Deterioros superficiales

- **Agrietamiento tipo mapa o escamadura**

Serie de agrietamientos que se presentan únicamente en la superficie de la losa. Frecuentemente unas grietas mayores están orientadas en la dirección

longitudinal del pavimento y están interconectadas por grietas más finas transversales o al azar.

No se aplican niveles de severidad.

- **Escamadura**

Escamadura es el desperfecto de la superficie de la losa de concreto, normalmente de 3 mm a 13 mm y puede ocurrir en cualquier lugar del pavimento.

No se aplican niveles de severidad.

- **Pulimiento del agregado (perdida de la textura)**

Mortero superficial y texturizado gastado exponiendo el agregado grueso. No se aplican niveles de severidad.

- **Desprendimientos**

Fragmentos pequeños del pavimento que se sueltan de la superficie, normalmente en un rango de 25 mm a 100 mm de diámetro y una profundidad de 13 mm a 50 mm.

No se aplican niveles de severidad.

2.7.4 Deterioros avanzados

- **Estallamientos**

Movimiento ascendente localizado de la superficie del pavimento en las juntas transversales o grietas, a menudo acompañados de la destrucción del concreto en esa área.

No se aplican niveles de severidad.

- **Escalonamiento de las juntas transversales y grietas**

Diferencia en elevación a lo largo de una junta o grieta.

No se aplican niveles de seguridad. Los niveles de severidad podrían definirse al clasificar las mediciones obtenidas. Sin embargo, es preferible un registro

total de las medidas realizadas, ya que es más preciso o repetible que cualquier nivel de seguridad.

- **Hundimiento carril-acotamiento**

Diferencia en elevación entre la cara de la losa y el acotamiento exterior; a menudo ocurre cuando el acotamiento exterior se asienta.

No se aplican los niveles de severidad. Los niveles de severidad se pueden definir clasificando las mediciones tomadas. Es preferible llevar un registro completo de las mediciones tomadas.

- **Separación carril-acotamiento**

Ensanchamiento de la junta entre la cara de la losa y el acotamiento.

No se aplican niveles de severidad. Los niveles de severidad se pueden definir clasificando las mediciones tomadas.

- **Bacheo**

Una porción, mayor de 1 metro cuadrado, o toda la losa de concreto original que ha sido removida y reemplazada, o material adicional aplicado al pavimento después de la construcción original.

Niveles de severidad: Baja, Media y Alta

- **Escurrimiento de agua y bombeo de finos**

Filtración o expulsión de agua por debajo del pavimento a través de grietas. En algunos casos se detecta por pequeños depósitos de material fino en la superficie del pavimento, que fueron erosionados (bombeados) desde las capas de soporte y han manchado la superficie. No se aplican niveles de severidad. Los niveles de severidad no se utilizan debido a que la cantidad y grado del escurrimiento de agua y el bombeo cambia con las condiciones de humedad.

CAPITULO III

CONCEPTO DE PAVIMENTO RÍGIDO

DE GEOMETRÍA OPTIMIZADA.-

3.1 ENFOQUE DE DISEÑO

Las condiciones propias de cada país hacen que las técnicas de diseño y construcción evolucionen para satisfacer las necesidades en cuanto al comportamiento de los pavimentos. Con el fin de reducir los efectos de la carga vehicular y las tensiones de alabeo, se ha propuesto una nueva metodología de diseño que permite optimizar la estructura del pavimento mediante la optimización del tamaño de las losas, definiendo la geometría según el tráfico esperado.

En este enfoque de diseño, los tamaños de las losas se dimensionan de tal manera, que no más de un set de llantas del vehículo quede sobre una misma losa. Con lo que se obtiene una menor repetición de carga por eje, por lo que las tensiones de tracción se reducen, así como las tensiones de alabeo debido a la reducción del tamaño de las losas. Reduciéndose así el agrietamiento por fatiga. El diseño de losas de geometría optimizada es un método que considera mayor cantidad de losas que un pavimento de concreto convencional. Sin embargo, estudios internacionales han demostrado, que las losas de dimensiones optimizadas tienen menos probabilidad de que sean afectadas por los gradientes térmicos y de humedad.

El diseño original de los pavimentos rígidos de geometría optimizada considera que la transferencia de carga se dé por trabazón de agregados, evitándose así el uso de dovelas.

3.2 HISTORIA

Durante la última década, el Instituto del Cemento y del Hormigón (concreto) de Chile (ICH) ha impulsado la investigación en pavimentos de concreto con losas de dimensiones distintas a las convencionales. Los análisis preliminares indicaron que utilizando losas de dimensiones menores era posible reducir los esfuerzos sobre la losa.

Con el fin de validar este nuevo concepto de diseño, varias secciones de prueba a gran escala fueron construidos y probados en la Universidad de Illinois para entender el modo de falla y resistencia a la fatiga de este sistema. Además, para generalizar el concepto de diseño y los resultados de las pruebas a gran escala para una gran cantidad de variables de entrada, los análisis de tensiones tenían que ser completados para tener en cuenta los casos que no fueron probados directamente.

El uso de tamaños de losas más pequeñas y espesores delgados, el diseño del pavimento requiere de otras modificaciones con el fin de lograr la vida de diseño y la serviciabilidad esperada.

En nuestro país algunas de las carreteras con el diseño de losas de geometría optimizada son las siguientes:

1. Carretera que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre
2. Tramo 7 de la Carretera Longitudinal del Norte
3. CA-1, Carretera Los Chorros
4. Intercepción By pass Metapán, Santa Ana
5. Calle de acceso a planta de Alba petróleos, Acajutla
6. Tierra Prometida, Tapalhuaca

3.3 DESCRIPCIÓN DE TRAMOS A EVALUAR

3.3.1 Intercepción Bypass Metapán

Ubicación: Metapán, Santa Ana



Ilustración 3.1 Intercepción By Pass Metapán

Esta calle se encuentra ubicada en el departamento de Santa Ana, en la intercepción entre la calle que conduce hacia Metapán y la calle hacia la planta cementera HOLCIM. Esta Calle está conformada por dos tipos de losas. Las losas carrileras y las losas de la intersección By pass. Ambos tipos de losas con espesores de 18 cm, pero con diferencias en sus dimensiones geométricas. Las losas carrileras poseen cortes de juntas a cada 1.6 m longitudinalmente y a cada 1.8 m transversalmente. Estas losas se encuentran ubicadas en las pendientes de ascenso y de descenso de este tramo. Las losas de la intersección by pass poseen cortes de juntas a cada 1.6 m Longitudinal y transversalmente. Esta calle Tiene una base granular tratada con cemento y la carpeta de rodadura está conformada por concreto hidráulico con una resistencia a la flexión de $MR= 45 \text{ kg/cm}^2$. El diseño de este pavimento contempla el sello de juntas.

Vista Satelital del By pass Metapán (EST 0+000 – 0+140)

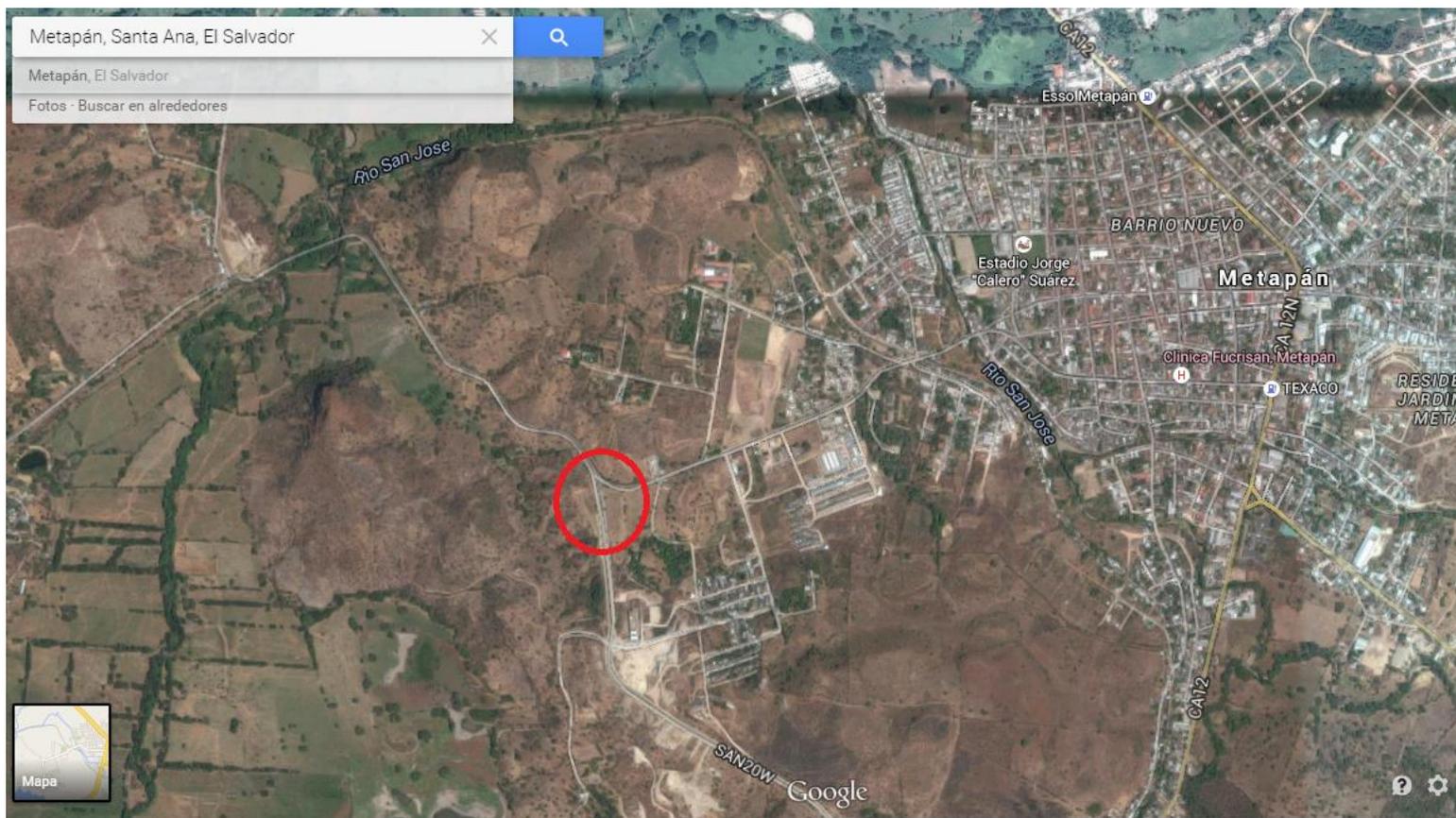


Ilustración 3.2 Vista satelital del By Pass Metapán

Secciones del Pavimento

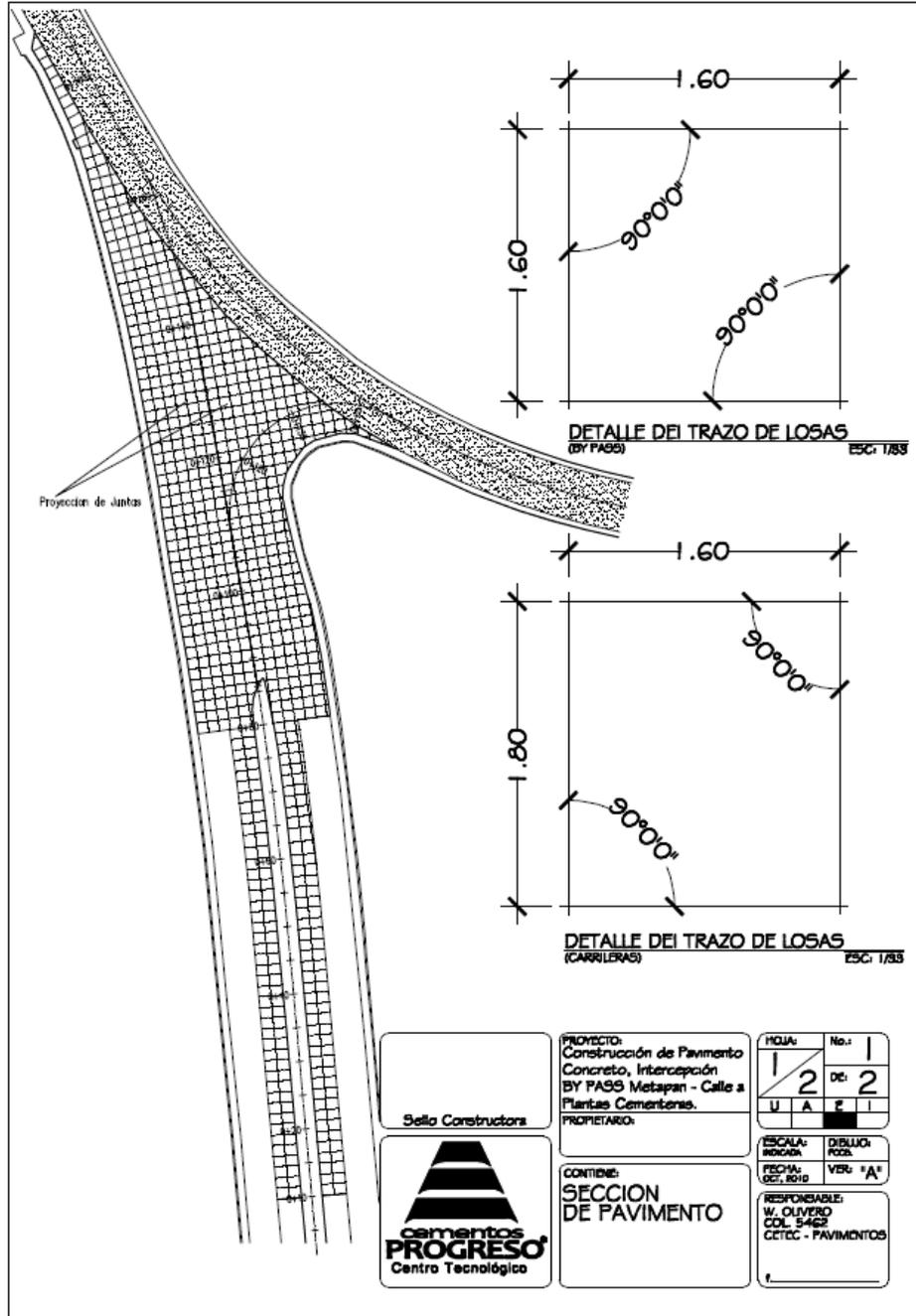


Ilustración 3.3 Plano By Pass Metapán

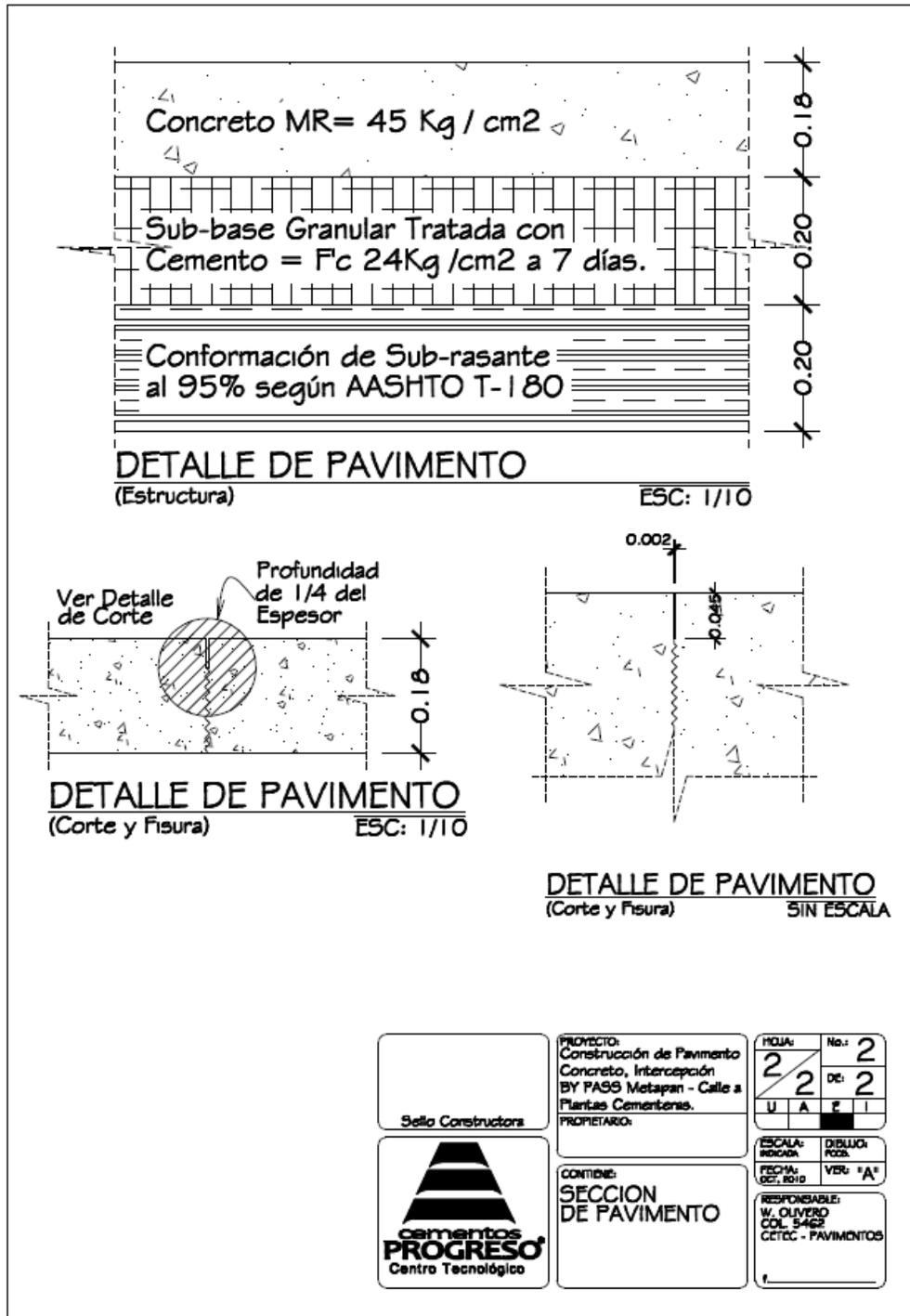


Ilustración 3.4 Detalle By Pass Metapán

3.3.2 Calle de Acceso a la Planta de producción Alba Petróleos

Ubicación: Acajutla, Sonsonate



Ilustración 3.5 Calle de Acceso a la Planta de producción Alba Petróleos

Esta calle se encuentra ubicada Sobre la Ruta CA-12, que conduce de Sonsonate hacia Juayua, tiene una longitud aproximada de 987 metros, fue construida en el año 2010 sus cortes de juntas a cada 1.75 m longitudinal y transversalmente. De acuerdo a la información proporcionada el volumen de transito diario es de 200 pipas cargadas con combustible, sin embargo, por esta calle también circulan vehículos de las diferentes empresas de la zona. Ya que se trata de una zona industrial en su mayoría se tratan de clasificación T3-S3. El diseño de este pavimento no contempla sello de juntas.

Vista Satelital de la Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

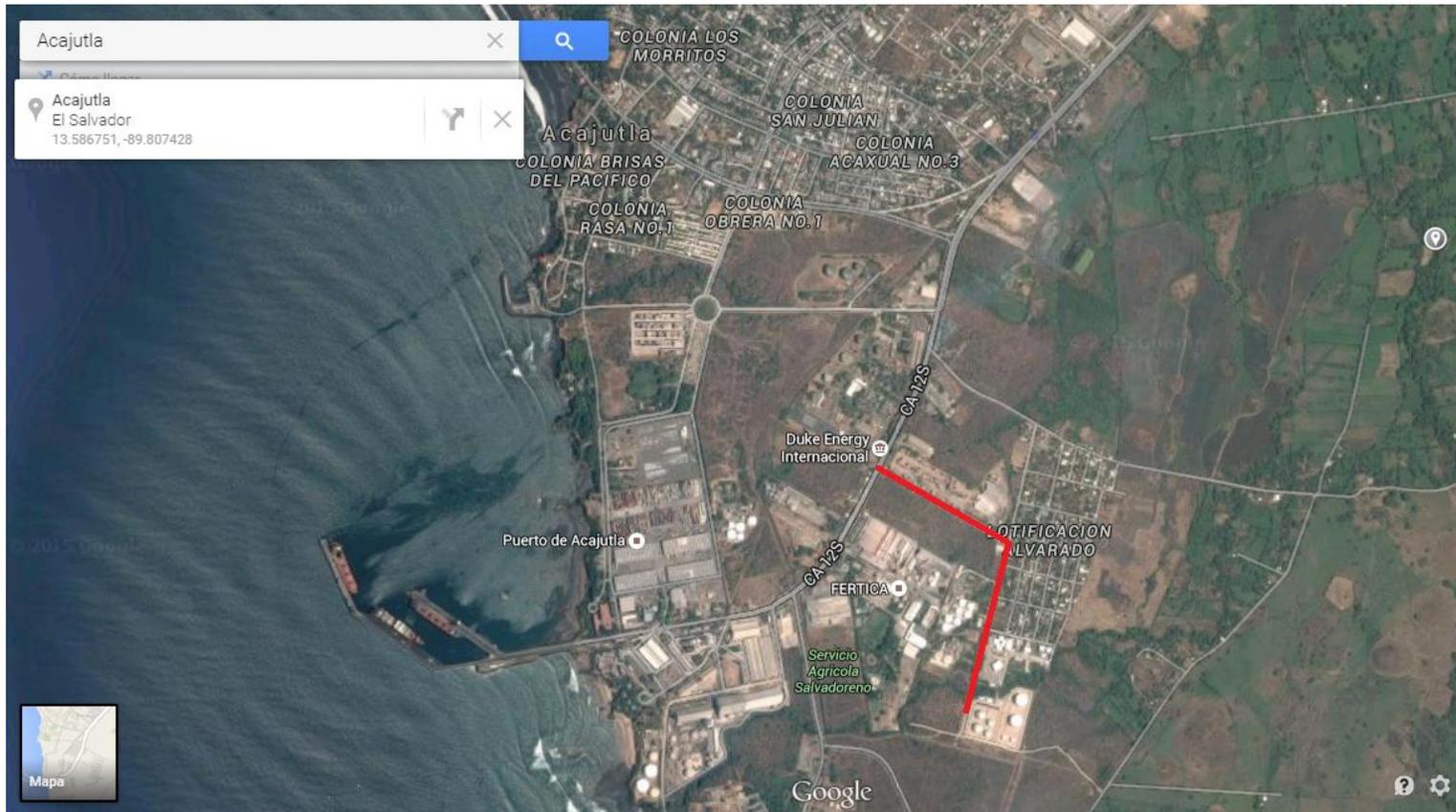


Ilustración 3.6 Vista satelital Calle de Acceso a la Planta de producción Alba Petróleos

Detalle del Pavimento

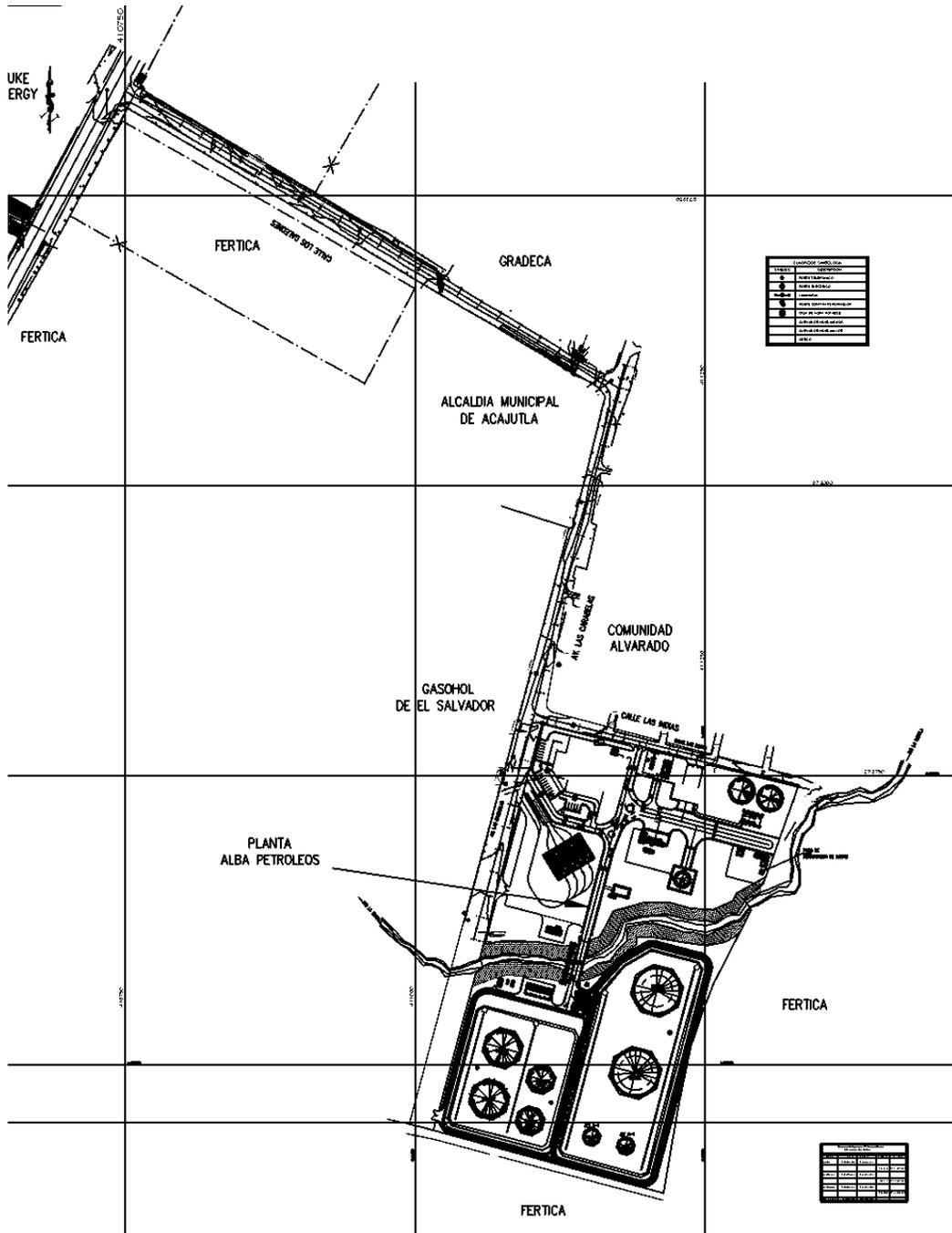


Ilustración 3.7 Plano Calle de Acceso a la Planta de producción Alba Petróleos

3.3.3 Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 Noviembre

Ubicación: Ilobasco, Cabañas

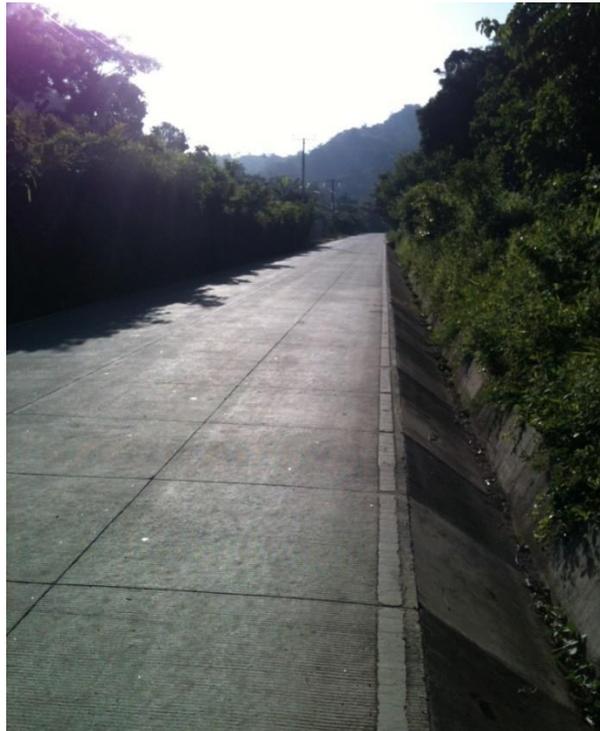


Ilustración 3.8 Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

La calle que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre es una vía de tipo montañoso que se construyó en el año 2008, está ubicada en el departamento de cabañas.

Posee una base de suelo cemento, y una carpeta de rodadura construida con concreto hidráulico con una resistencia a la flexión $MR=40 \text{ kg/cm}^2$ sus pendientes máximas son de 12% y radios mínimos de curvatura de 20m, cuenta con un ancho de vía de 6 metros, y sus cortes de juntas a cada 1.5 m Longitudinal y transversalmente, adicionalmente, esta vía posee barras de amarre de $\frac{1}{2}$ Pulgada en la junta longitudinal central.

Vista Satelital de la calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

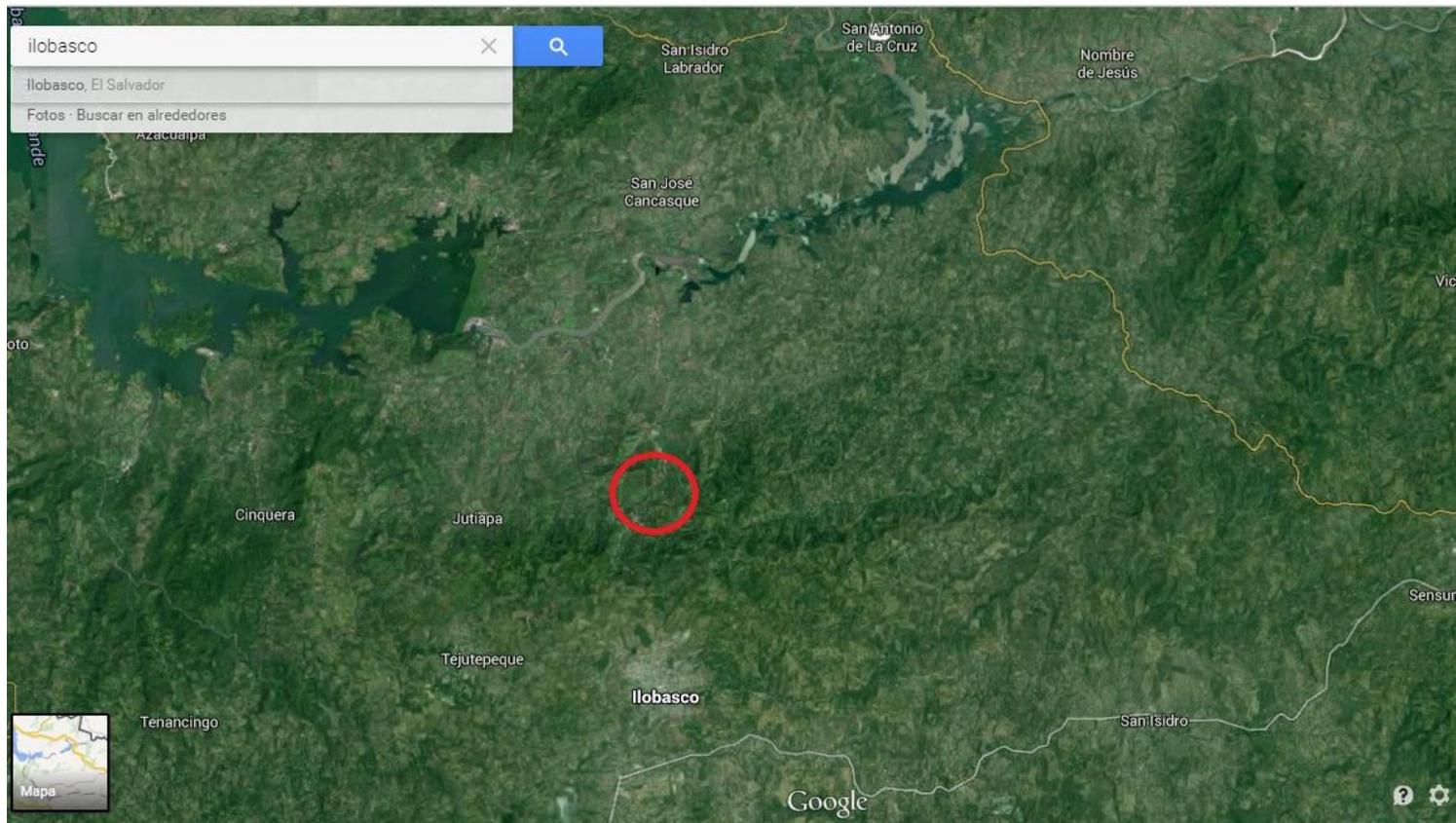


Ilustración 3.9 Vista satelital Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

3.3.4 Tramo Santa Tecla - La Cuchilla, Carretera Los Chorros

Lugar: La libertad



Ilustración 3.11 Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

La carretera Los chorros es considerada una de las vías de concreto más modernas y en mejor estado del país, fue reconstruida en el año 2013. Se encuentra ubicada en el medio de una franja montañosa con una gran humedad entre Santa tecla y Lourdes Colón. Su base es el pavimento existente reciclado con cemento al 3% utilizando 10% de la carpeta asfáltica. Su carpeta de rodadura se construyó de concreto hidráulico con una resistencia a la flexión $MR=50 \text{ kg/cm}^2$. El espesor de las losas es de 24 cm. Y los cortes de juntas a cada 1.70 m longitudinal y transversalmente.

La autopista los chorros comprende 8.2 km y es considerada una carretera de importancia estratégica ya que sirve de acceso a gran cantidad de población que se movilizan hacia la capital desde Sonsonate, santa Ana y Ahuachapán. También sirve para la interconexión centroamericana. De acuerdo a las estadísticas del ministerio de obras públicas, por esta vía circulan más de 45 mil vehículos al día, tanto vehículos livianos, como pesados.

Vista Satelital del tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

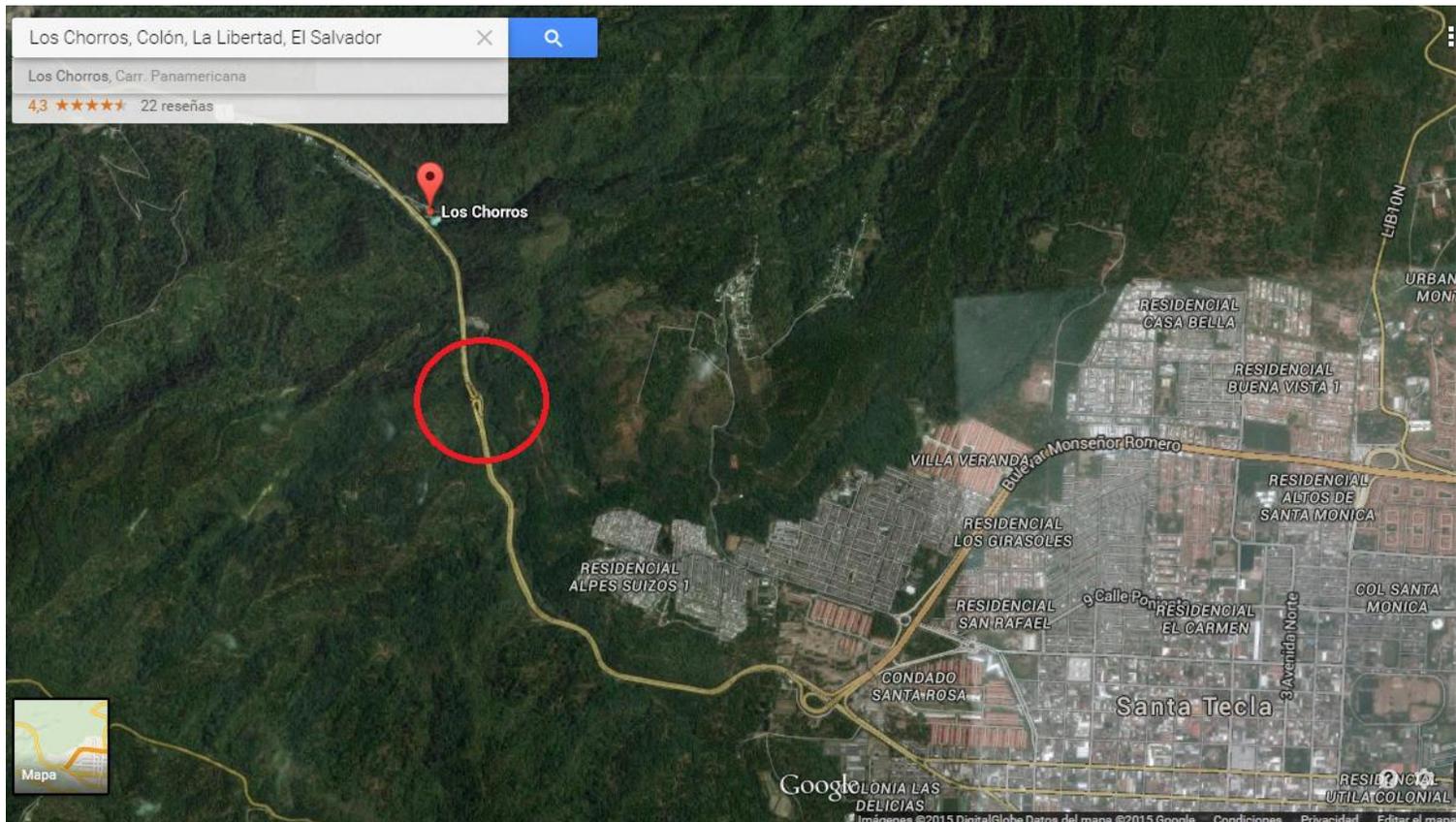


Ilustración 3.12 Vista satelital Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

CA01W Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

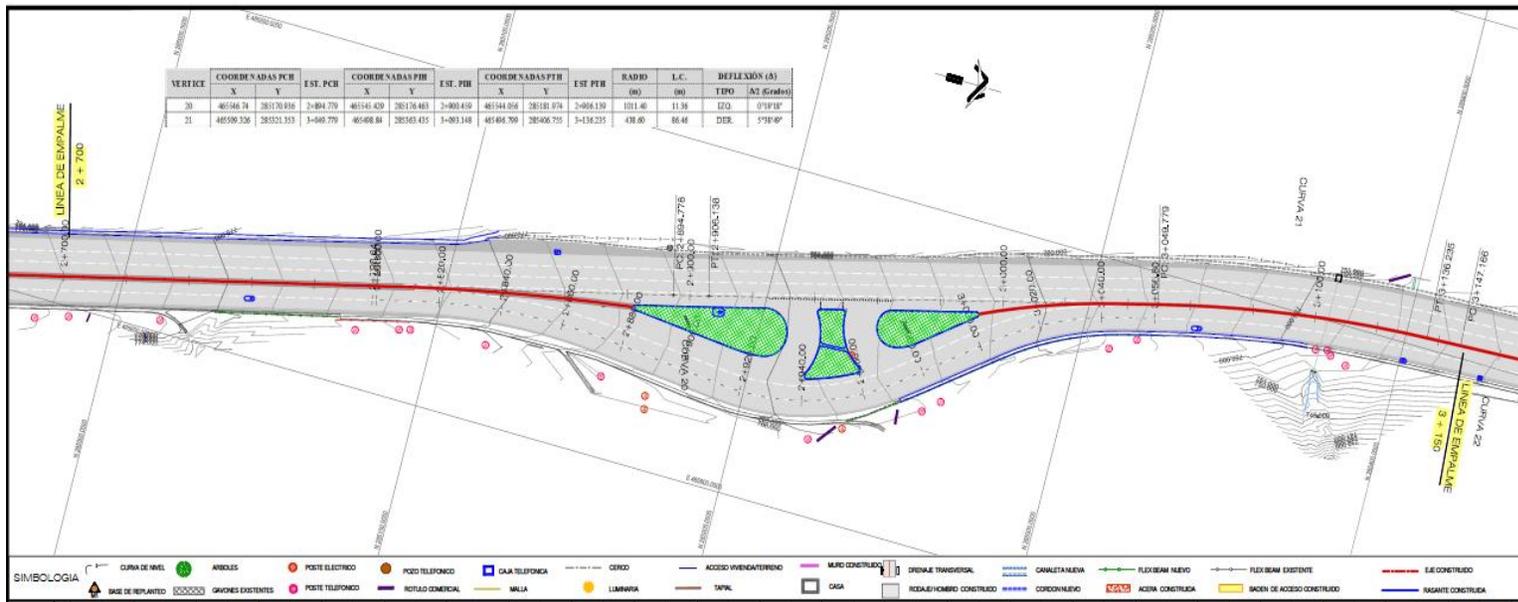


Ilustración 3.13 Plano Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

Hoja Resumen

Tramo de Estudio	Año de Construcción	Espesor de la Sub Base (cm)	Espesor de Losas (cm)	MR (Mpa)	Tamaño de Losas (m)	Sello de Juntas
Intersección By Pass Metapán	2010	20	18	45	Carrileras: 1.6x1.6 By Pass: 1.6x1.8	SI
Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos	2010	20	20	45	1.75x1.75	NO
Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre	2008	20.5	14	40	1.5x1.5	SI
Tramo Santa Tecla-La Cuchilla, Carretera Los Chorros	2013	25	24	50	1.7x1.7	NO

Tabla 3.1 Hoja Resumen de Tramos a Evaluar

3.4 DETERIOROS A EVALUAR

A continuación se definen los principales deterioros que afectan las juntas de los pavimentos rígidos de geometría optimizada:

3.4.1 Daño de sello de Juntas

El daño sello de la junta es cualquier condición que permite al material incompresible o a una cantidad significativa de agua infiltrarse en la junta desde la superficie. La acumulación de material incompresible impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta.

Los tipos más comunes de daño de sello en las juntas son:

1. Desprendimiento del sellante de la junta.
2. Extrusión del sellante.
3. Crecimiento de vegetación.
4. Endurecimiento del material llenante (oxidación).
5. Pérdida de adherencia a los bordes de la losa.
6. Pérdida del sellante en la junta.

3.4.2 Despostillamiento de Junta

Es cualquier grieta, rotura, picadura o desgaste en los bordes de la losa inferior a 0,6 m de la junta longitudinal o Transversal respectivamente.

Se origina por esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incompresibles.

Forma de medirlo:

Se debe registrar el nivel de severidad en cada junta afectada, Si el despostillamiento está sobre más de un borde de la misma losa, el borde que tenga la mayor severidad se cuenta y se registra como una losa.

3.4.3 Bombeo de Finos

El bombeo es la expulsión de material de la fundación de la losa a través de las juntas o grietas. Esto se origina por la deflexión de la losa debida a las cargas. Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es primero forzada bajo losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera. Esta acción erosiona y eventualmente remueve las partículas de suelo lo cual generan una pérdida progresiva del soporte del pavimento. El bombeo puede identificarse por manchas en la superficie y la evidencia de material de base o subrasante en el pavimento cerca de las juntas o grietas.

El bombeo cerca de las juntas es causado por un sellante pobre de la junta e indica la pérdida de soporte. Eventualmente, la repetición de cargas producirá grietas. El bombeo también puede ocurrir a lo largo del borde de la losa causando pérdida de soporte. No se aplican niveles de severidad en el bombeo

de finos, ya que la cantidad de agua y finos expulsados a la superficie cambian con las condiciones de humedad.

Forma de medirlo:

La localización de zonas deterioradas, se realiza mediante el golpeteo de la superficie del concreto con una varilla de acero o un martillo de bola o arrastrando una cadena a lo largo de la superficie. Un sonido metálico firme indica concreto bueno, mientras que un sonido hueco indica concreto pobre.

Se Inicia golpeando el pavimento a lo largo de las juntas transversales o grietas y cualquier área de la mitad de la losa que exhiban despostillamientos visibles o escamaduras severas. Se registra el número de veces que ocurre bombeo de agua o finos y la longitud en metros del pavimento afectado.

3.4.4 Agrietamiento

3.4.4.1 Grietas de Esquina

Una porción de la losa separada por una grieta que intercepta las juntas adyacentes transversal y longitudinal, describiendo aproximadamente un ángulo de 45° en la dirección del tránsito. La longitud de los lados varía de 0,3 m a un medio ($\frac{1}{2}$) el ancho de la losa, en cada lado de la esquina.

3.4.4.2 Grietas Longitudinales

Grietas predominantemente paralelas a la línea central del pavimento.

Forma de medirlo:

Registre la longitud en metros de los agrietamientos longitudinales para cada nivel de severidad. También registre la longitud en metros de los agrietamientos longitudinales con sello en buenas condiciones para cada nivel de seguridad.

3.4.4.3 Grietas Transversales

Grietas predominantemente perpendiculares a la línea central del pavimento.

Forma de medirlo:

Registre el número y longitud de las grietas transversales para cada nivel de severidad. Clasifique toda la grieta transversal para el nivel de severidad más alto presente en por lo menos 10% del total de la longitud de la grieta. La longitud registrada, en metros, es la longitud total de la grieta y se asigna al nivel de severidad más alto presente en por lo menos 10% del total de la longitud de la grieta. También registre la longitud, en metros, del agrietamiento transversal para cada nivel de severidad con sellador en buenas condiciones. La longitud registrada, en metros, es la longitud total de la grieta bien sellada y se le asigna al nivel de severidad de la grieta. Registre únicamente cuando el sellador se encuentre en buenas condiciones en al menos el 90% de la longitud de la grieta.

3.4.5 Escalonamiento

El escalonamiento se define como cualquier diferencia en elevación a lo largo de una junta o grieta.

En este tipo de deterioro no se aplican niveles de severidad. Ya que estos podrían definirse al clasificar las mediciones obtenidas. Un registro total de las medidas realizadas es más preciso que cualquier nivel de severidad.

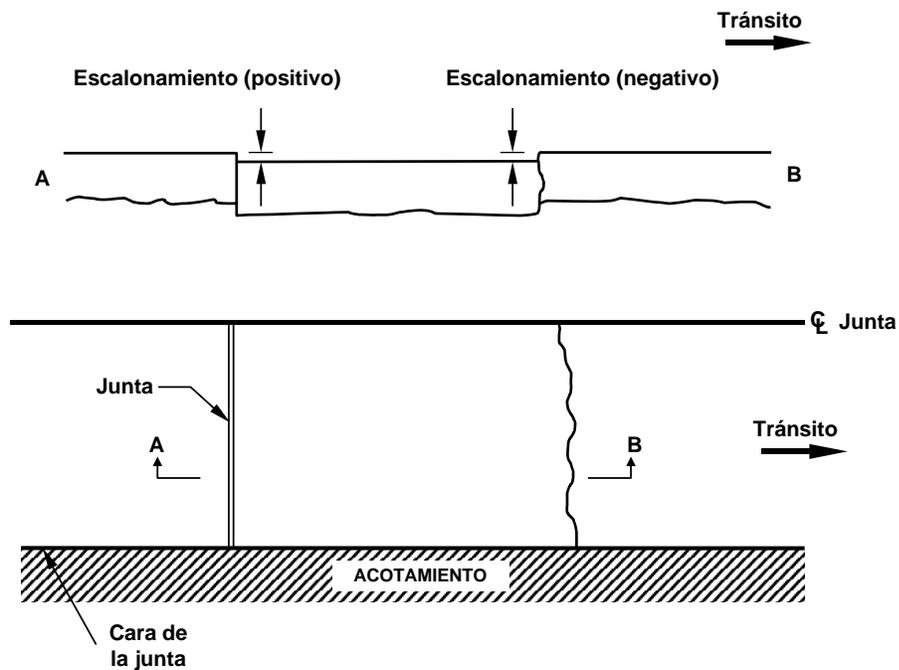


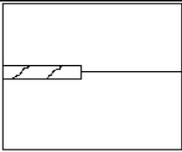
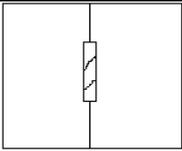
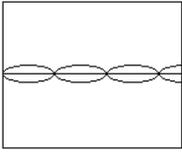
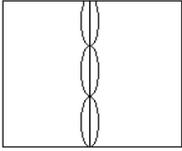
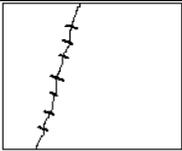
Ilustración 3.14 Forma de medir el escalonamiento

Forma de medirlo:

Registre en milímetros al milímetro más cercano; 0.3 m desde la cara exterior de carril y 0.75 m desde la desde la cara exterior de carril (rodera).

Si la losa de acercamiento es más alta que la losa de salida, registre el escalonamiento como positivo (+) y si la losa de acercamiento es más baja registre el escalonamiento como negativo (-).

La siguiente tabla contiene la simbología a utilizar y el criterio de evaluación para determinar la severidad de los tipos de deterioros:

TIPO DE DAÑO	SEVERIDAD			SIMBOLOGIA
	BAJA	MEDIA	ALTA	
DAÑO TRANSVERSAL DE SELLO EN LA JUNTA	Existe daño de Sello en la Junta en menos del 10% de la Junta.	Existe daño de Sello en la Junta del 10% al 50% de la Junta.	Existe daño de Sello en la Junta en más del 50% de la Junta.	
DAÑO LONGITUDINAL DE SELLO EN LA JUNTA	N/A	N/A	N/A	
DESPOSTILLAMIENTO TRANSVERSAL DE JUNTA	Despostillamiento menor que 75 mm de ancho, medido desde el centro de la junta, con pérdida de material o astillamiento sin pérdida de material.	Despostillamiento o entre 75 mm y 150 mm de ancho, medido desde el centro de la junta, con pérdida de material.	Despostillamiento o mayor que 150 mm de ancho, medido desde el centro de la junta, con pérdida de material.	
DESPOSTILLAMIENTO LONGITUDINAL DE JUNTA	Despostillamiento menor que 75 mm de ancho, medido desde el centro de la junta, con pérdida de material o astillamiento sin pérdida de material.	Despostillamiento o entre 75 mm y 150 mm de ancho, medido desde el centro de la junta, con pérdida de material.	Despostillamiento o mayor que 150 mm de ancho, medido desde el centro de la junta, con pérdida de material.	
BOMBEO DE AGUA Y FINOS	N/A	N/A	N/A	

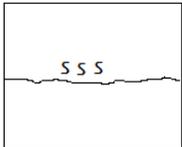
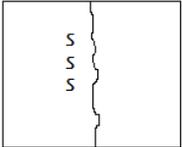
<p>Grieta De Esquina</p>	<p>La grieta no está despostillada en más del 10% de la longitud de la grieta; no existe escalonamiento medible; y el fragmento de la esquina no está roto en dos o más piezas.</p>	<p>La grieta está despostillada con una severidad baja en más del 10% de su longitud total; o el escalonamiento de la grieta o la junta es < 13 mm; y el fragmento de la esquina no está roto en dos o más piezas.</p>	<p>La grieta está desportillada con una severidad de moderada a alta en más del 10% de su longitud total; o el escalonamiento de la grieta o junta es ≥ 13 mm; o el fragmento de la esquina está roto en dos o más piezas.</p>	
<p>Grieta Longitudinal</p>	<p>Anchos de las grietas < 3 mm, sin despostillamiento y escalonamientos no medibles; o bien selladas y con un ancho que no se puede determinar.</p>	<p>Anchos de las grietas ≥ 3 mm y < 13mm; o con despostillamiento < 75 mm; o escalonamiento de hasta 13 mm.</p>	<p>Anchos de las grietas ≥ 13 mm; o con despostillamiento ≥ 75 mm; o escalonamiento < 13 mm.</p>	
<p>Grieta Transversal</p>	<p>Anchos de las grietas < 3 mm, sin despostillamiento y escalonamientos no medibles; o bien selladas y con un ancho que no se puede determinar.</p>	<p>Anchos de las grietas ≥ 3 mm y < 6 mm; o con despostillamiento < 75 mm; o escalonamiento de hasta 6 mm</p>	<p>Anchos de las grietas ≥ 6 mm; o con despostillamiento ≥ 75 mm; o escalonamiento < 6 mm</p>	

Tabla 3.2 Tipos de daño y niveles de severidad para pavimentos rígidos

3.4.6 Índice de Rugosidad Superficial (IRI)

Para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos que indicaran las condiciones actuales y futuras del estado superficial de un camino, surgió la necesidad de establecer un índice que permitiera evaluar las deformaciones verticales de un camino, que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él. Se trató de unificar los criterios de evaluación con los equipos de medición de rugosidad a nivel mundial, tales como los perfilómetros o los equipos de tipo respuesta, y que de alguna manera sustituyera el método de la AASHO, ahora AASHTO, que permite calificar la condición superficial de un camino solo en forma subjetiva.

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. El Índice Internacional de Rugosidad tiene sus orígenes en un programa Norteamericano llamado Nacional Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y está basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP.

El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo, dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km. o millas) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/hr. El IRI sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de un camino. Por otra parte, el IRI puede estar afectado de forma drástica por alabeos y deformaciones lo que se debe reducir con una menor longitud de la losa.

3.6 EQUIPO A UTILIZAR

3.6.1 Deflectómetro de Impacto (FWD)



Ilustración 3.15 Deflectómetro de Impacto (FWD)

El Deflectómetro de impacto o conocido por sus siglas en inglés como FWD (Falling Weight Deflectometer) es un dispositivo de carga utilizado para simular la carga vehicular y medir la respuesta del pavimento correspondiente. Es utilizado en la investigación de pavimentos para evaluar la capacidad estructural, desempeño, transferencia de carga y otros aspectos especiales.

El principio de funcionamiento del Deflectómetro de Impacto es aplicar una carga dinámica al pavimento, dejando caer un peso controlado por un operador desde una altura predeterminada sobre una placa de carga situada en la superficie del pavimento, con lo que se mide la deflexión de los pavimentos por medio de 7 sensores ubicados alrededor de la placa de carga. Estos sensores están espaciados a 1 pie de distancia en una serie a lo largo del dispositivo con un sensor situado directamente sobre el punto de carga.

La furgoneta que remolca el dispositivo de prueba está equipada con un sistema electrónico computarizado para controlar el ensayo y registrar las mediciones a partir de las cuales se determina la cuenca de deflexiones resultante.

Características del Deflectómetro de impacto (Según ASTM D4694-96)

Sistema de instrumentación

Durante su operación debe soportar temperaturas de entre -10 y 50 °C; tolerar humedad relativamente alta, lluvia o niebla; y otras condiciones adversas tales como polvo, golpes, o vibraciones que se pueden presentar normalmente en campo. Los instrumentos no deben estar expuestos a los elementos (dentro del vehículo), y deben ser capaces de operar en un rango de temperaturas de entre 5 y 40 °C.

Dispositivo generador de impacto

El dispositivo generador de impacto debe ser del tipo de masa en caída libre con un sistema de guía. El dispositivo generador de impacto tiene que ser capaz de levantar una o varias masas predeterminadas, y soltarlas en caída libre.

La onda debe tener aproximadamente la forma sinusoidal y aplicarse con una amplitud de pico a pico de 50 KN. La duración del impulso de fuerza habrá de permanecer entre 20 y 60 ms, o un tiempo de incremento de la carga de 0 a 30 ms. Es importante que el sistema de guía presente una fricción despreciable y diseñada de tal manera que las masas caigan perpendiculares a la superficie del pavimento.

Placa de carga

La placa de carga debe ser capaz de distribuir uniformemente la carga sobre la superficie del pavimento. Los diámetros más comunes de las placas son de 300 y 450 mm de diámetro para realizar mediciones sobre autopistas y aeropistas, respectivamente. La placa será capaz de permitir mediciones de deflexión en los pavimentos, al centro de la placa.

Transductor de deflexión

Debe ser capaz de medir el desplazamiento vertical máximo, y estar montado de tal manera que minimice la rotación angular con respecto a su plano de medición en el movimiento máximo esperado. El número y espaciado de los sensores es opcional, y dependerá de los propósitos de la prueba y de las características de cada capa del pavimento. El espaciado adecuado entre sensores es de 300 mm. Los sensores pueden ser de varios tipos: transductores de desplazamiento, de velocidad, o de aceleración (acelerómetros).

Celda de carga

La celda tiene que ser colocada de tal manera que no restrinja la capacidad de obtener mediciones de deflexión, bajo el centro de la placa de carga. Además, debe ser resistente al agua y a los impactos en carretera durante el desarrollo del ensayo o transporte.

3.6.2 Dipstick



Ilustración 3.16 Dipstick

El Dipstick es un instrumento de alta precisión que proporciona lecturas instantáneas de la regularidad superficial de los pavimentos. Mide y graba automáticamente en su memoria la diferencia de elevación entre dos puntos separados secuencialmente. El empleo del equipo es manual y maniobrado por un solo operador, ya que cuenta con un bastón de manejo que facilita su operación, permitiendo girar el instrumento alternativamente sobre cada pata de apoyo. El equipo también cuenta con dos pantallas digitales que muestran la diferencia de elevación entre las patas de soporte. Datos que son medidos y almacenados automáticamente en la computadora programable que posee.

Los datos registrados se analizan mediante un programa específico para tal efecto. Con este programa se puede obtener el perfil del pavimento, a partir del cual se puede obtener el índice de regularidad internacional (IRI) o cualquier tipo de índice mediante la simulación informática.

3.6.3 Perfilómetro Láser (RSP)



Ilustración 3.17 Perfilómetro Láser (RSP)

El perfilómetro portátil de superficie, es una camioneta modificada que está equipada con instrumentos especializados para registrar y medir los datos del perfil del pavimento. El perfilador contiene sensores láser y acelerómetros montados en una barra instalada en la parte delantera del vehículo. Los acelerómetros se utilizan para obtener el movimiento vertical del cuerpo del vehículo mientras que los sensores láser se utilizan para medir el desplazamiento entre la carrocería del vehículo y el pavimento.

La camioneta está equipada con un sistema informático que introduce en un ordenador los datos recolectados para calcular el perfil del pavimento a lo largo del camino recorrido. El perfil de la superficie del camino se obtiene sumando el movimiento vertical del vehículo con la distancia del pavimento.

3.7 METODOLOGIA

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para el levantamiento de deterioros, tanto para la inspección visual, como para la evaluación de la transferencia de carga y el índice de rugosidad superficial (IRI). También se detalla el análisis de riesgo laboral y las medidas preventivas a tomar para evitar accidentes al momento de realizar los levantamientos.

3.7.1 Metodología del Levantamiento de Deterioros por medio de Inspección visual

A continuación se presenta una metodología de calificación de estado para el sistema de gestión de pavimentos que será utilizada en la presente investigación. Se trata de la metodología SHRP (Strategic Highway Research Program), la cual es una metodología utilizada a nivel internacional que consta de dos partes; La primera es el llenado de croquis o esquemas, con simbologías asociadas a cada tipo de deterioro superficial. Lo que le otorga precisión y nos da una clara visión de lo que está sucediendo en el tramo analizado. La segunda parte es la hoja resumen, que contiene una concentración de los datos recogidos para su fácil manejo.

Los croquis se utilizan para mostrar la ubicación exacta de cada tipo de falla que existe en la zona de inspección. Los tipos de fallas y niveles de severidad se identifican utilizando el manual de identificación de fallas del método.

En cada zona de inspección se debe ir dibujando consistentemente a medida que se avanza. La longitud de las secciones para propósitos de esta investigación será de 1 kilómetro, exceptuando el Bypass en Metapán, el cual será evaluado en su totalidad por tratarse de un tramo corto.

Para dibujar las fallas en los croquis, se emplearán símbolos adecuados. En general, la falla se dibujará y se rotulará usando el número de tipo de falla y el nivel de severidad. Se agregará un símbolo adicional al costado del tipo de falla para indicar donde la grieta o junta se encuentra sellada (SSS).

Las fallas que no estén consideradas en la presente investigación se fotografiarán y se especificará la ubicación y extensión debidamente rotulada en el croquis respectivo.

3.7.2 Metodología para evaluar la transferencia de carga

La transferencia de carga en un pavimento es importante debido a que garantiza la continuidad y disminuye las deflexiones entre las losas adyacentes y por consiguiente los esfuerzos en el concreto también disminuyen; esta transferencia se puede desarrollar por medio de diferentes mecanismos, sin embargo en los pavimentos rígidos de geometría optimizada la transferencia de carga se da por trabazón de agregados.

El equipo que se utilizará para la realización de los ensayos de deflexiones es el Deflectómetro de Impacto modelo Dynatest 8000, el cual cumple con las características según la norma ASTM D4694.

Existen diferentes elementos que pueden afectar significativamente en las lecturas de deflexión de este ensayo, por lo que los siguientes factores deben tomarse en cuenta para realizar una lectura precisa de los datos:

1. Factores Ambientales
2. Discontinuidades en el pavimento
3. Variaciones en la estructura del pavimento

El comportamiento de un pavimento de concreto se ve afectado principalmente por la temperatura y la humedad. El exceso de humedad debilita la estructura de un pavimento e incrementa las deflexiones que se producen, mientras que las variaciones de temperatura provocan la contracción y expansión de las losas, afectando así el ancho de las juntas, las grietas en el pavimento y la trabazón de agregados entre losas adyacentes.

En base a lo mencionado anteriormente, las deflexiones de los pavimentos varían durante todo el año por los cambios de temperatura y humedad. Así, las lecturas de deflexiones tomadas a diferentes horas del día en una sección de pavimento, no pueden ser las mismas. Por tal motivo, al momento de realizar este ensayo, se debe registrar lo siguiente:

1. Hora local
2. Temperatura del pavimento
3. Temperatura Ambiente

A continuación se detallan las actividades a desarrollarse previo a la realización del ensayo de transferencia de carga con el FWD:

1. Coordinación del personal:

Es necesario realizar una reunión informativa con todo el personal involucrado para explicar en qué consiste el ensayo y definir tareas para cada uno de ellos, ya que se requiere que exista personal encargado del control del tráfico, operadores del equipo y agentes de seguridad para garantizar que el ensayo se realice de la mejor manera posible.

2. Identificación de los puntos donde se realizarán los ensayos:

La evaluación de los tramos de estudio se realizará haciendo pruebas a cada 200 metros, por lo que es necesario identificar cada punto por medio de marcas de referencia que permitan visualizar fácilmente cada

punto y también garantizar que la zona de trabajo se encuentre libre de suciedad. Cabe mencionar que en cada repetición el plato de carga se colocará al centro de la losa.

3. Preparación del equipo de medición:

Antes de iniciar con las pruebas, es necesario verificar que el equipo se encuentre en buenas condiciones y es necesario también, realizar la calibración de los diferentes transductores que forman parte del equipo de medición. La calibración propiamente dicha consiste en una comparación de sus mediciones contra patrones nacionales o internacionales de la misma magnitud por definir. Posteriormente, es importante verificar que la señal que emite el equipo y su sistema de registro cumpla con las siguientes especificaciones según la Norma ASTM D4694-96.

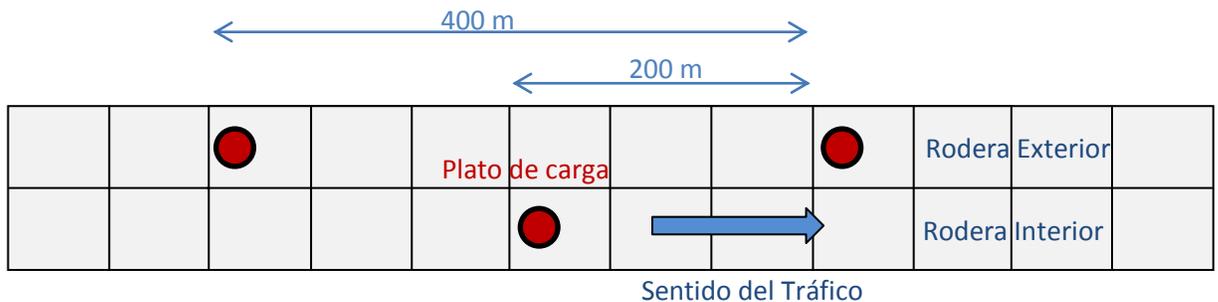


Ilustración 3.18 Ubicación de puntos para evaluación de transferencia de carga

3.7.2.1 Determinación de deflexiones en sitio

a) Se debe registrar la siguiente información para cada pavimento evaluado:

Nombre del operador; fecha y hora; factores de calibración; inicio y fin de la estación o localización física del tramo evaluado; ubicación de alcantarillas, puentes y otras características de control vertical; límites y extensión de los deterioros superficiales; condiciones ambientales, y descripción del tipo de pavimento.

b) Se debe configurar el sistema computacional del equipo, iniciando el programa de adquisición de datos, y se debe introducir la información que requiera la configuración del equipo de deflexión al momento del ensayo. La configuración del equipo se almacena en un archivo de salida, y constituye un insumo para el programa de análisis. Esta información, normalmente incluye el diámetro de la placa de carga, número y posición de los transductores de deflexión y la orientación de los transductores de deflexión con respecto a la placa de carga. Seleccione el formato de archivo de datos adecuado; existen diferentes formatos.

c) Baje la placa de carga y los transductores para asegurarse de que se encuentran en una superficie estable y firme.

d) Levante el dispositivo generador de impacto a la altura deseada, y deje caer el peso. Registre la deflexión máxima de la superficie y la carga máxima.

En caso de que ocurra una deformación permanente bajo la placa de carga, mueva el aparato, y reduzca el impacto aplicado hasta que la deformación permanente no sea significativa para el primer ensayo en campo.

e) Ejecute como mínimo dos secuencias de carga y compare los resultados. Si las diferencias son mayores del 3 % en cualquier transductor, registre la variabilidad en el reporte. Los ensayos adicionales se pueden hacer con la misma o diferente carga. Con la finalidad de determinar la no linealidad de un sistema de pavimento es factible desarrollar ensayos para diferentes niveles de carga. El analista puede utilizar cuencas promediadas si se presentan errores aleatorios de importancia.

Eficiencia de la transferencia de carga

La transferencia eficaz de las cargas del tráfico a partir de una losa a otra reduce niveles de tensión extensible en las losas y las deformaciones asociadas de las losas en los empalmes. Esta situación ayuda a disminuir el deterioro, principalmente reduciendo el bombeo, la pérdida de soporte y la fractura de los bordes de la losa. La transferencia de la carga a través de empalmes transversales se puede efectuar con barras de pasador, dispositivo de seguridad agregado o una combinación de ambos mecanismos. La transferencia de la carga en los empalmes se puede evaluar con el equipo tal como el FWD, colocando las deformaciones de los lados cargados y descargados del empalme. El porcentaje de la carga transferido a través de un empalme, denotado por el LT, se expresa como sigue:

$$LT = \left(\frac{DEF_{Unid}}{DEF_{Load}} \right) * 100$$

Dónde:

LT: Porcentaje de Transferencia de carga

DEF_{Unid}: Deflexión en el lado descargado de la Junta

DEF_{Load}: Deflexión en el lado cargado de la Junta

3.7.3 Metodología para la medición del índice de rugosidad Internacional (IRI)

Hay dos categorías de equipo para medir el perfil longitudinal con el máximo nivel de precisión, y son diferenciadas entre sí por la velocidad o rendimiento con que miden y no por la precisión con que lo hacen.

Están los de bajo rendimiento que son llamados estáticos y los equipos de alto rendimiento. Entre los de bajo rendimiento se pueden incluir el nivel y mira, el perfilómetro transversal y el perfilómetro portátil con inclinómetro más conocido como Dipstick que es más rápido que el método de nivel y mira. Entre los de alto rendimiento se puede mencionar el perfilómetro óptico y el perfilómetro láser RSP.

En la presente investigación se utilizará el Perfilómetro Laser RSP marca Dynatest, modelo 5051 Mark III, clasificado como clase 1 de acuerdo a la norma ASTM E 950-98 y el Dipstick, clasificado como clase 1 de acuerdo a la norma ASTM E 950-98.

3.7.3.1 Perfilómetro Láser (RSP)

El perfilómetro inercial con sensores láser RSP, está compuesto de cinco sensores tipo láser y dos acelerómetros, para realizar la medición continua de las variaciones de la superficie, las cuales pueden ser procesadas en tiempo real, para convertirlas en valores de rugosidad expresados en términos del Índice de Rugosidad Internacional, IRI, así como la variación del perfil transversal para establecer el ahuellamiento en milímetros.

El RSP toma datos del perfil longitudinal y transversal con precisión de 0.1 mm. Al comparar el perfil obtenido por el RSP con el obtenido por nivelación topográfica, se tiene una desviación menor a 2.5 mm (0.1 pulgadas).

Por recomendación del fabricante, el vehículo no debe ser operado a velocidades inferiores a 25 km/h cuando se está realizando el ensayo. La velocidad de prueba que normalmente se utiliza para perfilar secciones es 60 km/h. El RSP toma 16,000 mediciones de perfil por segundo haciendo las mediciones de los datos cada 25 mm, que es el intervalo de almacenamiento de datos. El número de mediciones está en función de la velocidad de operación del. El valor almacenado corresponde al promedio del número de mediciones tomadas en 25 mm.

Ya que los instrumentos para medir el perfil del pavimento están instalados en la camioneta, la realización del ensayo se simplifica y solamente se debe configurar la computadora del equipo con las condiciones particulares de cada tramo a evaluar y se deben colocar en la superficie del pavimento cinta reflectiva al inicio y al final del tramo de evaluación, ya que los sensores cuentan con fotoceldas que permiten automatizar el trabajo.

En la configuración del sistema de cómputo se deben definir los siguientes parámetros:

1. Escalonamiento Mínimo:

Se debe determinar el valor mínimo en mm que los sensores detectarán, por ejemplo si se configura con un escalonamiento mínimo de 5 mm, los sensores detectarían irregularidades mayores a este valor. Automáticamente las irregularidades inferiores a este valor de 5 mm no serán tomados en cuenta al momento de realizar las lecturas.

2. Ventana de Detección:

Esta ventana de detección sirve para determinar la distancia en la que se harán los disparos láser, los cortes de las juntas no siempre son completamente perpendiculares al sentido del tráfico, por lo que es necesario determinar un rango de disparos para poder hacer la lectura en las juntas del pavimento.

3. Distancia de Recuperación:

La distancia de recuperación es la distancia en la que los láser no son disparados.

3.7.3.2 Dipstick

Previo al levantamiento de datos por medio del Dipstick se debe tomar en cuenta la realización de una serie de actividades necesarias para garantizar que el ensayo se realice correctamente, estas tareas son las siguientes:

1. Coordinación de personal (Operadores y Equipo de control de tráfico)
2. Inspección del sitio (Evaluar la condición general del pavimento)
3. Localización de las Juntas a Evaluar
4. Calibración del Equipo
5. Limpieza de la zona
6. Trazo de línea guía (Con el tiralíneas)

Procedimiento:

1. Se debe colocar el Dipstick en la línea marcada al centro de la rodera, con la flecha de inicio hacia delante en la dirección del tráfico y el borde trasero de la pata de soporte al borde de la franja de inicio. En esta posición, el centro de la almohadilla de la pata trasera del Dipstick será la estación 0+000.

2. Se registra la lectura en la posición de inicio y luego se debe girar el Dipstick al siguiente punto de medición utilizando un giro a la derecha. La razón por la que se especifica un giro a la derecha es porque con dicha moción el mango del Dipstick no se suelta. Sin embargo, si un operador tiene cualquier problema para realizar un giro a la derecha, es aceptable que se realice un giro a la izquierda para continuar con la medición. Este procedimiento se debe repetir para toda la longitud de la sección de prueba.
3. Vuelva a medir la longitud de la línea, para verificar la posición del punto final y que no hayan anomalías en los datos.

Durante las mediciones se deben tomar en cuenta las siguientes precauciones:

1. Utilizar un solo movimiento coherente para avanzar, ya sea por medio de giros hacia la derecha o hacia la izquierda.
2. Sujetar el mango del Dipstick en posición vertical cuando se toman las lecturas.
3. No aplicar presión lateral al mango durante se toman las lecturas.
4. Se debe evitar colocar las almohadillas del Dipstick en grietas, baches o irregularidades del pavimento.

3.7.4 Metodología para la seguridad vial y prevención de riesgos en la zona de trabajo

3.7.4.1 Seguridad en la vía

Para poder brindar seguridad al momento de realizar el levantamiento de deterioros, se interpondrá el vehículo entre la zona de inspección y la llegada de vehículos, y se utilizarán conos para delimitar el área de trabajo, de tal manera que los vehículos que circulan por la vía tengan el conocimiento de que se está efectuando un trabajo y por lo tanto tengan precaución. También, se deberá estar pendiente de la aproximación de vehículos a la zona de trabajo para prever cualquier accidente.

Todo el personal involucrado con el levantamiento de deterioros debe portar equipo de protección personal, en este caso consiste en botas, chaleco reflectivo y casco. Dicho equipo proporcionará visibilidad a distancia a los vehículos que transitan por la zona. Para delimitar el área de trabajo, se utilizará un cono a 3 metros del vehículo y otros 2 conos sobre la división de carriles, con un espaciamiento de 2 metros entre sí para que los vehículos que transitan no intenten incorporarse al carril en estudio tras haber pasado el vehículo de protección. Una vez analizadas todas las losas del área de trabajo, se procederá a mover el vehículo y los conos hacia el siguiente tramo de estudio, donde se repetirá este dispositivo de seguridad. Dicha acción se realizará sucesivamente hasta completar el levantamiento completo de la vía.

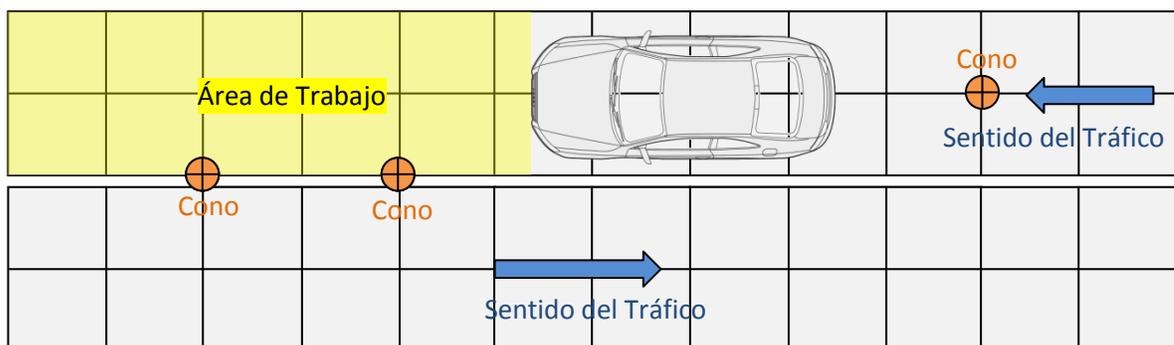


Ilustración 3.19 Limitación del área de trabajo

3.7.4.2 Análisis de riesgo del trabajo

Descripción de riesgos identificados	Medidas preventivas y acciones de control
Atropello por presencia vehicular.	<ul style="list-style-type: none"> - Señalizar y delimitar el campo de trabajo con conos. - proteger con el vehículo, interponiéndolo entre la llegada de vehículos y la zona de inspección. - Portar equipo de protección personal (chalecos reflectivos, cascos y botas). - no perder de vista la proximidad de los vehículos.
Fatiga corporal y visual	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar pausas periódicas de trabajo para descansar el cuerpo y la vista.
Derivadas del calor: Insolación, quemaduras de la piel, deshidratación.	<ul style="list-style-type: none"> - Proteger el cuerpo de la exposición directa al sol. - Descansos periódicos en zonas de sombra. - Evitar en lo posible exposiciones al sol en las horas de mayor intensidad. - Utilización de bloqueador solar. - hidratarse continuamente.

Tabla 3.3 Análisis de riesgo del trabajo

Recomendaciones Importantes:

- La señalización temporal debe mantenerse durante el tiempo de duración de los trabajos y estar acorde a las condiciones del lugar.
- Se debe planear con anticipación la seguridad del motorista, el peatón y el trabajador en la zona de trabajo.
- Es importante señalar los vehículos que se van a utilizar en la zona de trabajo con luces apropiadas y materiales reflectivos que delineen el contorno del mismo.

3.5 Procedimiento para el análisis de deterioros por medio del software HIPERPAV III

El análisis de deterioros de los pavimentos analizados en la presente investigación se realizará por medio del software HIPERPAV III versión 3.20.0006. Este software permite evaluar dos condiciones del pavimento, una de ellas es el análisis a acorto plazo; y la otra condición es el análisis a largo plazo. El análisis a corto plazo se basa en las condiciones iniciales del pavimento (a temprana edad) y evalúa el comportamiento de éste para las setenta y dos horas próximas al inicio del colado, pudiendo evaluarse de esta manera los esfuerzos de tensión que se generan en el concreto, así como también la tasa de evaporación, con lo que es posible predecir agrietamientos a temprana edad.

El análisis a largo plazo se basa en la condición de temprana edad para modelar un comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo. Por medio de este modelo, es posible realizar una comparación entre alternativas de temprana edad, para poder elegir la alternativa más viable conforme el paso del tiempo. Conocer el comportamiento del pavimento a lo largo de su vida útil, permite formular planes de conservación para intervenir a los pavimentos en el momento indicado.

Como se mencionó anteriormente, el programa permite realizar un análisis de comportamiento del pavimento en base a las condiciones de edad temprana, por lo que deben definirse diferentes estrategias para poder realizar una comparación que permita elegir de entre todas las opciones la mejor. Para efectos de esta investigación se definirá para cada pavimento diferentes condiciones de temprana edad para el análisis a corto plazo y una condición de edad tardía para el análisis de largo plazo. Se pretende comparar el resultado del análisis computacional con las condiciones actuales del pavimento.

Las siguientes tablas poseen un listado de parámetros necesarios para el análisis a corto y largo plazo de los pavimentos utilizando el programa Hiperpav III:

PARAMETROS DE TEMPRANA EDAD			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Lluvia acumulada anual	cm		
Confiabilidad	%		
Espesor de losa	cm		
Ancho de losa	m		
Largo de losa	m		
Tipo de base	-		
Espesor de base	cm		
Módulo de la Sub base			
Tipo de cemento	-		
Tipo de agregado	-		
Tipo de aditivo	-		
Cemento	kg/m ³		
Agregado grueso	kg/m ³		
Agregado fino	kg/m ³		
Agua	kg/m ³		
Tipo de esfuerzo			
Esfuerzo a los 28 días	Mpa		
Temperatura inicial del concreto	C°		
Temperatura inicial de la base	C°		
Tipo de curado	-		
Edad de aplicación de curado	Horas		
Tipo de corte en la junta	-		
Tiempo de corte	Horas		
Corte cada 2 Juntas	-		
Corte de junta intermedia	horas		
Esfuerzo de apertura de tráfico	Mpa		
Tipo de esfuerzo	-		
Fecha de inicio de construcción	DD/MM/AAA		
Hora de inicio de construcción	Hora		
Temperatura	C°		
Velocidad del viento	m/s		

Humedad	%		
Nubosidad	%		
PARAMETROS DE EDAD TARDÍA			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Periodo de análisis	años		
Confiabilidad	%		
IRI inicial	m/km		
Falla máxima de junta	cm		
Agrietamiento transversal	%		
Agrietamiento longitudinal	%		
IRI máximo	m/km		
serviciabilidad mínima	PSI		
tipo de junta	-		
Corte de junta transversal	%		
Presión de los neumáticos	psi		
ESAL's anual			
Función de crecimiento			
Tasa de crecimiento del tráfico	%		

Tabla 3.4 Parámetros de entrada para el software HIPERPAV III

A continuación se presenta paso a paso el procedimiento a realizarse para la evaluación de los pavimentos por medio del software HIPERPAV III.

1. Selección del tipo de análisis

Entre las opciones disponibles, se elige la primera opción: el análisis a edad temprana, ya que para evaluar el comportamiento de los pavimentos a lo largo de su periodo de diseño es necesario definir las condiciones iniciales del pavimento.

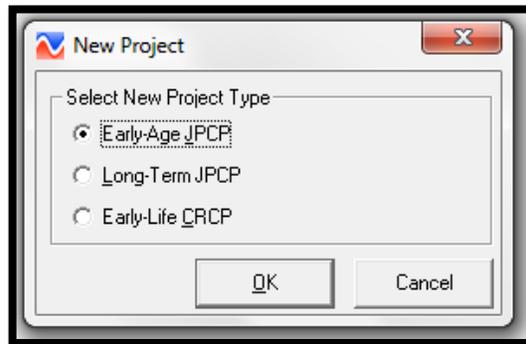


Ilustración 3.20 Selección del tipo de análisis

2. Identificación del proyecto

Se debe colocar la información general del pavimento a evaluar: El nombre del proyecto, identificación, nombre de las secciones, estaciones y comentarios referentes al pavimento que se desea evaluar.

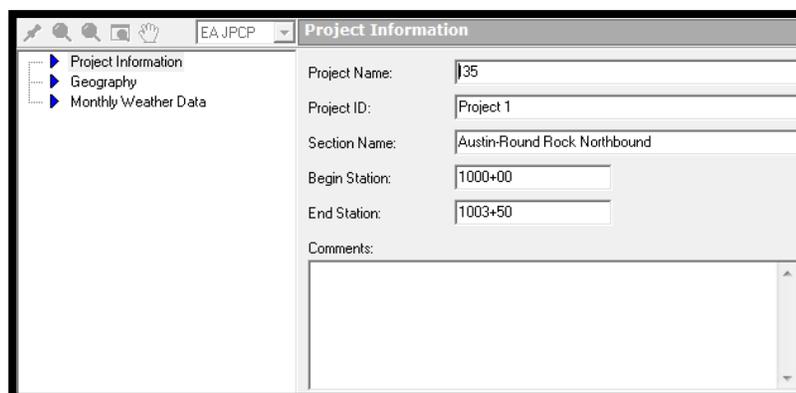


Ilustración 3.21 Identificación del proyecto

3. Geografía del proyecto

El programa cuenta con actualizaciones del clima para la región de los Estados Unidos, en nuestro caso, no se definirá ubicación geográfica, por lo que posteriormente se tendrá que configurar las condiciones climáticas locales.

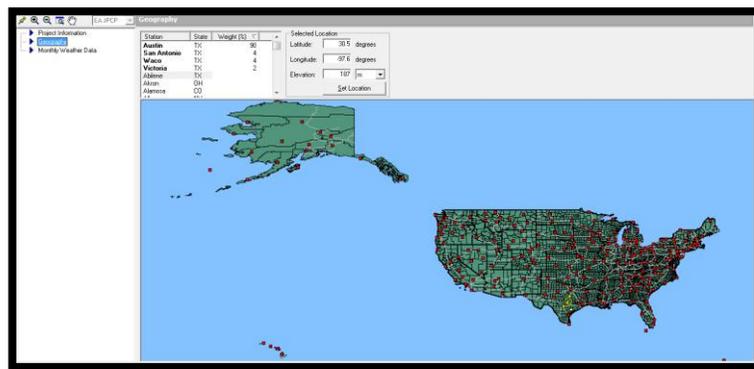


Ilustración 3.22 Geografía del proyecto

4. Información meteorológica mensual

El programa define automáticamente la lluvia mensual acumulada para el año de la construcción del pavimento por medio de la ubicación geográfica definida en el paso anterior.

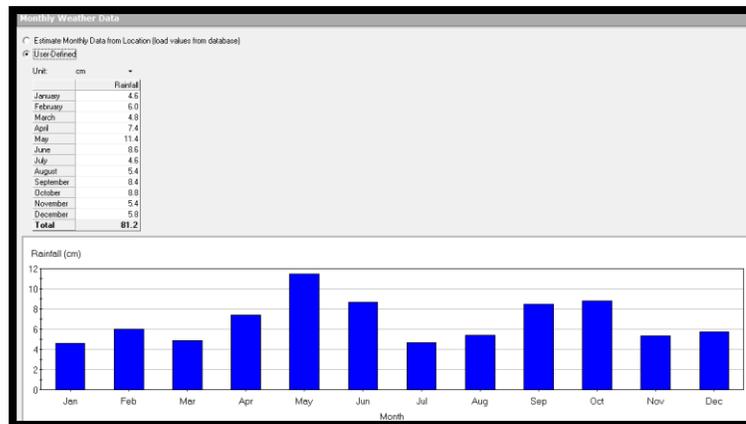


Ilustración 3.23 Lluvia acumulada mensual

5. Información de la Estrategia

Se debe colocar la información del proyecto perteneciente a la estrategia de temprana edad que se está elaborando.

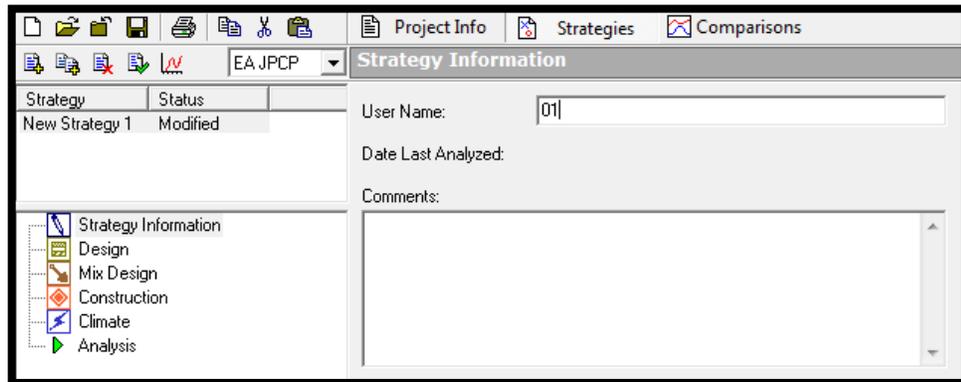


Ilustración 3.24 Información de la estrategia

6. Geometría de la estrategia

Se debe colocar la información del pavimento en base a su diseño geométrico: Confiabilidad, espesor de la losa, ancho de la losa, espaciamiento entre juntas transversales, el tipo de material de la base y el espesor de la sub base.

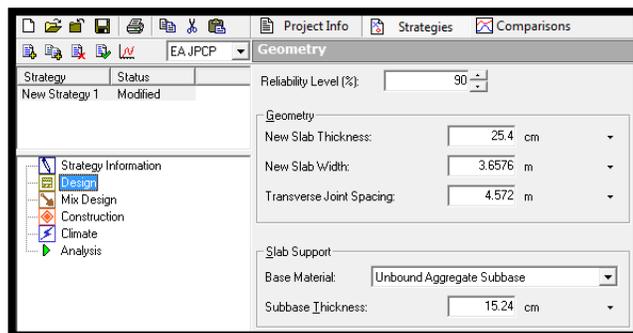


Ilustración 3.25 Geometría de la estrategia

7. Diseño de la mezcla de concreto

En esta parte se define el tipo de cemento utilizado conforme a la norma ASTM C-150, el tipo de agregado, aditivos, y adiciones de cenizas

volantes (en caso de haberlas). Se debe colocar también la proporción de la mezcla en peso por metro cubico de concreto, la relación agua-cemento, el tipo de esfuerzo y la resistencia esperada a los 28 días.

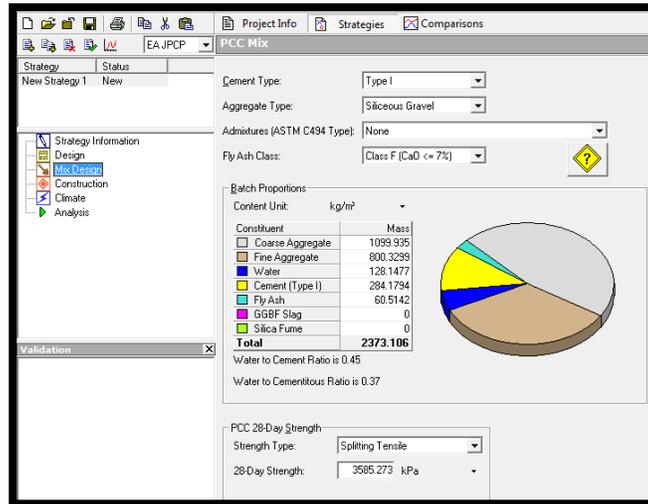


Ilustración 3.26 Diseño de la mezcla de concreto

8. Condiciones de construcción a temprana edad

Se deben colocar datos relacionados al momento del colado de concreto, temperatura inicial de la mezcla de concreto, temperatura inicial de la base, se debe definir si la base se encontraba en condición húmeda o seca, el método de curado, la hora en la que se comenzó a curar después de colado, si se realizó corte en verde de las juntas (en el caso que no se realizare un corte en verde se debe definir cuanto tiempo después del colado se realizó el corte de juntas), cada cuanto se realizó el corte de las juntas intermedias (en el caso de que los cortes se hayan alternado), el esfuerzo de apertura al tráfico y el tipo de esfuerzo a evaluar.

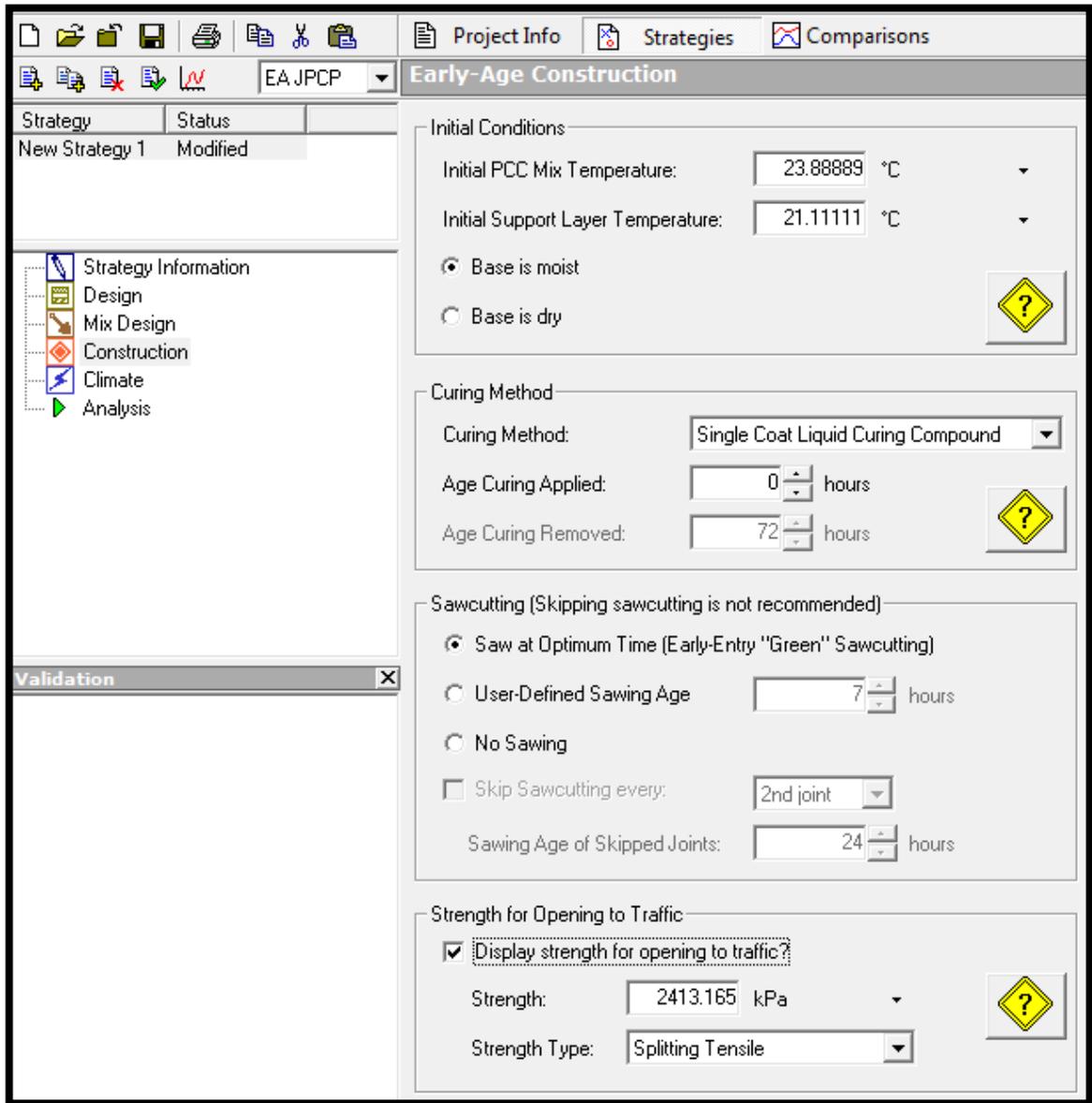


Ilustración 3.27 Condiciones de construcción a edad temprana

9. Ambiente

Se deben definir los siguientes parámetros para las siguientes 72 horas posteriores al colado: Temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y nubosidad. También se deben definir la fecha del colado y la hora a la que se inició.

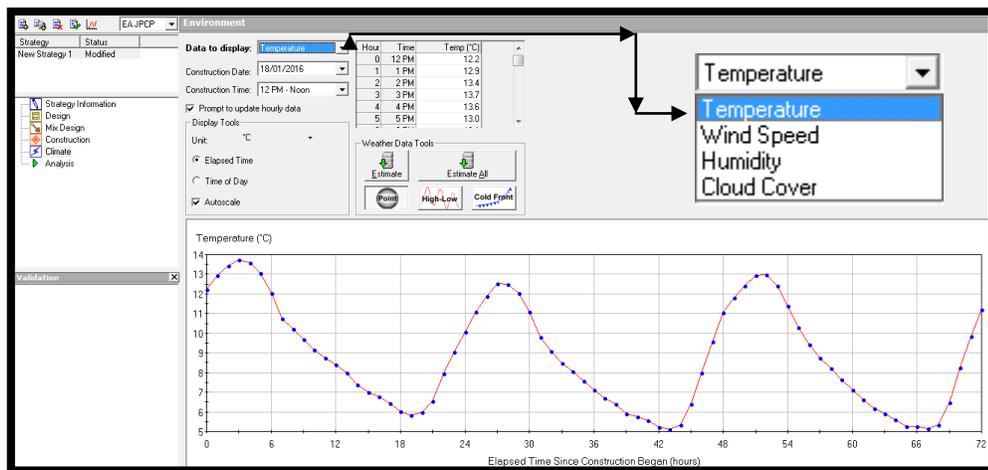


Ilustración 3.28 Condiciones ambientales

10. Análisis de la estrategia

Como último paso en el análisis a edad temprana se procede a correr el análisis presionando el botón de análisis en la barra de herramientas.

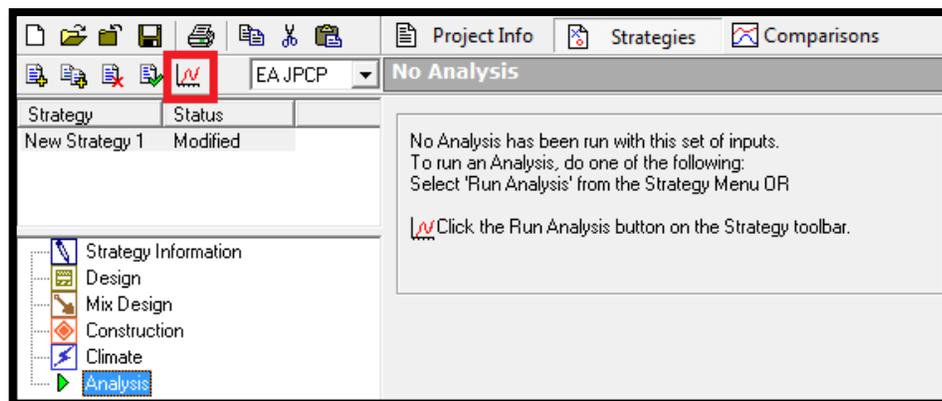


Ilustración 3.29 Análisis de la estrategia a edad temprana

Luego de haber realizado el análisis de los datos introducidos al programa, se obtienen como resultado la gráfica de la tasa de evaporación, y la gráfica de esfuerzos de tensión, que muestra cómo se comportan los esfuerzos de tensión con respecto al esfuerzo que se va alcanzando en el concreto conforme el paso del tiempo en las 72 horas posteriores al inicio del colado.

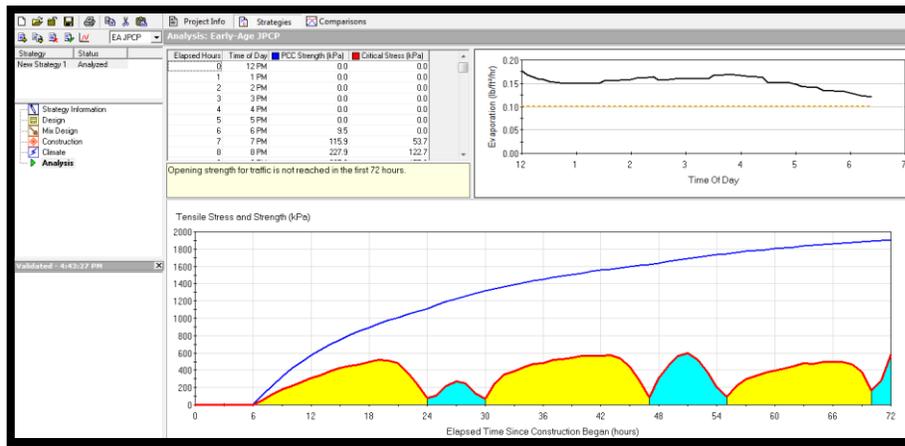


Ilustración 3.30 Resultados a edad temprana

11. Análisis a largo plazo

Para poder realizar el análisis a largo plazo es necesario tener al menos 2 estrategias definidas en el análisis a corto plazo para que el programa realice un análisis comparativo entre ambas alternativas.

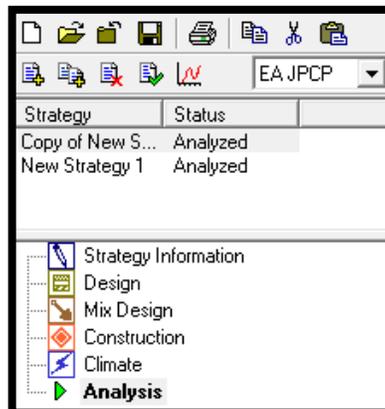


Ilustración 3.31 Diferentes estrategias a edad temprana

Una vez definidas las estrategias de edad temprana, se procede a agregar una nueva estrategia para el análisis a largo plazo, nuevamente se define la información de la estrategia, la estrategia base de edad temprana, y la estrategia de edad temprana con la que será comparada.

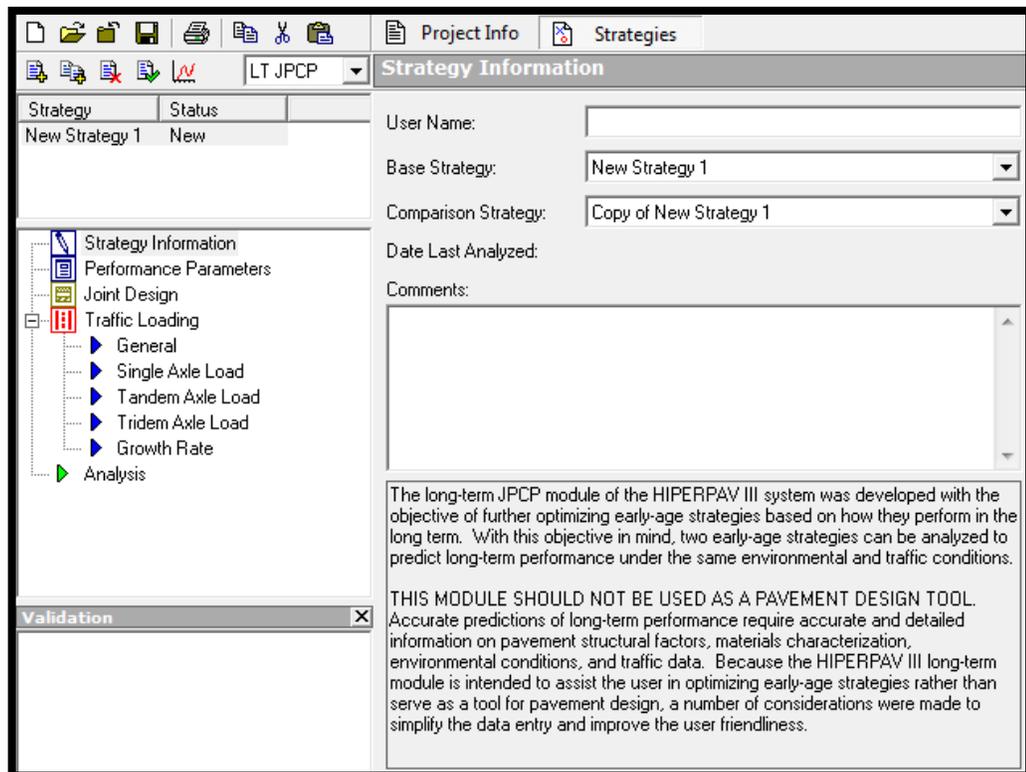


Ilustración 3.32 Estrategia a largo plazo

12. Parámetros de desempeño

En los parámetros de desempeño se define el periodo de diseño, la confiabilidad, y el IRI inicial de la vía.

También se definen valores máximos de los parámetros de mayor relevancia en el análisis de pavimentos: máxima falla en la junta, máximo agrietamiento transversal, máximo agrietamiento longitudinal, IRI máximo y serviciabilidad mínima. Estos valores son conocidos con el nombre de “valores gatillos”, ya que son indicadores que permiten realizar un análisis comparativo de las condiciones del pavimento con respecto a condiciones máximas definidas para las cuales el pavimento requiere intervención. Estos valores son definidos en función del nivel de importancia de la vía.

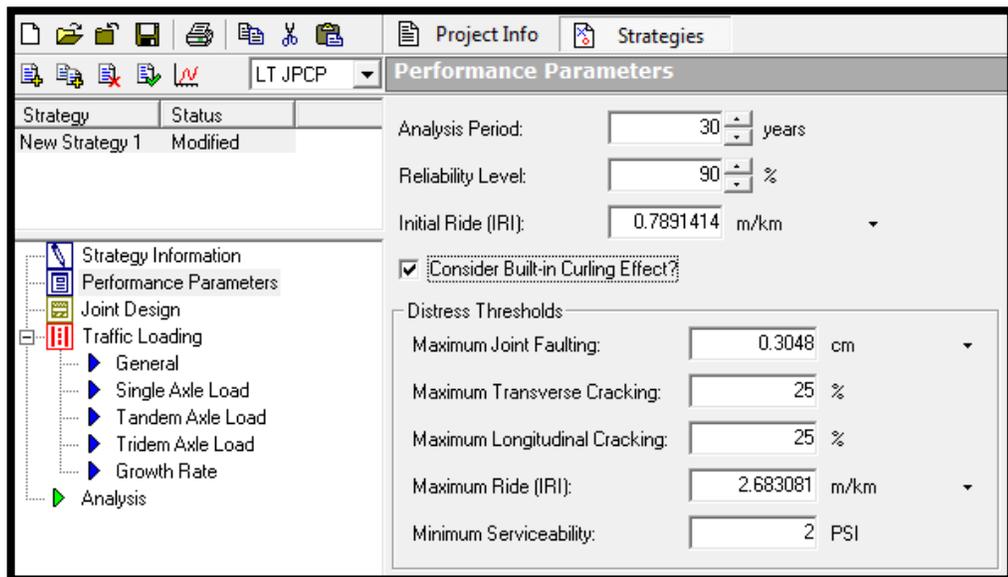


Ilustración 3.33 Parámetros de diseño

13. Diseño de la Juntas

En diseño de la junta se define el dispositivo de transferencia de carga, y la profundidad del corte al momento de inducir la junta.

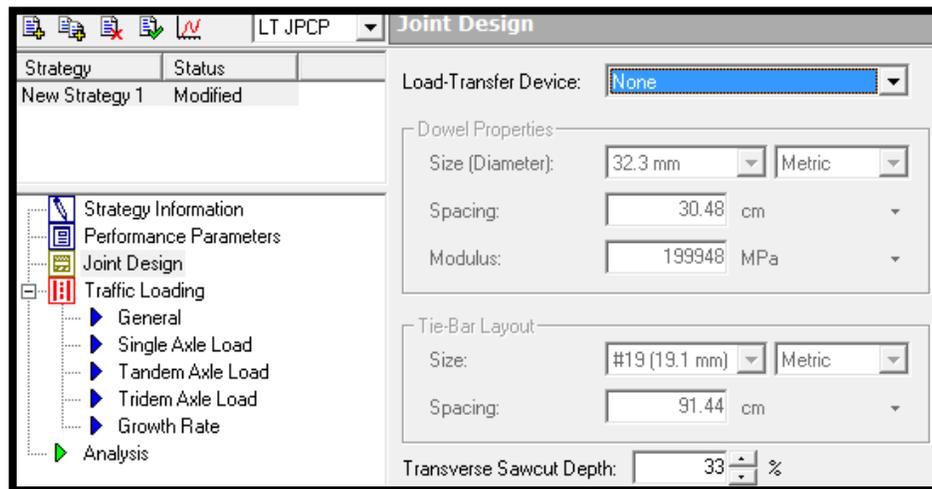


Ilustración 3.34 Diseño de juntas

14. Carga de Tráfico

En la carga de tráfico se define la presión de los neumáticos y el total de Esal's anuales de diseño.

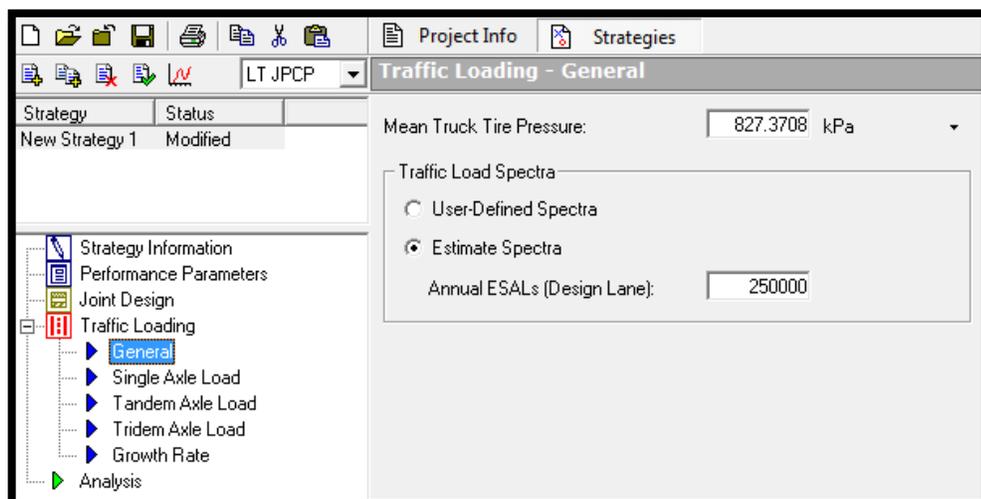


Ilustración 3.35 Carga de trafico

También debe definirse la tasa de crecimiento y la función a la que esta pertenece.

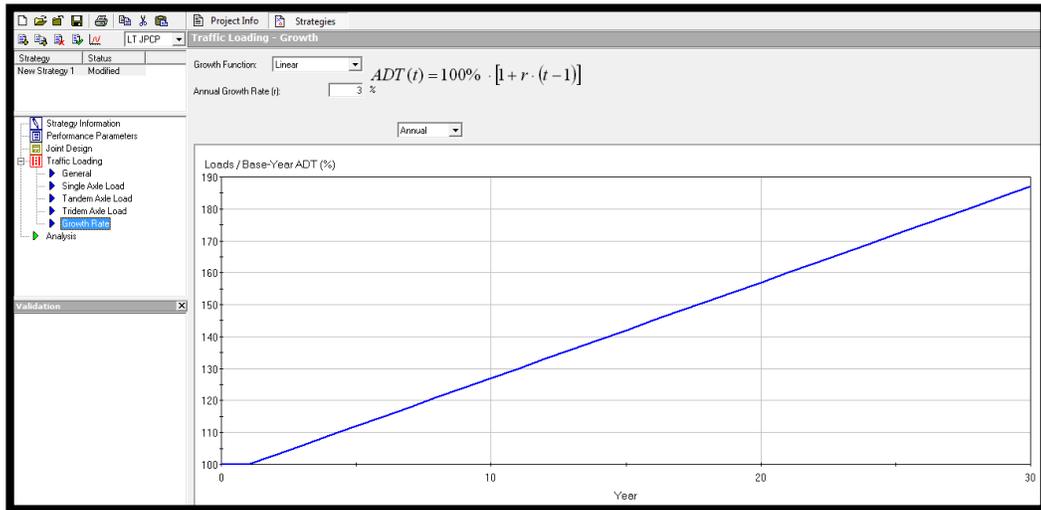


Ilustración 3.36 Tasa y función de crecimiento

Análisis de la estrategia

Como último paso en el análisis a edad temprana se procede a correr el análisis presionando el botón de análisis en la barra de herramientas.

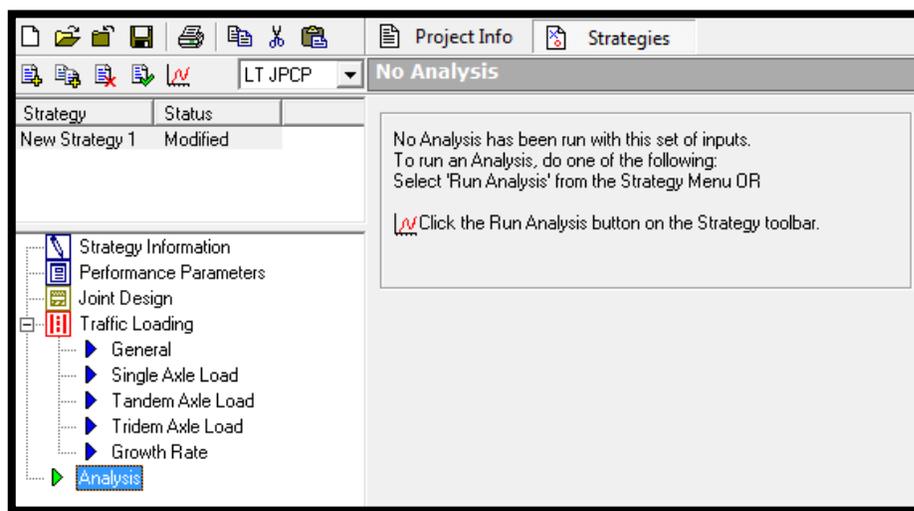


Ilustración 3.37 Análisis de la estrategia a largo plazo

Como datos de salida el programa arroja los gráficos de cómo se comportan las variables con el tiempo de vida del proyecto; haciendo una comparación de la estrategia principal con la estrategia secundaria. Las variables en estudio son: daño en la junta, agrietamiento transversal, agrietamiento longitudinal, IRI y nivel de serviciabilidad.

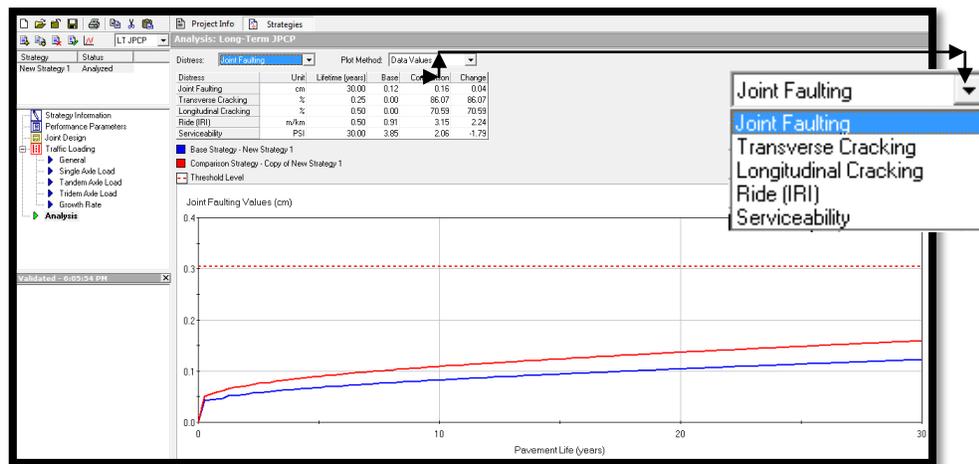


Ilustración 3.38 Resultados del análisis a largo plazo

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE DETERIOROS.-

4.1 Intercepción By Pass Metapán

En el levantamiento de deterioros realizado se evaluó la cantidad de 508 losas. Teniendo como resultado un total de 325 losas afectadas por despostillamientos, 334 losas con daño de sello de juntas. De acuerdo a la auscultación visual realizada, se descarta la existencia de grietas longitudinales, grietas transversales, grietas de esquina, bombeo de finos, y escalonamiento en el pavimento.

Longitud total evaluada: 108.4 metros

Total de Losas Evaluadas: 508 (196 Carrileras y 312 Bypass)

Total de Losas Afectadas: 329

Tamaño de losas: Losas Carrileras: 1.6x1.8m Intersección Bypass: 1.6x1.6m

A continuación se presenta un cuadro resumen de los deterioros encontrados:

Tipo de daño	Número de Losas Afectadas	Severidad		
		Baja	Media	Alta
Despostillamiento	325	270	53	2
Grieta de Esquina	N/A	N/A	N/A	N/A
Escalonamiento	N/A	N/A	N/A	N/A
Perdida de Textura	4	N/A	N/A	N/A
Perdida de Sello	334	108	66	160

Tabla 4.1 Resumen de deterioros encontrados en Intercepción By Pass Metapán

4.1.1 Cálculo del PCI

A continuación se presenta la memoria de cálculo para la determinación del Índice de Condición del Pavimento en base al tipo, la severidad y la cantidad de deterioros encontrados:

Cálculo de los valores Deducidos

Daño	Severidad	N de losas	Densidad %	Valor deducido
Despostillamiento	Baja	270	0.83	9
	Media	53	0.16	7
	Alta	2	0.06	10
Sello	Baja	108	0.32	2
	Media	66	0.2	4
	Alta	160	0.48	8

Tabla 4.2 Cálculo de valores deducidos en Intercepción By Pass Metapán

Cálculo del número admisible máximo de deducidos

Despostillamiento

N° de Interacción	Valores Deducidos			TDV	q	CDV
1	9	7	10	26	3	16
2	9	2	10	21	2	18
3	2	2	10	14	1	14

Tabla 4.3 Cálculo del número admisible máximo de valores deducidos (Despostillamiento), Intercepción By Pass Metapán

Sello de Juntas

N° de Interacción	Valores Deducidos			TDV	q	CDV
1	2	4	8	14	2	10
2	2	2	8	12	1	12

Tabla 4.4 Calculo del numero admisible máximo de valores deducidos (Sello de Juntas), Intercepción By Pass Metapán

Máximo valor deducido corregido: 18

PCI: $100 - 18 = 82$

De acuerdo al rango de calificación del PCI el pavimento se encuentra en Muy Buen estado.

4.2 Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

En el levantamiento de deterioros realizado se evaluó la cantidad de 966 losas, pertenecientes al carril de salida de la calle de acceso a la planta de producción de Alba petróleo. Teniendo como resultado un total de 159 losas afectadas por despostillamientos, también se encontraron 5 losas que han perdido la textura superficial.

De acuerdo a la auscultación visual realizada recorriendo los 845.25 metros de longitud de este tramo, se descarta la existencia de grietas longitudinales, grietas transversales, grietas de esquina, bombeo de finos, y escalonamiento en el pavimento.

Longitud total evaluada: 845.25

Total de Losas Evaluadas: 966

Total de Losas Afectadas: 172

Tamaño de losas: 1.75x1.75m

A continuación se presenta un cuadro resumen de deterioros encontrados:

Tipo de daño	Número de Losas Afectadas	Severidad		
		Baja	Media	Alta
Despostillamiento	159	152	7	N/A
Grieta de Esquina	N/A	N/A	N/A	N/A
Escalonamiento	N/A	N/A	N/A	N/A
Perdida de Textura	5	N/A	N/A	N/A

Tabla 4.5 Resumen de deterioros encontrados en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

4.2.1 Cálculo del PCI

A continuación se presenta la memoria de cálculo para la determinación del Índice de Condición del Pavimento en base al tipo, la severidad y la cantidad de deterioros encontrados:

Calculo de los valores Deducidos

Daño	Severidad	N de losas	Densidad %	Valor deducido
Despostillamiento	Baja	152	0.96	9
	Media	7	0.4	2
	Alta	0	0	0

Tabla 4.6 Calculo de valores deducidos en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

Calculo del numero admisible máximo de deducidos

Despostillamiento

N° de Interacción	Valores Deducidos			TDV	Q	CDV
1	9	2	0	11	1	12

Tabla 4.7 Calculo del numero admisible máximo de deducidos en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

Máximo valor deducido corregido: 12

PCI: $100 - 12 = 88$

De acuerdo al rango de calificación del PCI el pavimento se encuentra en Excelente estado.

4.2.2 Evaluación de la transferencia de carga y Escalonamiento

La medición de las deflexiones se realizó utilizando un Deflectómetro de Impacto marca Dynatest Modelo 8000, provisto de un plato circular de 30 cm de diámetro. Los ensayos se realizaron aplicando una carga de impacto de 40 kN. La medición de deflexiones se efectuaron en el período comprendido aproximadamente entre las 10:00 p.m. y la 1:00 a.m. del día 17 de diciembre de 2015. Cabe mencionar, que la medición de escalonamiento se realizó en las juntas donde previamente se evaluó la Transferencia de carga. El escalonamiento se Evaluó utilizando el equipo Dipstick marca Face, modelo DS 2272.

4.2.2.1 Resultados de la evaluación de Escalonamiento

Estación	Punto	Escalonamiento (mm)
0+000	1	0.3
0+200	2	0.3
0+400	3	0.7
	4	0.0
	5	2.1
	6	1.2
	7	0.4
0+602	8	0
0+800	9	1.8

Tabla 4.8 Resultados de la evaluación del escalonamiento en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

4.2.2.2 Resultados de la Evaluación de la transferencia de carga

Estación	Punto	Temperatura Ambiente (°C)	Fuerza (kN)	Deflexión en losa cargada (mm)	Deflexión en losa no cargada (mm)	Eficiencia de la transferencia de carga
0+000	1	26.90	40.17	0.2377	0.2202	92.64%
0+200	2	27.00	39.94	0.2541	0.236	92.88%
0+400	3	26.60	39.90	0.1412	0.1264	89.52%
	4	26.30	39.96	0.1846	0.1693	91.71%
	5	26.30	39.89	0.1621	0.1456	89.82%
	6	27.10	40.21	0.2336	0.2185	93.54%
	7	26.40	40.03	0.2116	0.1893	89.46%
0+602	8	25.90	40.01	0.1095	0.0996	90.96%
0+800	9	27.30	39.92	0.1596	0.1464	91.73%

Tabla 4.9 Resultado de la evaluación de la transferencia de carga en Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

Según los resultados obtenidos del ensayo realizado para la evaluación de la transferencia de carga, la eficiencia de carga promedio es de 91.36%. y de acuerdo a las lecturas de escalonamiento obtenidas, se encontró que el mayor valor es de 2.1 mm. Así mismo, el ancho de juntas medido durante los levantamientos es de 3 mm.

4.3 Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

En el levantamiento de deterioros realizado se evaluaron 1334 losas, teniendo como resultado un total de 67 losas afectadas por despostillamiento.

De acuerdo a la auscultación visual realizada recorriendo los 1,000 metros de longitud de este tramo, se descarta la existencia de grietas longitudinales, grietas transversales, grietas de esquina, bombeo de finos, y escalonamiento en el pavimento.

Longitud total evaluada: 1000 m

Total de Losas Evaluadas: 1334

Total de Losas Afectadas: 67

Tamaño de losas: Losas Carrileras: 1.5x1.5m

A continuación se presenta un cuadro resumen de daños encontrados:

Tipo de daño	Número de Losas Afectadas	Severidad		
		Baja	Media	Alta
Despostillamiento	67	60	7	N/A
Grieta de Esquina	N/A	N/A	N/A	N/A
Escalonamiento	N/A	N/A	N/A	N/A
Perdida de Textura	N/A	N/A	N/A	N/A
Perdida de Sello	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla 4.10 Resumen de deterioros encontrados en Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

4.3.1 Cálculo del PCI

A continuación se presenta la memoria de cálculo para la determinación del Índice de Condición del Pavimento en base al tipo, la severidad y la cantidad de deterioros encontrados:

Calculo de los valores Deducidos

Daño	Severidad	N de losas	Densidad %	Valor deducido
Despostillamiento	Baja	67	1	9
	Media	0	0	0
	Alta	0	0	0

Tabla 4.11 Calculo de valores deducidos en Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

Calculo del numero admisible máximo de deducidos

Despostillamiento

No de Interacción	Valores Deducidos			TDV	Q	CDV
1	9	0	0	9	1	12

Tabla 4.12 Calculo del numero admisible máximo de deducidos (Despostillamientos) en Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

Máximo valor deducido corregido: 9

PCI: $100 - 9 = 91$

De acuerdo al rango de calificación del PCI el pavimento se encuentra en Excelente estado.

4.4 Tramo Santa Tecla - La Cuchilla, Carretera Los Chorros

En el levantamiento de deterioros realizado se evaluaron 588 losas pertenecientes al carril externo de la pendiente de ascenso de la carretera, teniendo como resultado 15 losas afectadas por despostillamientos de baja severidad. Cabe mencionar que los carriles centrales no pudieron ser auscultados debido al alto tráfico vehicular de la zona.

De acuerdo a la auscultación visual realizada recorriendo los 1,000 metros de longitud de este tramo, se descarta la existencia de grietas longitudinales, grietas transversales, grietas de esquina, bombeo de finos, y escalonamiento en el pavimento.

Longitud total evaluada: 1000 metros

Total de Losas Evaluadas: 588

Total de Losas Afectadas: 15

Tamaño de losas: 1.7 X 1.7 m

Tipo de daño	Número de Losas Afectadas	Severidad		
		Baja	Media	Alta
Despostillamiento	15	15	N/A	N/A
Grieta de Esquina	N/A	N/A	N/A	N/A
Escalonamiento	N/A	N/A	N/A	N/A
Perdida de Textura	N/A	N/A	N/A	N/A
Perdida de Sello	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla 4.13 Resumen de deterioros encontrados en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

4.4.1 Cálculo del PCI

A continuación se presenta la memoria de cálculo para la determinación del Índice de Condición del Pavimento en base al tipo, la severidad y la cantidad de deterioros encontrados:

Calculo de los valores Deducidos

Daño	Severidad	N de losas	Densidad %	Valor deducido
Despostillamiento	Baja	15	1	9
	Media	0	0	0
	Alta	0	0	0

Tabla 4.14 Calculo de los valores deducidos en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

Calculo del numero admisible máximo de deducidos

Despostillamiento

No de Interacción	Valores Deducidos			TDV	Q	CDV
1	9	0	0	9	1	12

Tabla 4.15 Calculo del numero admisible máximo de deducidos en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

Máximo valor deducido corregido: 9

PCI: $100 - 9 = 91$

De acuerdo al rango de calificación del PCI el pavimento se encuentra en Excelente estado.

4.4.2 Resultados de la Evaluación de la transferencia de carga

La medición de las deflexiones se realizó utilizando un Deflectómetro de Impacto marca Dynatest Modelo 8000, provisto de un plato circular de 30 cm de diámetro. Los ensayos se realizaron aplicando una carga de impacto de 40 kN. La medición de deflexiones se efectuaron en el período comprendido aproximadamente entre las 1:50 a.m. y las 2:30 a.m. del día 18 de diciembre de 2015.

Estación	Junta	Temperatura Ambiente (°C)	Fuerza (kN)	Deflexión en losa cargada (mm)	Deflexión en losa no cargada (mm)	Eficiencia de la transferencia de carga
0+000	1	19.30	39.92	0.2454	0.1077	43.89%
	2	20.70	39.71	0.2459	0.1074	43.68%
0+200	3	21.10	39.64	0.2398	0.1212	50.54%
	4	20.30	39.85	0.2332	0.1227	52.62%
0+401	5	20.60	40.21	0.1089	0.0971	89.16%
0+601	6	20.60	40.10	0.3207	0.1838	57.31%
0+799	7	20.40	40.11	0.1825	0.1147	62.85%
0+800	8	19.80	39.96	0.287	0.1095	38.15%
0+802	9	20.20	40.17	0.3017	0.1385	45.91%
1+000	10	19.60	39.92	0.1212	0.1075	88.70%

Tabla 4.16 Resultados de la evaluación de la transferencia de carga en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

Según los resultados obtenidos del ensayo realizado para la evaluación de la transferencia de carga, la eficiencia de carga promedio es de 57.28%. y de acuerdo a las lecturas de escalonamiento obtenidas, por medio del perfilómetro laser, no se encontraron escalonamientos mayores que 5 mm. Así mismo, el ancho de juntas medido durante los levantamientos es de 5 mm.

4.4.3 Evaluación del IRI

A continuación se presenta el resultado de la evaluación realizada con Perfilómetro Inercial Láser, el cual se configuró para reconocer escalonamientos mayores que 5 mm, sin embargo no se encontraron diferencias mayores que éste valor. Por lo que se descarta la presencia de escalonamiento en el tramo evaluado

Medición	Valor de IRI (m/km)
Rodera Izquierda	2.79
Centro	2.87
Rodera Derecha	2.76
IRI Promedio	2.81

Tabla 4.17 Resultados de la medición del IRI en Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

4.5 Análisis en el Software HIPERPAV III

4.5.1 Intersección By Pass Metapán

Los parámetros para el análisis a corto y largo plazo son presentados a continuación:

PARAMETROS DE TEMPRANA EDAD			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Lluvia acumulada anual	cm	188.1	
Confiabilidad	%	80	
Espesor de losa	cm	18	
Ancho de losa	m	1.6	
Largo de losa	m	1.6	
Tipo de base	-	S/C	
Espesor de base	cm	20	
Módulo de la Sub base		-	
Tipo de cemento	-	III	
Tipo de agregado	-	Basalto	
Tipo de aditivo	-	Retardante	
Cemento	kg/m ³	445	
Agregado grueso	kg/m ³	1230	
Agregado fino	kg/m ³	470	
Agua	kg/m ³	185	
Tipo de esfuerzo		MR	
Esfuerzo a los 28 días	Mpa	45	
Temperatura inicial del concreto	C°	29	
Temperatura inicial de la base	C°	24	
Tipo de curado	-	1 capa	

Edad de aplicación de curado	Horas	2	
Tipo de corte en la junta	-	Verde	
Tiempo de corte	Horas	-	
Corte cada 2 Juntas	-	-	
Corte de junta intermedia	horas	-	
Esfuerzo de apertura de trafico	Mpa	80% MR	
Tipo de esfuerzo	-	MR	
Fecha de inicio de construcción	DD/MM/AAA	25/10/10	
Hora de inicio de construcción	Hora	8 am	
Temperatura	C°	-	
Velocidad del viento	m/s	-	
Humedad	%	-	
Nubosidad	%	-	

Tabla 4.18 Parámetros de entrada a edad temprana para Intersección By Pass Metapán

PARAMETROS DE EDAD TARDÍA			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Periodo de análisis	años	20	
Confiabilidad	%	90	
IRI inicial	m/km	2.25	
Falla máxima de junta	cm	0.3	
Agrietamiento transversal	%	15	
Agrietamiento longitudinal	%	15	
IRI máximo	m/km	3.5	
serviciabilidad mínima	PSI	2.0	
tipo de junta	-	-	
Corte de junta transversal	%	25	
Presión de los neumáticos	psi	120	
ESAL´s anual		264605.25	
Función de crecimiento		Lineal	
Tasa de crecimiento del tráfico	%	11	

Tabla 4.19 Parámetros de entrada a edad tardía para Intersección By Pass Metapán

4.5.1.1 Resultados de análisis a largo plazo

Escalonamiento

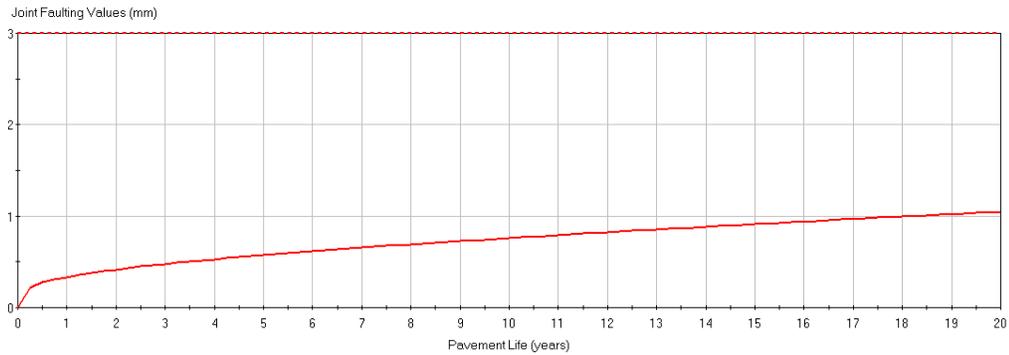


Ilustración 4.1 Escalonamiento según HIPERPAV III, Intersección By Pass Metapán

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que se presente escalonamiento a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

Agrietamiento Transversal

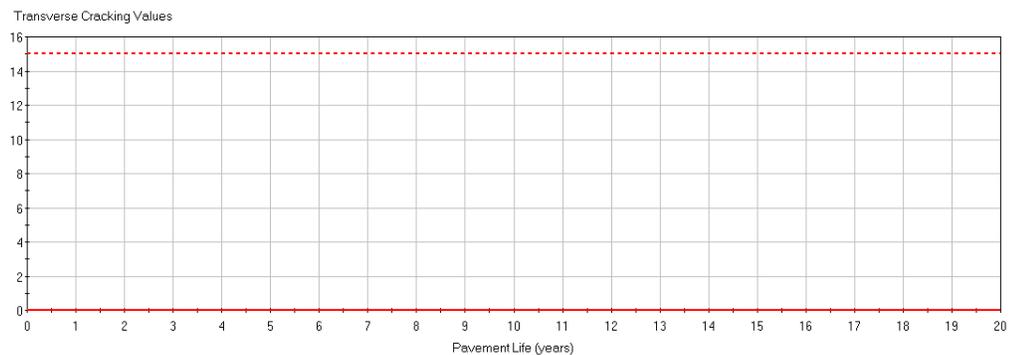


Ilustración 4.2 Agrietamiento Transversal según HIPERPAV III, Intersección By Pass Metapán

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que haya grietas transversales a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

Agrietamiento Longitudinal

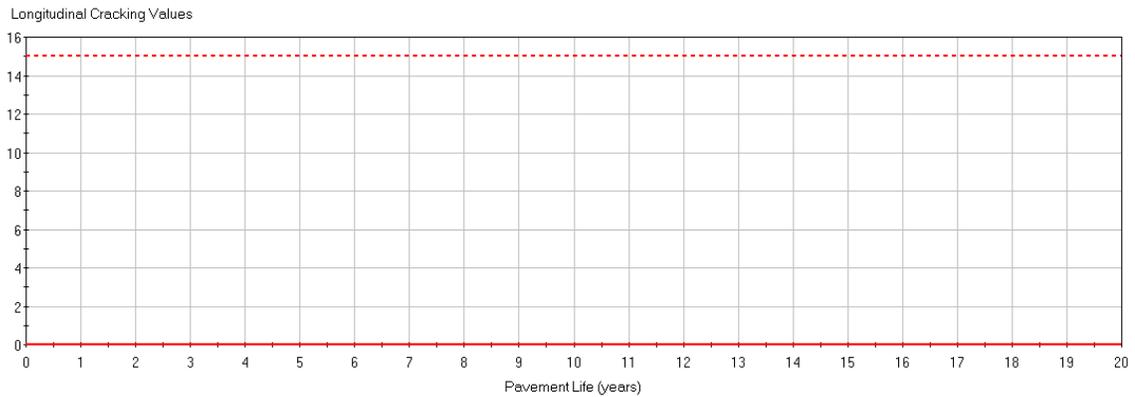


Ilustración 4.3 Agrietamiento longitudinal según HIPERPAV III, Intersección By Pass Metapán

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que haya grietas longitudinales a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

IRI

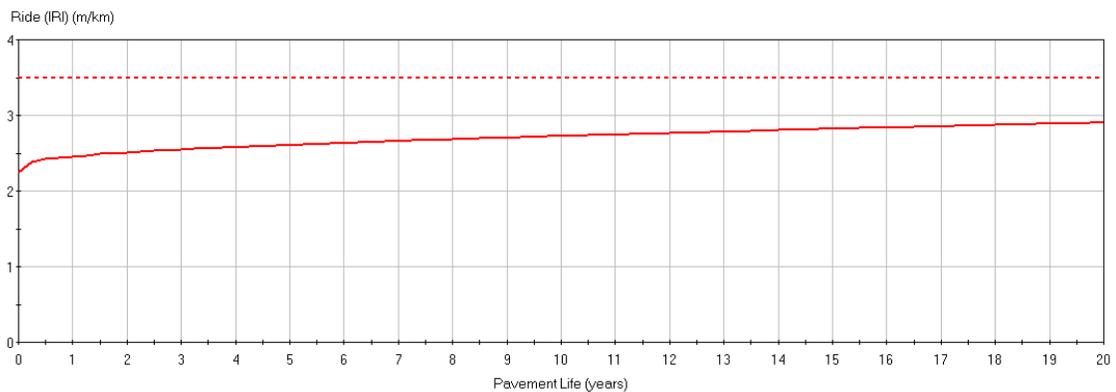


Ilustración 4.4 IRI según HIPERPAV III, Intersección By Pass Metapán

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que el IRI sobrepase el valor máximo de a lo largo de su periodo de diseño.

4.5.2 Calle de Acceso a la Planta de producción de Alba petróleos

Los parámetros para el análisis a corto y largo plazo para las losas de geometría optimizada son presentados a continuación:

PARAMETROS DE TEMPRANA EDAD			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Lluvia acumulada anual	cm		
Confiabilidad	%	90	
Espesor de losa	cm	20	
Ancho de losa	m	1.75	
Largo de losa	m	1.75	
Tipo de base	-	S/C	
Espesor de base	cm	18	
Módulo de la Sub base		-	
Tipo de cemento	-	III	
Tipo de agregado	-	Basalto	
Tipo de aditivo	-	Retardante	
Cemento	kg/m ³	445	
Agregado grueso	kg/m ³	1230	
Agregado fino	kg/m ³	470	
Agua	kg/m ³	185	
Tipo de esfuerzo		MR	
Esfuerzo a los 28 días	Mpa	45	
Temperatura inicial del concreto	C°	29	
Temperatura inicial de la base	C°	24	
Tipo de curado	-	1 capa	
Edad de aplicación de curado	Horas	2	

Tipo de corte en la junta	-	Verde	
Tiempo de corte	Horas	-	
Corte cada 2 Juntas	-		
Corte de junta intermedia	horas		
Esfuerzo de apertura de trafico	Mpa	80% MR	
Tipo de esfuerzo	-	MR	
Fecha de inicio de construcción	DD/MM/AAA	20/04/10	
Hora de inicio de construcción	Hora	8 am	
Temperatura	C°	-	
Velocidad del viento	m/s	-	
Humedad	%	-	
Nubosidad	%	-	

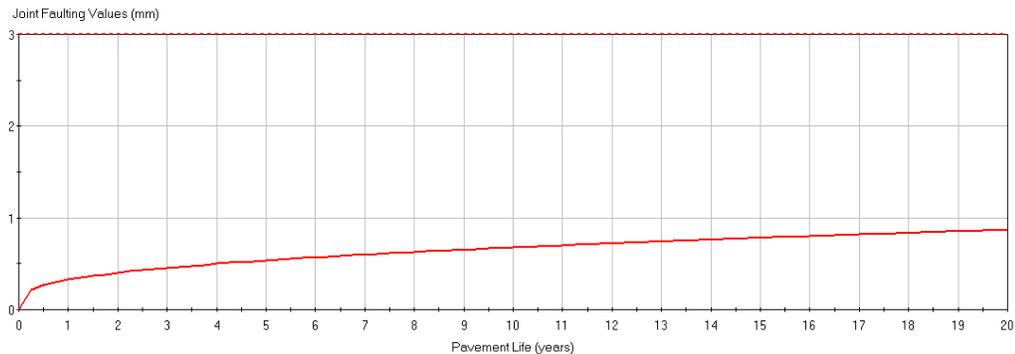
Tabla 4.20 Parámetros de entrada a edad temprana para Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

PARAMETROS DE EDAD TARDÍA			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Periodo de análisis	años	20	
Confiabilidad	%	90	
IRI inicial	m/km	2.25	
Falla máxima de junta	cm	0.3	
Agrietamiento transversal	%	15	
Agrietamiento longitudinal	%	15	
IRI máximo	m/km	3.5	
Serviciabilidad mínima	PSI	2	
Tipo de junta	-	-	
Corte de junta transversal	%	33	
Presión de los neumáticos	psi	120	
ESAL´s anual		295074.4444	
Función de crecimiento		Lineal	
Tasa de crecimiento del tráfico	%	2.0	

Tabla 4.21 Parámetros de entrada a edad tardía para Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

4.5.2.1 Resultados de análisis a largo plazo

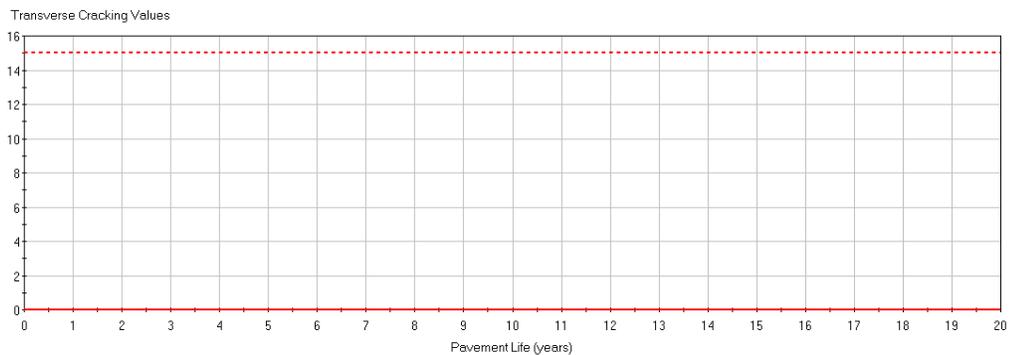
Escalonamiento



**Ilustración 4.5 Escalonamiento según HIPERPAV III,
Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos**

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que se presente escalonamiento a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

Agrietamiento Transversal



**Ilustración 4.6 Agrietamiento transversal según HIPERPAV III,
Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos**

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que haya grietas transversales lo largo del periodo de diseño del pavimento.

Agrietamiento Longitudinal

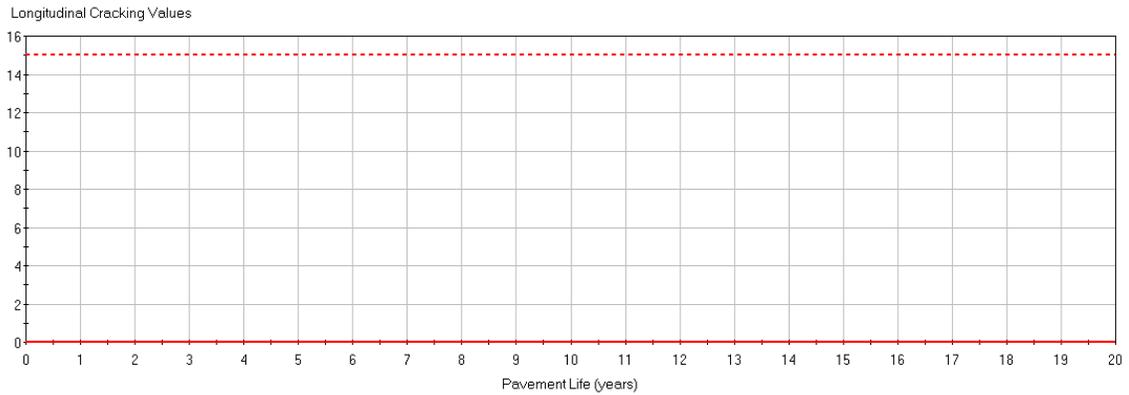


Ilustración 4.7 Agrietamiento longitudinal según HIPERPAV III, Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que haya grietas longitudinales a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

IRI

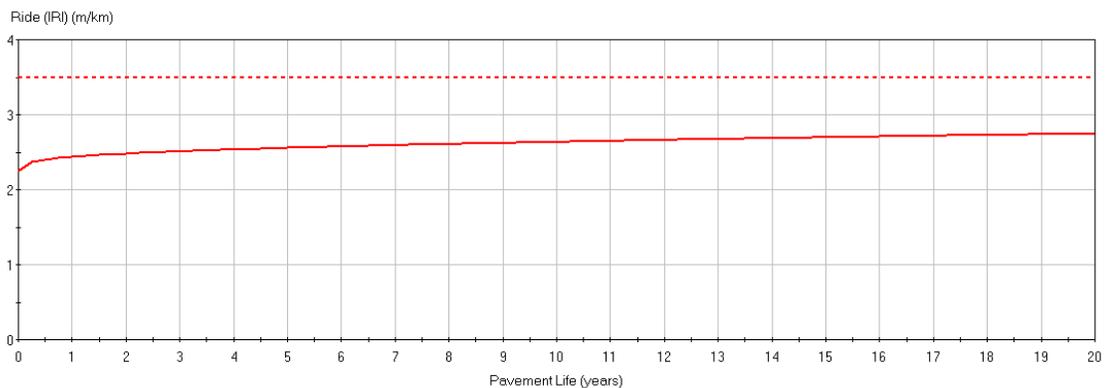


Ilustración 4.8 IRI según HIPERPAV III, Calle de Acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que el IRI sobrepase el valor máximo de a lo largo de su periodo de diseño.

4.5.3 Calle que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre

Los parámetros para el análisis a corto y largo plazo para las losas de geometría optimizada son presentados a continuación:

PARAMETROS DE TEMPRANA EDAD			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Lluvia acumulada anual	cm	220.1	
Confiabilidad	%	80	
Espesor de losa	cm	14	
Ancho de losa	m	1.5	
Largo de losa	m	1.5	
Tipo de base	-	S/C	
Espesor de base	cm	20.5	
Módulo de la Sub base		-	
Tipo de cemento	-	III	
Tipo de agregado	-	Basalto	
Tipo de aditivo	-	Retardante	
Cemento	kg/m ³	445	
Agregado grueso	kg/m ³	1230	
Agregado fino	kg/m ³	470	
Agua	kg/m ³	185	
Tipo de esfuerzo		MR	
Esfuerzo a los 28 días	Mpa	40	
Temperatura inicial del concreto	C°	29	
Temperatura inicial de la base	C°	24	
Tipo de curado	-	1 capa	
Edad de aplicación de curado	Horas	2	

Tipo de corte en la junta	-	Verde	
Tiempo de corte	Horas	-	
Corte cada 2 Juntas	-	-	
Corte de junta intermedia	horas	-	
Esfuerzo de apertura de trafico	Mpa	80% MR	
Tipo de esfuerzo	-	MR	
Fecha de inicio de construcción	DD/MM/AAA	18/12/08	
Hora de inicio de construcción	Hora	8 am	
Temperatura	C°	-	
Velocidad del viento	m/s	-	
Humedad	%	-	
Nubosidad	%	-	

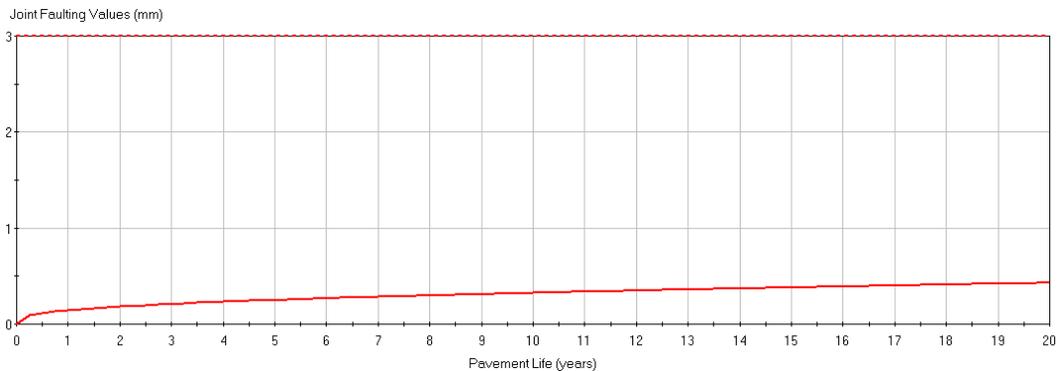
Tabla 4.22 Parámetros de entrada a edad temprana para Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

PARAMETROS DE EDAD TARDÍA			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Periodo de análisis	años	20	
Confiabilidad	%	90	
IRI inicial	m/km	2.25	
Falla máxima de junta	cm	0.3	
Agrietamiento transversal	%	15	
Agrietamiento longitudinal	%	15	
IRI máximo	m/km	3.5	
serviciabilidad mínima	PSI	2	
tipo de junta	-	-	
Corte de junta transversal	%	33	
Presión de los neumáticos	psi	120	
ESAL's anual		139994.9	
Función de crecimiento		Lineal	
Tasa de crecimiento del tráfico	%	2.0	

Tabla 4.23 Parámetros de entrada a edad tardía para Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

4.5.3.1 Resultados de análisis a largo plazo

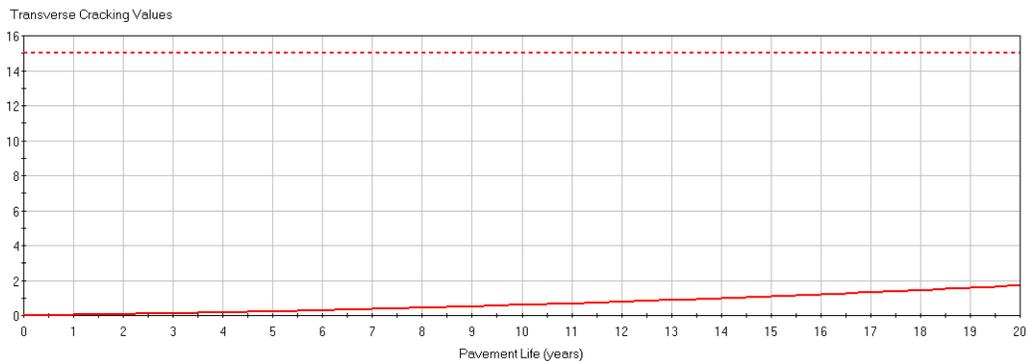
Escalonamiento



**Ilustración 4.9 Escalonamiento según HIPERPAV III,
Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre**

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que se presente escalonamiento a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

Agrietamiento Transversal



**Ilustración 4.10 Agrietamiento transversal según HIPERPAV III,
Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre**

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que haya grietas transversales a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

Agrietamiento Longitudinal

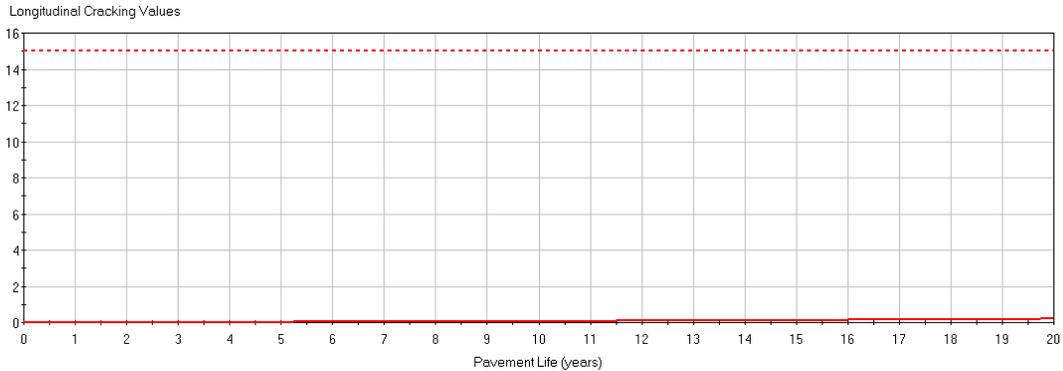


Ilustración 4.11 Agrietamiento longitudinal según HIPERPAV III, Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que haya grietas longitudinales a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

IRI

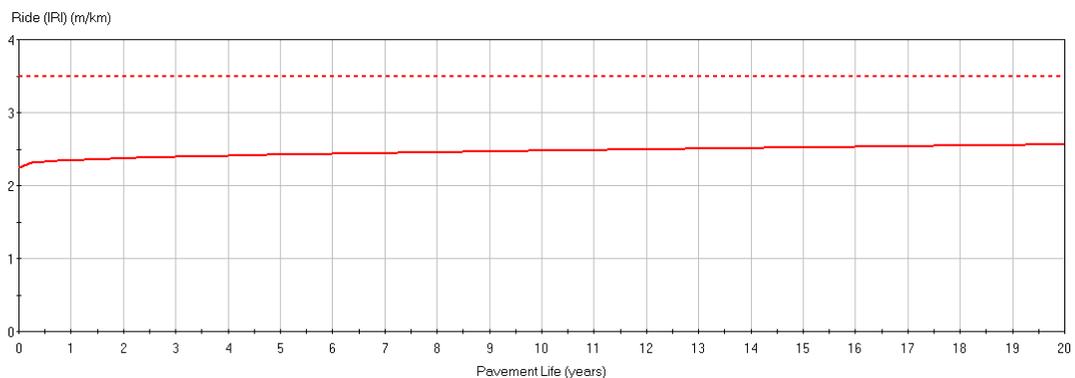


Ilustración 4.12 IRI según HIPERPAV III, Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que el IRI sobrepase el valor máximo a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

4.5.4 Tramo Santa Tecla – La cuchilla, Carretera los Chorros

Los parámetros para el análisis a corto y largo plazo para las losas de geometría optimizada son presentados a continuación:

PARAMETROS DE TEMPRANA EDAD			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Lluvia acumulada anual	cm	218.2	
Confiabilidad	%	80	
Espesor de losa	cm	24	
Ancho de losa	m	1.7	
Largo de losa	m	1.7	
Tipo de base	-	S/C	
Espesor de base	cm	25	
Módulo de la Sub base		-	
Tipo de cemento	-	III	
Tipo de agregado	-	Basalto	
Tipo de aditivo	-	Retardante	
Cemento	kg/m ³	437	
Agregado grueso	kg/m ³	1129	
Agregado fino	kg/m ³	608	
Agua	kg/m ³	179	
Tipo de esfuerzo		MR	
Esfuerzo a los 28 días	Mpa	50	
Temperatura inicial del concreto	C°	29	
Temperatura inicial de la base	C°	24	
Tipo de curado	-	1 capa	
Edad de aplicación de curado	Horas	2	

Tipo de corte en la junta	-	Verde	
Tiempo de corte	Horas	-	
Corte cada 2 Juntas	-	-	
Corte de junta intermedia	horas	-	
Esfuerzo de apertura de trafico	Mpa	80% MR	
Tipo de esfuerzo	-	MR	
Fecha de inicio de construcción	DD/MM/AAA	01/11/13	
Hora de inicio de construcción	Hora	8 am	
Temperatura	C°	-	
Velocidad del viento	m/s	-	
Humedad	%	-	
Nubosidad	%	-	

Tabla 4.24 Parámetros de entrada a edad temprana para Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

PARAMETROS DE EDAD TARDÍA			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Periodo de análisis	años	15	
Confiabilidad	%	80	
IRI inicial	m/km	2.25	
Falla máxima de junta	cm	0.3	
Agrietamiento transversal	%	15	
Agrietamiento longitudinal	%	15	
IRI máximo	m/km	3.5	
serviciabilidad mínima	PSI	2.0	
tipo de junta	-	-	
Corte de junta transversal	%	33	
Presión de los neumáticos	psi	120	
ESAL´s anual		2683632.157	
Función de crecimiento		Lineal	
Tasa de crecimiento del tráfico	%	2.04	

Tabla 4.25 Parámetros de entrada a edad tardía para Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

4.5.4.1 Resultados de análisis a largo plazo

Escalonamiento

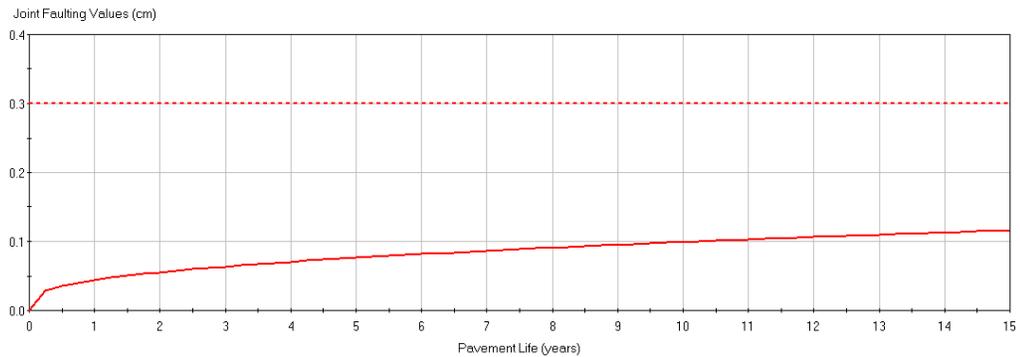


Ilustración 4.13 Escalonamiento según HIPERPAV III, Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que se presente escalonamiento a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

Agrietamiento Transversal

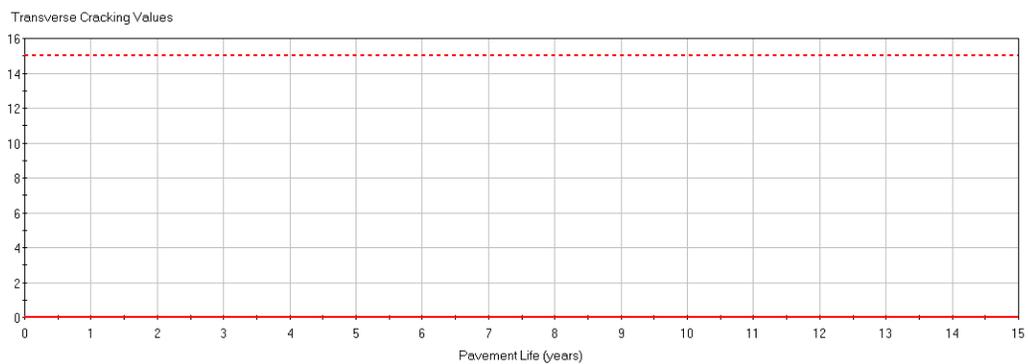


Ilustración 4.14 Agrietamiento transversal según HIPERPAV III, Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que haya grietas transversales a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

Agrietamiento Longitudinal

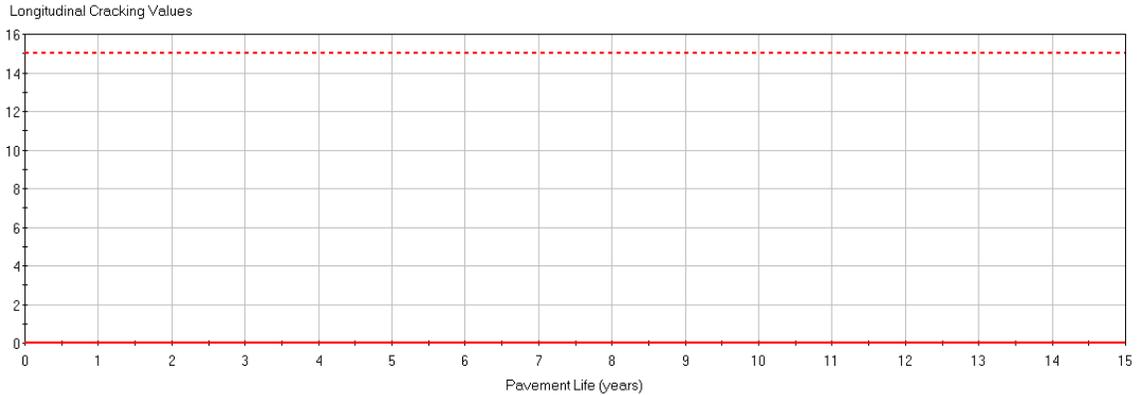


Ilustración 4.15 Agrietamiento longitudinal según HIPERPAV III, Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que haya grietas Longitudinales a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

IRI

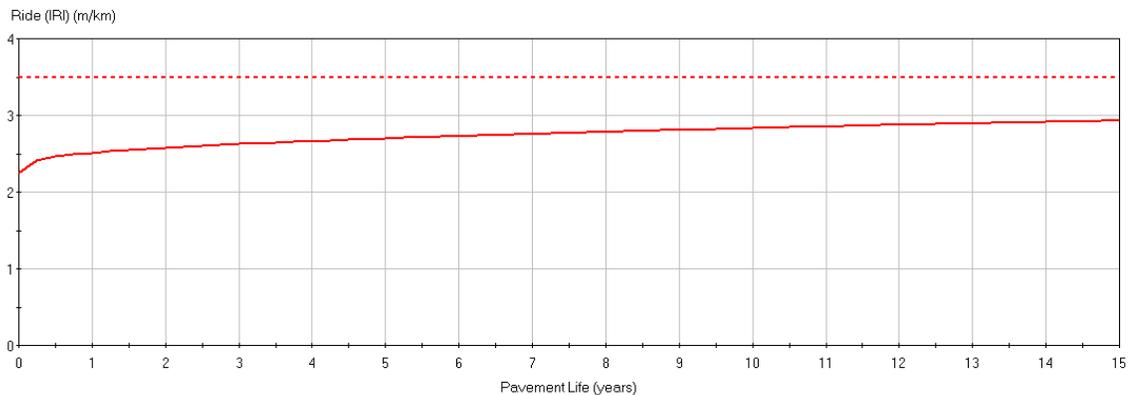


Ilustración 4.16 IRI según HIPERPAV III, Tramo Santa Tecla – La Cuchilla, Carretera Los Chorros

De acuerdo a la gráfica mostrada, no se espera que el IRI sobrepase el valor máximo de a lo largo de su periodo de diseño.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos del levantamiento de deterioros para cada tramo de estudio evidenció la ausencia de grietas longitudinales y grietas transversales, lo cual es teóricamente consistente con el concepto de diseño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada, ya que el dimensionamiento de las losas disminuye los esfuerzos de tracción y alabeo en las losas. Así mismo por medio de la prueba de la cadena realizada se descartó la existencia de bombeo de finos para cada tramo de estudio evaluado.
2. Mediante la auscultación visual realizada en cada tramo de estudio se encontró que el despostillamiento y la pérdida del sello de juntas es el daño predominante en este tipo de pavimentos.
3. Por medio del Levantamiento de deterioros realizado en el tramo de estudio By Pass Metapán, se logró determinar que el pavimento se encuentra en muy buen estado de acuerdo al Índice de condición del pavimento. Encontrándose, que la mayor parte de deterioros se encuentra en el borde de las losas carrileras, esto debido a que el efecto abrasivo del tráfico es mayor debido a la cantidad de material granular que invade el carril.

4. Por medio del levantamiento de deterioros realizado en la calle de acceso a la Planta de Producción de Alba Petróleos, se logró determinar que el pavimento se encuentra en excelente estado de acuerdo al Índice de condición del pavimento. Conforme a la medición obtenida de escalonamiento por medio del equipo Dipstick se determinó que no se encuentran escalonamientos mayores que 5 mm. Adicionalmente, por medio de la evaluación de la transferencia de carga realizada con el Deflectómetro de Impacto se determinó que la eficiencia de transferencia de carga tiene un valor promedio de 91.36%.

5. A través del Levantamiento de deterioros realizado en la calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre, se logró determinar que el pavimento se encuentra en excelente estado de acuerdo al Índice de condición del pavimento. En la vía se encontró que la abertura de la junta longitudinal central, en algunos tramos era mayor que una pulgada, esto debido a diversos factores constructivos, sin embargo, esto no afecta la condición del pavimento, ya que se le brinda un mantenimiento periódico a la junta longitudinal.

6. Por medio del levantamiento de deterioros realizado en el tramo Santa Tecla – La Cuchilla, de la carretera CA-1, se logró determinar que el pavimento se encuentra en excelente estado de acuerdo al Índice de condición del pavimento. Conforme a la medición realizada con el Perfilómetro Inercial Laser, se determinó que no hay escalonamientos mayores que 5 mm, así mismo, se determinó que el IRI promedio del tramo evaluado es de 2.81, el cual es un valor superior al valor esperado para el tiempo de servicio de la vía conforme a la modelación realizada

en el programa HIPERPAV III. En virtud de no contar con información histórica de este parámetro, no es posible establecer si es producto de su evolución provocada por la acción del tráfico. Adicionalmente, por medio de la evaluación de la transferencia de carga realizada con el Deflectómetro de Impacto se determinó que la eficiencia de transferencia de carga tiene un valor promedio de 57.28%.

7. La guía de diseño AASTHO 93, establece que la transferencia de carga por trabazón de agregados disminuye por las cargas repetitivas de tráfico. Valores inferiores al 50% de eficiencia de transferencia de carga, son valores típicos de juntas en las que la transferencia de carga se da únicamente por trabazón de agregados.
8. En lo que respecta a los resultados obtenidos del ensayo de transferencia de carga realizado en el tramo Santa Tecla – La cuchilla de la carretera CA-1, es probable que el ancho de las juntas y las cargas repetitivas por el tráfico, sean factores que han contribuido a la disminución de la transferencia de carga del pavimento.

RECOMENDACIONES

1. Las Sub bases que se utilicen para los pavimentos rígidos de geometría optimizada deberían ser Sub bases no erosionables, que generen un buen soporte a la estructura del pavimento.
2. Las juntas de los pavimentos rígidos de geometría optimizada deben sellarse antes de la apertura al tráfico para garantizar que no haya entrada de material incompresible suelto, ni infiltraciones de agua. Esto con el fin de impedir el daño de las juntas, la erosión de la base y el bombeo de finos.
3. Cuando se construyan pavimentos rígidos de geometría optimizada, se debe contar con suficiente personal capacitado y equipo de corte apropiado, tal que permita realizar los cortes de juntas con el ancho requerido, de igual forma, se recomienda realizar la limpieza de juntas con aire comprimido previo a la colocación del sello.

4. Se debe evaluar el tipo de material del sello a utilizar de acuerdo a las condiciones particulares de cada pavimento. Así mismo, se recomienda acatar las instrucciones del fabricante con respecto al mantenimiento periódico del sello de juntas.
5. Evaluar anualmente el estado de los pavimentos rígidos de geometría optimizada para monitorear su desempeño conforme el paso del tiempo.
6. A futuros estudios, profundizar en la relación existente entre los cambios de temperatura, el ancho de la junta, la carga vehicular con el fin de determinar de qué manera estos factores contribuyen a la disminución de la transferencia de carga.
7. A futuras investigaciones, estudiar de qué manera influye el diseño de la mezcla de concreto en la transferencia de carga. Esto, considerando que la granulometría de los agregados podría ser un factor importante en la eficiencia de transferencia de carga.

BIBLIOGRAFIA

- Método de Diseño de losas de dimensiones superficiales optimizadas en pavimentos de concreto hidráulicos.
Universidad de El Salvador, año 2014.
- Verificación de los modelos de confiabilidad de los modelos de deterioros para pavimentos rígidos en El Salvador.
Universidad de El Salvador Año 2011.
- Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada
Revista Ingeniería de Construcción Vol. 27 N°3
Juan Pablo Covarrubias
TCPavements, Santiago, Chile.
- Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas
Instituto Boliviano del cemento y el hormigón.
- Gestión de Infraestructura Vial, 3ª Edición
Hernán de Solminihaq T.
- Distress Identification Manual for the Long-Term pavement performance project, Publication SHRP-P- 338.
Strategic Highway Research Program, 1993
- Pavement Condition Index (PCI)
United States Army Corps of Engineers

- ASTM E 950-98 (Standard Test Method For Measuring The Longitudinal Profile Of Traveled Surfaces With An Accelerometer Established Inertial Profiling Reference).
- LTPP Manual for Profile Measurements and Processing
Publication Number: FHWA-HRT-08-056
Federal Highway Administration Research and Technology
- LTPP Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements
Operational Guidelines
Version 3.1
Federal Highway Administration Research and Technology
- The Little Book of Profiling
Basic Information About Measuring and Interpreting Road Profiles
Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas
- Concrete-Based Guidelines for Concrete Pavements: HIPERPAV ® III
USER MANUAL, Publication No. FHWA-HRT-09-048
Federal Highway Administration, 2009
- Manual Centro Americano de mantenimiento de carreteras, con enfoque de riesgo y seguridad vial.
SIECA, 2010
- Guide for optimum joint performance of concrete pavements
National Concrete Pavement Technology Center, 2012

ANEXOS

Memoria Fotográfica

Intersección By Pass Metapán



Condición Actual del Pavimento



Prueba de la Cadena



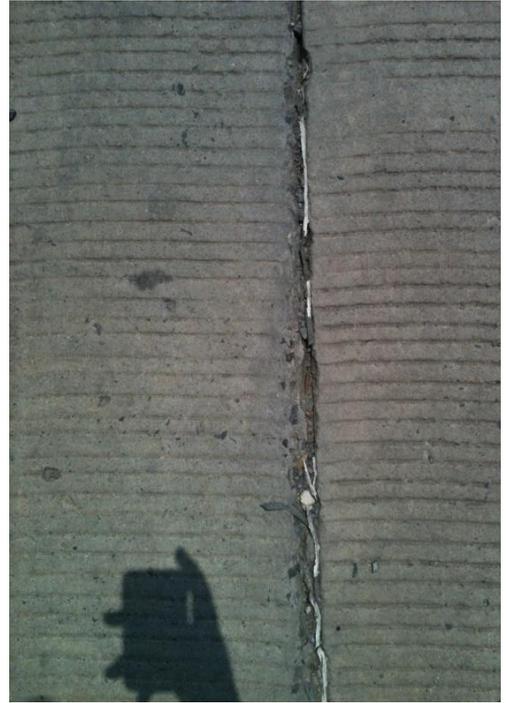
Despostillamiento



Despostillamiento



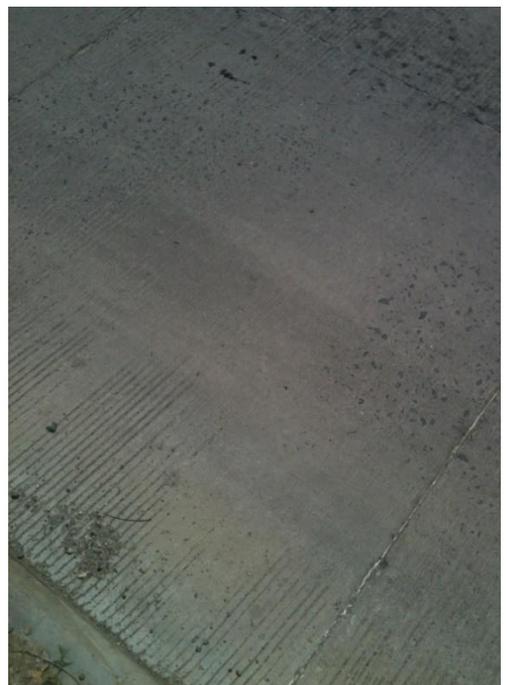
Despostillamiento



Pérdida del sello de Juntas



Despostillamiento



Pérdida de Textura Superficial

Calle de Acceso a la planta de Producción de Alba petróleoos



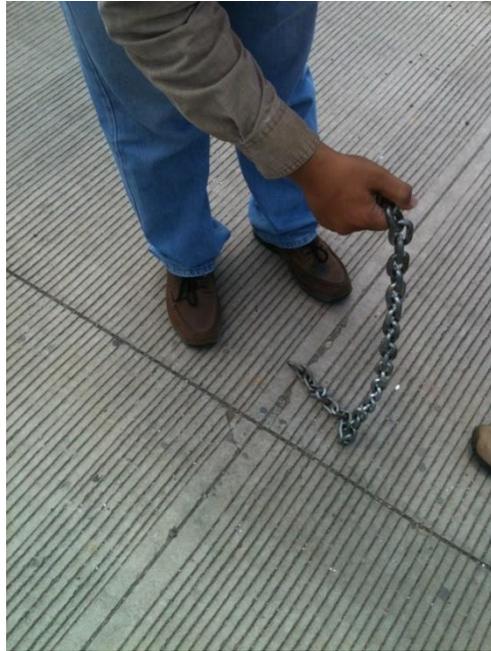
Dispositivo de seguridad vial



Condición Actual del Pavimento



Tráfico habitual



Prueba de la Cadena



Lectura de Escalonamiento



Escalonamiento



Despostillamiento

Calle que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre



Condición Actual del Pavimento



Ancho de Junta central



Despostillamiento



Despostillamiento

Tramo Santa Tecla - La cuchilla, Carretera Los Chorros



Mediciones con el Perfilómetro Láser



Mediciones con el Deflectómetro de Impacto



Despostillamiento



Despostillamiento



Mediciones con el Deflectometro de Impacto



Colocación del Plato de Carga

Gestión Realizada

San Salvador, 21 de mayo de 2015

Ing. Daniel Hernández
Unidad de Investigación y Desarrollo Vial
Presente

Estimado Director, reciba un cordial saludo esperando que su gestión esté marchando acorde a las metas y planificación que usted preside.

Sabemos que como Unidad de Investigación y Desarrollo Vial del Ministerio de Obras Públicas, una de las funciones principales es el desarrollo de trabajos de investigación concernientes al área de la Ingeniería civil. Es por ello que en calidad de estudiantes Egresados de la Universidad de El Salvador, acudimos a usted para solicitar de manera muy cordial el préstamo del Deflectómetro de Impacto, y el perfilómetro, equipo que nos permitiría desarrollar exitosamente nuestro trabajo de graduación para optar al título de Ingeniero civil.

Nuestra investigación tiene por nombre "Evaluación del Desempeño de los Pavimentos Rígidos de Geometría Optimizada". En dicha investigación se pretende evaluar el estado actual de los pavimentos rígidos diseñados con esta metodología, comúnmente conocida como diseño de losas cortas. Mediante los resultados obtenidos, se podrán formular recomendaciones que permitan enriquecer los parámetros de diseño de pavimentos rígidos en nuestro país.

Como parte fundamental de la investigación se evaluarán 4 tramos de carreteras, en las cuales se realizará un levantamiento de deterioros presentes, evaluación de escalonamiento y transferencia de carga, siendo las carreteras sujetas a estudio las siguientes:

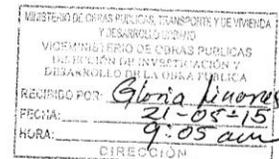
1. Carretera que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre.
2. Carretera Los chorros.
3. Calle de Acceso a la planta de producción de Albapetroleos, Acajutla.
4. Bypass en Metapán.

Sin más que añadir, nos subscribimos a usted en la espera de una respuesta favorable.

Atentamente.

F. 
Ulises Alfredo López Cruz

F. 
Jonathan Alberto Villeda Rivas



Carta 1 Gestión realizada en el MOP para el Préstamo de Equipo



VICEMINISTERIO DE TRANSPORTE
WWW.VMT.GOB.SV

Ref. 311

En la Oficina de Información y Respuesta del Viceministerio de Transporte, Santa Tecla, a las once horas con diez minutos del día diez de abril de dos mil quince.

El suscrito Oficial de Información **CONSIDERANDO** que:

El día once de marzo del presente año en curso se recibió solicitud de acceso a la información pública de parte del señor **JONATHAN ALBERTO VILLEDA RIVAS** en la cual requiere: **"EL TPDA DE LAS CARRETERAS LOS CHORROS Y CARRETERA HACIA ILOBASCO-PRESA 5 DE NOVIEMBRE"**.

Con base a las atribuciones de las letras d), i) y j) del artículo 50 de la Ley de Acceso a la Información Pública le corresponde al Oficial de Información realizar los trámites necesarios para la localización y entrega de la información solicitada por los particulares, y resolver sobre las solicitudes de información que se sometan a su conocimiento.

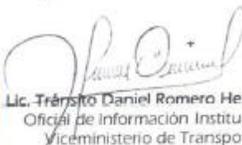
A partir del deber de motivación genérico establecido en el artículo 65 y 72 LAIP, las decisiones de los entes obligados deberán entregarse por escrito al solicitante, con mención breve pero suficiente de sus fundamentos, el suscrito debe establecer los razonamientos de su decisión sobre el acceso a la información.

Que este día se ha recibido de la Dirección de Planificación de la Obra Pública del Ministerio de Obras Públicas, Transporte, de Vivienda y de Desarrollo Urbano, copia simple del estudio de tránsito promedio anual realizado en las vías de interés solicitadas, se aclara a la vez que el estudio más reciente con el que se cuenta data del año 2010.

Con base a las disposiciones legales citadas y los razonamientos antes expuestos, se **RESUELVE**:

- Entréguese copia simple del Tráfico Promedio Anual que fue solicitado.
- Notifíquese al interesado en la forma previamente establecida.




Lic. Tránsito Daniel Romero Hernández
Oficial de Información Institucional
Viceministerio de Transporte.

OFICINA DE INFORMACIÓN Y RESPUESTA

Viceministerio de Transporte

Km. 9 1/2, Carretera al Puerto de La Libertad, frente a TECUN, Santa Tecla, La Libertad. Tel. 22133-3607.
Correo Electrónico oir.vmt@mop.gob.sv.

Carta 2 Gestión realizada en el VMT solicitando el TPDA de la Carretera Los Chorros y la Calle que conduce de Ilobasco hacia la Presa 5 de Noviembre



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ARCHIVO

Ciudad Universitaria , 14 de julio de 2015

Ing. Daniel Hernández
 Director de la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial
 Presente.-

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y DEVENIDA Y DESARROLLO URBANO VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS PERECCION DE INVESTUACION Y DESARROLLO DE LA OBRA PUBLICA
RECIBIDO POR: <i>Galona Ninos</i>
FECHA: <i>15-07-15</i>
HORA: <i>11:30 am</i>
DIRECCION

Respetable Ingeniero Hernández:

Reciba un cordial saludo, deseándole éxitos en el desarrollo de su gestión.

El motivo de la presente es para hacer constar que los **Brs. Ulises Alfredo López Cruz** y **Jonathan Alberto Villeda Rivas**, son egresados de la carrera de Ingeniería Civil, actualmente se encuentran desarrollando su Trabajo de Graduación denominado **"Evaluación del Desempeño de los Pavimentos Rígidos de Geometría Optimizada"**, dicha investigación pretende evaluar el estado actual de los pavimentos rígidos diseñados con la metodología, conocida como diseño de losas cortas, mediante los resultados obtenidos, podrán formular recomendaciones que permitan enriquecer los parámetros de diseño de pavimentos rígidos en el País.

Por tanto, como parte fundamental de la investigación evaluarán 4 tramos de carreteras, en las cuales realizaran un levantamiento de deterioros presentes, evaluación de escalonamiento y transferencia de carga, para lo cual solicitan el préstamo de un Deflectometro de Impacto y un Perfilómetro Laser, equipo que les permitirá realizar el estudio mencionado en las carreteras siguientes:

1. Carretera que conduce de Ilobasco hacia la presa 5 de Noviembre.
2. Carretera Los chorros.
3. Calle de Acceso a la planta de producción de Alba Petróleos, Acajutla.
4. Bypass en Metapán.

En espera de una respuesta favorable, me suscribo.

Atentamente,

"Hacia la Libertad por la Cultura"

Edgar

Ph.D. Edgar Armando Peña Figueroa
 Director de la Escuela de Ingeniería Civil



RECIBIDO DIRECCION GENERAL DEL VICEMINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
15 JUL, 2015
Hora: <i>11:22 am</i>
Firma: <i>Jonathan</i>

C. C. Ing. Tony Sacedona / Director Genl UROP

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de Julio" San Salvador,
 El Salvador, C.A. Tel.: 2225-7564.

Carta 3 Gestión realizada en el MOP para el préstamo de equipo

San Salvador, 26 de Agosto de 2015

Ing. Marlon Ruíz
Gerente Técnico FOVIAL
Presente

Estimado Director, reciba un cordial saludo esperando que su gestión esté marchando acorde a las metas y planificación que usted preside.

Somos un grupo de estudiantes egresados de la Universidad de El Salvador, que realizamos nuestro trabajo de graduación en el área de pavimentos rígidos, nuestra tesis tiene por nombre "Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada". Parte fundamental del estudio comprende la evaluación de la transferencia de carga entre losas adyacentes, la cual será evaluada utilizando el Deflectómetro de Impacto (FWD) de la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial del MOP.

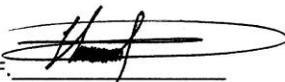
Por parte del MOP, ya se aprobó el préstamo del equipo para evaluar dos tramos de carreteras, siendo estas: La calle de acceso a la planta de producción de Alba Petróleos en Acajutla, y un tramo de la carretera los chorros, levantando un total de 10 puntos (5 en cada tramo de carretera).

No obstante, para poder continuar con la gestión y realizar los levantamientos, necesitamos garantizar al MOP que se tomaran en cuenta todas las medidas de seguridad correspondientes antes de poder coordinar la salida a campo, en la que se pretende evaluar ambos tramos en la misma noche.

El uso operacional de dicho equipo, requiere de una logística que garantice reducir el riesgo a la seguridad de los operadores que estarán expuestos al flujo vehicular, así como también para los usuarios de la red vial. La metodología para el levantamiento de datos requiere que las mediciones se lleven a cabo por la noche, por lo que le solicitamos apoyo en cuanto al control temporal de tráfico utilizando los respectivos dispositivos de seguridad tales como Conos, luces, Pantalla electrónica, torres reflectivas etc. De igual forma solicitamos el apoyo con banderilleros y personal de limpieza, ya que el equipo a utilizar requiere del cuidado especial de los geófonos y el plato de carga al momento de realizar el levantamiento en cada uno de los puntos.

Sin más que añadir, nos subscribimos a usted a la espera de una respuesta favorable.

Atentamente.



F. _____
Ulises Alfredo López Cruz
DUI: 04314621-9
CEL.: 7062-1246



F. _____
Jonathan Alberto Villeda Rivas
DUI: 04155305-4
CEL.: 7701-0830

CC: Ing. Víctor Orellana

Carta 4 Gestión realizada en FOVIAL solicitando apoyo en los levantamientos a realizar



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Ciudad Universitaria, 17 de septiembre de 2015

Ingra. Celina Kattan
Directora general del Observatorio Nacional
Presente.-

Respetable Ingra. Kattan:

Le saludo cordialmente en representación de la Escuela de Ingeniería Civil, deseándole éxitos

Por este medio se hace constar que los Bachilleres: **Ulises Alfredo López Cruz** y **Jonathan Alberto Villeda Rivas**, son estudiantes egresados de la Carrera y se encuentran en el desarrollo del Trabajo de Graduación, denominado **"EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS DE GEOMETRÍA OPTIMIZADA"**, por lo que se solicita su apoyo en el sentido de proporcionar información referente a la Temperatura, Velocidad del viento, Humedad y nubosidad para las 72 horas posteriores a la fecha indicada de la estación más cercana para cada tramo de estudio. Así mismo solicitamos el registro anual de lluvias para los respectivos años mencionados (años 2008, 2010 y 2013):

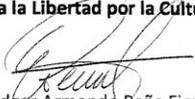
Carretera	Fecha
Los Chorros	1 Octubre 2013
Bypass Metapán (Calle a planta cementera HOLCIM)	25 Octubre 2010
Acajutla (Calle de Acceso a la planta de Alba Petróleos)	20 Abril 2010
Ilobasco-Presa 5 Noviembre	18 de Diciembre 2008

Esta información será utilizada para modelar el comportamiento de dichas carreteras en el programa HIPEPAV III, que forma parte del trabajo mencionado.

Agradeciendo su atención, y en la espera de una respuesta favorable, me suscribo.

Atentamente,

"Hacia la Libertad por la Cultura"


Ph.D. Edgar Armando Peña Figueroa
Director de la Escuela de Ingeniería Civil



Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de Julio" San Salvador,
El Salvador, C.A. Tel.: 2225-7564.

Carta 5 Gestión realizada en el SNET solicitando información sobre las condiciones climatológicas de cada zona de estudio



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

San Salvador, 08 de septiembre de 2015

Ing. Miguel Ángel Martínez
 Director de Planificación de Obras Públicas
 Presente.-

Respetable Ingeniero Martínez:

Reciba un cordial saludo, en representación de la Escuela de Ingeniería Civil, deseándole éxitos y bendiciones en sus actividades profesionales.

Por este medio informo que los **Br. Jonathan Alberto Villeda Rivas** DUI 04155305-4 y **Br. Ulises Alfredo López Cruz** DUI 04314621-9, son estudiantes egresados de la Escuela de Ingeniería Civil, se encuentran realizando el trabajo de graduación **"EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS DE GEOMETRÍA OPTIMIZADA"**, siendo el Docente Asesor el Ing. Mauricio Ernesto Valencia, por tanto se solicita su colaboración la cual consiste en proporcionar información de datos de la Carretera los Chorros y la Carretera de Ilobasco a la Presa 5 de Noviembre, según el detalle siguiente:

- Módulo de Ruptura del Pavimento
- Diseño de la mezcla de Concreto (proporcionamiento)
- Esfuerzo de Apertura el Tráfico
- Tipo de base y Espesor
- Módulo de la sub base
- Fecha y hora de inicio de la Construcción
- Periodo de Análisis de Diseño
- Confiabilidad
- Iri Inicial
- ESAL'S Anual para el Periodo de Diseño
- Tasa de crecimiento del tráfico y tipo de crecimiento (lineal exponencial o logarítmico)



2528 3018. DPOP-0137/2015

Cabe mencionar que los datos proporcionados serán utilizados para modelar el comportamiento de los Pavimentos sujetos a análisis en el Programa HIPERPAV III 3.2., los Bachilleres Villeda Rivas y López Cruz pueden ser contactados a los tel. 7701-0830 y correo: jonathan.villeda@hotmail.com, al 7481-5235 correo: ulises9mail@gmail.com, respectivamente.

Agradeciendo su atención a la presente y en espera de una respuesta favorable, me suscribo.

Atentamente,

"Hacia la libertad por la Cultura"

Ph.D. Edgar Armando Peña Figueroa
 Director de la Escuela de Ingeniería Civil



2528-3016
 Georgina Sánchez

/rfg.

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de Julio" San Salvador,
 El Salvador, C.A. Tel.: 2225-7564.

Carta 6 Gestión realizada en el MOP solicitando parámetros de diseño de los tramos a evaluar

Ref. S/R
MOP-VMOP-DPOP-SAOPIV-1404/2015
San Salvador, 22 de septiembre de 2015.

Asunto: Solicitud Información para trabajo de graduación: "Evaluación del Desempeño de los Pavimentos Rígidos de Geometría Optimizada".

Ingeniero
Miguel Napoleón Mendoza
Gerente de Planificación
Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)
Presente



Estimado Ingeniero Mendoza:

En esta ocasión, me refiero a nota sin número de referencia suscrita por el Ph.D. Edgar Armando Peña Figueroa, Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador (UES), en la cual informa que los Bachilleres Jonathan Alberto Villedas Rivas y Ulises Alfredo López Cruz, se encuentran realizando el trabajo de graduación denominado "Evaluación del Desempeño de los Pavimentos Rígidos de Geometría Optimizada"; por lo que solicita la colaboración en el sentido de proporcionar información de la carretera Los Chorros y de la carretera que de Ilobasco conduce a la presa 5 de noviembre, según el detalle siguiente:

Módulo de Ruptura del Pavimento	Período de análisis de diseño
Diseño de la mezcla de concreto (proporción)	Confiability
Esfuerzo de apertura al tráfico	IRI Inicial
Tipo de base y espesor	ESAL'S Anual para el periodo de diseño
Módulo de la Sub base	Tasa de crecimiento del tráfico y tipo de crecimiento (lineal exponencial o logarítmico)
Fecha y hora de inicio de la construcción	

Los datos que se proporcionen serán utilizados para modelar el comportamiento de los pavimentos sujetos a análisis en el programa HIPERPAV III 3.2.; en ese sentido traslado la presente solicitud, a fin que los bachilleres Villedas y López puedan obtener dicha información, de proyectos realizados por FOVIAL.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.



Ing. Miguel Ángel Martínez Márquez
Director de Planificación de la Obra Pública
Viceministerio de Obras Públicas



Anexo: Antecedente

C C.: Arq. Eliud Ulises Ayala / Viceministro de Obras Públicas
Dr. Felipe Alexander Rivas Villatoro / Director Ejecutivo / FOVIAL
Ing. Dionicio Alberto Ramirez / Subdirector de Administración de Obras de Paso y de Inventarios Viales / DPOP

IGEL/SAOPIV



Plantel La Lechuza, km 5 ½ Alameda Manuel Enrique Araujo, contiguo al Centro Internacional de Ferias y Convenciones - CIFCO, San Salvador
Teléfonos: 2528-3016, 2528-3018.
Correo electrónico: miguel.martinez@mop.gob.sv

Carta 7 Gestión realizada en FOVIAL solicitando parámetros de diseño de los tramos a evaluar

Antiguo Cuscatlán, 07 de octubre de 2015

Ingeniero**Edwin Alvarenga**

Gerente de Investigación y Desarrollo

Dirección de Investigación y Desarrollo de la Obra Pública

DIDOP-VMOP

Presente

Estimado Ingeniero Alvarenga:

En relación a la solicitud de los bachilleres Ulises Alfredo López Cruz y Jonathan Alberto Villeda Rivas, estudiantes de la Universidad de El Salvador, quienes están solicitando apoyo de parte de FOVIAL, para proporcionar los respectivos dispositivos de seguridad de control temporal de tráfico, necesarios para desarrollar los trabajos de auscultación que están programando llevar a cabo con el equipo FWD del VMOP; al respecto, deseamos informar que actualmente estamos coordinando con las empresas encargadas del mantenimiento de vías en la zona que se pretende auscultar, con el objeto de proporcionar el apoyo solicitado por dichos estudiantes.


Ing. Marlon Ruiz
GERENTE TÉCNICO
FONDO DE CONSERVACIÓN VIAL

C.c. Archivo.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	
VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS	
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA OBRA PÚBLICA	
RECIBIDO POR:	<i>Alcira Cerdas</i>
FECHA:	<i>12-10-15</i>
HORA:	<i>3:37 pm</i>

Subdirección de Investigación y Desarrollo

Kilómetro 10 ½ carretera al Puerto de La Libertad, Antiguo Cuscatlán, La Libertad. www.fovial.com



Carta 8 Respuesta por parte del FOVIAL confirmando el apoyo a brindar en los levantamientos



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

Ciudad Universitaria, 11 de Diciembre de 2015

Cmdo. Mauricio Ernesto Ramírez Landaverde
Director General PNC
Presente

Reciba un cordial saludo deseando que sus actividades y proyectos se estén desarrollando de la mejor manera.

Por este medio le comunicamos que somos estudiantes egresados de la Universidad de El Salvador y nos encontramos realizando nuestro trabajo de graduación denominado: **“Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada.”** En el cual se realizan levantamientos de deterioros a determinadas carreteras de concreto hidráulico. Como parte fundamental de la investigación, se contempla realizar la evaluación de la transferencia de carga, la cual se evaluará utilizando un **Deflectometro de Impacto** y un **Perfilómetro Láser**; Equipo que pertenece a la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial del MOP. Como uno de los requisitos para poder hacer uso de dicho equipo, se encuentra el de garantizar tanto la seguridad del personal como la del equipo, por lo que le solicitamos acompañamiento policial para poder desarrollar exitosamente la actividad. Cabe mencionar que para el desarrollo del levantamiento nos acompañará personal del FOVIAL, quienes garantizarán la seguridad vial en la zona de trabajo., utilizando una cuadrilla de banderilleros, pantallas luminarias, conos, etc.

La actividad está programada para el día **Miércoles 16 de Diciembre** del presente año y se realizará en 2 tramos de carreteras. El primer levantamiento se realizará a partir de las 8:00 pm en Acajutla, específicamente en la calle de acceso a la planta de producción de Albapetróleos. El segundo levantamiento se realizará en la carretera los chorros específicamente en el tramo donde se encontraba la báscula, aproximadamente a las 11:00 pm, al finalizar el levantamiento en Acajutla. Dichos levantamientos se realizarán por la noche, ya que los requerimientos de ensayo exigen que el levantamiento se realice a temperaturas menores de 25 °C.

Por lo antes expuesto, se solicita puedan brindar su colaboración asignando agentes de seguridad para que puedan acompañarnos en dicho levantamiento.

Sin otro particular, nos subscribimos a usted.

Atentamente

UNIVERSIDAD NACIONAL CIVIL DE EL SALVADOR
DIRECCIÓN GENERAL
RECEPCIÓN DE DOCUMENTOS
RECIBIÓ: *Claudia Góngora*
FECHA: 11-12-15 HORA: 12:00
CONTROL N°.

F.
Ulises Alfredo López Cruz
DUI: 043146521-9

F.
Jonathan Alberto Villeda Rivas
DUI: 04155305-4

Carta 9 Gestión realizada en la PNC solicitando seguridad durante los levantamientos a realizar



POLICIA NACIONAL CIVIL
Subdirección General

MEMORÁNDUM

MINISTERIO DE JUSTICIA
SEGURIDAD PÚBLICA
EL SALVADOR
UNÁMONOS PARA CRECER

DG/SDG/ **Nº 6865**

PARA : Jefes (as) de Región: Occidental y Central.

DE : Comisionado Howard Augusto Cotto Gaspar
Subdirector General.

ASUNTO : Girando instrucción.

FECHA : San Salvador, 15 de diciembre de 2015.

Adjunto al presente memorando N° 11104 de fecha 14 de los corrientes, suscrito por el señor Director General, a través del cual anexa Oficio firmado por dos estudiantes de la Universidad de El Salvador, solicitando seguridad policial, ya que están realizando trabajo de graduación denominado **“Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada, el día 17DIC2015”**, dicho trabajo lo realizaran en Acajutla y Carretera los Chorros, en horarios nocturnos detallados en su comunicación.

Sobre lo anterior, sírvanse tomar nota y giren instrucciones a donde corresponda, a efecto se coordine y se brinde el servicio de seguridad solicitado de acuerdo a los lugares y horarios detallados en su comunicación. Debiendo contactar al señor Ulises Alfredo López Cruz, al número de teléfono 7844 2721y 7815 9755, para conocer más detalles al servicio a prestar.

Sin otro particular, me suscribo.

c. c. Señor Director General.

HACCJRCM/sandoval.

Edificio Central PNC, 6a. Calle Oriente No. 42, entre 8a. y 10a. Av. Sur, Barrio La Vega, San Salvador, El Salvador.
Telefax: (503) 2527-1313 y 2527-1320; asesoriapolicialesg@pnc.gob.sv

Carta 10 Memorándum dirigido a las diferentes delegaciones de la PNC



POLICIA NACIONAL CIVIL
Subdirección General

San Salvador, 15 de diciembre de 2015.

PNC/SDG/ **Nº 177 - 340**

Ulises Alfredo López Cruz,
Alumno de la Universidad de El Salvador.

Presente.

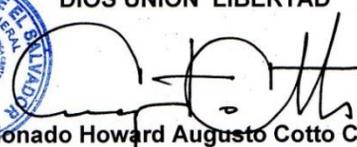
Reciba un afectuoso y cordial saludo, deséandole éxitos en sus actividades profesionales.

En referencia a su Oficio de fecha 11 de diciembre del presente año, a través del cual solicita se brinde apoyo de seguridad policial durante la realización de un trabajo de graduación, que realizaran el día 17 de diciembre 2015, en Acajutla y Carretera de los Chorros, en horarios nocturnos; hago de su conocimiento que he girado instrucciones a la señora Jefa de la Región Occidental y Jefe de la Región Central, a efecto que atienda su requerimiento, quienes pueden ser contactados en los números de teléfono: 2420-8621 y 2529-0204, respectivamente.

Atentamente,



DIOS UNIÓN LIBERTAD


**Comisionado Howard Augusto Cotto Castaneda,
Subdirector General.**

HACC/JRCM/ om/mcr

Edificio Central PNC, 6a. Calle Oriente No. 42, entre 8a. y 10a. Av. Sur, Barrio La Vega, San Salvador, El Salvador.
Telefax: (503) 2527-1313 y 2527-1320; asesoriapolicialsg@pnc.gob.sv

Carta 11 Respuesta por parte de la PNC confirmando el apoyo a brindar en los levantamientos

Resultados proporcionados por el MOP

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA OBRA PÚBLICA
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

**ENSAYO PARA DETERMINAR EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CARGA
UTILIZANDO EL EQUIPO DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO
(FWD, FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER)**

SOLICITANTE : *Universidad de El Salvador, UES.*
PROYECTO : *Proyecto de graduación "Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada"*
UBICACIÓN : *Carretera Los Chorros.*
FECHA DE ENSAYO : *17 de diciembre del 2015.*
SENTIDO : *De Colón a Santa Tecla, carril externo.*

Est.	Junta	Temperatura Ambiente (°C)	Fuerza (kN)	Lectura de Deflexiones en Junta Transversal (µm)	
				ΔI	Δul
0+000	1	19.3	39.92	245.40	107.70
	2	20.7	39.71	245.90	107.40
0+200	3	21.1	39.64	239.80	121.20
	4	20.3	39.85	233.20	122.70
0+401	5	20.6	40.21	108.90	97.10
0+601	6	20.6	40.10	320.70	183.80
0+799	7	20.4	40.11	182.50	114.70
0+800	8	19.8	39.96	287.00	109.50
0+802	9	20.2	40.17	301.70	138.50
1+000	10	19.6	39.92	121.20	107.50

1 µm = 0.001 mm

Notas:

- La medición de deflexiones se realizó utilizando el equipo Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD), marca Dynatest, modelo 8000; provisto de un plato circular de 30 cm de diámetro. Los ensayos se realizaron aplicando una carga de impacto de 40 kN.
- La medición de deflexiones fue realizada con base en las recomendaciones indicadas en: ASTM D 4694 Standard Test Method for Deflections with a Falling Weight Type Impulse Load Device, ASTM D 4695-03 Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements, Manual for FWD Testing in the Long Term Pavement Performance Program (SHRP-P-661) y Guía de diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, edición 1993.
- Los trabajos de medición de deflexiones se realizaron en horario nocturno con el objeto de cumplir el requerimiento de temperatura ambiente para el ensayo, la cual debe ser inferior a 27°C, según límite superior permisible indicado por la AASHTO, en la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, edición 1993.
- Simbología:
 ΔI : Deflexión en losa cargada, registrada abajo del centro del plato de carga
 Δul : Deflexión en losa no cargada, registrada a 12 pulgadas del centro del plato de carga
- La medición de deflexiones se efectuaron en el periodo comprendido aproximadamente entre las 1:50 a.m. y las 2:30 a.m. del día 18 de diciembre de 2015.
- Los estacionamientos fueron definidos por el solicitante en campo.

Hoja 1 Resultados de la evaluación de la transferencia de carga en el tramo Santa Tecla-La Cuchilla

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA OBRA PÚBLICA
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

**ENSAYO PARA DETERMINAR EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CARGA
UTILIZANDO EL EQUIPO DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO
(FWD, FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER)**

SOLICITANTE : Universidad de El Salvador, UES.
PROYECTO : Proyecto de graduación "Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada"
UBICACIÓN : Calle de acceso a la planta de producción de Albatróleo, Acajutla.
FECHA DE ENSAYO : 17 de diciembre del 2015.
SENTIDO : Carril de salida de la Planta Albatróleo.

Est.	Junta	Temperatura Ambiente (°C)	Fuerza (kN)	Lectura de Deflexiones en Junta Transversal (µm)	
				Δl	Δul
0+000	1	26.9	40.17	237.70	220.20
0+200	2	27	39.94	254.10	236.00
	3	26.6	39.90	141.20	126.40
0+400	4	26.3	39.96	184.60	169.30
	5	26.3	39.89	162.10	145.60
	6	27.1	40.21	233.60	218.50
	7	26.4	40.03	211.60	189.30
0+602	8	25.9	40.01	109.50	99.60
0+800	9	27.3	39.92	159.60	146.40

1 µm = 0.001 mm

Notas:

- La medición de deflexiones se realizó utilizando el equipo Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD), marca Dynatest, modelo 8000; provisto de un plato circular de 30 cm de diámetro. Los ensayos se realizaron aplicando una carga de impacto de 40 kN.
- La medición de deflexiones fue realizada con base en las recomendaciones indicadas en: ASTM D 4694 Standard Test Method for Deflections with a Falling Weight Type Impulse Load Device, ASTM D 4695-03 Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements, Manual for FWD Testing in the Long Term Pavement Performance Program (SHRP-P-661) y Guía de diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, edición 1993.
- Los trabajos de medición de deflexiones se realizaron en horario nocturno con el objeto de cumplir el requerimiento de temperatura ambiente para el ensayo, la cual debe ser inferior a 27°C, según límite superior permisible indicado por la AASHTO, en la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, edición 1993.
- Simbología:
 Δl : Deflexión en losa cargada, registrada abajo del centro del plato de carga
 Δul : Deflexión en losa no cargada, registrada a 12 pulgadas del centro del plato de carga
- La medición de deflexiones se efectuaron en el periodo comprendido aproximadamente entre las 10:50 p.m. y las 11:50 p.m. del día 17 de diciembre de 2015.
- Los estacionamientos fueron definidos por el solicitante en campo.

Hoja 2 Resultados de la evaluación de la transferencia de carga en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA OBRA PÚBLICA
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) Y
ESCALONAMIENTO, USANDO EQUIPO PERFILOMETRO DE REFERENCIA INERCIAL
(RSP, ROAD SURFACE PROFILER)

SOLICITANTE : Universidad de El Salvador, UES.
PROYECTO : Proyecto de graduación "Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada"
UBICACIÓN : Carretera Los Chorros.
FECHA DE ENSAYO : 17 de diciembre del 2015.
SENTIDO : De Colón a Santa Tecla, carril externo.

DATOS DE ENTRADA		
Escalonamiento mínimo	5	mm
Ventana de detección	500	mm
Distancia de recuperación	1250	mm

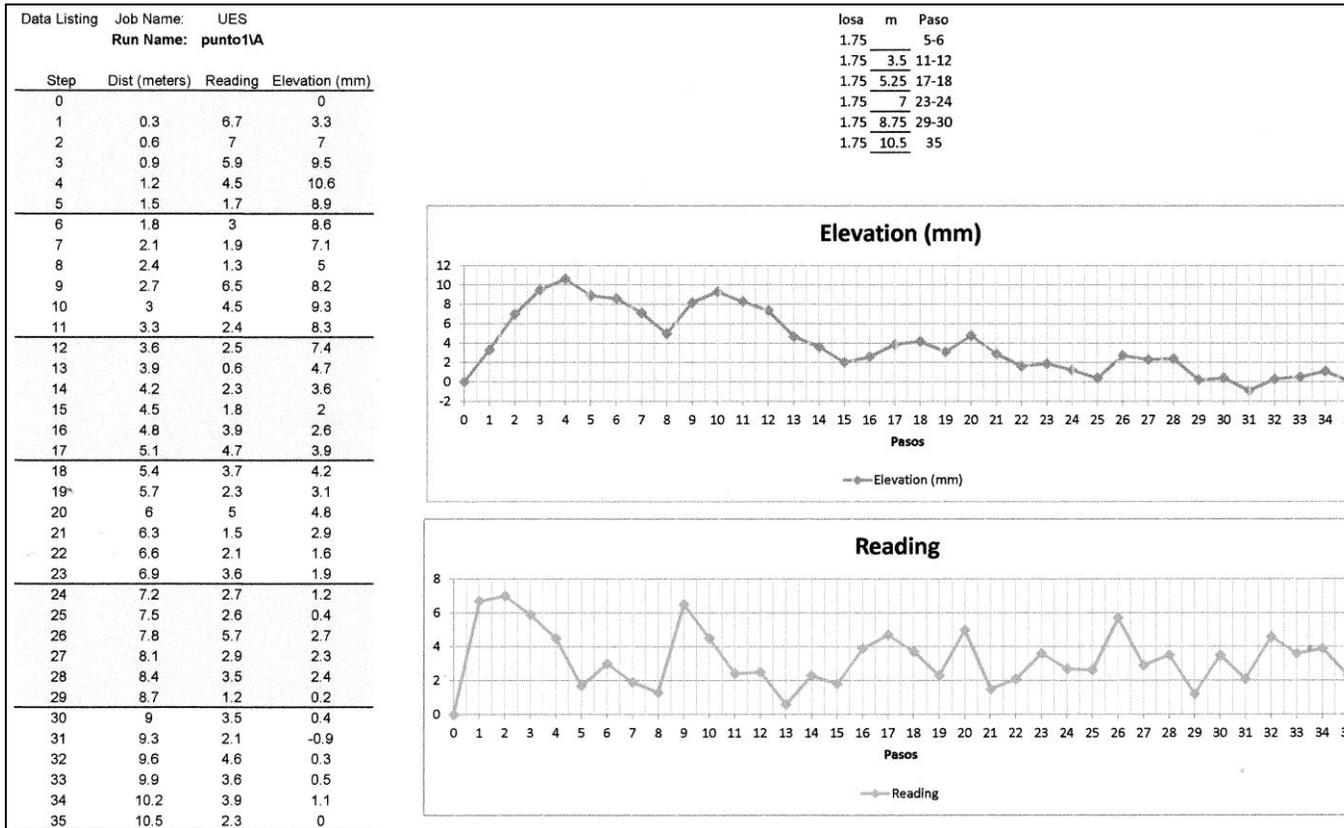
Nota:

1. La medición de escalonamiento se realizó utilizando el equipo Perfilómetro de Referencia Inercial (RSP, Road Surface Profiler) marca Dynatest, modelo 5051 Mark III, clasificado como clase I de acuerdo a ASTM E 950-98 Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference.
2. El ensayo fue ejecutado a la 1:00 p.m. del día 17 de diciembre de 2015.
3. Inicio y final del tramo de medición fue definido en campo por el solicitante.
4. Se midió un (1) Km en el sentido del tráfico.
5. Parámetros de detección del escalonamiento: Definidos por el solicitante.
6. Los parámetros para la detección de escalonamiento fueron dados por el solicitante, los cuales se indican a continuación:
Longitud en losa de acercamiento: 150 mm
Longitud en zona de Escalonamiento: 150 mm
Longitud en losa de salida: 150 mm

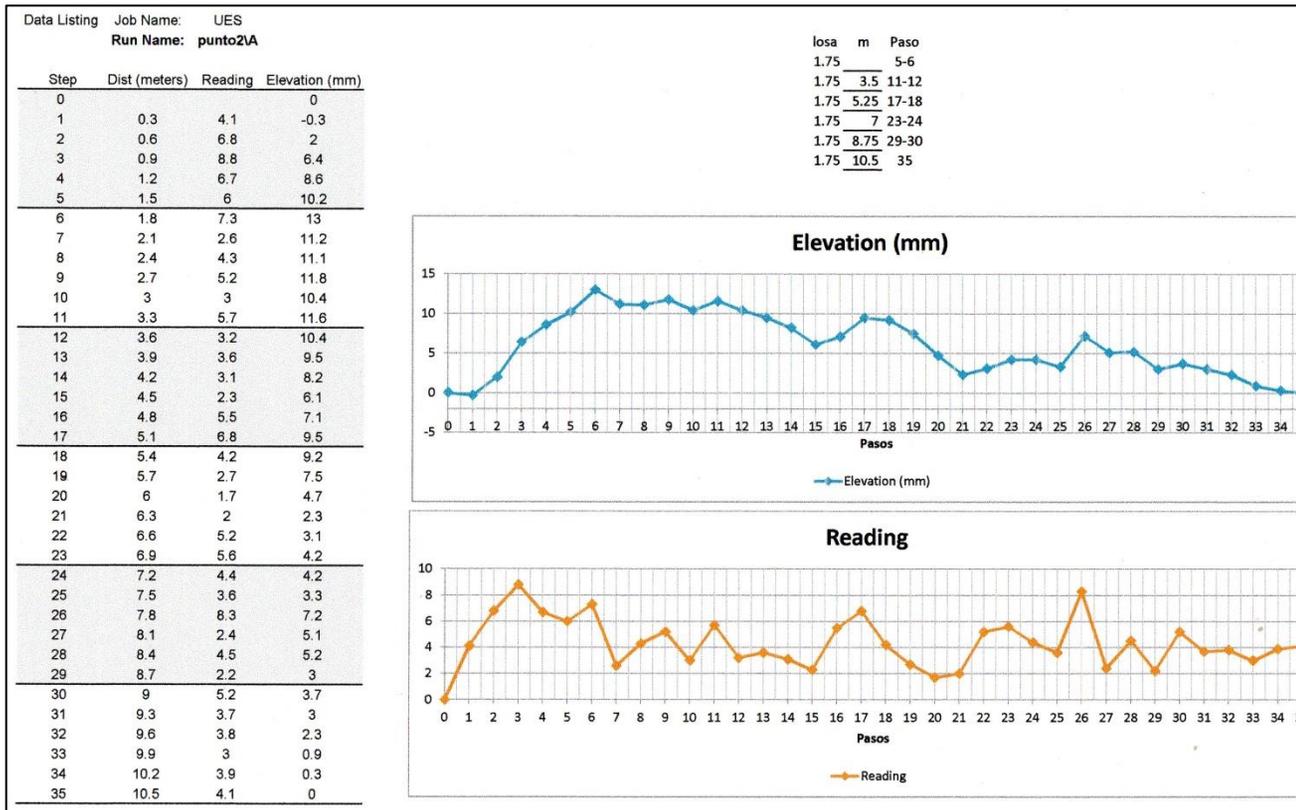
RESULTADOS:

De acuerdo con la norma AASHTO R36-04 (2009) *Standard Practice for Evaluating Faulting of Concrete Pavements*, y a partir de los datos de entrada establecidos por el solicitante, no se identificaron escalonamientos mayores de 5 mm en el tramo de ensayo.

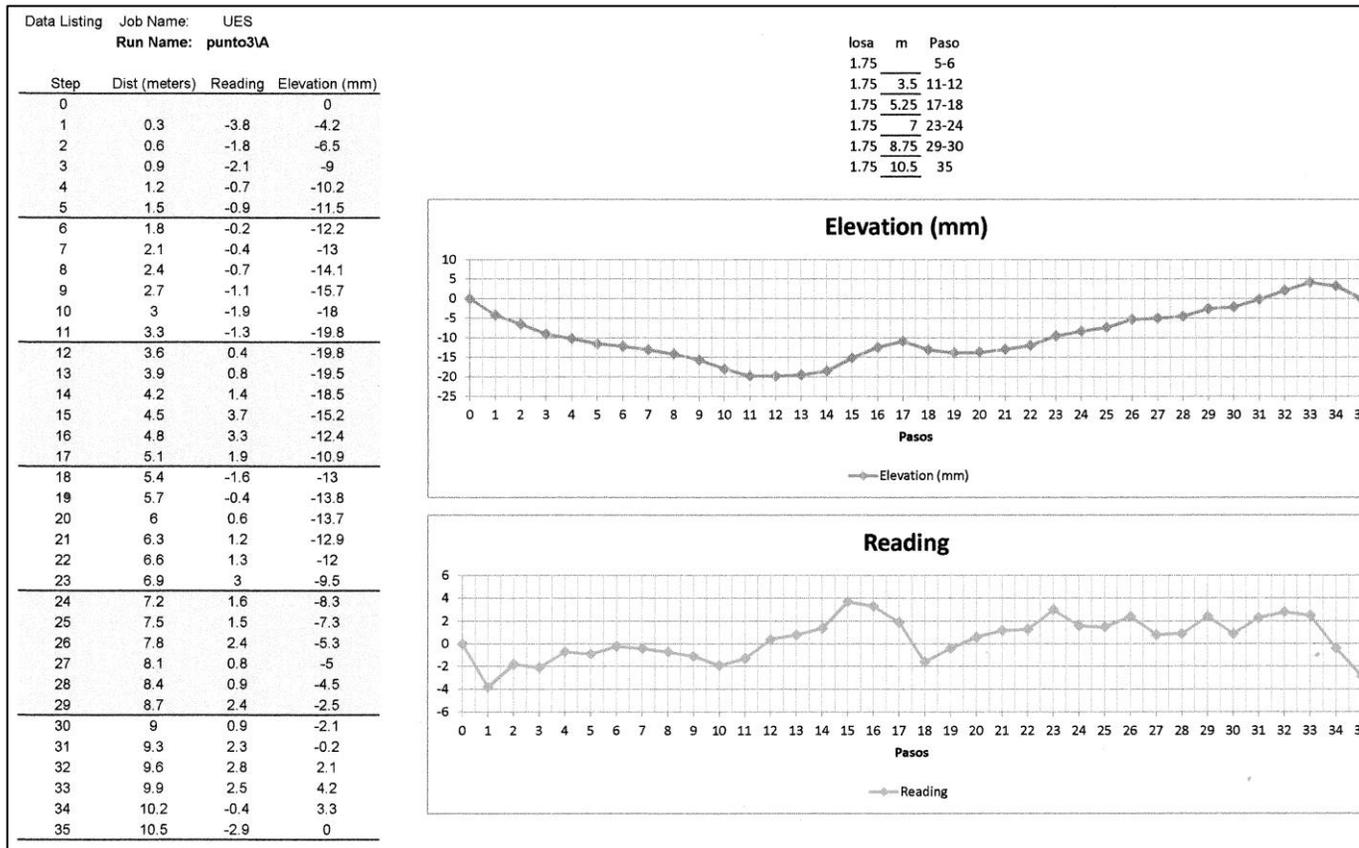
Hoja 3 Resultados de la Evaluación del IRI en el tramo Santa Tecla-La Cuchilla



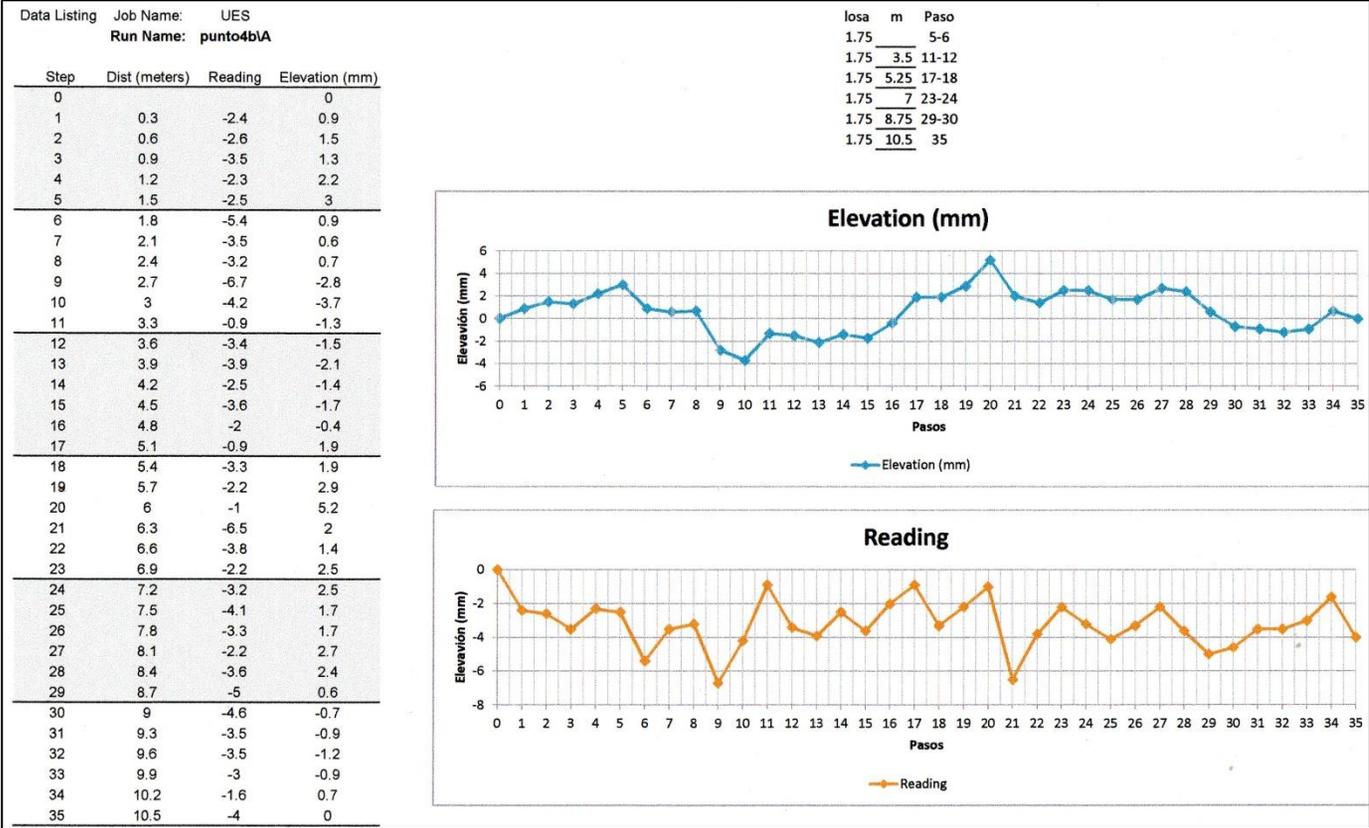
Hoja 4 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos, PUNTO 1



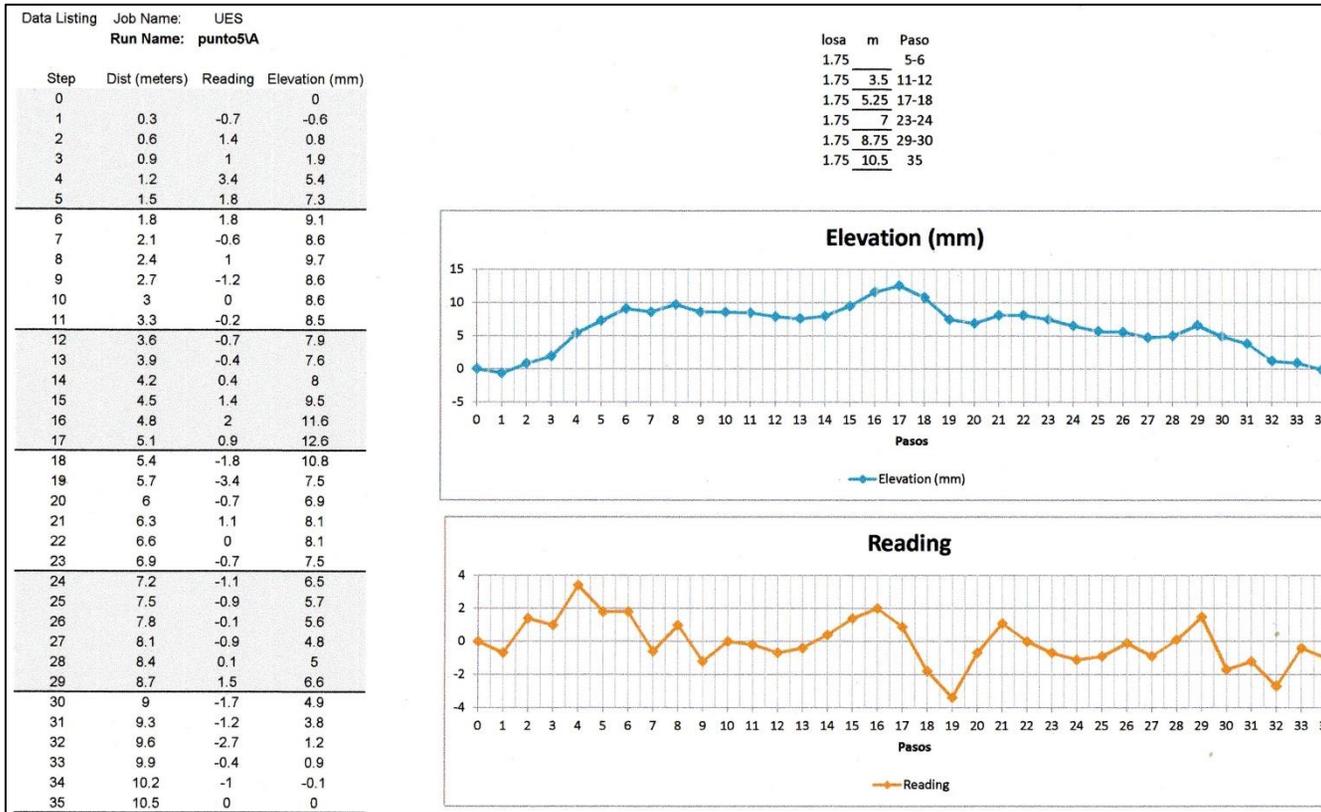
Hoja 5 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba
Petróleos, PUNTO 2



**Hoja 6 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba
Petróleos, PUNTO 3**



**Hoja 7 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba
Petróleos, PUNTO 4**



Hoja 7 Resultados de la evaluación de escalonamiento en el tramo de acceso a la planta de Alba Petróleos, PUNTO 5

Hojas del Levantamiento de Deterioros Realizado