

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



**VERIFICACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL MODELO DE
HIPERPAV III EN CARRETERA DE PAVIMENTO RÍGIDO EN
EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

CESIA MERARI ARIAS AGUILAR

CESAR IVÁN HERNÁNDEZ AGUILAR

SAMAEL GUSTAVO ROSALES MELÉNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

M.Eng. Ing. CARLOS ALBERTO ESCOBAR FLORES

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

Trabajo de Grado previo a la opción de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título:

**VERIFICACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL MODELO DE
HIPERPAV III EN CARRETERA DE PAVIMENTO RÍGIDO EN
EL SALVADOR**

Presentado por:

CESIA MERARI ARIAS AGUILAR

CESAR IVÁN HERNÁNDEZ AGUILAR

SAMAEL GUSTAVO ROSALES MELÉNDEZ

Trabajo de Grado Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. Mauricio Ernesto Valencia
San Salvador, julio 2025

Trabajo de Grado Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. Mauricio Ernesto Valencia

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios quien nos permitió culminar esta carrera poniendo los medios necesarios para poder finalizar exitosamente.

También expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro tutor de tesis, el Ing. Mauricio Ernesto Valencia, cuya experiencia, paciencia y apoyo constante fueron fundamentales para la realización de este trabajo. Su guía no solo nos proporcionó claridad académica, sino también motivación en momentos de duda.

Agradecemos también a la Unidad de Acceso a la Información Pública del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte por habernos brindado apoyo en respuesta a la solicitud hecha mediante la OIR, ya que fueron el medio para poder culminar exitosamente la investigación.

A la Universidad, gracias por brindarnos la oportunidad de crecer académica y profesionalmente. Nuestra gratitud va también a la escuela de Ingeniería Civil, cuyo apoyo y disposición fueron esenciales para la culminación de esta tesis.

A nuestra familia, especialmente a nuestros padres, agradecemos profundamente su amor incondicional y su apoyo constante. A nuestros amigos y compañeros, gracias por su compañía y apoyo en los momentos de estrés y alegría.

Finalmente, agradecemos a todos los colegas y colaboradores que participaron en esta investigación, especialmente al Ing. José Cárcamo quien se encargó de las revisiones de nuestro trabajo y sus valiosos comentarios enriquecieron aún más este proyecto.

A todos, gracias por ser parte de este viaje

DEDICATORIA.

A Dios por permitirme avanzar en esta etapa de mi vida, por darme la sabiduría, permanencia y fuerza de finalizar mis estudios.

A mi madre: Teresa Meléndez, por creer en mí, por su apoyo totalmente incondicional, por su esfuerzo y su manera de empujarme y darme ánimos de seguir adelante, por su corrección fraterna y la manera de educarme, sin ella nada hubiese sido posible.

A mi familia: hermanos, tíos, sobrinos, primos y mi abuela lucia quien en vida con su ejemplo formo carácter y disciplina en mí.

A mi nueva familia: mi esposa Consuelo Guadalupe Del Cid De Rosales quien desde siempre me brindó su apoyo y palabras de aliento a nunca desmayar en mi objetivo académico a mi hija Lucía Arelis Rosales Del Cid quien desde su pequeñez y fragilidad me motiva a alcanzar cualquier meta.

A mis amigos y compañeros: por ser el apoyo durante este proceso, por los consejos, por acompañarme en diversas etapas de esta carrera. “gracias”

A mi asesor: por la paciencia, su esfuerzo y dedicación al guiarnos en el desarrollo de nuestro trabajo.

“Ningún mar en calma hizo experto a un marinero”

Proverbio popular

Samael Gustavo Rosales Meléndez

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, fuente inagotable de amor y vida, quien me ha concedido el don de existir y me ha abierto el camino hasta este trascendental momento en mi formación profesional. Cada paso que he dado ha sido guiado por su gracia infinita.

A mis amados padres, Andrés Arias y María Elena

Gracias por ser mi roca sólida en medio de la tormenta, por sostenerme en los momentos en que las fuerzas parecían menguar y por infundir en mí la fe para seguir luchando. Este éxito es tan suyo como mío, pues cada logro es el reflejo del amor y el sacrificio que han derramado en mi vida.

A mi esposo, William Adonai:

Que ha sido mi compañero en este viaje de la vida, con una paciencia inigualable y un apoyo incondicional en esta etapa de mi vida. Agradezco cada instante compartido, cada palabra de aliento y el apoyo constante que me ha brindado. Junto a ti, y con la dulzura que nos regala nuestra hija, Yesbeth Merari, estos momentos se vuelven inolvidables.

A tía Mary y tío Nicolás:

Aunque la distancia nos separe físicamente, siempre he sentido su cercanía y apoyo en esos momentos en que más lo necesitaba. Su amor y sus consejos han sido un refugio seguro en este camino de desafíos y victorias.

A mis queridos hermanos, Andrés, Keren y Wendy:

Gracias por haber sido mis cómplices en este largo viaje; sus palabras, abrazos y el constante ánimo han tejido en mí la fuerza necesaria para avanzar cuando las dudas me invadían.

A mi cuñado, Jairo Sandoval y Cesia de Arias

Su apoyo incondicional ha sido un pilar fundamental en mi camino, ofreciéndome respaldo en cada paso que he dado

A mis amigas Claudia Márquez, Eunice Sorto y Gilma Hernández

Que han estado a mi lado durante tanto tiempo, compartiendo alegrías y desafíos, ayudándome a crecer profesional y personalmente, su compañía ha dejado una huella imborrable en mi formación.

Y a mis compañeros, Cesar y Samael: porque sin el equipo que formamos, este logro no habría sido posible.

Cesia Merari Arias Aguilar

DEDICATORIA

Esta dedicatoria está dirigida con profundo agradecimiento y amor a quienes han sido pilares fundamentales en mi vida y en el camino hacia la meta de obtener mi título.

Primero, a Dios

Principalmente dedico este logro a Dios, en quien confío plenamente. Sé que Él estuvo, está y estará guiando mi vida y protegiéndome en todo momento. Sin su dirección, nada de esto habría sido posible.

A mi madre

A mi madre, Teresa de Jesús Aguilar del Cid, cariñosamente conocida como “La Ñora”. Gracias, mamá, por tu apoyo incondicional en cada paso de este camino. Siempre encontraste una manera de ayudarme, siempre con un "ya veremos cómo hacerlo", nunca con un "tal vez" o un "no". Por todas esas madrugadas en las que me deseabas un “que te vaya bien”, sabiendo que estabas respaldándome para seguir adelante y lograr esta meta, te estaré eternamente agradecido. No hay palabras suficientes para expresar mi amor y gratitud hacia ti. Este título no es solo mío, es nuestro. ¡Lo logramos juntos! Gracias por confiar en mí y por ser el ser que más amo.

A mi padre.

Gracias, Padre Cruz Iván Hernández el “viejo” con cariño, por ponernos un techo sobre nuestras cabezas y ser un amigo más en nuestras vidas. Sé que le llena de ilusión la obtención de este título, y quiero que sepa que su presencia ha sido importante en nuestras vidas.

A mis hermanos

A mis hermanos, Óscar, María Cecilia, Jonathan y Beatriz, gracias por su constante apoyo y confianza en mí. Desde el primer año de mis estudios estuvieron cuidando de mí, aconsejándome y ayudándome a evitar errores. Sus palabras, acciones y cariño han sido una fuente de fortaleza y motivación. Los amo profundamente y siempre estaré agradecido con ustedes.

A mi novia

A Stefani Varela, quien ha sido un impulso más para alcanzar esta meta. Agradezco a la vida el haberte conocido y espero que este sea solo uno de los muchos logros que podamos celebrar juntos en el futuro. Tu apoyo y confianza son invaluableles.

A mis amigos

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos de la universidad en especial a Samael Rosales y Cesia Arias, quienes en este trayecto han sido un apoyo

mutuo, compartiendo alegrías, desafíos y aprendizajes. Gracias por estar ahí en los momentos buenos y difíciles, ayudándonos a crecer juntos.

A todos ustedes, gracias. Este logro también les pertenece.

“El corazón del hombre fija un trayecto, pero el señor asegura sus pasos”

Proverbio 16:9

César Iván Hernández Aguilar

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	XX
 CAPÍTULO I.	
GENERALIDADES.	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.	3
1.3 Objetivos.....	4
▪ Objetivo general.....	4
▪ Objetivos específicos.	4
1.4 Alcances.	5
1.5 Limitaciones.....	6
1.6 Justificación.	8
 CAPÍTULO II.	
MARCO TEÓRICO DE PAVIMENTOS Y MODELO DE DETERIORO.....	11
2.1 Definición de pavimento.....	11
2.1.1 Definición.	11
2.1.2 Tipos de pavimentos.....	13
2.1.3 Algunos aspectos comparativos entre los pavimentos flexibles y rígidos. 19	19
2.2 Historial y trayectoria de los pavimentos rígidos.	20
2.2.1 Historia de los pavimentos.....	20
2.2.2 Evolución y surgimiento de los pavimentos rígidos en El Salvador.....	25
2.2.3 Definición de Pavimentos Rígidos.....	28
2.2.4 Características de los pavimentos rígidos.....	29
2.2.5 Tipos de pavimento rígido.....	31
2.3 Elementos de los pavimentos rígidos.....	34

2.3.1	Subrasante.....	34
2.3.2	Base o subbase	35
2.3.3	Losa de Concreto.....	36
2.4	Modelos de Deterioro de Pavimentos: Antecedentes y Evolución.....	36
2.4.1	Orígenes y Desarrollo Inicial:	37
2.4.2	Modelos RTIM y HDM-III:.....	37
2.4.3	El HiperPav III: Un Paso Adelante	39
2.5	Modelo de deterioro HIPERPAV III.....	43
2.5.1	Modelos utilizados por el software HIPERPAV III	43
2.5.2	Datos de análisis dentro del modelo.	47
2.5.3	Daño Escalonamiento.	47
2.5.4	Agrietamiento longitudinal.....	49
2.5.5	Daño de Despostillamiento de Juntas Transversales (JPCP).....	51
2.5.6	Daño de Agrietamiento Transversal.....	53
2.5.7	Índice de Rugosidad Internacional (IRI).	56
2.6	Modelos de deterioro de la guía de diseño empírica mecanicista.....	60
2.6.1	Modelo empírico-mecanicista.....	60
2.6.2	Generalidades de la guía de diseño empírica mecanicista que se utilizan en HIPERPAV III.....	61

CAPÍTULO III.

MODELO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS SEGÚN MODELO DE HIPERPAV III.65

3.1	Descripción de tramo Segmento I de la Carretera CA04S.....	65
3.2	Levantamiento de deterioros.....	67
3.2.1	Inspección inicial.....	67
3.2.2	Ejecución del levantamiento de deterioros.....	67
3.2.3	Procedimiento medición del IRI en segmento de carretera en estudio. .	73
3.2.4	Resultados medición IRI.	75
3.3	Recopilación de datos.....	87
3.3.1	Modulación de losas	87

3.3.2	Determinación de espesores.....	87
3.3.3	Parámetros ambientales	88
3.3.4	Determinación de espesores.....	90
3.3.5	Conteo Vehicular.....	91
3.3.6	TPDA Tramo de Carretera ramo: CA04S - CA02W, By Pass de La Libertad (segmento 1 y 2).....	93

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN

SEGMENTO I DE CARRETERA CA04S SEGÚN MODELO DE HIPERPAV III..... 96

4.1	Definición de datos de entrada para el software HIPERPAV III	96
4.2	Generación del Modelo de Deterioro con el software HIPERPAV III	97
4.3	Resultados obtenidos por el Modelo HIPERPAV III.....	123
4.3.1	Alternativa 1	123
4.3.2	Alternativa 2:	128

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 135

5.1	Conclusiones	135
5.2	Recomendaciones	140

BIBLIOGRAFIA 142

Anexos. 146

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES E IMÁGENES

Figura. 2-1 Sección típica de un pavimento flexible.....	13
Figura. 2-2 Estructura de un pavimento rígido.....	15
Figura. 2-3 Sección Típica de un pavimento rígido.....	17
Figura. 2-4 Vía Appia y otros caminos.....	22
Figura. 2-5 Vía Appia en la actualidad.....	22
Figura. 2-6 Selección de la condición de la base.....	45
Figura. 2-7 Daño por Escalonamiento.	48
Figura. 2-8 Severidad baja, media y alta respectivamente	50
Figura. 2-9 Daño por agrietamiento longitudinal encontrado en Tramo de carretera en estudio ..	51
Figura. 2-10 Despostillamiento de juntas transversales.	52
Figura. 2-11 Despostillamiento encontrado en tramo de carretera en estudio.....	53
Figura. 2-12 Daño por agrietamiento trasversal.....	55
Figura. 2-13 Daño por agrietamiento trasversal encontrado en carretera en estudio.	56
Figura. 2-14 Perfil laser RSP-L5.....	58
Figura. 2-15 Deflectometro de impacto FWD	59
Figura. 2-16 Procedimiento de diseño Mecánico – Empírico.....	62
Figura. 3-1 Estado actual Segmento I de la carretera CA04S, tramo III	65
Figura. 3-2 Identificación del tramo de acuerdo con vista satelital del tramo de estudio.	66
Figura. 3-3 Inicia en km 31.86 del tramo en análisis y finaliza en kilómetro 35.00.	69
Figura. 3-4 Perfil longitudinal de carretera hacia el puerto de la libertad.....	85
Figura. 3-5 Comportamiento del IRI según ProVAL.....	85

Figura. 3-6 Valor obtenido del IRI según ProVAL.....	86
Figura. 3-7 Sección de espesores de pavimento.....	91
Figura. 4-1 Información general pestaña de "Project Info".....	100
Figura. 4-2 Información geográfica del proyecto pestaña "Project Info".	101
Figura. 4-3 Información de la precipitación mensual pestaña "Project Info".	102
Figura. 4-4 Información general de la estrategia pestaña "Strategies".....	103
Figura. 4-5 Diseño de pavimento pestaña "Strategies".	104
Figura. 4-6 Información del diseño de mezcla pestaña "Strategies".....	105
Figura. 4-7 Datos del momento de construcción "Strategies".....	107
Figura. 4-8 Datos de clima: Temperatura pestaña "Strategies".	108
Figura. 4-9 Datos de clima: Velocidad de Viento pestaña "Strategies".....	109
Figura. 4-10 Datos de clima: Humedad pestaña "Strategies".	110
Figura. 4-11 Datos de clima: Nubosidad pestaña "Strategies".	111
Figura. 4-12 Datos de análisis pestaña "Strategies".....	112
Figura. 4-13 Se cambia a "LT JPCP".....	113
Figura. 4-14 Información general pestaña "Strategies".	114
Figura. 4-15 Parámetros de análisis pestaña "Strategies".....	115
Figura. 4-16 Diseño de junta pestaña "Strategies".	116
Figura. 4-17 General carga de Esal's pestaña "Strategies".....	117
Figura. 4-18 Cambio de la base de pavimento en el HiperPav III.....	118
Figura. 4-19 Gráfico de análisis a edad temprana.....	119
Figura. 4-20 Gráfico de escalonamiento a largo plazo.	120

Figura. 4-21 Gráfico de Grietas transversales a largo plazo.....	120
Figura. 4-22 Gráfico comparativo de estrategias del IRI.....	121
Figura. 4-23 Gráfico de Serviciabilidad a largo plazo.	121
Figura. 4-24 Del análisis Joint Faulting.....	124
Figura. 4-25 Datos de análisis Transverse Cracking.	125
Figura. 4-26 Datos de Análisis sobre Grietas Longitudinales.	126
Figura. 4-27 Resultado del análisis del comportamiento del IRI.....	127
Figura. 4-28 Resultado de análisis comportamiento de la serviciabilidad.....	128
Figura. 4-29 Cambio de la base de pavimento en el HiperPav III.....	129
Figura. 4-30 Gráfico de análisis a edad temprana.....	130
Figura. 4-31 Gráfico de escalonamiento a largo plazo.	131
Figura. 4-32 Gráfico de Grietas transversales a largo plazo.....	131
Figura. 4-33 Gráfico comparativo de estrategias del IRI.....	132
Figura. 4-34 Gráfico de Serviciabilidad a largo plazo.	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tabla de Rango de calificación del IRI.	58
Tabla 3-1 Características del tramo en estudio.	69
Tabla 3-2 Hoja 1 de levantamiento de deterioros. Carril Derecho	70
Tabla 3-3 Hoja 1 de levantamiento de deterioros. Carril Izquierdo.	72
Tabla 3-4- Registro de lecturas de cotas obtenidas en campo.....	75
Tabla 3-5 Aspectos complementarios al diseño de pavimentos rígidos.	88
Tabla 3-6 Perfil climatológico de estación meteorológica "San Diego"	89
Tabla 3-7 Espesores de capas de pavimento Hidráulico.....	90
Tabla 3-8 Transito Promedio Anual del tramo en estudio.....	94
Tabla 4-1 Datos Generales de entrada para digitar en Software HIPERPAV III.....	97
Tabla 4-3 Gradiente de Temperatura de la capa superior con respecto a la última capa.....	106

INTRODUCCIÓN

La vida útil de los pavimentos de concreto depende en gran medida de su comportamiento a temprana edad. Los pavimentos de concreto de cemento Portland (PCCP) se ven significativamente afectados por los cambios de temperatura y humedad durante las primeras 72 horas después de la colocación. Estas tensiones pueden ser de magnitud suficiente para causar agrietamiento porque la resistencia del concreto es relativamente baja durante este período de "edad temprana". El monitoreo de las tensiones durante este tiempo es extremadamente importante, ya que los problemas durante esta edad temprana pueden conducir a la pérdida del rendimiento del pavimento a largo plazo. Por el contrario, si no se producen problemas durante este período, el pavimento puede exceder la vida útil de diseño prevista, lo que resulta en un ahorro de costos general.

De esta manera es como HIPERPAV es utilizado por planificadores, diseñadores, contratistas y proveedores para una variedad de propósitos. Durante la fase de planificación, HIPERPAV puede utilizarse para desarrollar especificaciones de control de calidad basadas en los materiales disponibles y las condiciones climáticas locales. Los diseñadores de pavimentos utilizan HIPERPAV para optimizar las variables de diseño y garantizar el rendimiento a largo plazo al tiempo que maximizan la economía. Los contratistas utilizan HIPERPAV para

evitar reparaciones costosas mediante la predicción de daños potenciales y la determinación de cómo prevenirlos.

Es así como en el presente trabajo se centra en el análisis y modelado del comportamiento de los pavimentos rígidos, específicamente en el tramo Segmento I de la Carretera CA04S. Para ello, se emplea el modelo de deterioro HIPERPAV III, que considera diversos factores y parámetros para evaluar la degradación de los pavimentos. La tesis comprende 5 capítulos descritos a continuación:

Capítulo I: Generalidades

En este capítulo, se abordan aspectos fundamentales relacionados con el estudio de los pavimentos. Se presentan los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, así como los alcances y limitaciones del trabajo. Además, se justifica la relevancia de investigar el comportamiento de los pavimentos rígidos.

Capítulo II: Marco Teórico de Pavimentos y Modelo de Deterioro

En este capítulo, se establece el marco conceptual necesario para comprender los pavimentos. Se definen los elementos clave de los pavimentos rígidos, como la subrasante, la base o sub-base, y la losa de concreto. Además, se exploran los antecedentes de modelos de deterioro y se introduce el modelo HIPER PAV III.

Capítulo III: Modelo de Deterioro de Pavimentos Rígidos según HIPER PAV III

Este capítulo se enfoca en la metodología utilizada para recopilar datos relevantes. Se describe detalladamente el tramo Segmento I de la Carretera CA04S y se realiza un levantamiento de los deterioros presentes en dicho tramo. Además, se lleva a cabo un conteo vehicular para obtener información adicional.

Capítulo IV: Análisis de Resultados del Comportamiento del Pavimento Rígido

En este capítulo, se procede a definir los datos de entrada necesarios para el software HIPER PAV III. Luego, se genera el modelo de deterioro utilizando dicho software. Los resultados obtenidos se desglosan en términos de escalonamiento, despostillamiento de juntas transversales, agrietamiento longitudinal, agrietamiento transversal e índice de rugosidad internacional (IRI).

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

Finalmente, se presentan las conclusiones derivadas del análisis realizado. Asimismo, se ofrecen recomendaciones para mejorar la gestión y mantenimiento de los pavimentos rígidos en el tramo estudiado.

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES.

1.1 Antecedentes.

Al pasar de los años las investigaciones y constantes actualizaciones de las tecnologías aplicables a pavimentos rígidos han permitido llevar a un buen desempeño de los mismos, dando como resultado una aceptación para su propósito y en este punto es preciso recordar las primeras carreteras en nuestro país tal como lo fue en 1916 con la construcción del tramo de Carretera de San Salvador al Puerto de La Libertad (CA-1), este fue un punto de partida para que el desarrollo vial empezará a crecer fundamentándose en métodos de diseño de pavimentos rígidos en el caso de la AASTHO 93 y su Complemento AASTHO 98.

La trayectoria y desarrollo de sistemas viales, permite el análisis para la confiabilidad de estos y sienta las bases para seguir desarrollando el país.

1.2 Planteamiento del problema.

En El Salvador, las carreteras son una parte fundamental de la infraestructura del país y son utilizadas diariamente por miles de personas. Sin embargo, el deterioro de las carreteras es un problema común que afecta la seguridad y la comodidad de los usuarios. Para abordar este problema, se han desarrollado varios modelos de deterioro de pavimentos, como HIPERPAV III. Estos modelos se utilizan para predecir el deterioro futuro de las carreteras y para planificar su mantenimiento y reparación.

Sin embargo, la confiabilidad de estos modelos ha sido poco evaluada en la red de las carreteras en El Salvador. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar la confiabilidad de los modelos de deterioro de HIPERPAV III en carreteras en El Salvador. Para lograr este objetivo, se seguirá una metodología de investigación que incluirá una revisión bibliográfica exhaustiva, la selección un tramo de carreteras de pavimento rígido representativo, la recopilación de datos sobre el estado actual del tramo de carretera seleccionado, la validación del modelo de deterioro generado por HIPERPAV III y el análisis de los resultados del levantamiento en campo.

1.3 Objetivos.

- **Objetivo general.**

- Evaluar la confiabilidad de los modelos de deterioro de pavimentos rígidos utilizando el software HIPERPAV III en el segmento I de carretera CA04S

- **Objetivos específicos.**

- 1 Identificar los factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos rígidos en El Salvador.
- 2 Realizar una recopilación importante de datos sobre el concreto utilizado en la construcción y diseño de la carretera.
- 3 Analizar las características específicas del concreto empleado en el proyecto de la carretera CA04S, tramo III.
- 4 Revisar la literatura disponible acerca de los modelos de deterioro generados por HIPERPAV III.
- 5 Evaluar la confiabilidad del modelo generado por el software HIPERPAV III a partir de las condiciones actuales del pavimento.

1.4 Alcances.

Este Trabajo de Graduación tiene como objetivo principal investigar y evaluar la confiabilidad de los modelos de deterioro generados por HIPERPAV III en el tramo de carretera CA04S, con el fin de proporcionar información relevante para la gestión y mantenimiento de la infraestructura vial en El Salvador.

Se analizará la precisión y fiabilidad de los datos recopilados y utilizados en los modelos de deterioro, mediante la comparación con mediciones en campo y resultados obtenidos a partir de HIPERPAV III.

1.5 Limitaciones.

Se pretende alcanzar cada uno de los objetivos, teniendo en cuenta que existen limitantes propias del método y también limitantes propias del tipo de investigación.

- Para llevar a cabo el levantamiento del deterioro del pavimento, será necesario solicitar apoyo de las instituciones y entidades pertinentes. Sin embargo, el grupo de trabajo estará sujeto a la disponibilidad de tiempo de dichas instituciones y entidades.
- Este estudio se enfoca exclusivamente en el Segmento I de la carretera CA04S como área de análisis. Su objetivo principal es comparar y evaluar la confiabilidad de los modelos de deterioro de HIPERPAV III utilizando el Segmento I de la carretera CA04S en específico.
- Las condiciones ambientales en la carretera CA04S, también conocida como carretera al puerto, constituyen una limitante para el levantamiento en campo del deterioro del pavimento. Estas condiciones, como el clima, la vegetación y el tráfico, pueden dificultar la visibilidad de ciertos daños durante el proceso de levantamiento.
- La falta de información y documentación disponible sobre modelos de deterioro de HIPERPAV III en estudios previos de carreteras específicas en nuestro país dificulta la identificación de patrones en los modelos de deterioro.

- El periodo de tiempo en el cual se realizará la investigación está sujeto al tiempo en que se ejecutará el proyecto. Retrasos en la iniciación del proyecto representan retrasos para la investigación.
- Por último, es importante considerar que, en el tramo de estudio, se asume que el proceso constructivo se ejecutó correctamente, sin omitir ninguna de las especificaciones de diseño. Es decir, si se cometieron errores en el proceso constructivo, estos quedan fuera del alcance de esta investigación.

1.6 Justificación.

El deterioro de pavimentos es un problema muy común al que se enfrentan los ingenieros civiles en El Salvador para el diseño de pavimentos rígidos en carreteras. Por eso, se hace importante una herramienta que nos permita plantear un modelo de deterioro confiable, como lo es HIPERPAV III, para predecir el daño en el tiempo que puedan tener los pavimentos y generar una buena planificación de mantenimiento. La confiabilidad de dichos modelos debe ser crucial para garantizar la seguridad y la eficiencia de las carreteras de pavimentos rígidos.

El objetivo principal de este trabajo de graduación es evaluar la confiabilidad de los modelos de deterioro de pavimentos rígidos utilizando el software HIPERPAV III en el segmento I de la carretera CA04S (conocida como carretera al puerto de La Libertad) cabe mencionar que el segmento de carretera asfáltica que comprende el puente no se va a estudiar, únicamente se someterá a estudio la carretera de concreto comprendida entre los km antes mencionados. Para lograr este objetivo, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos rígidos en El Salvador.
- Recopilación de datos importantes y características del concreto utilizado en la construcción y diseño de la carretera.

- Revisión de la literatura disponible acerca de los modelos de deterioro generados por HIPERPAV III.
- Evaluar la confiabilidad del modelo generado por el software HIPERPAV III a partir de las condiciones actuales del pavimento.

En conclusión, este trabajo de graduación demostrará qué tan confiables y precisos son los modelos de deterioro generados por HIPERPAV III, para ser recomendados en el diseño de planes de mantenimiento e intervención y garantizar la seguridad de las carreteras de pavimento rígido en El Salvador.

Teniendo en cuenta las condiciones en las cuales se llevó a cabo esta investigación, tanto climáticas como los materiales usados para su construcción, se recomienda hacer más investigación para otras condiciones presentes en el país. Una de las limitaciones de esta investigación es la evaluación del modelo de deterioro en el segmento I de la carretera CA04S (conocida como carretera al puerto de La Libertad).

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO DE PAVIMENTOS Y MODELO DE DETERIORO.

2.1 Definición de pavimento.

Las obras viales o vías de comunicación (calles y carreteras, aeropistas y vías férreas) son formadas básicamente por dos elementos: las terracerías y el pavimento. De los cuales las terracerías son el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial, ejecutados hasta la subrasante.

Los pavimentos urbanos, estructuralmente, no difieren respecto a los pavimentos carreteros; sin embargo, las variables que intervienen en su diseño resultan de compleja obtención como lo es el volumen de tránsito esperado y su tasa de crecimiento. Regularmente, en los pavimentos urbanos la capa de rodamiento es construida con carpeta de concreto asfáltico, mortero asfáltico o emulsión.

2.1.1 Definición.

Para definir lo que es un pavimento y comprender su funcionamiento estructural, se toma lo establecido en las Normas de Construcción e Instalaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México donde se señala:

Es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento y cuya función principal es soportar las cargas rodantes y

transmitirlas a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en ellas¹.

Por consiguiente, el pavimento tiene las siguientes funciones:

a) Proporcionar una superficie de rodamiento seguro, cómodo y de características permanentes ante las cargas del tránsito a lo largo del tiempo, vida de diseño, o ciclo de vida. Durante este periodo debe haber tan sólo algunas acciones esporádicas de conservación o mantenimiento locales, de poca magnitud en importancia y costo.

b) Resistir las sollicitaciones del tránsito previsto durante la vida de diseño, y distribuir las presiones verticales ejercidas por las cargas, de tal forma que sólo llegue a la capa subrasante una pequeña fracción compatible con su capacidad de resistencia. Las deformaciones recuperables que se produzcan tanto en la subrasante como en las diferentes capas del pavimento deberán ser admisibles sin dejar de tomar en cuenta la repetición de cargas y la resistencia a la fatiga de los materiales.

c) Construir una estructura que resista los factores climatológicos, como son temperatura y agua, por ser los más adversos en el comportamiento del pavimento y de los suelos de cimentación.

¹ Normas para Construcción e Instalaciones: Carreteras y Aeropistas, SCT, México 1993

2.1.2 Tipos de pavimentos

Dependiendo de la estructura del pavimento estos se pueden clasificar en cuatro tipos, a saber: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos, pavimentos compuestos y especiales.

a) Pavimento flexible:

Pavimentos formados, como se puede observar en la figura 2-1, por una subbase y/o base hidráulica o estabilizada, y una superficie de rodamiento, que puede ser: una carpeta de riegos; una carpeta de mezcla asfáltica elaborada en frío o en el lugar, o de mezcla en caliente elaborada en planta, también llamadas de concreto asfáltico, pudiendo tener incluso además un riego de sello aplicado sobre la superficie de la carpeta.²

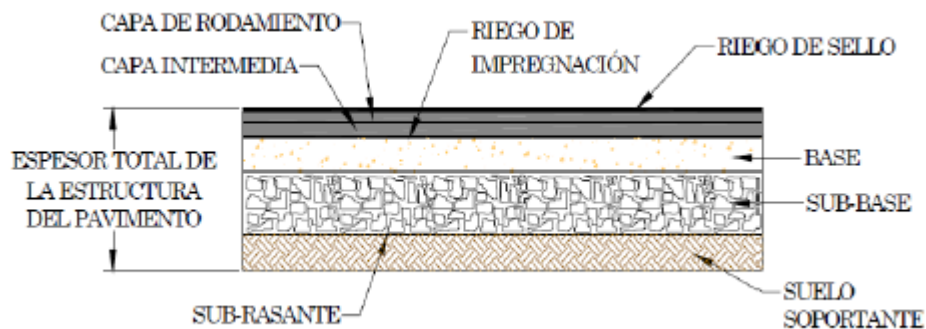


Figura. 2-1 Sección típica de un pavimento flexible

Fuente: Tomada de Tesis: Verificación de la confiabilidad de los modelos de deterioro para pavimento rígido en El Salvador, septiembre de 2011.

² Norma mexicana N·CTR·CAR·1·04·002/11, SCT.

Esta serie de capas inicialmente estaban constituidas por materiales con una resistencia a la deformación decreciente conforme la profundidad, de modo análogo a la disminución de las presiones transmitidas desde la superficie. El aumento de las intensidades y número de aplicaciones de cargas, llevo a los denominados pavimentos rígidos, con capas tratadas o estabilizadas con cemento, o con un espesor muy importante de mezclas asfálticas como las denominadas “full depth”, con espesores del orden de 30 cm. Estos pavimentos suelen incluirse en el grupo de los flexibles, debido a que tienen un pavimento asfáltico análogo, pero su comportamiento es muy diferente con capas inferiores de igual o mayor rigidez que las superiores, como en el caso de los pavimentos de sección invertida.

b) Pavimento rígido

Se tienen referencias de que la primera franja de pavimento de concreto hidráulico fue construido completamente en el año 1891, desde entonces, el concreto ha sido utilizado extensamente para pavimentar carreteras y aeropuertos, así como calles de zonas residenciales y comerciales.³

Como se observa en la figura.2-2 el pavimento rígido típicamente está formado por una base hidráulica o una subbase y una losa de concreto hidráulico, pudiendo tener o no un refuerzo de acero, en cuyo caso, normalmente se utiliza la malla electrosoldada.

³ Gómez, P. (2021). Línea de tiempo de pavimentos.

Pavimentos Rígidos

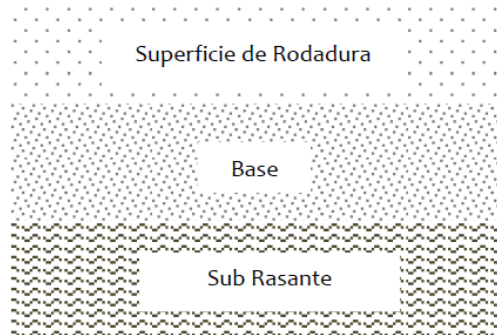


Figura. 2-2 Estructura de un pavimento rígido

Fuente: Tomada de tesis Evaluación de desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada, marzo 2016.

Los pavimentos rígidos constan de una losa de concreto hidráulico. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas, salvo en bordes de losas y juntas sin pasajuntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables. La losa se apoyará en la capa subrasante, si ésta es de buena calidad y el tránsito es ligero, o bien, sobre una capa de material seleccionado, llamada subbase. Esta capa no tiene funciones estructurales, utilizándose como una superficie de apoyo, capa drenante, plataforma de trabajo, etc. y formada por materiales granulares o bien estabilizada con cemento Portland, o inclusive concreto pobre. Ver Figura 2-3.

c) Pavimentos Compuestos

Este tipo de pavimento constan de una losa de concreto hidráulico, sobre la cual se tiende y compacta una sobre carpeta de concreto asfáltico, la cual servirá como superficie de rodamiento por la cual circularán vehículos a altas

velocidades, siendo la losa el elemento estructural principal. Reúne las ventajas y desventajas de ambos tipos de pavimentos, si bien, aun cuando la carpeta asfáltica puede estar a salvo del fenómeno de la fatiga, su vida útil es corta en comparación con la losa de concreto, requiriendo una conservación similar a la de un pavimento flexible. Otro problema lo constituyen la flexión de las juntas y eventualmente de las grietas de las losas de concreto, aspecto que debe tenerse en cuenta para su diseño.⁴

d) Pavimentos especiales

Son los pavimentos contruidos con adoquín de cemento o de piedra debidamente acomodada. A continuación, se describen algunas de sus características⁵:

- Adoquines. Existen varios tipos, como el adoquín fabricado macizo, el hueco o el de piedra labrada. Como los empedrados se utilizan en zonas residenciales, turísticas, históricas, etc., con grandes ventajas. Requieren también de una conservación mínima, son poco ruidosos y permiten velocidades de circulación razonables. Su utilización se ha extendido inclusive a patios de maniobras, plataformas, etc., para vehículos pesados y circulación lenta, además en estacionamientos donde se está utilizando adoquín hueco, permite el crecimiento de

⁴ Gutiérrez García, F. (2006). Capítulo 4: Diseño de pavimento

⁵ Gonzales Bardales, K. L. (s.f.). Ventajas y desventajas del pavimento adoquinado. uDocz.

pasto en su interior, así como la infiltración de agua al subsuelo, cumpliendo una función ecológica.

- Empedrados: Utilizados tanto en poblaciones pequeñas como solución tradicional, o en zonas residenciales, turísticas, o históricas, etc. Son duraderos y guardan armonía con los contextos urbanos, aunque producen ruidos y deben circularse a bajas velocidades. Requieren una conservación mínima

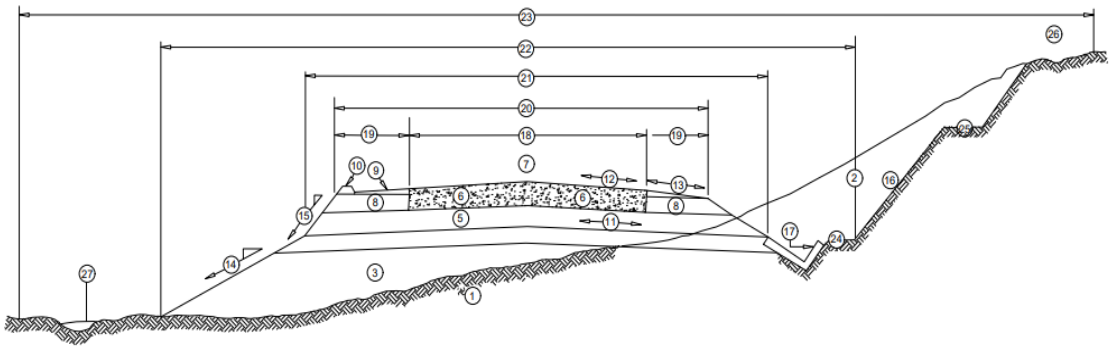


Figura. 2-3 Sección Típica de un pavimento rígido.

Fuente: Carreteras, estudio y proyectos, Jacob Carciente.

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1) Terreno natural | 7) Junta longitudinal |
| 2) Excavación o corte | 8) Berma |
| 3) Terraplén | 9) Capa protección de la berma |
| 4) Subrasante mejorada | 10) Bordillo |
| 5) Subbase | 11) Pendiente transversal de la subrasante |
| 6) Losa de concreto hidráulico | |

12) Pendiente transversal de la
calzada

13) Pendiente transversal de la
berma

14) Talud del terraplén

15) Talud del pavimento

16) Talud del corte

17) Taludes de la cuneta

18) Ancho de la calzada

19) Ancho de la berma

20) Ancho de la corona

21) Ancho de la subrasante

22) Ancho útil de explanación

23) Derecho de zona

24) Sobre banqueado

25) Terraza

26) Canal o zanja de coronación

27) Zanja de drenaje

(avenamiento)

2.1.3 Algunos aspectos comparativos entre los pavimentos flexibles y rígidos.

Se presentan algunas reflexiones sobre el uso de los pavimentos asfálticos y de los pavimentos rígidos, con la finalidad de proporcionar criterios que permitan optar por uno u otro en los proyectos viales. El punto de vista que sirve de partida a estas reflexiones es que ambas modalidades pueden resolver satisfactoriamente los requerimientos de una vialidad o carretera que se construya en el México actual, con tal de que cualquiera de las dos modalidades se proyecte o se realice convenientemente. De esta manera, los criterios diferenciales entre las dos alternativas tendrán que caer necesariamente en una de las dos vertientes como son: **la económica**, la cual se refiere al costo inicial de cada alternativa, al costo de conservación de la misma en un determinado ciclo de vida y al costo de operación de los vehículos que transiten por el pavimento considerado; y **la funcional**, entendiendo por tal, la desventaja o inconveniente que se tenga por las dificultades de tránsito que emanen de acciones de conservación importantes que conlleven interrupciones en la fluidez del mismo. Los dos tipos de pavimentos ofrecen opciones posibles para la buena construcción de carreteras. En ambos tipos de estructuras parece no poder existir una política más perjudicial que el ahorro en la inversión inicial de construcción, sin su debido balanceo con los costos de conservación y de operación de

transporte. Este balanceo puede aceptar diversas opciones estratégicas, de acuerdo con los correspondientes análisis de planeación.⁶

2.2 Historial y trayectoria de los pavimentos rígidos.

2.2.1 Historia de los pavimentos

El hombre a través del tiempo siempre ha necesitado desplazarse y transportar cargas de un lugar a otro, superando para ello muchos eventos y obstáculos naturales; como, por ejemplo: lluvias, inundaciones, ríos, valles, montañas, etc. Aún antes de la invención de la rueda, la que se supone ocurrió hace unos diez mil años, es indudable que hubo movimientos individuales y en masa; muchas de las migraciones en los primeros períodos históricos involucraron gran número de personas y se cubrieron relativamente grandes distancias. Inicialmente, los viajes se realizaban a pie o en animales de carga, lo que llevó al desarrollo de rutas más o menos regulares que se extendieron hasta los límites del mundo conocido, este continuo tránsito por los caminos sirvió para compactar el terreno, constituyéndose como el primer paso en la evolución de los pavimentos. Con el transcurso del tiempo y la aparición de la rueda, fue necesario crear una capa de rodadura más resistente que permitiera la circulación de vehículos de tracción animal en cualquier época del año y bajo condiciones adversas. Se cree que los primeros caminos pavimentados surgieron en Mesopotamia hace unos 5500 años, posteriormente los pueblos Asirio y egipcio construyeron una ruta entre

⁶ Instituto Mexicano del Transporte. (2006). Reflexiones sobre el uso de pavimentos asfálticos y rígidos. Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Asia y Egipto alrededor del año 3500 A.C. Los Cartagineses por su parte construyeron un sistema de caminos de piedra a lo largo de la costa sur del Mediterráneo por el año 500 A.C. Según el historiador griego Heródoto (484-425 A.C.), los primeros caminos de piedra fueron construidos en Egipto durante el reinado de Keops, y sirvieron para transportar los inmensos bloques de piedra que se utilizaron en la construcción de las pirámides. Como puede verse, el desarrollo de las grandes civilizaciones estuvo fuertemente ligado a la facilidad con que sus habitantes podían comunicarse unos con otros y establecer relaciones económico-sociales. Además, el mejoramiento sostenido de sus caminos significó durante mucho tiempo el dominio de sus territorios y la posibilidad de expandirse cada vez más. Los romanos, por ejemplo, se destacaron por la calidad de sus caminos, los cuales se consideran como los primeros construidos científicamente, gracias al desarrollo de técnicas sumamente efectivas para la estabilización de los suelos, llegando hasta la construcción de capas de rodaje conformadas por piedras labradas pegadas entre sí mediante la utilización de mortero de cemento natural. Con estos métodos se lograron mantener en buen estado los caminos hasta la edad media, cuando cayeron en desuso debido a su alto costo. Algunos de los caminos construidos con dichas técnicas aún pueden apreciarse, como es el caso de la

famosa Vía Apia que iba de Roma a Hidruntum y cuya construcción se inició en el año 312 A.C. ver Figura 2.4 y Figura 2.5⁷

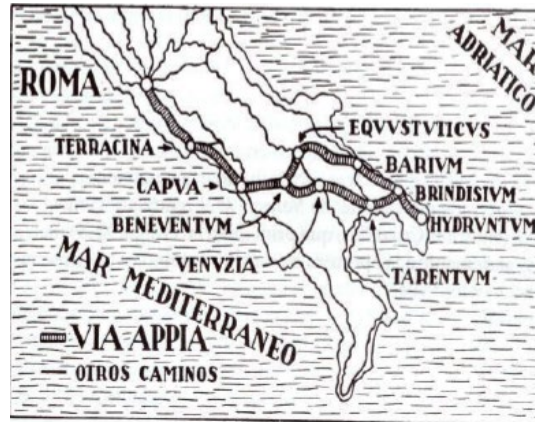


Figura. 2-4 Vía Apia y otros caminos

Fuente: Chevallier, R. (1997). Roman Roads. University of California Press.



Figura. 2-5 Vía Apia en la actualidad

Fuente: Imagen tomada de página web historianationalgeographic.com

Por otra parte, en el continente americano las civilizaciones Maya, Tolteca, Azteca e Inca desarrollaron también una avanzada técnica de construcción de caminos

⁷ Gutiérrez García, F. (2006). Capítulo 2: Evolución histórica de los pavimentos

en sus territorios. Los Mayas construyeron los llamados Caminos Blancos, formados con terraplenes de uno y dos metros de elevación que eran cubiertos con una superficie de piedra caliza, y cuyos vestigios aún se encuentran en Yucatán, México. La capital azteca según las crónicas españolas estaba situada al centro de un lago y se comunicaba con tierra firme por medio de grandes calzadas. Con el paso del tiempo, las actividades del ser humano se fueron diversificando y volviéndose más complejas; lo que obligó a mantener un estudio constante para el mejoramiento de las técnicas de construcción de caminos y carreteras, ya que estas obras fueron cada vez mayormente exigidas desde el punto de vista estructural y funcional, representando un reto diario para los Ingenieros de Carreteras el lograr mejores vías con los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.

En Inglaterra a la par de la era Napoleónica, Thomas Telford y John L. McAdam, desarrollaron técnicas parecidas para la construcción de caminos. McAdam (1756 – 1836) formuló las primeras consideraciones acerca de la importancia del drenaje para conservar la estructura del pavimento, así como de la combinación de agregados de diferentes tamaños para mejorar la capacidad de transmisión de las cargas en las bases granulares. Como base para los caminos, McAdam utilizaba una piedra más pequeña que la utilizada por Telford, lo cual se constituyó como el principio fundamental para los pavimentos y bases de macadam. Alrededor del año 1800, con la llegada de los automóviles y los neumáticos, el empedrado dejó de ser una opción viable desde los puntos de vista estructural y

funcional, así como también de seguridad, debido a que se acrecentaron las fuerzas horizontales provocadas por el arranque, la aceleración y el frenado de los vehículos, de igual manera sucedió con el fenómeno de succión que degradaba rápidamente la superficie de las vías. Como alternativa surgieron los pavimentos adoquinados, sin embargo, el auge automotriz demandaba grandes cantidades de adoquines para pavimentar y al no dar abasto se tuvo la necesidad de buscar nuevas técnicas, llegando hasta el pavimento actual; el cual necesita de la utilización de materiales ligantes como el asfalto o el cemento Portland.

La primera aplicación de asfalto en la construcción de vías para tránsito de vehículos se remonta a 1852, en la carretera que une a París con Perpignan, y dos años después se utilizó el primer sistema para compactar el concreto asfáltico. La construcción moderna de caminos se inició en 1869 en Estados Unidos, donde se usó por primera vez una máquina que permitía una compactación más rápida, fácil y de mejor calidad que con el método manual. En 1870 se construyó un pavimento asfáltico en Newark, al año siguiente se construyó en Washington un pavimento compuesto de roca triturada, arena, alquitrán y aceite de creosota. Los pavimentos de concreto de cemento Portland se desarrollaron a partir de 1865 en Inverness (Escocia), posteriormente en 1866 y 1872 se llevaron a cabo trabajos de pavimentación en Edimburgo (Escocia). En América, la primera experiencia en la construcción de pavimentos de concreto se remonta a 1891 cuando en Bellfontaine (Ohio – Estados Unidos), se construyó una franja de 80 m. de largo y 2.4 m. de ancho que aún hoy subsiste. Dos años

después se construyó allí mismo el primer pavimento con el ancho de una vía, siendo éste la primera muestra de los que conocemos hoy en día. El tratamiento de suelos naturales con cemento (suelo – cemento) en el uso de vías se empezó a desarrollar a partir de 1930. En los Estados Unidos se construyeron bases mejoradas, que eran poco sensibles a las condiciones climáticas y facilitaban la construcción de las capas superiores en vías de moderado y alto tráfico. A partir de 1933, se inicia realmente la era industrial de los pavimentos de concreto, fenómeno que se dio primero en Alemania, como una lucha contra el desempleo y a la vez para permitir el desplazamiento rápido y seguro de las unidades militares.⁸

2.2.2 Evolución y surgimiento de los pavimentos rígidos en El Salvador.

2.2.2.1 Historia del Pavimento Rígido en Carreteras en El Salvador

2.2.2.1.1 Introducción del Pavimento Rígido

La implementación del pavimento rígido en El Salvador comenzó a mediados del siglo XX. Este tipo de pavimento fue elegido por su durabilidad y capacidad para soportar cargas pesadas, lo que lo hace ideal para carreteras y áreas industriales. La primera carretera importante construida con pavimento rígido fue la Carretera Panamericana, que atraviesa el país y conecta con otros países de Centroamérica¹.

⁸ Gutiérrez García, F. (2006). Capítulo 2: Evolución histórica de los pavimentos

2.2.2.1.2 Avances Tecnológicos

Materiales y Diseño: Inicialmente, el pavimento rígido se construía con técnicas básicas de mezcla y colocación de concreto. Con el tiempo, se han incorporado aditivos y técnicas de refuerzo que mejoran la resistencia y durabilidad del pavimento.

Métodos de Construcción: La tecnología de construcción ha avanzado significativamente. Se han introducido métodos como el uso de maquinaria especializada para la colocación y compactación del concreto, lo que ha mejorado la calidad y eficiencia de las obras.

Mantenimiento y Reparación: Con el desarrollo de nuevas tecnologías, el mantenimiento y la reparación de pavimentos rígidos se han vuelto más eficientes. Técnicas como el reciclaje de concreto y el uso de materiales compuestos para reparaciones rápidas han sido adoptadas.

Sostenibilidad: En los últimos años, se ha puesto un mayor énfasis en la sostenibilidad. Se están utilizando materiales reciclados y técnicas de construcción que reducen el impacto ambiental, alineándose con las tendencias globales de construcción sostenible.⁹

2.2.2.1.3 Impacto en la Infraestructura Vial

El uso del pavimento rígido ha permitido que El Salvador mejore su infraestructura vial, contribuyendo al desarrollo económico y social del país. Las

⁹ SACDEL. (2004). La red vial en El Salvador: Análisis de competencias y recursos. Sistema de Asesoría y Capacitación para el Desarrollo Local.

carreteras construidas con este tipo de pavimento han demostrado ser más duraderas y requieren menos mantenimiento, lo que resulta en una inversión a largo plazo más eficiente.

2.2.2.2 Historia de la Primera Carretera de Pavimento Rígido en El Salvador

La primera carretera construida con pavimento rígido en El Salvador fue la Carretera Panamericana. Esta carretera es una de las más importantes del país, ya que atraviesa El Salvador y conecta con otros países de Centroamérica.

2.2.2.2.1 Contexto y Construcción

La construcción de la Carretera Panamericana comenzó a mediados del siglo XX, en un esfuerzo por mejorar la infraestructura vial y facilitar el comercio y el transporte en la región. El pavimento rígido fue elegido por su durabilidad y capacidad para soportar el tráfico pesado, lo que era esencial para una vía de tanta relevancia.

2.2.2.2.2 Avances Tecnológicos

Durante la construcción de la Carretera Panamericana, se implementaron varias innovaciones tecnológicas. Se utilizaron aditivos y técnicas de refuerzo en el concreto para mejorar su resistencia y durabilidad. Además, se introdujeron métodos avanzados de colocación y compactación del concreto, utilizando maquinaria especializada.

2.2.2.2.3 Impacto en la Infraestructura Vial

La Carretera Panamericana ha tenido un impacto significativo en la infraestructura vial de El Salvador. No solo ha mejorado la conectividad dentro del país, sino que también ha facilitado el comercio y el transporte con otros países de la región. La durabilidad del pavimento rígido ha demostrado ser una inversión a largo plazo eficiente, requiriendo menos mantenimiento y reparaciones frecuentes

2.2.3 Definición de Pavimentos Rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

2.2.4 Características de los pavimentos rígidos

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de Intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial.
- Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.

- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico. Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de los adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Por su rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losa y juntas sin pasajuntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables.

Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Este punto de vista es el que influye en los sistemas de cálculos de pavimentos rígidos, sistemas que combinan el espesor y la resistencia de concreto de las losas, para una carga y suelos dados. Aunque en teoría las lasas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de subbase para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida

por la losa de concreto hidráulico y la subbase, que se construye sobre la capa subrasante.

2.2.5 Tipos de pavimento rígido.

Existen 5 tipos de pavimentos rígidos:

- De concreto simple
- De concreto simple con barras de transferencia de carga.
- De concreto reforzado y con refuerzo continuo.
- De concreto preforzado.
- De concreto fibroso.

a) Pavimentos de concreto simple.

Se construyen sin acero de refuerzo y sin barras de transferencia de cargas en las juntas. Dicha transferencia se logra a través de la trabazón. entre los agregados de las dos caras agrietadas de las contiguas, formados por el aserrado o corte de la junta. Para que la transferencia de carga sea efectiva, es preciso tener losas cortas. Este tipo de pavimento se recomienda generalmente para casos en que el volumen de tránsito es de tipo mediano o bajo.

b) Pavimentos de concreto simple con barras de transferencia de carga.

Construido sin acero de refuerzo; sin embargo, en ellos se disponen de barras lisas en cada junta de contracción, las cuales actúan como dispositivos de

transferencia de cargas, requiriéndose también que las pérdidas sean cortas para controlar el agrietamiento.

c) Pavimentos Reforzados.

Contienen acero de refuerzo y pasajuntas en las juntas de contracción. Estos pavimentos se construyen con separaciones entre juntas superiores a las utilizados en pavimentos convencionales. Debido a ello es posible que entre las juntas se producirán una o más fisuras transversales, las cuales se mantienen prácticamente cerradas a causa del acero de refuerzo, lográndose una excelente transferencia de carga a través de ellas.

d) Pavimentos con refuerzo continuo

Por su parte, se construyen sin juntas de contracción debido a su continuo contenido de acero en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan grietas transversales a intervalos muy cortos. Sin embargo, por la presencia de refuerzo, se desarrolla una gran transferencia de carga en las caras de las fisuras. Normalmente un espaciamiento de juntas que no excede los 4.50m tienen un buen comportamiento en pavimentos de concreto simple, así como uno no mayor a 6m en pavimentos con pasajuntas, ni superior a 12 m en pavimentos reforzados. Espaciamientos mayores a estos, han sido empleados con alguna frecuencia, pero han generado deterioros, tanto en las juntas, como en las fisuras transversales intermedias.

e) Pavimentos con concreto preforzado

Están constituidos a base de losas que han sido previamente esforzadas y de esta manera no contienen juntas de construcción. Se han ensayado varios sistemas de presfuerzo y postensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos de espesor reducido, gran elasticidad y capacidad de soporte, y reducción de juntas. Gracias al sistema de presfuerzo se han podido construir lasas de más de 120 m de longitud, con una reducción del 50% del espesor de la pérdida. Sin embargo, pese a los esfuerzos para desarrollar esta técnica, en carreteras se han producido más dificultades que ventajas.

f) Pavimentos de concreto fibroso.

En este tipo de losas, el armado consiste en fibras de acero, de productos plásticos o de fibra de vidrio, distribuidos aleatoriamente, gracias a lo cual se obtienen ventajas tales como el aumento de la resistencia a la tensión y a la fatiga, fisuración controlada, resistencia al impacto, durabilidad, etc. con una dosificación de unos 40 kg/m³ de concreto, es posible reducir el espesor de la losa en 30% y aumentar el espaciado entre juntas por lo que puede resultar atractivo su uso en ciertos casos a pesar de su costo. Existen otros tipos de técnicas aplicadas a los pavimentos rígidos en donde se otorgan soluciones idóneas y se logre una óptima calidad de las obras. Lo dicho vale tanto para el caso de obras nuevas, como para el de reparaciones y rehabilitaciones.

2.3 Elementos de los pavimentos rígidos.

2.3.1 Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

2.3.1.1 Funciones de la Subrasante*

Las principales funciones de la capa subrasante son:

1. Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son permitidas por el pavimento.
2. Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.

2.3.2 Base o subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

2.3.2.1 Funciones de la Subbase

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.

- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento. Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

2.3.3 Losa de Concreto.

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

2.4 Modelos de Deterioro de Pavimentos: Antecedentes y Evolución.

Los modelos de deterioro de pavimentos han desempeñado un papel fundamental en la gestión y planificación de infraestructuras viales a lo largo de las décadas. Desde sus inicios hasta las versiones más avanzadas que

utilizamos hoy en día, estos modelos han evolucionado significativamente. En esta sección, exploraremos su historia, relevancia y aplicaciones.¹⁰

2.4.1 Orígenes y Desarrollo Inicial:

En la década de 1960, el Banco Mundial inició la creación de un modelo de evaluación de proyectos de carreteras. Colaborando con instituciones como el Transport Research Laboratory (TRRL) y el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), se dieron los primeros pasos hacia la comprensión de los costos de construcción, operación y mantenimiento de carreteras.

El resultado fue el Modelo de Costos de Carreteras (HCM), desarrollado por el Massachusetts Institute of Technology (MIT). Este modelo permitió analizar las interacciones entre los costos de construcción y la operación vehicular, sentando las bases para futuros desarrollos.

2.4.2 Modelos RTIM y HDM-III:

En los años 70, se crearon dos modelos clave:

El RTIM3, basado en estudios de campo en Kenia, se centró en el deterioro de carreteras.

El HDM-III, desarrollado por el Banco Mundial, amplió su alcance para incluir aspectos como el tráfico y las condiciones climáticas. Estos modelos

¹⁰ Paredes Cárdenas, J. A. (2018). Modelos de deterioro del pavimento y su correlación con las evaluaciones funcionales de los años 2010–2016, en la carretera Inambari–Azángaro

proporcionaron una visión más completa de los costos de mantenimiento y operación, permitiendo una mejor toma de decisiones en la gestión de pavimentos.

2.4.2.1 Modelo de Inversión en Transporte por Carretera (RITM)

El TRRL y el Banco Mundial llevaron a cabo un extenso estudio de campo en Kenia para investigar el deterioro de carreteras pavimentadas y no pavimentadas, así como los factores que afectan los costos de operación vehicular en países en vías de desarrollo.

Utilizando los resultados de este estudio, crearon la primera versión prototipo del RITM para países en desarrollo.

2.4.2.2 Modelo de Estándares para la Conservación y Diseño de Carreteras (HDM)

En 1976, el Banco Mundial financió desarrollos adicionales en el MIT, donde se produjo la primera versión del HDM.

Este modelo amplió su alcance geográfico mediante estudios complementarios en varios países, como el Caribe, India y Brasil. Aunque las relaciones técnicas de los modelos RTIM3 y HDM-III tenían más de 10 años de antigüedad para 1995, seguían siendo válidas. Sin embargo, se necesitaba incorporar los resultados de investigaciones recientes realizadas en todo el mundo.

Evolución Tecnológica y Versiones Posteriores:

Con el avance de la tecnología informática, surgieron versiones más accesibles de estos modelos, como el RTMI2 y el HDM-PC, adaptados para microcomputadoras.

A pesar de estas mejoras, la necesidad de actualización era evidente. Los modelos debían reflejar avances en pavimentos, condiciones de uso y prácticas informáticas modernas.

2.4.3 El HiperPav III: Un Paso Adelante

El HiperPav III representa una evolución significativa en el campo de la gestión de pavimentos. Este modelo se enfoca específicamente en el deterioro del pavimento, considerando factores como la calidad del material, el tráfico y las condiciones climáticas. Su objetivo principal es proporcionar una herramienta precisa para predecir el deterioro y planificar estrategias de mantenimiento. Gracias a investigaciones y tecnologías más recientes, el HiperPav III se ha convertido en una herramienta valiosa para ingenieros y planificadores de infraestructuras viales.

2.4.3.1 HIPERPAV III (High PERFORMANCE Concrete PAVing):

El HIPERPAV III es un software utilizado para analizar el comportamiento en las primeras etapas de los pavimentos de concretos articulados, pavimentos de concreto continuamente reforzados y recubrimientos de concreto adheridos.

Este programa es empleado por planificadores, diseñadores, contratistas y proveedores con diversos propósitos.

El HIPERPAV III fue desarrollado por Transtec y la FHWA (Administración Federal de Carreteras) después de completar un proyecto de investigación que modelaba el desarrollo de la resistencia del concreto en sus primeras etapas y las tensiones resultantes de los cambios de humedad y temperatura dentro del pavimento.

Durante la etapa de planificación, el HIPERPAV III se utiliza para desarrollar especificaciones de control de calidad basadas en los materiales disponibles y las condiciones climáticas locales.

Los diseñadores de pavimentos utilizan el HIPERPAV III para optimizar las variables de diseño y garantizar un rendimiento a largo plazo mientras maximizan la economía.

Los contratistas emplean el HIPERPAV III para prevenir reparaciones costosas al predecir daños potenciales y determinar cómo evitarlos.

Los proveedores gestionan la temperatura del concreto según sus mezclas y condiciones climáticas específicas del proyecto.

Nuevas Características del HIPERPAV III:

La versión 3.3 del HIPERPAV III incluye mejoras en la interfaz para facilitar la navegación, la capacidad de caracterizar la evolución del calor de una pasta de cemento específica y un modo por lotes para analizar varias estrategias a la vez.

También se ha incorporado un módulo de comparaciones con herramientas de análisis de sensibilidad para evaluar rápidamente los efectos de las variables ambientales, de diseño y de construcción en la ganancia de resistencia, el desarrollo de tensiones y las relaciones entre resistencia y tensión en las primeras etapas.

Orígenes y Desarrollo:

El HiperPav III es un modelo avanzado diseñado para predecir el deterioro de pavimentos a lo largo del tiempo.

Su desarrollo se basa en investigaciones extensas y avances tecnológicos.

Combina lo mejor de ambos mundos al ser un modelo mecanístico-empírico, utilizando datos empíricos junto con principios mecánicos para predecir el deterioro.

El HiperPav III tiene en cuenta múltiples variables, como la calidad del material, el tráfico, las condiciones climáticas y la estructura del pavimento, integrándolas en ecuaciones que predicen el deterioro a lo largo del tiempo.

Aplicaciones y Beneficios del HiperPav III.

El HiperPav III tiene varias aplicaciones prácticas:

Gestión de Mantenimiento: Ayuda a las agencias viales a prever cuándo se requerirá mantenimiento en secciones específicas de la carretera.

Esto permite una planificación más eficiente y una asignación adecuada de recursos.

Planificación Financiera: Al predecir el deterioro, el modelo permite estimar los requisitos de financiamiento a largo plazo para la preservación del pavimento.

Las agencias pueden analizar diferentes presupuestos y evaluar su impacto en la condición de la red vial.

Diseño y Evaluación Económica: El HiperPav III se utiliza tanto para el diseño de pavimentos como para la evaluación económica del ciclo de vida.

Su capacidad para relacionar variables de exposición con el deterioro permite tomar decisiones informadas en el diseño y la inversión en infraestructuras viales.

Perspectivas Futuras:

A medida que la tecnología avanza, el HiperPav III seguirá evolucionando.

Algunas áreas de desarrollo futuro incluyen:

Inteligencia Artificial y Big Data: La incorporación de técnicas de IA y el análisis de grandes conjuntos de datos mejorarán aún más la precisión del modelo.

Sensores Integrados: La instalación de sensores directamente en el pavimento proporcionará datos en tiempo real sobre su estado, permitiendo una gestión proactiva.

Sostenibilidad y Resiliencia: El modelo debe considerar no solo el deterioro físico, sino también la sostenibilidad ambiental y la capacidad de resistir eventos extremos.

2.5 Modelo de deterioro HIPERPAV III

Durante algunos años, el pavimento experimenta un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodamiento y en menor medida en el resto de su estructura. Este desgaste es producido por los diversos tipos de vehículos que circulan sobre él, también por la influencia que ejercen otros factores como el clima, la radiación solar, el agua de lluvias, cambios de temperatura, etc. La calidad de la construcción inicial también incide en la evolución del deterioro. A través de toda esta etapa el pavimento se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario no percibe el desgaste.

2.5.1 Modelos utilizados por el software HIPERPAV III

2.5.1.1 Modelo de humedad mejorado en HIPERPAV III

HIPERPAV III incorpora un modelo de humedad mejorado para aumentar la precisión en las predicciones del comportamiento del concreto de cemento Portland (PCC) en sus primeras etapas de endurecimiento. A diferencia de versiones anteriores, que se centraban en los efectos de la temperatura, este nuevo modelo considera la influencia crucial de la humedad en el PCC.

Factores que afectan el contenido de humedad en el concreto:

- Tipo de base
- Relación agua-cemento
- Tipo de cemento
- Aditivos
- Material cementante suplementario
- Agregados
- Temperatura
- Velocidad del viento
- Humedad relativa del aire
- Tipo de curado

Cuando el concreto se seca, experimenta contracción debido a la hidratación, la evaporación o el transporte de humedad hacia la base. Estos cambios generan movimientos axiales, de curvatura y de alabeo, lo que crea tensiones de tracción y la posibilidad de grietas tempranas.

Cálculo del potencial de agrietamiento temprano: En HIPERPAV III, se utiliza un modelo unidimensional de diferencias finitas que relaciona materiales, efectos ambientales y procedimientos de curado para predecir el agrietamiento temprano debido al contenido de humedad.¹¹

¹¹ Xu, Q., Ruiz, J. M., Chang, G. K., Dick, J. C., Garber, S. I., & Rasmussen, R. O. (2009). Computer-Based Guidelines for Concrete Pavements: HIPERPAV III: User Manual (FHWA-HRT-09-048). Federal Highway Administration.

2.5.1.1.1 Efecto de la humedad base

Durante el desarrollo del modelo, se puede identificar un gran efecto en las tensiones según el estado de humedad de la base/subbase. Por lo tanto, se incluyó un insumo para que los usuarios indiquen si la subbase está húmeda o seca (Figura 2.6)

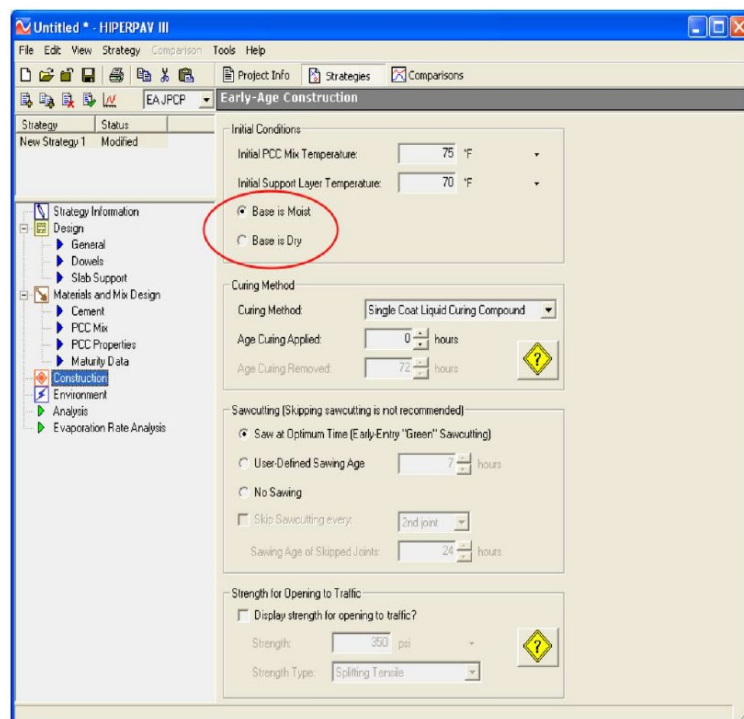


Figura. 2-6 Selección de la condición de la base

Fuente: Manual de HIPERPAV III

2.5.1.1.2 Pérdida de humedad por evaporación en HIPERPAV III.

El modelo de humedad mejorado en HIPERPAV III se enfoca en caracterizar el efecto de la humedad sobre la contracción por secado, las tensiones de deformación y la ganancia de resistencia en el concreto de cemento Portland (PCC) durante sus primeras etapas de endurecimiento.

Análisis de la tasa de evaporación:

- Consideraciones: El análisis tiene en cuenta las condiciones ambientales y la temperatura del concreto.
- Ecuación de Mendel: Estima la pérdida por evaporación de la superficie del concreto.
- Trabajo futuro: Aunque el modelo actual no aborda completamente este efecto, podrían realizarse investigaciones adicionales para desarrollar modelos más precisos.

Otros parámetros del material calculados por HIPERPAV III:

- Difusividad inicial
- Factor de superficie

2.5.1.2 Modelo de caracterización de la evolución del calor en HIPERPAV III

La capacidad para caracterizar la evolución del calor en la pasta de cemento mediante pruebas de calorimetría semiadiabática mejora la precisión de los modelos matemáticos en HIPERPAV III. Estos modelos permiten predecir tanto la tensión térmica como el desarrollo de resistencia.

En versiones anteriores de HIPERPAV III, se basaban en modelos de regresión lineal relacionados con la química de los materiales cementosos para modelar la evolución del calor. El calor de hidratación influye en los gradientes térmicos y

afecta las tensiones de tracción en el concreto durante sus primeras etapas de endurecimiento.

2.5.2 Datos de análisis dentro del modelo.

Los modelos de deterioro pueden surgir a partir de desarrollos empíricos y/o mecanicistas. Los desarrollos empíricos tienen su origen en bases de datos reales conformadas a partir de pavimentos existentes, en dichas bases de datos se registra gran cantidad de información referida a diversos aspectos entre los que se cuentan: información general de los pavimentos, datos de diseño (materiales, diseño estructural, diseño de juntas, etc.) características del drenaje y de los hombros, datos de tránsito, condiciones climáticas y de deterioros a lo largo de su vida útil. Luego de determinar las variables más relevantes en la formación de cada deterioro, se realiza con ellas un análisis estadístico que da origen al modelo que predice el comportamiento futuro del pavimento, en base a una ecuación que relaciona las variables seleccionadas.

2.5.3 Daño Escalonamiento.

Falla provocada por el tráfico en la que una losa del pavimento a un lado de una junta presenta un desnivel con respecto a la losa vecina; también puede manifestarse en correspondencia con grietas. Ver Figura 2.7

Es resultado en parte del acenso a través de la junta o grieta, del material suelto proveniente de debajo de la losa anterior (en sentido de la circulación del tránsito)

como también por depresión del extremo de la losa posterior, al disminuir el soporte de la fundación. Son manifestaciones indicativas de:

- Bombeo bajo las losas.
- Deficiente transferencia de carga en juntas.
- Falta de apoyo de la fundación.

La severidad del daño se determina en función del desnivel promedio medido en correspondencia con las juntas, clasificando tres niveles (bajo, medio, alto):

- BAJO: Diferencia de nivel de 3 a 6 mm.
- MEDIO: Diferencia de nivel mayor de 6 mm a 12 mm.
- ALTO: Diferencia de nivel mayor de 12 mm.

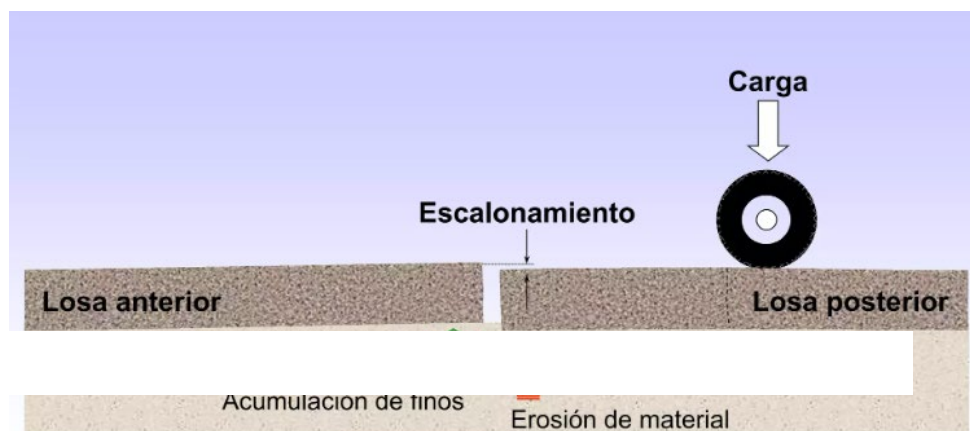


Figura. 2-7 Daño por Escalonamiento.

Fuente: imagen tomada de Manual de comportamiento de pavimentos de concreto del ICPA (Instituto del Cemento Portland Argentino)

2.5.4 Agrietamiento longitudinal.

Fracturamiento lineal de la losa que ocurre aproximadamente paralelo al eje del pavimento, dividiendo la misma en dos o tres losas. Pueden ocurrir en coincidencia con las huellas de canalización del tránsito, al centro de la losa o de la calzada (en ausencia de una junta longitudinal) su ubicación suele ser indicativa del mecanismo de daño que la origina.

Es provocada por la acción combinada de algunos de los siguientes mecanismos:

- Repetición de cargas pesadas (fatiga) en pavimentos infradiseños.
- Pérdida de soporte de la fundación.
- Gradientes de tensiones por cambio de temperatura y humedad.
- Inadecuada ejecución de la junta longitudinal (suele ubicarse próxima a esta).
- Ausencia de la junta longitudinal o losas con una relación ancho/longitud excesiva

Se diferencia tres niveles de severidad (bajo, medio, alto) de acuerdo con el ancho de la fisura, condición y estado de los bordes de esta, según la siguiente guía:

- BAJO: Existe alguna de las condiciones siguientes: Fisura fina, inactiva, que mantiene sus bordes ligados (ancho menor de 1.0 mm); no hay signos de despostillamiento ni escalonamiento entre sus bordes); Fisura sellada, de

cualquier ancho promedio comprendido entre 1.0 y 12 mm, acompañada o no por despostillamiento ni escalonamiento entre sus bordes).

- MEDIO: Existe alguna de las condiciones siguientes: Fisura probablemente activa de ancho promedio comprendido entre 1.0 y 12 mm, acompañada o no por despostillamiento de severidad media o baja y/o por escalonamiento menor de 12 mm; Fisura sellada, de cualquier ancho con el material de sello en condición insatisfactoria, acompañada o no de despostillamiento de severidad media o baja y/o por escalonamiento menor de 12 mm.

- ALTO: Existe alguna de las condiciones siguientes: Fisura de mayor de 12 mm; Fisura sellada o no, de cualquier ancho, con despostillamiento severo y/o escalonamiento mayor de 12 mm.. Ver Figura 2.8 y Figura 2.9.



Figura. 2-8 Severidad baja, media y alta respectivamente

Fuente: Manual mexicano de deterioros superficiales de los pavimentos.



Figura. 2-9 Daño por agrietamiento longitudinal encontrado en Tramo de carretera en estudio

Fuente: fuentes propias, datos de levantamiento en campo.

2.5.5 Daño de Despostillamiento de Juntas Transversales (JPCP).

Rotura, fracturamiento o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60m de una junta o de una esquina. Generalmente no se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa, sino que intersecan la junta en ángulo. Las esquinas de las losas suelen ser los lugares más críticos. El despostillamiento puede presentarse también acompañado grietas, siendo indicativo de una mayor actividad y severidad de estas; por ello, tal despostillamiento no se registra separadamente –como un defecto independiente– sino es que es tenido al definir el nivel de severidad de las fisuras.

Los despostillamientos se producen como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente:

- Excesivas tensiones en la junta ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles.
- Debilidad del concreto en la proximidad de la junta, debido a un sobreterminado y excesiva perturbación durante la ejecución de la junta.
- Deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta (deficiente alineamiento, corrosión).
- Acumulación de agua a nivel de las juntas.



Figura. 2-10 Despostillamiento de juntas transversales.

Fuente: fuentes propias, datos de levantamiento en campo



Figura. 2-11 Despostillamiento encontrado en tramo de carretera en estudio.

Fuente: fuentes propias, datos de levantamiento en campo

2.5.6 Daño de Agrietamiento Transversal.

Fracturamiento lineal de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a éste, dividiendo la misma en dos o tres losas. Ocurren próximas las juntas transversales a cierta distancia o alejadas (centro de las losas), siendo su ubicación indicativa del mecanismo de falla que las origina. Grietas que reemplazan juntas transversales suele experimentar un grado de actividad importante. Ver Figura 2.12 y Figura 2.13 Es causada por uno, o una combinación de los siguientes factores:

- Excesiva repeticiones de cargas pesadas (fatiga).

- Deciente apoyo de las losas (localizadas generalmente a una distancia de 0.50 a 2.00 m de la junta transversal).
- Asentamientos de la fundación (a veces en forma de arco y acompañada de hundimiento).
- Excesiva relación longitud/ancho de la losa, o deficiencias en la ejecución de las juntas (grietas activas localizadas al centro de las losas o distribuidas regularmente a lo largo del pavimento).
- Variaciones significativas en el espesor de las losas.

Se diferencian tres niveles de severidad (bajo, medio, alto) de acuerdo con el ancho de la fisura, condición y estado de los bordes de esta, según la siguiente guía:

- BAJA: Existe alguna de las condiciones siguientes: Fisura fina, inactiva, que mantiene sus bordes ligados (ancho menor de 1.0 mm); no hay signos de despostillamiento ni escalonamiento entre sus bordes; Fisura sellada de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria; no hay signos de despostillamiento ni escalonamiento entre sus bordes.
- MEDIA: Existe alguna de las condiciones siguientes: Fisura probablemente activa de ancho promedio comprendido entre 1.0 y 12 mm, acompañada o no por despostillamiento de severidad media o baja, y/o de escalonamiento menor de 12 mm; Fisura sellada de cualquier ancho, con el material de sello en condición

insatisfactoria, acompañada o no de despostillamiento de severidad media o baja y/o de escalonamiento menor de 12 mm.

- ALTO: Existe algunas de las condiciones siguientes: Fisura de ancho mayor de 12 mm; Fisura sellada o no, de cualquier ancho, con despostillamiento severo y/o escalonamiento mayor de 12 mm.

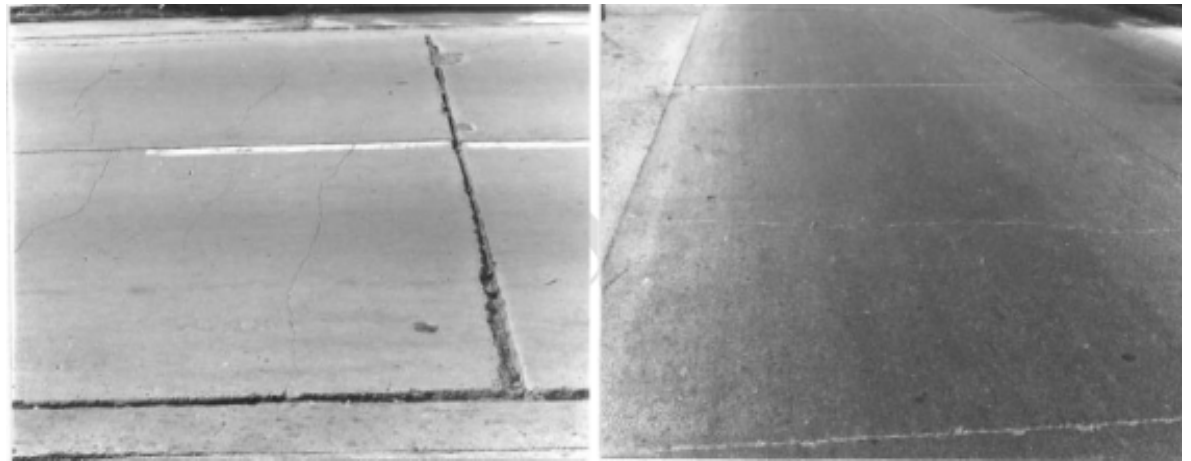


Figura. 2-12 Daño por agrietamiento transversal.

Fuente: Manual mexicano de deterioros superficiales de los pavimentos.



Figura. 2-13 Daño por agrietamiento trasversal encontrado en carretera en estudio.

Fuente: fuentes propias, datos de levantamiento en campo.

2.5.7 Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Este índice como su propio nombre lo indica evalúa el estado de la superficie del pavimento, en qué condiciones se encuentra, por lo tanto, al igual que el PSI está relacionado con el confort del usuario al transitar en el pavimento. El IRI es el número de irregularidades (desplazamientos verticales), dividido por la longitud del intervalo (m/km). En la actualidad hay diversos instrumentos que permiten obtener el IRI de una manera rápida y precisa.¹²

Aplicaciones:

¹² Ventura Espinal, J. A., Alvarenga, E. R., & Hernández Flores, D. A. (2005). Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano, El Salvador.

- Medida y registro de la regularidad superficial de un pavimento.
- Obtención del perfil de este.

2.5.7.1 Características del IRI.

- El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento.
- Se determina a partir de las cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas con cualquier técnica de medición.
- Se calcula mediante una integración matemática de los efectos dinámicos del perfil analizado sobre un modelo mecánico estandarizado que representa un cuarto de auto circulando por un tramo de una vía a una velocidad determinada.

2.5.7.2 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL.

- **PERFILÓGRAFO LASER**

El equipo utilizado para la toma de la rugosidad es el perfilógrafo láser RSPL5 (Road Surfacer Profiler) de la Cía Dynatest, el cual permite revelar en forma continua el IRI en el carril de circulación del tramo seleccionado.

Existen 7 sensores ubicados en el Bumper delantero del vehículo como se observa en la Figura 2.14, los cuales son: Dos (2) sensores acelerómetros, que miden el desplazamiento vertical del vehículo (aceleraciones verticales). Cinco (5) sensores láser, que miden el desplazamiento entre el vehículo y el pavimento.

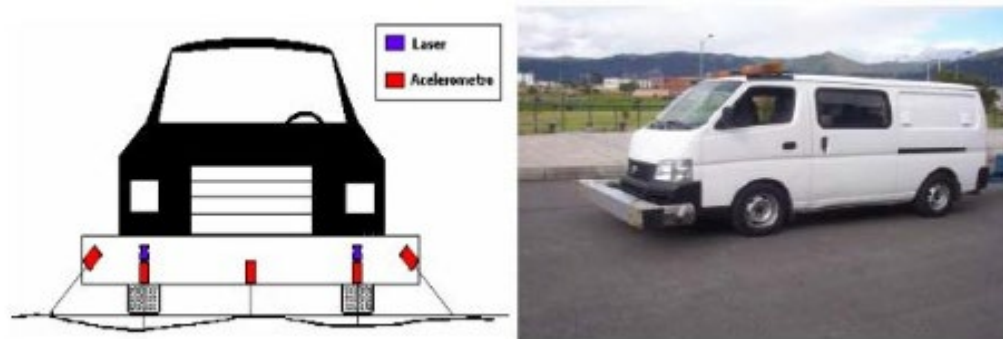


Figura. 2-14 Perfil laser RSP-L5

Fuente: Imagen tomada de página web Dynatest Latinoamérica y el caribe.

Por otra parte, la medición de distancias se lleva a cabo por un Odómetro colocado en la rueda del vehículo, al girar da la lectura de la distancia recorrida por el vehículo y obviamente por la viga que sostiene los sensores anteriormente mencionados. El perfil del pavimento se obtiene por la suma integrada de los 7 sensores, los resultados son grabados y archivados en medio magnéticos por un computador ubicado dentro del vehículo, Las mediciones de la rugosidad se efectúan de manera continua y se presentan cada 50 m por medio del uso del Perfilógrafo Láser, con el fin de obtener los valores en términos de IRI cuya unidad de medida es el m/Km. Ver tabla 2.1

Tabla 2-1 Tabla de Rango de calificación del IRI.

Variable	BUENO	REGULAR	MALO
IRI	< 3	3-5	≥ 5

Fuente: American Association of state highway and transport officials (AASHTO), 1993

- **DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO.**

Se aplica una carga dinámica en el pavimento de 40 kN causada por la caída de una masa sobre un plato circular cuya superficie de contacto se asemeja a la de la rueda de un camión (Figura 2.15).

Las deflexiones producidas son medidas por un grupo de geófonos (sensores) en micrones, en siete puntos ubicados a distancias de 0, 0.30, 0.60, 0.90, 1.20, 1.50 y 1.80 m del centro del disco de carga de diámetro 0.30 m, y registradas automáticamente en un computador portátil ubicado en el vehículo que arrastra y controla el trailer de medición. De esta manera se asegura la determinación de la curva completa del cuenco de deflexiones.



Figura. 2-15 Defleto metro de impacto FWD

Fuente: Imagen tomada de página web Dynatest Latinoamérica y el caribe.

2.6 Modelos de deterioro de la guía de diseño empírica mecanicista.

2.6.1 Modelo empírico-mecanicista

Los modelos empíricos-mecanicistas combinan la modelación mecánica con observaciones del comportamiento de los pavimentos existentes. Estos modelos utilizan las características de los materiales (generalmente a través de pruebas de laboratorio) y los modelos de respuesta del pavimento (empleando modelos lineales elásticos o modelos de elementos finitos) para calcular la respuesta del pavimento, incluyendo tensiones, deformaciones unitarias y deflexiones en varios puntos de la estructura del pavimento. Estas respuestas son causadas por las cargas de tránsito, el clima o una combinación de ambos. El cálculo de la respuesta del pavimento constituye el componente mecanicista.

Las tensiones y deformaciones calculadas de esta manera se utilizan como parámetros de entrada (variables independientes) en modelos empíricos de regresión para predecir el comportamiento del pavimento. Esta parte constituye el componente empírico. Por lo tanto, un modelo desarrollado mediante técnicas de regresión con la respuesta del pavimento como variable independiente se denomina modelo empírico-mecanicista.

Los modelos empíricos basados en análisis de regresión han sido utilizados durante muchos años y son uno de los modelos de deterioro más ampliamente empleados. Sin embargo, en las últimas dos décadas, ha habido una tendencia

en las agencias de caminos hacia los modelos empíricos-mecanicistas debido al interés desde el punto de vista de la ingeniería.

La principal ventaja de los modelos empíricos-mecanicistas es su capacidad para extrapolar predicciones fuera del rango de datos y condiciones en los que fueron desarrollados, produciendo predicciones determinísticas del desempeño del pavimento. No obstante, es importante reconocer que evaluar la confiabilidad de las predicciones cuando se utilizan fuera del rango original de datos es difícil. A pesar de estas limitaciones, los modelos empíricos-mecanicistas son actualmente los más utilizados para predecir el deterioro de los pavimentos.

2.6.2 Generalidades de la guía de diseño empírica mecanicista que se utilizan en HIPERPAV III.

La Guía de Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos (MEPDG, por sus siglas en inglés) es una herramienta valiosa para el análisis y diseño de estructuras de pavimento. En este ensayo, exploraremos los aspectos generales de esta guía, sus beneficios y limitaciones, así como su aplicabilidad en diferentes contextos.

En muchos países de América Latina, existe una clara necesidad de implementar una guía de diseño de pavimentos que se ajuste a las características de los materiales constituyentes de una estructura de pavimento, las condiciones climáticas de una zona tropical, las cargas de tránsito y las políticas de administración de pavimentos. Aunque en Estados Unidos se ha desarrollado una guía completa, no se puede aplicar directamente en otros lugares debido a las

diferencias en las condiciones locales. Sin embargo, la metodología de diseño mecanístico-empírico (ME) que presenta la guía puede ser calibrada y adaptada para su uso en cualquier parte del mundo.

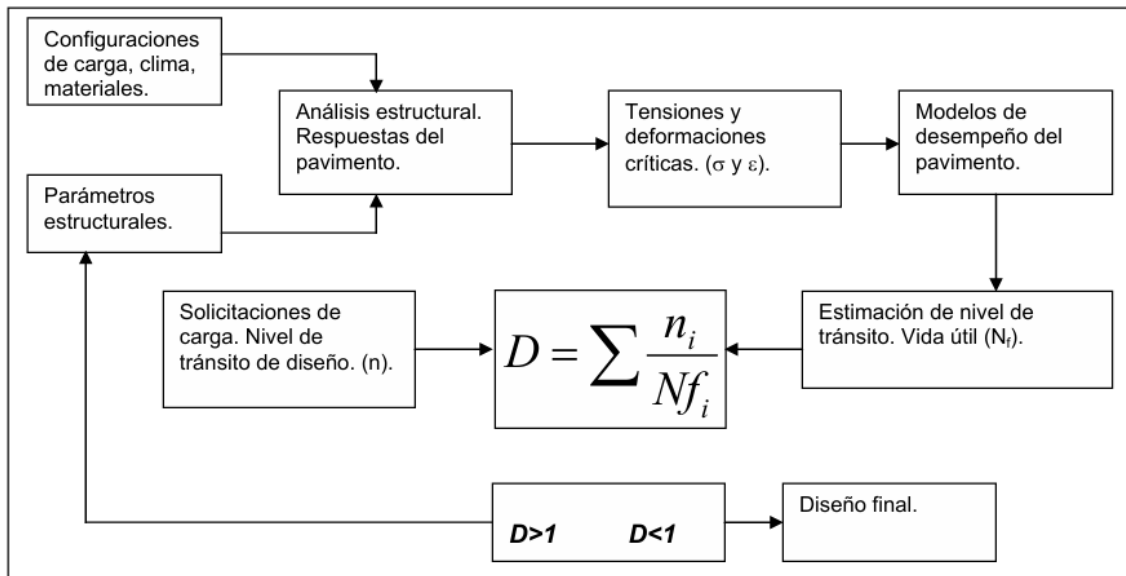


Figura. 2-16 Procedimiento de diseño Mecanístico – Empírico.

Fuente: Guía de Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos (MEPDG, por sus siglas en inglés)

Aspectos Generales de la Guía

La Guía MEPDG consta de cinco capítulos para el análisis y diseño de estructuras de pavimento flexible y rígido. Además, incluye secciones dedicadas a la rehabilitación, verificación de la metodología de diseño, calibración y validación de los modelos¹. Algunos puntos clave son:

Metodología Mecanístico-Empírica: La guía combina la modelación mecánica con observaciones del comportamiento de los pavimentos existentes. Utiliza la

caracterización de materiales y modelos de respuesta del pavimento para calcular tensiones, deformaciones y deflexiones. Estos cálculos se utilizan como parámetros de entrada en modelos empíricos de regresión para predecir el comportamiento del pavimento.

Beneficios: La metodología MEPDG permite un análisis detallado del comportamiento de una estructura de pavimento a lo largo del tiempo. Esto facilita el pronóstico del deterioro que sufrirá el pavimento y ayuda a evaluar por qué algunos pavimentos exceden sus expectativas de diseño.

Limitaciones: Aunque la guía es aplicable en cualquier lugar, es importante reconocer que evaluar la confiabilidad de las predicciones fuera del rango original de datos es difícil. Además, la metodología se desarrolló en Estados Unidos, por lo que su aplicación en otros países requiere adaptación.¹³

¹³ Leiva Villacorta, F. (2006). Nueva guía de diseño mecánica-empírica para estructuras de pavimento (Vistazo a la Guía 2002, Proyecto NCHRP 1-37A). Universidad de Costa Rica, LANAMME.

CAPÍTULO III.

MODELO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS SEGÚN MODELO DE HIPERPAV III.

3.1 Descripción de tramo Segmento I de la Carretera CA04S

Segmento I de la carretera CA04S, tramo III, conocido como el By Pass de La Libertad.

Ubicación: La Libertad, La Libertad



Figura. 3-1 Estado actual Segmento I de la carretera CA04S, tramo III

Fuente: Imagen tomada de: www.mop.gob.sv

El tramo de estudio se encuentra ubicado en el cantón el Cimarrón, municipio de la libertad costa, distrito de La Libertad en el segmento I de la carretera CA04S, tramo III, ver Figura 3-1 que abarca la construcción del By Pass de La Libertad entre los kilómetros 31.86 y 35. La mencionada carretera se construyó con losas de concreto hidráulico de 18 cm de espesor y secciones cuadradas de 3.6x3.6 metros y módulo de ruptura de 4.5 Mpa, además está diseñada con barras de amarre de acero corrugado N°4(1/2”), grado 40, de 65.0 cm de longitud y separación de 90.0 cm para la transferencia de carga en juntas longitudinales y Dovelas de acero liso N°10(1 ¼”), grado 60, de 44.0 cm de longitud, y una separación de 30.0 cm para la transferencia de carga en juntas transversales, cuenta con separadores tipo new jersey y su respectiva señalización con dos carriles por sentido, hombros exteriores y canaletas para sistemas pluviales. Ver Figura 3.2

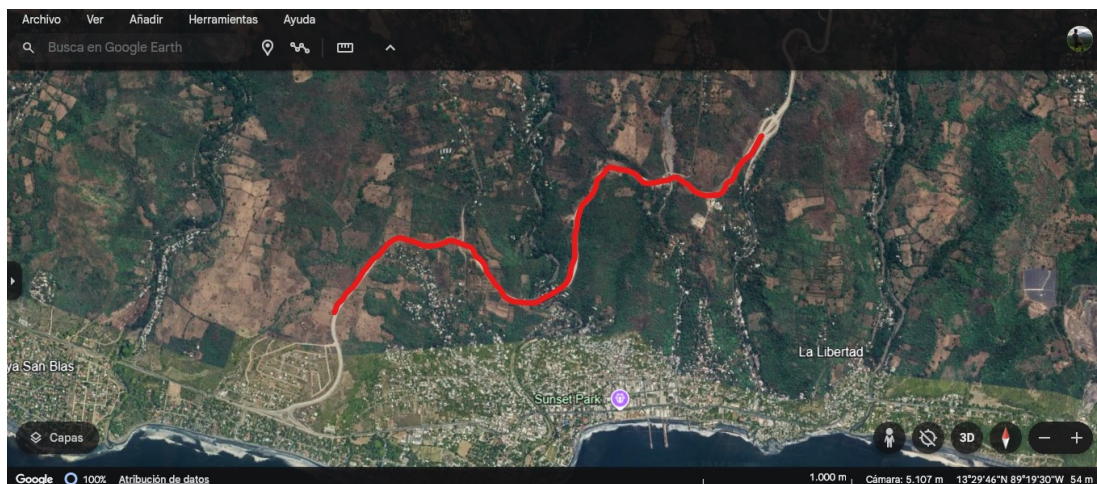


Figura. 3-2 Identificación del tramo de acuerdo con vista satelital del tramo de estudio.

Fuente: imagen tomada de: Google Earth.

3.2 Levantamiento de deterioros.

3.2.1 Inspección inicial.

Programar una visita de campo inicial o de reconocimiento.

Visita general de manera que sea prioridad la identificación de puntos de inicio y final de la toma de datos, así como la coordinación de los recursos a utilizar y tener parámetros o referencias de los posibles atrasos e inconvenientes que se podrían encontrar en campo.

Coordinación de los recursos a utilizar.

A raíz de la primera visita se debe tomar en cuenta las actividades a realizar para optimizar recursos y hacer una toma de datos adecuada.

3.2.2 Ejecución del levantamiento de deterioros.

Recorrido del tramo de carretera

Se recorrió en vehículo en los dos sentidos de la vía para determinar de manera visual y de manera general para así identificar daños a simple vista y de manera preliminar

Inspección de losas

Se verifico el tramo iniciando en el kilómetro 31.86 al 35 en ambos sentidos para recolectar daños en cada una de las losas

Medición de daños

En las losas que presentaban daños se levantó el tamaño y longitud de los mismo y se anotó para luego realizar sus respectivos procesamientos.

Seguridad en carretera

Se contó con el apoyo de cuadrilla debidamente señalizada (uniformes defectivos banderines y conos) para poder cerrar tramos y de esta manera tomar las mediciones, y evitar accidentes.

Descripción del tramo de prueba.

El tramo en referencia comunica la ciudad capital, San Salvador con el Puerto de La Libertad, tiene una longitud de 3.14 km. Cabe hacer mención que, dentro del tramo de estudio, está el puente de carretera asfáltica y este tramo no se someterá a estudio, únicamente el estudio para esta tesis es lo comprendido entre los km mencionados de carretera de concreto. Ver Figura 3-3. El bypass de La Libertad fue terminado de construir hace más de 3 años y actualmente es considerada una de las vías de mayor importancia turística del país. Las características geométricas de la carretera más relevantes son: ancho de carriles 3.60 m, así mismo, ambas vías están separadas por un separador central de concreto tipo New Jersey de 0.60m de ancho en una longitud de 380 m y separador de concreto tipo súper sapo, de 0.30 m de ancho en una longitud de 300 m, para delimitar espacios de bahías de buses, contando la sección

transversal con hombros exteriores de 1.80 m e interiores de 0.60 m de ancho contiguos al separador central.

Tabla 3-1 Características del tramo en estudio.

Código	Tramo	Km Inicio	Km Final	Longitud km	Categoría Funcional
CA04S	Tramo III: Construcción de by Pass de La Libertad	31.86	35	3.14	Primaria

Fuente: Elaboración propia



Figura. 3-3 Inicia en km 31.86 del tramo en análisis y finaliza en kilómetro 35.00.

Fuente: Imagen propia.

Las hojas resumen de los datos se llenaron en oficina haciendo primero un conteo manual de los datos, y analizando que estos fueran acordes a la realidad y apegados a los criterios utilizados en el campo.

Resultados del levantamiento de deterioros

A continuación, se presentan los resultados obtenidos después de un trabajo de oficina, haciendo un resumen de los deterioros levantados en el tramo de prueba, por lo que se presenta una tabla resumen con datos obtenidos de campo.

HOJA 1

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO

HIDRÁULICO CON JUNTAS

Carril: Derecho

Nombre de la carretera: Carretera al Puerto de La Libertad (CA04S)

Tramo: entre los kilómetros 31.86 y 35.00 (no se someterá a estudio el puente de carretera asfáltica)

Fecha del levantamiento: septiembre de 2024

Tabla 3-2 Hoja 1 de levantamiento de deterioros. Carril Derecho

TIPO DE DAÑO	SEVERIDAD		
	BAJO	MEDIO	ALTO
AGRIETAMIENTO			
1. Rotura de Esquina			
Número de losas afectadas	4	4	0
Número de roturas	4	4	0

TIPO DE DAÑO	SEVERIDAD		
	BAJO	MEDIO	ALTO
2. Agrietamiento Oblicuo	0	0	0
3. Agrietamiento Longitudinal			
Número de losas afectadas	15		
Número de grietas	58		
Longitud en metros	3.55		
Longitud sellada en metros			
4. Agrietamiento transversal			
Número de losas afectadas	7		
Número de grietas	25		
Longitud en metros			
Longitud sellada en metros	3		
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS			
5a. Sello dañado en junta transversal			
Número de juntas	15		
5b. Sello dañado en junta longitudinal			
Número de juntas	3		
6. Desportillamiento de juntas longitudinales			
Número de juntas afectadas	3		
7. Desportillamiento de juntas transversales			
Número de juntas afectadas	14		

Fuente: Elaboración propia

Carril: Izquierdo

Nombre de la carretera: Carretera al Puerto de La Libertad (CA04S)

Tramo: entre los kilómetros 31.86 y 35.00

Fecha del levantamiento: septiembre de 2024

Tabla 3-3 Hoja 1 de levantamiento de deterioros. Carril Izquierdo.

TIPO DE DAÑO	SEVERIDAD		
	BAJO	MEDIO	ALTO
AGRIETAMIENTO			
1. Rotura de Esquina			
Número de losas afectadas	6	3	0
Número de roturas	8	4	0
2. Agrietamiento Oblicuo	0	0	0
3. Agrietamiento Longitudinal			
Número de losas afectadas	19		
Número de grietas	63		
Longitud en metros	3.33		
Longitud sellada en metros			
4. Agrietamiento transversal			
Número de losas afectadas	9		
Número de grietas	21		
Longitud en metros	3		
Longitud sellada en metros			
DEFICIENCIAS DE LAS JUNTAS			
5a. Sello dañado en junta transversal			
Número de juntas	14		
5b. Sello dañado en junta longitudinal			
Número de juntas	5		
6. Desportillamiento de juntas longitudinales			

TIPO DE DAÑO	SEVERIDAD		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Número de juntas afectadas	5		
7. Desportillamiento de juntas transversales			
Número de juntas afectadas	18		

Fuente: Elaboración propia

Levantamiento fotográfico

Para ayudar a la localización de daños se realizó una base fotográfica ubicándolas con GPS de manera que sea más práctico.

3.2.3 Procedimiento medición del IRI en segmento de carretera en estudio.

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es una medida clave para evaluar la calidad de la superficie de una carretera. Aquí te dejo un procedimiento general para medir el IRI utilizando un nivel fijo y una estadia a cada 30 cm:

Preparación del equipo:

Nivel fijo: Asegúrate de que el nivel esté calibrado y en buen estado.

estadia: Marca la estadia a intervalos de 30 cm.

Selección del tramo:

Se eligió un tramo de 60 m representativo de la carretera CA04S que se evaluó para calcular el IRI

Colocación del nivel fijo:

Coloca el nivel fijo en un punto de inicio del tramo seleccionado.

Asegurándonos de que esté bien nivelado.

Medición de cotas:

Coloca la estadia en el primer punto de medición (0 cm).

Se leyó la cota en el nivel fijo y registra el valor.

Se desplazó la estadia al siguiente punto de medición (30 cm) y repite el proceso.

Continuó este procedimiento hasta cubrir todo el tramo de carretera.

Registro de datos:

Se anotó todas las lecturas de cotas obtenidas a intervalos de 30 cm. Ver Tabla 3.5

Cálculo del IRI:

Utiliza las cotas registradas para calcular el perfil longitudinal de la carretera.

Haciendo uso del software ProVAL se realizó el perfil y se determinó el IRI.

3.2.4 Resultados medición IRI.

Datos del perfil.

Tabla 3-4- Registro de lecturas de cotas obtenidas en campo

<i>EST #</i>	<i>Punto</i>	<i>V.AT.</i>	<i>H1</i>	<i>V.AD</i>	<i>COTA</i>
	BM	0.089 m.	91.589 m.		91.500 m.
0+000.0 km.				3.132 m.	88.368 m.
0+000.3 km.				3.118 m.	88.382 m.
0+000.6 km.				3.107 m.	88.393 m.
0+000.9 km.				3.093 m.	88.407 m.
0+001.2 km.				3.082 m.	88.418 m.
0+001.5 km.				3.072 m.	88.428 m.
0+001.8 km.				3.059 m.	88.441 m.
0+002.1 km.				3.043 m.	88.457 m.
0+002.4 km.				3.030 m.	88.470 m.
0+002.7 km.				3.016 m.	88.484 m.
0+003 km.				2.997 m.	88.503 m.
0+003.3 km.				2.989 m.	88.511 m.
0+003.6 km.				2.978 m.	88.522 m.
0+003.9 km.				2.965 m.	88.535 m.
0+004.2 km.				2.952 m.	88.548 m.
0+004.5 km.				2.940 m.	88.560 m.

0+004.8 km.				2.927 m.	88.573 m.
0+005.1 km.				2.919 m.	88.581 m.
0+005.4 km.				2.906 m.	88.594 m.
0+005.7 km.				2.894 m.	88.606 m.
0+006 km.				2.882 m.	88.618 m.
0+006.3 km.				2.875 m.	88.625 m.
0+006.6 km.				2.860 m.	88.640 m.
0+006.9 km.				2.846 m.	88.654 m.
0+007.2 km.				2.832 m.	88.668 m.
0+007.5 km.				2.823 m.	88.677 m.
0+007.8 km.				2.809 m.	88.691 m.
0+008.1 km.				2.796 m.	88.704 m.
0+008.4 km.				2.781 m.	88.719 m.
0+008.7 km.				2.772 m.	88.728 m.
0+009 km.				2.760 m.	88.740 m.
0+009.3 km.				2.747 m.	88.753 m.
0+009.6 km.				2.736 m.	88.764 m.
0+009.9 km.				2.722 m.	88.778 m.
0+010.2 km.				2.709 m.	88.791 m.
0+010.5 km.				2.696 m.	88.804 m.
0+010.8 km.				2.840 m.	88.816 m.
0+011.1 km.				2.674 m.	88.826 m.

0+011.4 km.				2.659 m.	88.841 m.
0+011.7 km.				2.646 m.	88.854 m.
0+012 km.				2.634 m.	88.866 m.
0+012.3 km.				2.623 m.	88.877 m.
0+012.6 km.				2.610 m.	88.890 m.
0+012.9 km.				2.598 m.	88.902 m.
0+013.2 km.				2.587 m.	88.913 m.
0+013.5 km.				2.576 m.	88.924 m.
0+013.8 km.				2.565 m.	88.935 m.
0+014.1 km.				2.553 m.	88.947 m.
0+014.4 km.				2.542 m.	88.958 m.
0+014.7 km.				2.530 m.	88.97 m.
0+015 km.				2.519 m.	88.981 m.
0+015.3 km.				2.506 m.	88.994 m.
0+015.6 km.				2.499 m.	89.001 m.
0+015.9 km.				2.486 m.	89.014 m.
0+016.2 km.				2.471 m.	89.029 m.
0+016.5 km.				2.457 m.	89.043 m.
0+016.8 km.				2.449 m.	89.051 m.
0+017.1 km.				2.441 m.	89.059 m.
0+017.4 km.				2.426 m.	89.074 m.
0+017.7 km.				2.415 m.	89.085 m.

0+018 km.				2.405 m.	89.095 m.
0+018.3 km.				2.393 m.	89.107 m.
0+018.6 km.				2.380 m.	89.120 m.
0+018.9 km.				2.368 m.	89.132 m.
0+019.2 km.				2.357 m.	89.143 m.
0+019.5 km.				2.346 m.	89.154 m.
0+019.8 km.				2.333 m.	89.167 m.
0+020.1 km.				2.321 m.	89.179 m.
0+020.4 km.				2.314 m.	89.186 m.
0+020.7 km.				2.306 m.	89.194 m.
0+021 km.				2.293 m.	89.207 m.
0+021.3 km.				2.283 m.	89.217 m.
0+021.6 km.				2.269 m.	89.231 m.
0+021.9 km.				2.255 m.	89.245 m.
0+022.2 km.				2.246 m.	89.254 m.
0+022.5 km.				2.237 m.	89.263 m.
0+022.8 km.				2.226 m.	89.274 m.
0+023.1 km.				2.212 m.	89.288 m.
0+023.4 km.				2.200 m.	89.300 m.
0+023.7 km.				2.190 m.	89.31 m.
0+024 km.				2.178 m.	89.322 m.
0+024.3 km.				2.168 m.	89.332 m.

0+024.6 km.				2.155 m.	89.345 m.
0+024.9 km.				2.145 m.	89.355 m.
0+025.2 km.				2.135 m.	89.365 m.
0+025.5 km.				2.126 m.	89.374 m.
0+025.8 km.				2.116 m.	89.384 m.
0+026.1 km.				2.105 m.	89.395 m.
0+026.4 km.				2.100 m.	89.400 m.
0+026.7 km.				2.084 m.	89.416 m.
0+027 km.				2.073 m.	89.427 m.
0+027.3 km.				2.061 m.	89.439 m.
0+027.6 km.				2.052 m.	89.448 m.
0+027.9 km.				2.038 m.	89.462 m.
0+028.2 km.				2.040 m.	89.46 m.
0+028.5 km.				2.028 m.	89.472 m.
0+028.8 km.				2.017 m.	89.483 m.
0+029.1 km.				2.010 m.	89.490 m.
0+029.4 km.				1.995 m.	89.505 m.
0+029.7 km.				1.989 m.	89.511 m.
0+030 km.				1.981 m.	89.519 m.
0+030.3 km.				1.969 m.	89.531 m.
0+030.6 km.				1.958 m.	89.542 m.
0+030.9 km.				1.949 m.	89.551 m.

0+031.2 km.				1.927 m.	89.573 m.
0+031.5 km.				1.917 m.	89.583 m.
0+031.8 km.				1.905 m.	89.595 m.
0+032.1 km.				1.893 m.	89.607 m.
0+032.4 km.				1.884 m.	89.616 m.
0+032.7 km.				1.873 m.	89.627 m.
0+033 km.				1.864 m.	89.636 m.
0+033.3 km.				1.852 m.	89.648 m.
0+033.6 km.				1.841 m.	89.659 m.
0+033.9 km.				1.834 m.	89.666 m.
0+034.2 km.				1.824 m.	89.676 m.
0+034.5 km.				1.814 m.	89.686 m.
0+034.8 km.				1.804 m.	89.696 m.
0+035.1 km.				1.793 m.	89.707 m.
0+035.4 km.				1.782 m.	89.718 m.
0+035.7 km.				1.772 m.	89.728 m.
0+036 km.				1.761 m.	89.739 m.
0+036.3 km.				1.752 m.	89.748 m.
0+036.6 km.				1.741 m.	89.759 m.
0+036.9 km.				1.730 m.	89.770 m.
0+037.2 km.				1.722 m.	89.778 m.
0+037.5 km.				1.713 m.	89.787 m.

0+037.8 km.				1.702 m.	89.798 m.
0+038.1 km.				1.689 m.	89.811 m.
0+038.4 km.				1.680 m.	89.820 m.
0+038.7 km.				1.671 m.	89.829 m.
0+039 km.				1.661 m.	89.839 m.
0+039.3 km.				1.642 m.	89.858 m.
0+039.6 km.				1.631 m.	89.869 m.
0+039.9 km.				1.622 m.	89.878 m.
0+040.2 km.				1.613 m.	89.887 m.
0+040.5 km.				1.666 m.	89.894 m.
0+040.8 km.				1.597 m.	89.903 m.
0+041.1 km.				1.588 m.	89.912 m.
0+041.4 km.				1.579 m.	89.921 m.
0+041.7 km.				1.568 m.	89.932 m.
0+042 km.				1.560 m.	89.940 m.
0+042.3 km.				1.540 m.	89.951 m.
0+042.6 km.				1.568 m.	89.962 m.
0+042.9 km.				1.529 m.	89.971 m.
0+043.2 km.				1.519 m.	89.981 m.
0+043.5 km.				1.510 m.	89.990 m.
0+043.8 km.				1.499 m.	90.001 m.
0+044.1 km.				1.490 m.	90.010 m.

0+044.4 km.				1.478 m.	90.018 m.
0+044.7 km.				1.464 m.	90.022 m.
0+045 km.				1.455 m.	90.036 m.
0+045.3 km.				1.445 m.	90.045 m.
0+045.6 km.				1.439 m.	90.055 m.
0+045.9 km.				1.431 m.	90.061 m.
0+046.2 km.				1.422 m.	90.069 m.
0+046.5 km.				1.412 m.	90.078 m.
0+046.8 km.				1.399 m.	90.088 m.
0+047.1 km.				1.393 m.	90.101 m.
0+047.4 km.				1.384 m.	90.107 m.
0+047.7 km.				1.384 m.	90.116 m.
0+048 km.				1.375 m.	90.125 m.
0+048.3 km.				1.369 m.	90.131 m.
0+048.6 km.				1.360 m.	90.140 m.
0+048.9 km.				1.353 m.	90.147 m.
0+049.2 km.				1.343 m.	90.157 m.
0+049.5 km.				1.335 m.	90.165 m.
0+049.8 km				1.327 m.	90.173 m.
0+050.1 km.				1.316 m.	90.184 m.
0+050.4 km.				1.307 m.	90.193 m.
0+050.7 km.				1.298 m.	90.202 m.

0+051 km.				1.290 m.	90.210 m.
0+051.3 km.				1.280 m.	90.219 m.
0+051.6 km.				1.270 m.	90.230 m.
0+051.9 km.				1.260 m.	90.240 m.
0+052.2 km.				1.253 m.	90.247 m.
0+052.5 km.				1.245 m.	90.255 m.
0+052.8 km.				1.236 m.	90.264 m.
0+053.1 km.				1.230 m.	90.270 m.
0+053.4 km.				1.220 m.	90.280 m.
0+053.7 km.				1.211 m.	90.289 m.
0+054 km.				1.203 m.	90.297 m.
0+054.3 km.				1.193 m.	90.307 m.
0+054.6 km.				1.187 m.	90.313
0+054.9 km.				1.178 m.	90.322 m.
0+055.2 km.				1.169 m.	90.331 m.
0+055.5 km.				1.165 m.	90.335 m.
0+055.8 km.				1.155 m.	90.345 m.
0+056.1 km.				1.148 m.	90.352 m.
0+056.4 km.				1.136 m.	90.364 m.
0+056.7 km.				1.129 m.	90.371 m.
0+057 km.				1.120 m.	90.380 m.
0+057.3 km.				1.111 m.	90.389 m.

0+057.6 km.				1.108 m.	90.392 m.
0+057.9 km.				1.093 m.	90.407 m.
0+058.2 km.				1.086 m.	90.414 m.
0+058.5 km.				1.080 m.	90.42 m.
0+058.8 km.				1.074 m.	90.426 m.
0+059.1 km.				1.063 m.	90.437 m.
0+059.4 km.				1.056 m.	90.444 m.
0+059.7 km.				1.046 m.	90.454 m.
0+060 km.				1.038 m.	90.462 m.
0+060.3 km.				1.030 m.	90.47 m.
0+060.6 km.				1.024 m.	90.476 m.
0+060.9 km.				1.015 m.	90.485 m.
0+061.2 km.				1.008 m.	90.492 m.
0+061.5 km.				1.000 m.	90.5 m.
0+061.8 km.				0.994 m.	90.506 m.
0+062.1 km.				0.985 m.	90.515 m.
0+062.4 km.				0.977 m.	90.523 m.
0+062.7 km.				0.969 m.	90.531 m.
0+063 km.				0.960 m.	90.54 m.
0+063.3 km.				0.953 m.	90.547 m.
0+063.6 km.				0.945 m.	90.555 m.

Fuente: Elaboración propia

Perfil longitudinal según ProVAL.

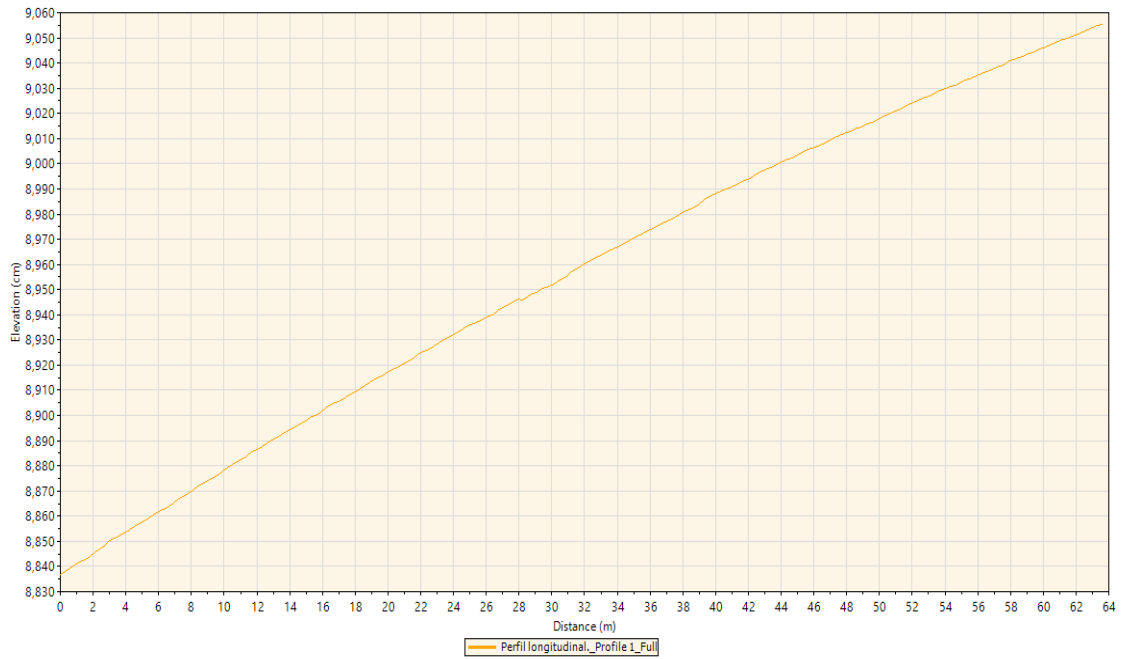


Figura. 3-4 Perfil longitudinal de carretera hacia el puerto de la libertad.

Fuente: Obtenido de Software ProVAL para el cálculo del IRI

Comportamiento del IRI por metro del tramo analizado

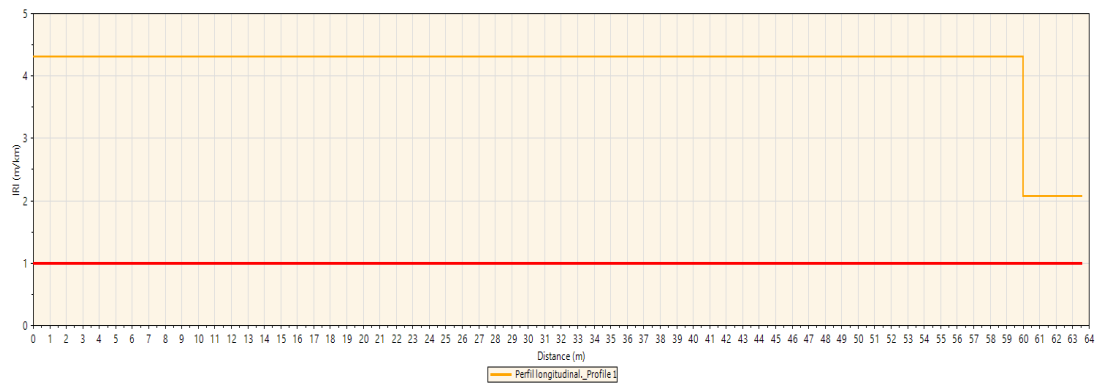


Figura. 3-5 Comportamiento del IRI según ProVAL.

Fuente: Obtenido de Software ProVAL para el cálculo del IRI

IRI según ProVAL.

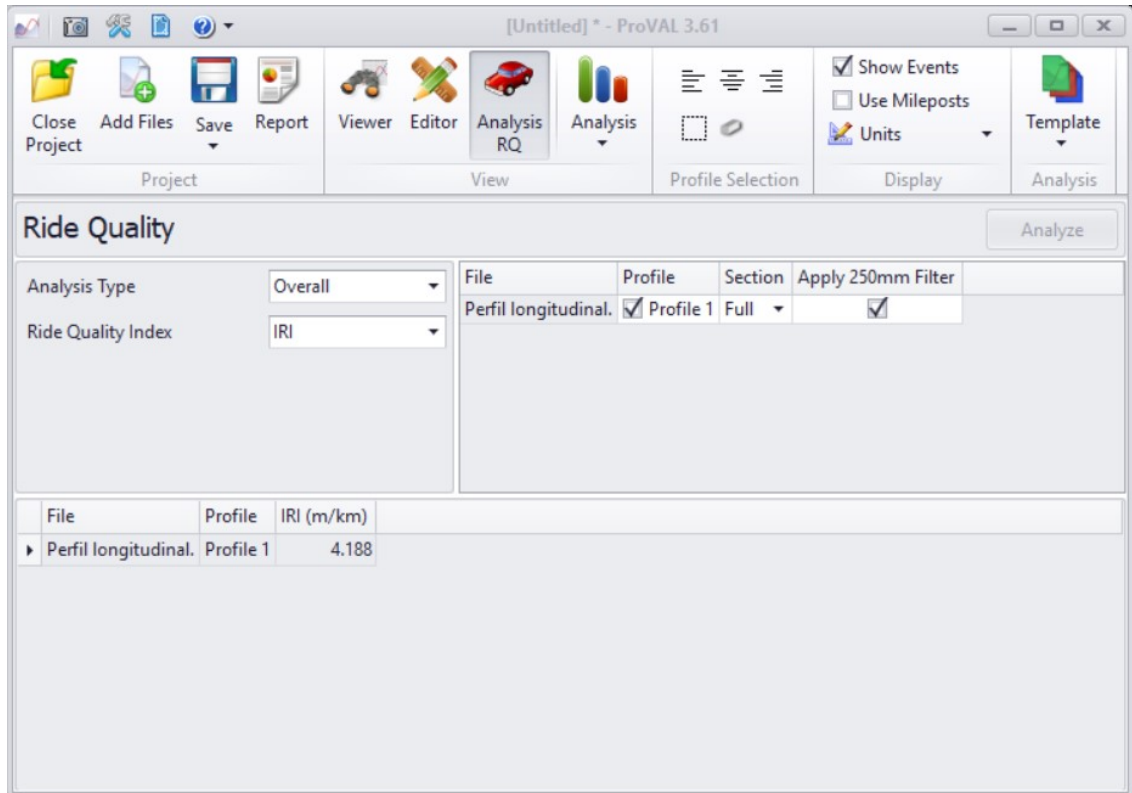


Figura. 3-6 Valor obtenido del IRI según ProVAL.

Fuente: Obtenido de Software ProVAL para el cálculo del IRI

Según el análisis del Software ProVAL el IRI del tramo seleccionado es 4.188 m/km.

3.3 Recopilación de datos

3.3.1 Modulación de losas

El espaciamiento entre juntas de contracción en pavimentos de concreto hidráulico simple afecta la formación de grietas transversales y los costos de construcción. En menor grado, tiene incidencia en el escalonamiento de las losas.

A mayor separación entre juntas, se incrementa el potencial de formación de grietas transversales. La separación entre juntas debe seleccionarse dentro del contexto de los criterios de diseño considerados como espesor y dimensiones de losas, propiedades de los materiales de la mezcla de concreto, y tipo de base. El objetivo es poder seleccionar el máximo espaciamiento entre juntas que provee un nivel aceptable de grietas trasversales y confort a los usuarios en el período de diseño de la carretera a un nivel deseado de fiabilidad. La guía de diseño AASHTO 93 recomienda como regla general que el espaciamiento entre juntas en pies no supere dos veces el espesor de la losa en pulgadas. A continuación, se detalla los parámetros referentes a la modulación de las losas.

3.3.2 Determinación de espesores

Mediante la ecuación básica del AASHTO, se procede al dimensionamiento de las estructuras propuestas para los diferentes tramos homogéneos. Sin embargo, para el caso de la capa de desgaste sobre el puente, se utilizará el espesor mínimo recomendado por la guía de diseño AASHTO '93, el cual es de 5.0cm.

Los resultados de la estructuración se presentan en forma resumida en la siguiente Tabla 3-6

Tabla 3-5 Aspectos complementarios al diseño de pavimentos rígidos.

CARACTERÍSTICAS	
Diámetro de barras de amarre longitudinal	No.4 (1/2")
Longitud de barras de amarre longitudinal	65.0 cm
Diámetro de barras de transferencia de carga transversal	No.10 (1 ¼")
Longitud de barras de transferencia de carga transversal	44.0 cm
Longitud de losa	3.6 m
Ancho de losa	3.6 m

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Parámetros ambientales

De acuerdo con el suplemento de la guía de diseño AASHTO publicado en 1,998, es necesario para el dimensionamiento del espesor de losa y del tablero el uso de ciertos parámetros ambientales tales como:

- **Temperatura anual promedio**
- **Precipitación anual promedio**
- **Velocidad del viento anual promedio**

Para su determinación, ha sido utilizada la base de datos climatológicos del SNET, en específico la referida a la estación meteorológica permanente de "San Diego", ubicada en la hacienda Melara, cantón San Diego, municipio y

departamento de La Libertad, a continuación, se presenta un resumen del perfil meteorológico de la estación San Diego en la Tabla 3.3.3-1

Tabla 3-6 Perfil climatológico de estación meteorológica "San Diego".

PARAMETROS/ME S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMP. PROMEDIO (°C)	25. 7	26. 1	27. 2	28. 2	27. 9	27. 1	27. 0	26. 8	26. 3	26. 3	26. 3	25. 8
TEMP. MINIMA PROMEDIO (°C)	19. 4	19. 9	21. 3	23. 1	23. 5	22. 7	22. 2	22. 0	22. 2	21. 9	20. 8	19. 8
TEMP. MAXIMA PROMEDIO (°C)	33. 5	34. 0	34. 0	34. 5	33. 2	32. 5	33. 2	33. 1	32. 0	32. 5	33. 1	33. 7
TEMP. MINIMA ABSOLUTA (°C)	39. 7	41. 0	40. 1	44. 5	40. 5	38. 7	39. 0	39. 0	37. 0	37. 0	38. 8	39. 6
TEMP. MAXIMA ABSOLUTA (°C)	13. 6	14. 0	15. 6	16. 0	20. 2	19. 9	18. 8	18. 3	18. 6	17. 6	14. 9	11.0
VELOCIDAD VIENTO PROMEDIO (Km/h)	1.7	1.7	1.6	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.8	1.9
HUMEDAD RELATIVA (%)	71. 0	68. 0	71. 0	72. 0	80. 0	83. 0	81. 0	82. 0	85. 0	84. 0	78. 0	72. 0
PRECIPITACION (mm)	2.5	0.5	14. 5	42. 6	167 .2	292 .7	229 .9	293 .4	326 .9	190 .6	46. 9	5.0
EVAPOTRANSPIR ACION (mm)	139 .0	143 .0	173 .0	177 .0	170 .0	153 .0	164 .0	158 .0	141 .0	139 .0	132 .0	133 .0

Fuente: Perfil climático de la estación San Diego, La Libertad

3.3.4 Determinación de espesores

Mediante la ecuación básica del AASHTO, se procede al dimensionamiento de las estructuras propuestas para los diferentes tramos homogéneos. Ver la siguiente Tabla 3.8 y Figura 3.7

Tabla 3-7 Espesores de capas de pavimento Hidráulico.

Fuente: Elaboración propia

CAPA	MATERIAL	ESPESOR
SECCION 1 (RAMPAS DE APROXIMACION)-PAVIMENTO RIGIDO.		
RODADURA	CONCRETO HIDRAULICO (MR: 4.5MPa)	18.00 cm
BASE	SUELO - CEMENTO (CS: 2.8MPa)	20.00 cm

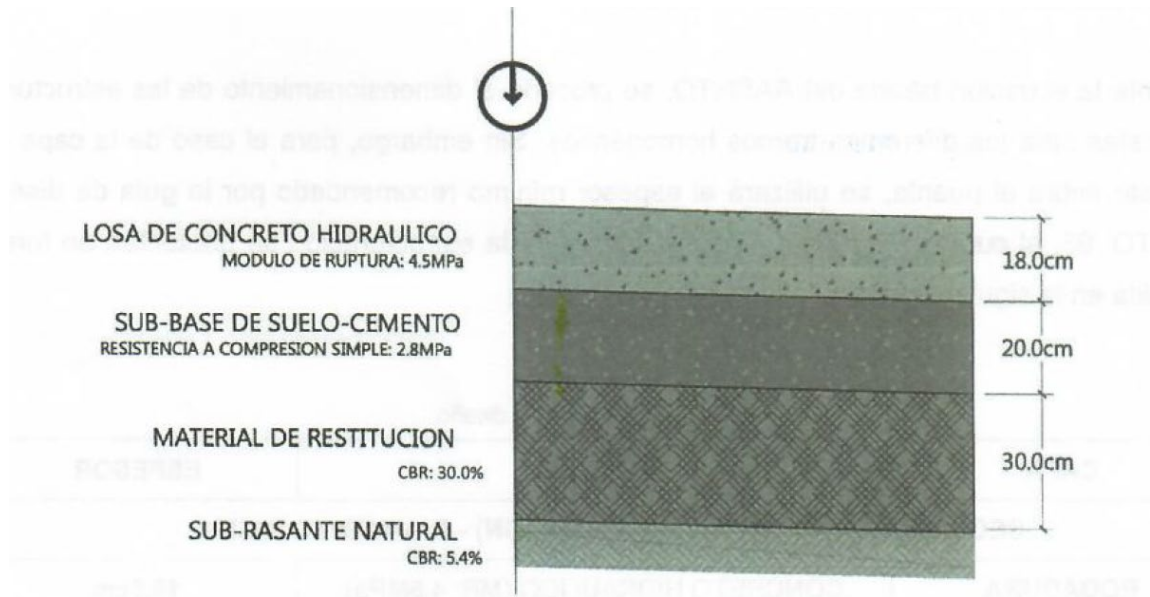


Figura. 3-7 Sección de espesores de pavimento.

Fuente: RESOLUCIÓN 052-2024 MOP-OIR

3.3.5 Conteo Vehicular.

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) en ingeniería de transporte se refiere al volumen promedio diario de tráfico registrado a lo largo de un año calendario en una sección específica de una carretera. Este cálculo se basa en la hipótesis de que las variaciones del tráfico son permanentes. Para estimarlo, se utilizan datos de conteo automático, que pueden obtenerse mediante instrumentos como tubos neumáticos. Estos dispositivos registran impulsos generados por el paso de ejes o vehículos, y luego se transforman en datos eléctricos para calcular el TPDA.

En la práctica, los ingenieros de transporte utilizan el TPDA para diseñar, planificar y evaluar sistemas de transporte, considerando estándares y regulaciones normativas. Su trabajo abarca desde la gestión de tráfico hasta la

creación de soluciones innovadoras para mejorar la movilidad en diferentes contextos.

TPDA en contexto del software HIPERPAV III.

En el contexto del HIPERPAV III, el TPDA se utiliza para evaluar el desempeño de los pavimentos de concreto de cemento Portland (PCCP) en función del tráfico al que estarán expuestos. Este parámetro influye en la fatiga y el agrietamiento del pavimento, así como en la durabilidad general.

Como el TPDA es utilizado por el HIPERPAV III:

Definición del TPDA:

- Ingresará el valor del TPDA específico para la ubicación del proyecto. Esto representa la carga de tráfico esperada en la carretera.
- Análisis de diseño:
- El software considerará el TPDA junto con otros factores, como el espesor del pavimento, las características del concreto y las condiciones ambientales.
- Realizará análisis de fatiga y agrietamiento para predecir la vida útil del pavimento.

Resultados y recomendaciones:

- El HIPERPAV III proporcionará resultados sobre la resistencia a la fatiga, el riesgo de agrietamiento y la durabilidad.

- Basado en estos resultados, podrás tomar decisiones informadas sobre el diseño y la estrategia de mantenimiento.

3.3.6 TPDA Tramo de Carretera ramo: CA04S - CA02W, By Pass de La Libertad (segmento 1 y 2).

El Departamento de Estudios de Tránsito de la Subdirección de Administración de Obras de Paso y de Inventarios Viales de la Dirección de Planificación de la Obra Pública proporciona el TPDA 2023 del tramo de estudio, identificándose en inventario vial del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte como RN22W, Tramo: CA04S - CA02W, By Pass de La Libertad (segmento 1 y 2).

Se presentan en la siguiente Tabla 3.9 los siguientes datos de TPDA en tramo de estudio:

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (AÑO 2023)

Tabla 3-8 Transito Promedio Anual del tramo en estudio.

Fuente: Obtenida de Subdirección de administración de obras de paso y de inventarios, 2024

(SUBDIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE PASO Y DE INVENTARIOS, 2024)		ESTACIÓN	L I V I A N O S			P E S A D O S											TPDA 2023 con moto	TPDA 2023 Sin moto
LISTADO DE LA RED VIAL PAVIMENTADA			PASAJ.	CARGA	PASAJEROS	C A R G A												
CÓDIG O	TRA MO		MOTO	AUTO	PICK - UP	M.BUS	BUS	C2	C	C4	T2-S	T2-S2	T2-S	T -S2	T -S	T -S4		
RN22W	CA04S - CA02W, By Pass de La Libertad (segmento 1 y 2)	LIBIPC004	860	8,049	2,266	39	38	97	58	2	1	0	6	48	50	24	11,538	10,678

(SUBDIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE PASO Y DE INVENTARIOS, 2024)

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN SEGMENTO I DE CARRETERA CA04S SEGÚN MODELO DE HIPERPAV III.

4.1 Definición de datos de entrada para el software HIPERPAV III

HIPERPAV es utilizado por planificadores, diseñadores, contratistas y proveedores para una variedad de propósitos. Durante la fase de planificación, HIPERPAV puede utilizarse para desarrollar especificaciones de control de calidad basadas en los materiales disponibles y las condiciones climáticas locales. Los diseñadores de pavimentos utilizan HIPERPAV para optimizar las variables de diseño y garantizar el rendimiento a largo plazo al tiempo que maximizan la economía. Los contratistas utilizan HIPERPAV para evitar reparaciones costosas mediante la predicción de daños potenciales y la determinación de cómo prevenirlos. Con HIPERPAV, los proveedores gestionan la temperatura del concreto en función de sus diseños de mezcla y de las condiciones climáticas y del proyecto específicas.

HIPERPAV fue desarrollado por Transtec y la FHWA después de completar un proyecto de investigación que modeló el desarrollo temprano de la resistencia y las tensiones del concreto como resultado de los cambios de humedad y temperatura dentro del pavimento.

4.2 Generación del Modelo de Deterioro con el software HIPERPAV III

Tabla 4-1 Datos Generales de entrada para digitar en Software HIPERPAV III.

DATOS GENERALES DE ENTRADA PARA HIPERPAV.	
Parámetro	Dato
ANÁLISIS DE LAS 72 PRIMERAS HORAS.	
Confiabilidad	87.5 % (a partir de resolución De asstho por ser una autopista)
Espesor de Losa	18 cm
Espesor de Base	20 cm
Ancho	3.60 m.
Espacio entre juntas transversales	3.60 m.
Tipo de cemento	Tipo I
Tipo de agregado	Basalto
Cantidad de cenizas volantes	N/A
Módulo de ruptura	4.5 MPa (650 psi)
Temperatura inicial	10.83 °C datos de interpolación de revista de investigación

DATOS GENERALES DE ENTRADA PARA HIPERPAV.	
Temperatura inicial entre capa superior e inferior	13.36 °C
Método de curado	Rociado de curador líquido
Edad de aplicación de curado	1 hora
Esfuerzo de apertura al tráfico (80% del Mr.)	3.6 MPa
Tipo de esfuerzo	Flexión al tercio medio
Temperatura	Temperatura ambiente promedio registradas durante 3 días.
ANÁLISIS A LARGO PLAZO	
Período de diseño	20 años
IRI inicial	2.5 documento
Escalonamiento	3 mm
Fisuras transversales	5 %
Fisuras longitudinales	5 %

DATOS GENERALES DE ENTRADA PARA HIPERPAV.		
Máximo permisible	IRI	5.5
Serviciabilidad		2.0
Esal's de Diseño		12,140,887

Fuente: Elaboración propia basada en datos reales.

Alternativa 1

CORRIDA DE SOFTWARE HIPERPAV III.

Para el inicio de la interacción de programa HIPERPAV III en Figura 4-1 se indican parámetros generales básicos como el nombre del proyecto, ubicación, inicio y fin del tramo de estudio, los cuales permitirán reconocer y hacer referencia del desarrollo de la corrida del programa

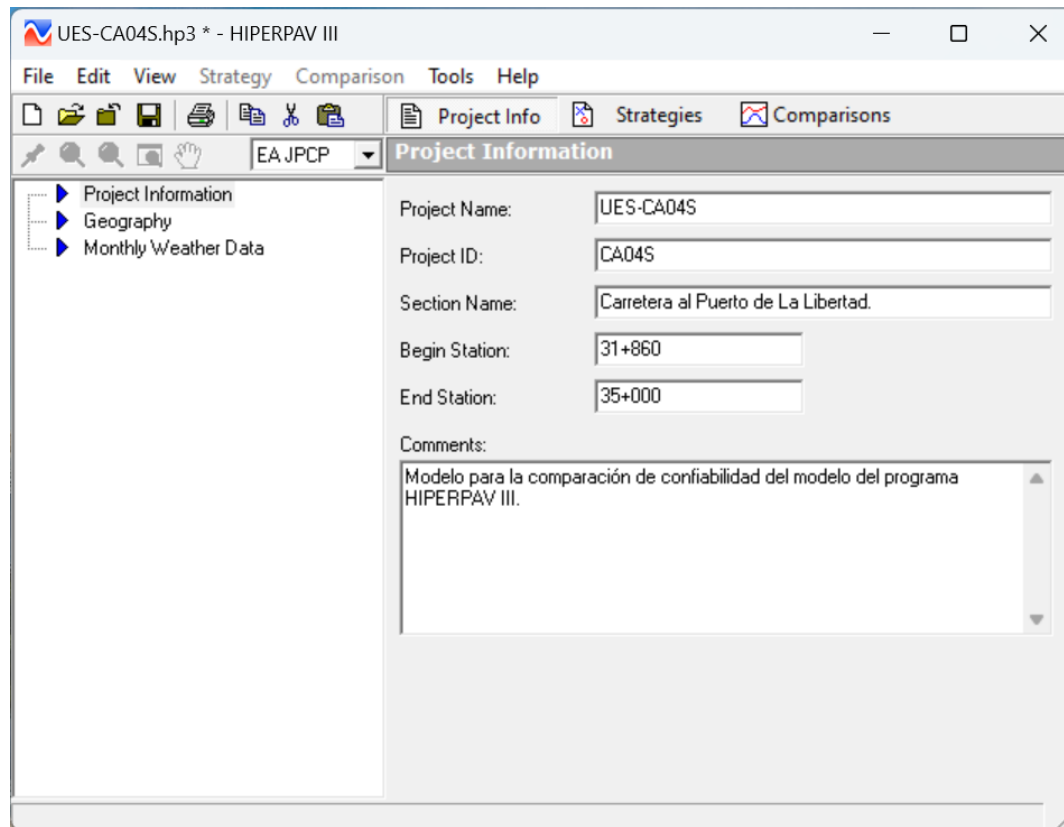


Figura. 4-1 Información general pestaña de “Project Info”.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

La ventana “Geografía” en la imagen 4.2 con datos meteorológicos obtenidos de registros históricos o de datos de pronóstico, representa estaciones meteorológicas, es importante aclarar que por la naturaleza del programa los datos presentados en la Figura 4-2. no corresponden a zona geográfica de nuestro estudio sin embargo se consideran para realizar el análisis.

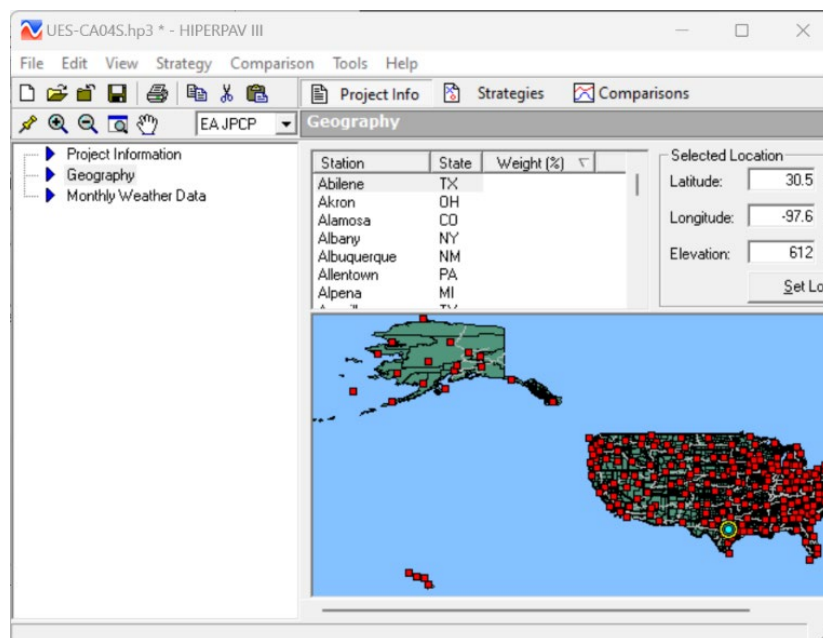


Figura. 4-2 Información geográfica del proyecto pestaña "Project Info".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

Se consideran y procesan parámetros ambientales en Figura 4-3 que se obtuvieron en base a datos climatológicos del SNET, que son referidos a la estación meteorológica permanente de "San Diego", ubicada en la hacienda Melara, Cantón San Diego, Municipio de la libertad Costa, Distrito de la Libertad.

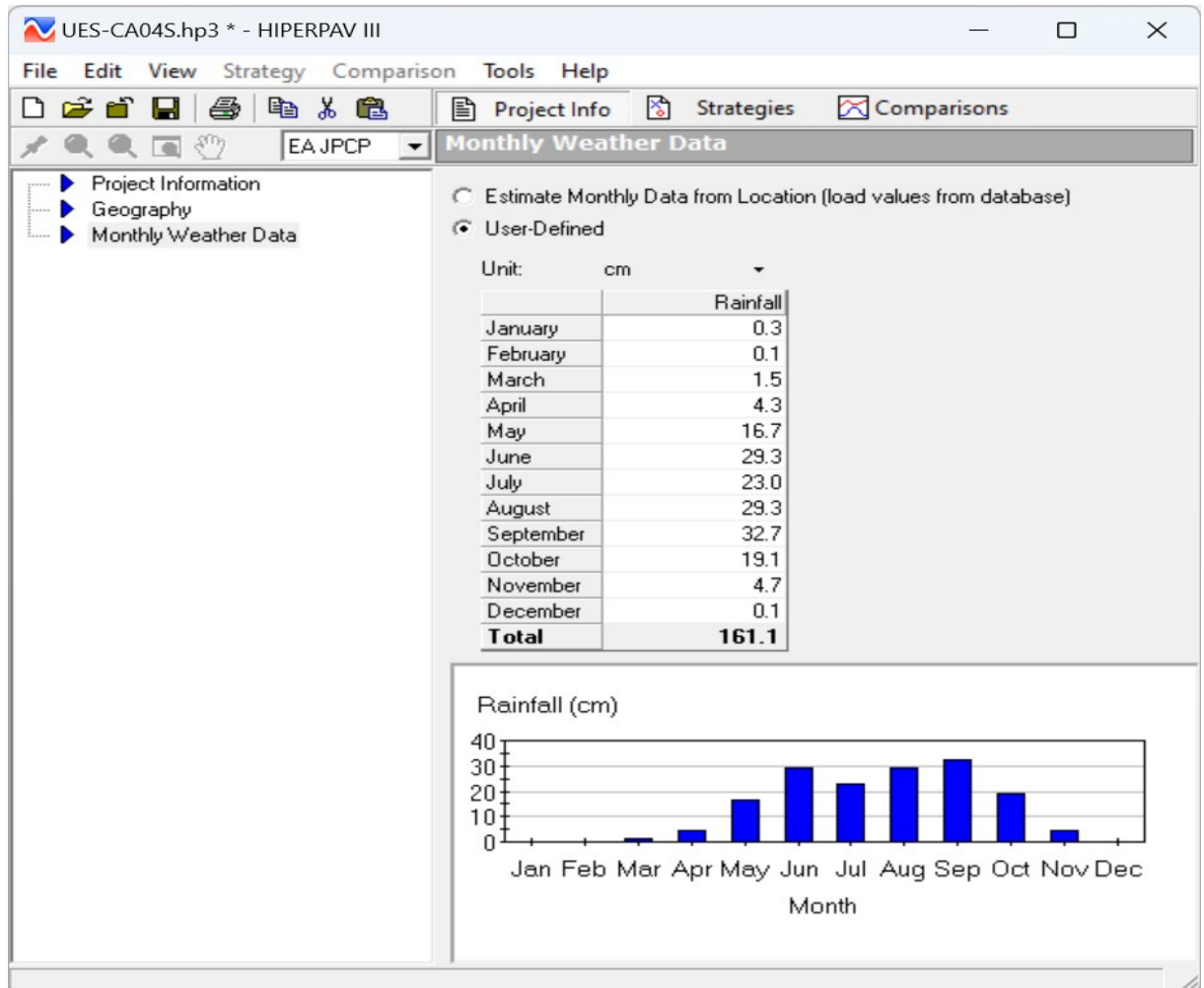


Figura. 4-3 Información de la precipitación mensual pestaña "Project Info".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

Información requerida en Figura 4-4 para identificación del proyecto.

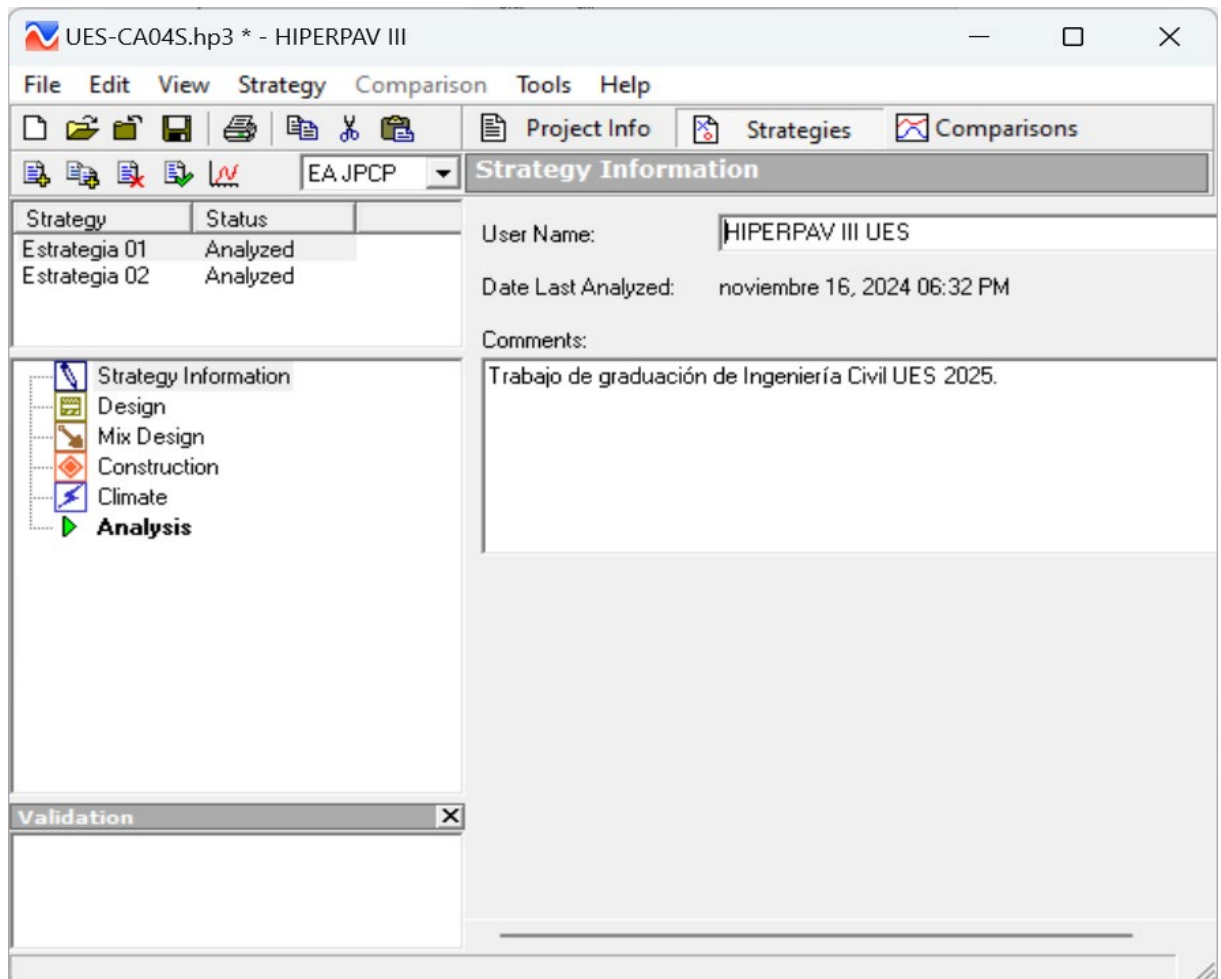


Figura. 4-4 Información general de la estrategia pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En Figura 4-5 Se ingresan parámetros referentes a la geometría, datos recopilados en campo y del diseño de pavimentos para dimensionamientos propuestos por la AASHTO

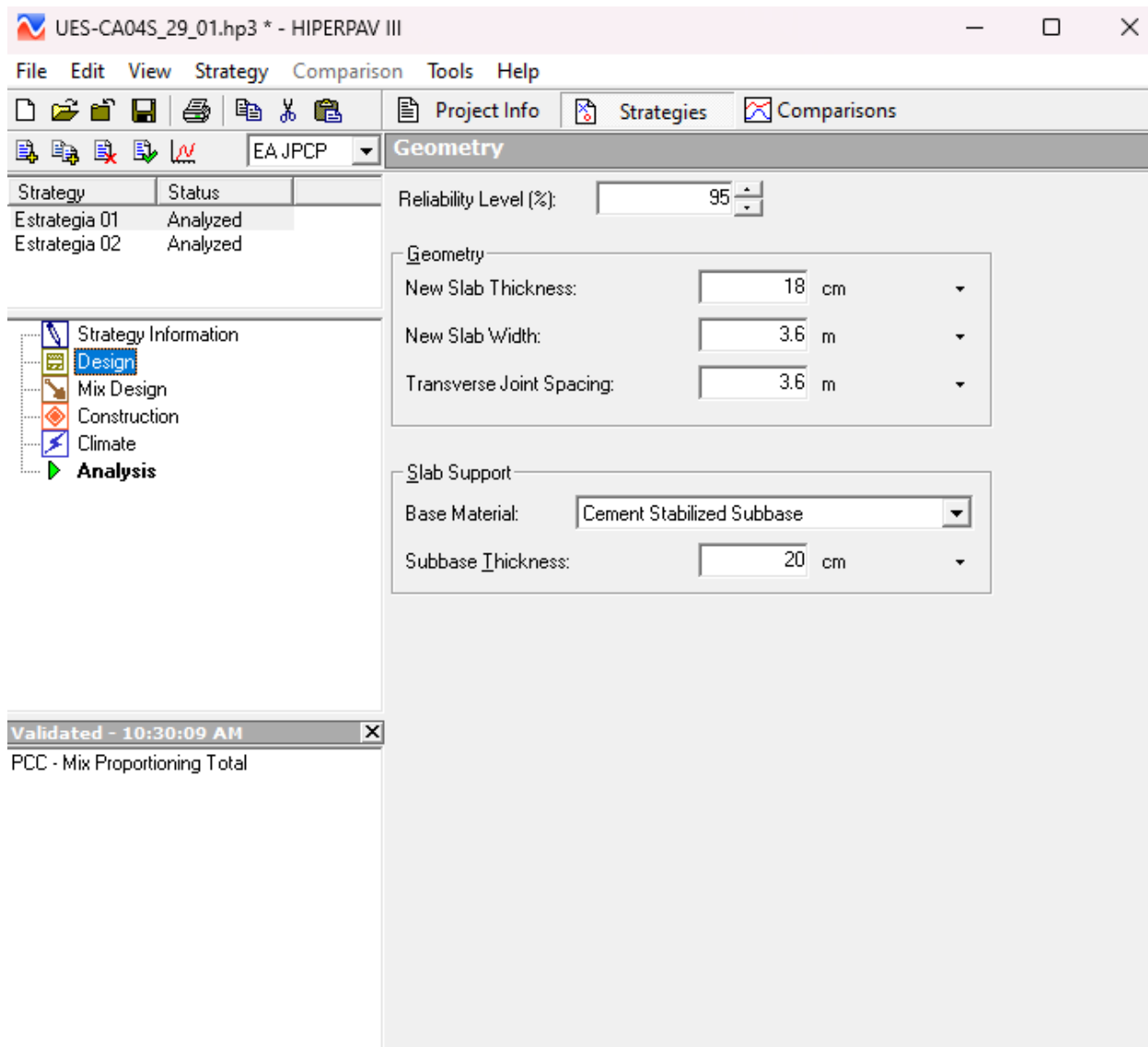


Figura. 4-5 Diseño de pavimento pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En Figura 4-6 se presenta la captura PCC mix por sus siglas en ingles Portland Cement Composite de Diseño de Mezcla, pide los siguientes parámetros, en cuanto al tipo de cemento es del tipo I, el tipo de agregado es basalto, el reductor

de agua y retardante es el tipo D, descrito en ASTM C494. Y en cuanto a las proporciones de mezcla, como agregado grueso, fino, agua, cenizas volantes, escorias y cemento se detallan en la ilustración mencionada. Los datos presentados se obtuvieron mediante investigación con instituciones encargados del diseño y construcción, para lo cual se revisaron los DARC o preparatorias aprobadas para el diseño de mezcla.

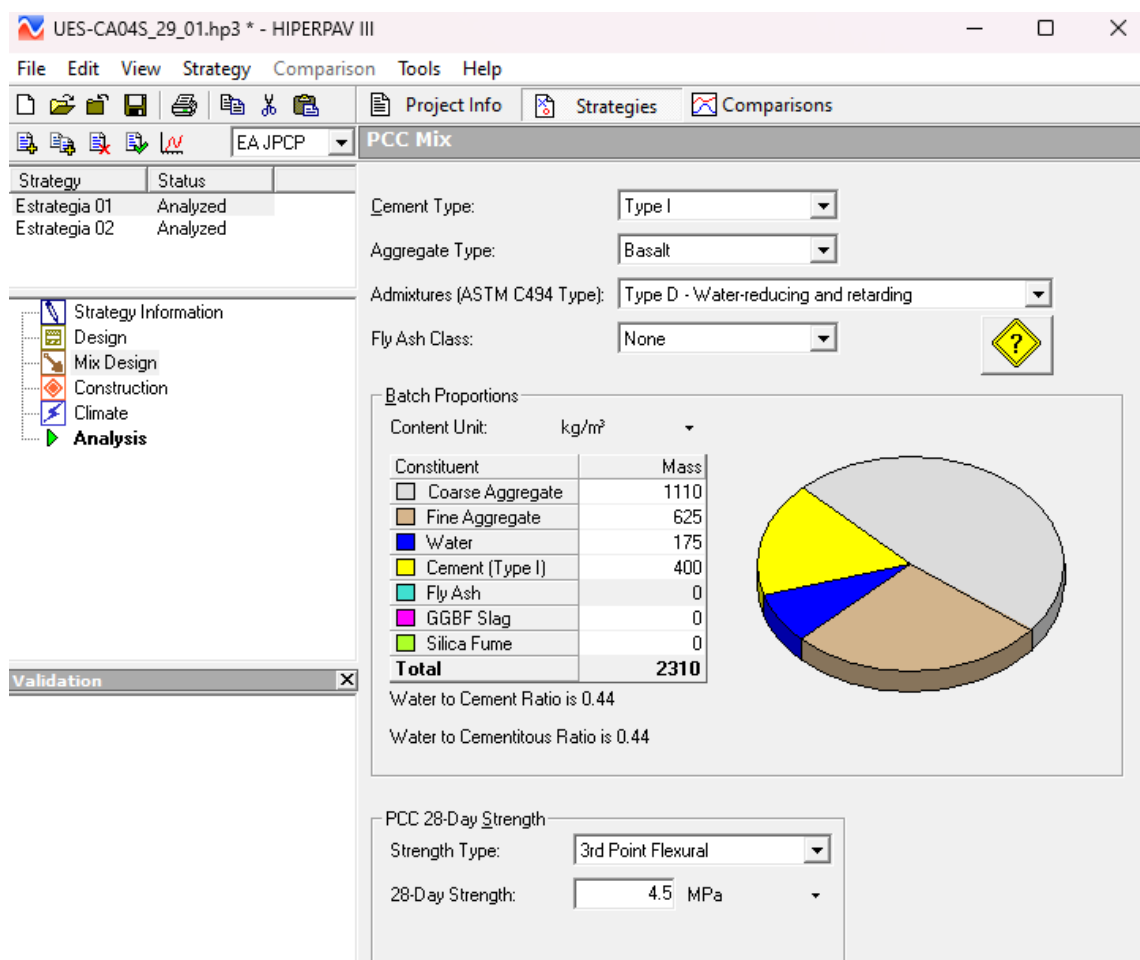


Figura. 4-6 Información del diseño de mezcla pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En la Figura 4-7 se establecen las condiciones iniciales como: temperatura inicial de la mezcla de PCC y temperatura inicial de la capa de soporte las cuales se muestran y fueron tomados del trabajo de graduación denominado DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, PARA VÍAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRANSITO de tabla 4-3. Para el método de curado se ha seleccionado curado líquido de una sola capa y este se hará a la hora de haber sido colocado el concreto. Estos datos también se han obtenido de los DARC proporcionados.

De una extrapolación de los datos obtenidos de “INVESTIGACIÓN DE GRADIENTE TÉRMICO EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO”, y fue realizado en Carretera Panamericana, tramo comprendido entre Avenida la Revolución – Las Delicias”. De la Revista ISCYC, tomo 73. Ver Tabla 4-3.

ESPEJOR DE LOSA	25 cm	23 cm	20 cm	18 cm
PROMEDIO $+\Delta t$ °C	9.95	9.71	11.9	13.36
PROMEDIO $-\Delta t$ °C	-5.25	-4.99	-6.38	-7.31
MAXIMO $+\Delta t$ °C	16	14.5	19.5	22.83
MAXIMO $-\Delta t$ °C	-8	-7.5	-9.5	-10.83

Tabla 4-2 Gradiente de Temperatura de la capa superior con respecto a la última capa.

Fuente: Revista ISCYC, tomo 73, 2019.¹⁴

¹⁴ Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC). (2019). Investigación de gradiente térmico en pavimentos de concreto hidráulico: Carretera Panamericana, tramo Avenida La Revolución – Las Delicias. Revista ISCYC, (73).

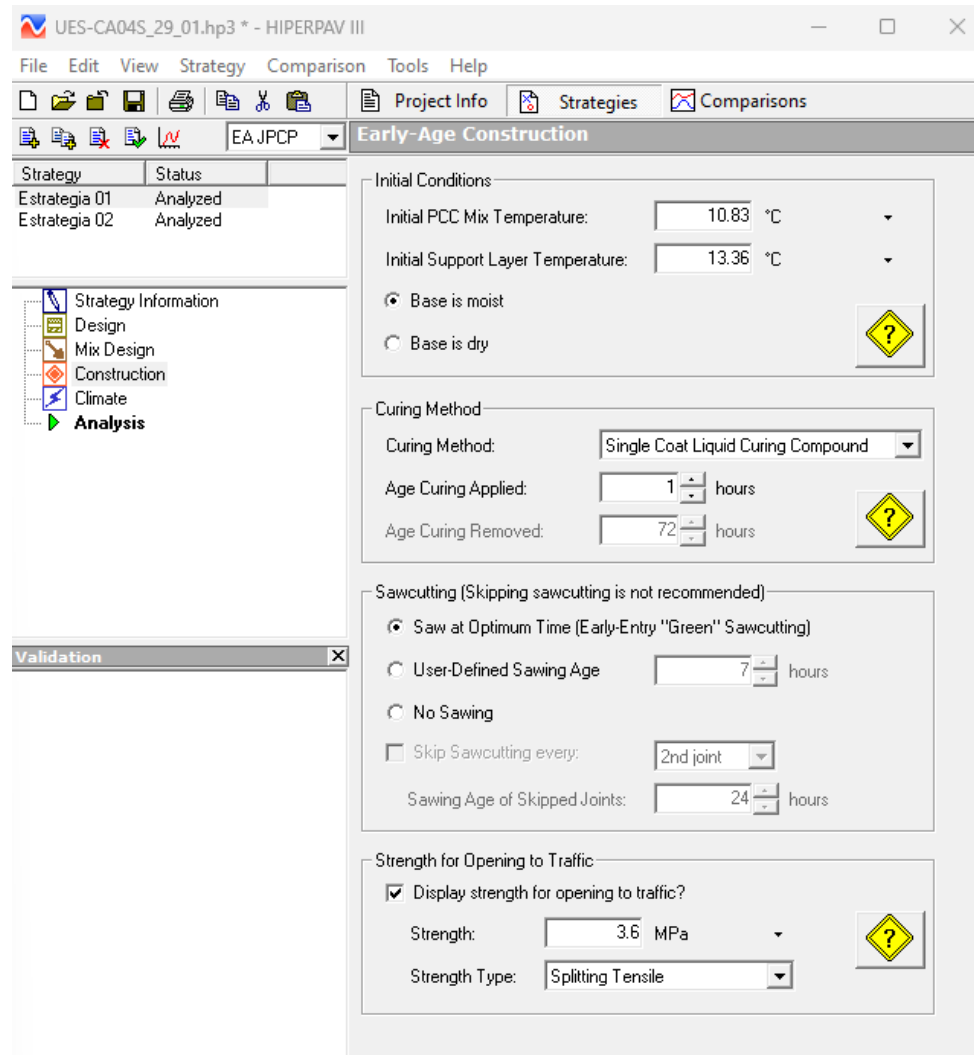


Figura. 4-7 Datos del momento de construcción "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En la Figura 4-8 de captura de pantalla del software HIPERPAV, se presentan datos climatológicos, específicamente de temperatura, estos datos fueron obtenidos mediante la resolución 052-2024 proporcionada por la Unidad de Acceso de la información Pública del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte. Estos han sido determinados mediante la base de datos

climatológicos del SNET, en específico la referida a la estación meteorológica permanente de “San diego”. Ubicada en la hacienda Melara, cantón San Diego, municipio y departamento de La Libertad.

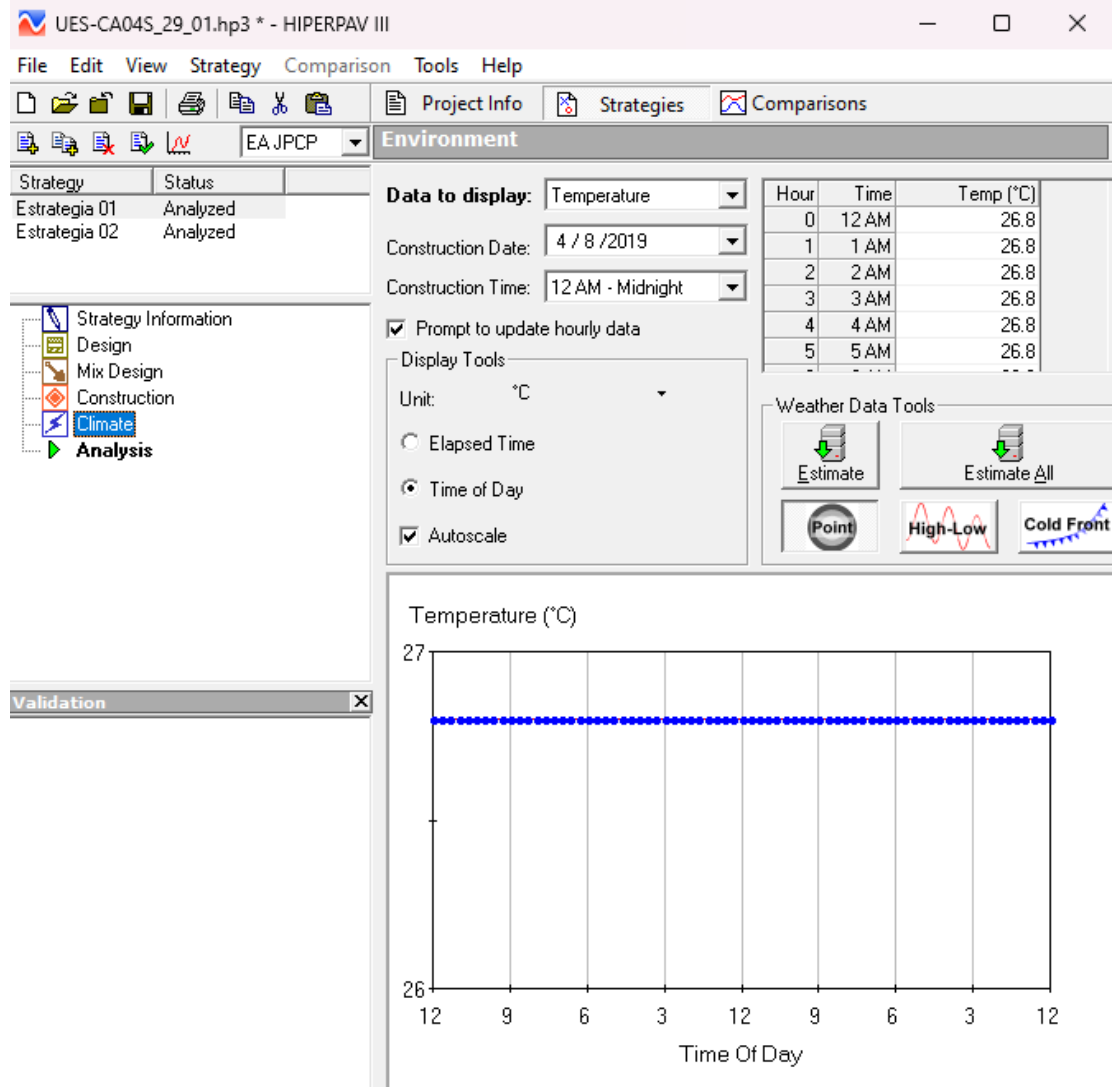


Figura. 4-8 Datos de clima: Temperatura pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En la Figura 4.9 también es necesario colocar parámetros ambientales como la velocidad del viento, que fue proporcionado mediante la resolución 052-2024 proporcionada por la Unidad de Acceso de la información Pública del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte, Cabe destacar que estos parámetros ambientales han sido necesarios para el dimensionamiento del espesor de losas y del tablero.

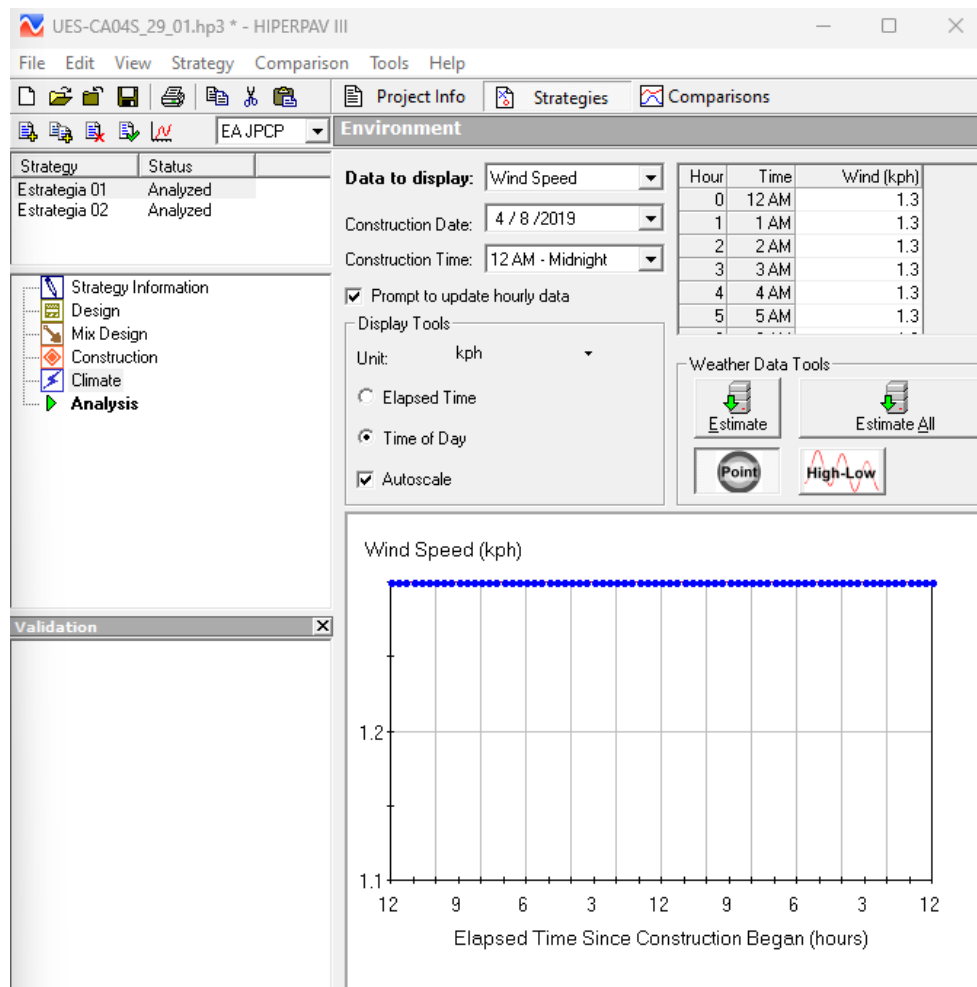


Figura. 4-9 Datos de clima: Velocidad de Viento pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HUPERPAV III

En la Figura 4-10 la humedad fue obtenida mediante los parámetros ambientales descritos en la resolución 052-2024 proporcionada por la Unidad de Acceso de la información Pública del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte, el valor promedio de la humedad relativa durante un año fue de 82%

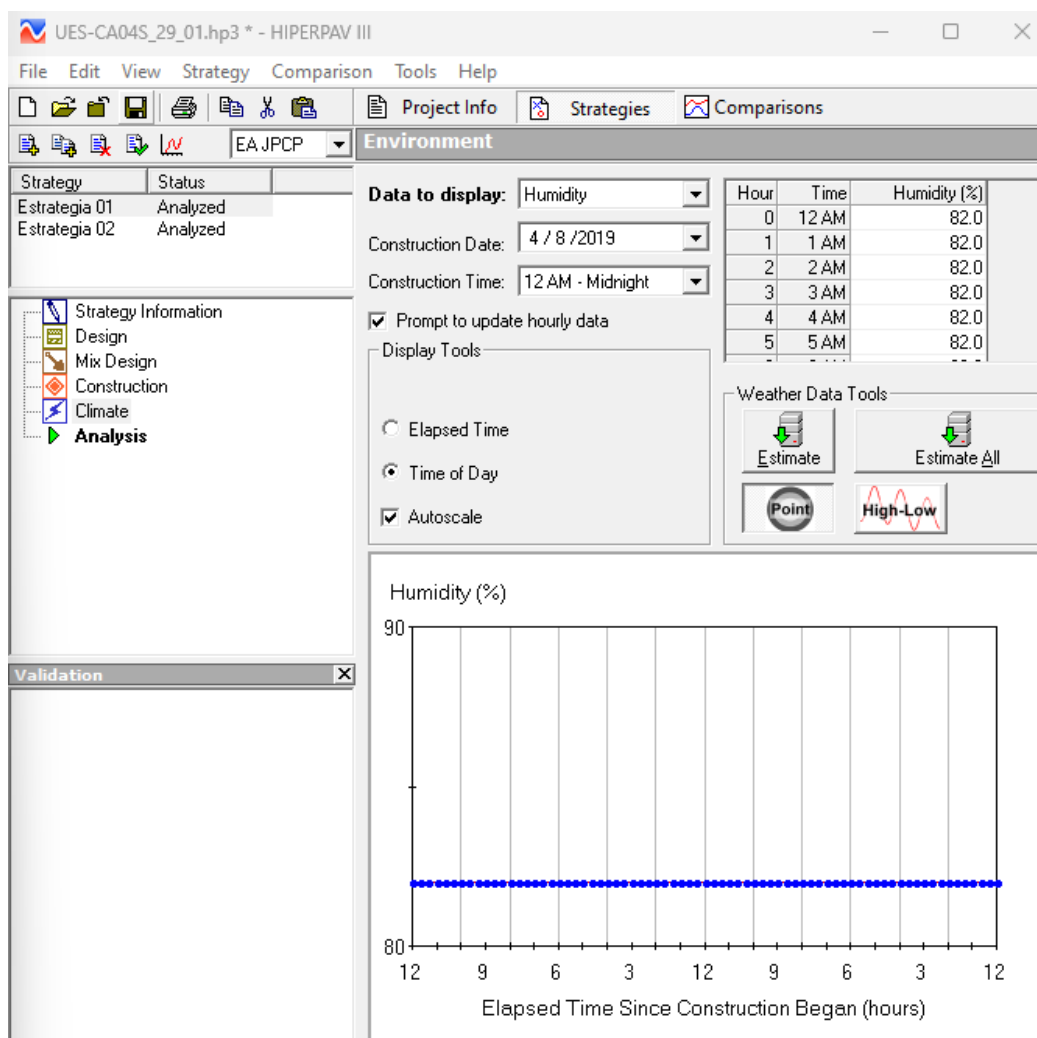


Figura. 4-10 Datos de clima: Humedad pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

Los parámetros de nubosidad en la figura 4-11 fueron obtenidos mediante la resolución 052-2024 proporcionada por la Unidad de Acceso de la información Pública del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte y se colocan en la pestaña indicada en la captura de pantalla del software HiperPav, mostrando así un gráfico con el porcentaje de nubosidad vrs el tiempo en horas.

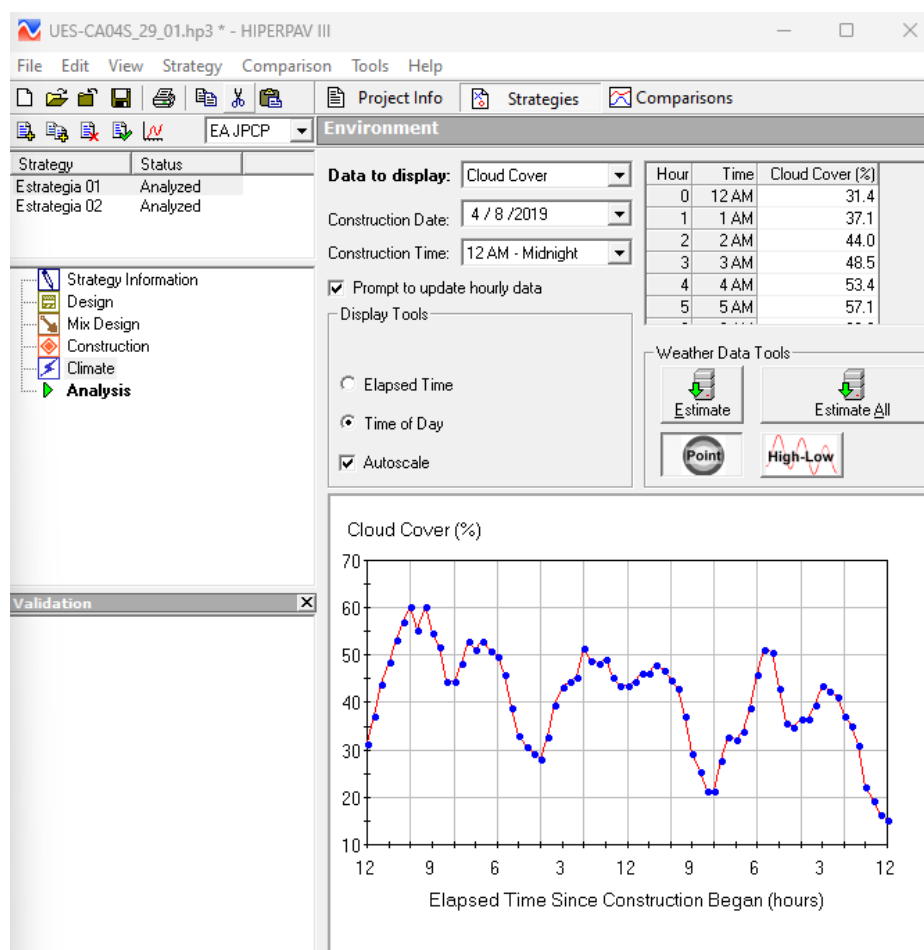


Figura. 4-11 Datos de clima: Nubosidad pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En la Figura 4-12 muestra que dentro del software es posible especificar el análisis a edad temprana colocando datos como, fuerza, horas del día, tensión crítica y un gráfico de tensión de tracción y resistencia contra Tiempo en horas. EL valor de PCC (Portland Cement Composite) es un valor que ya está definido por el programa

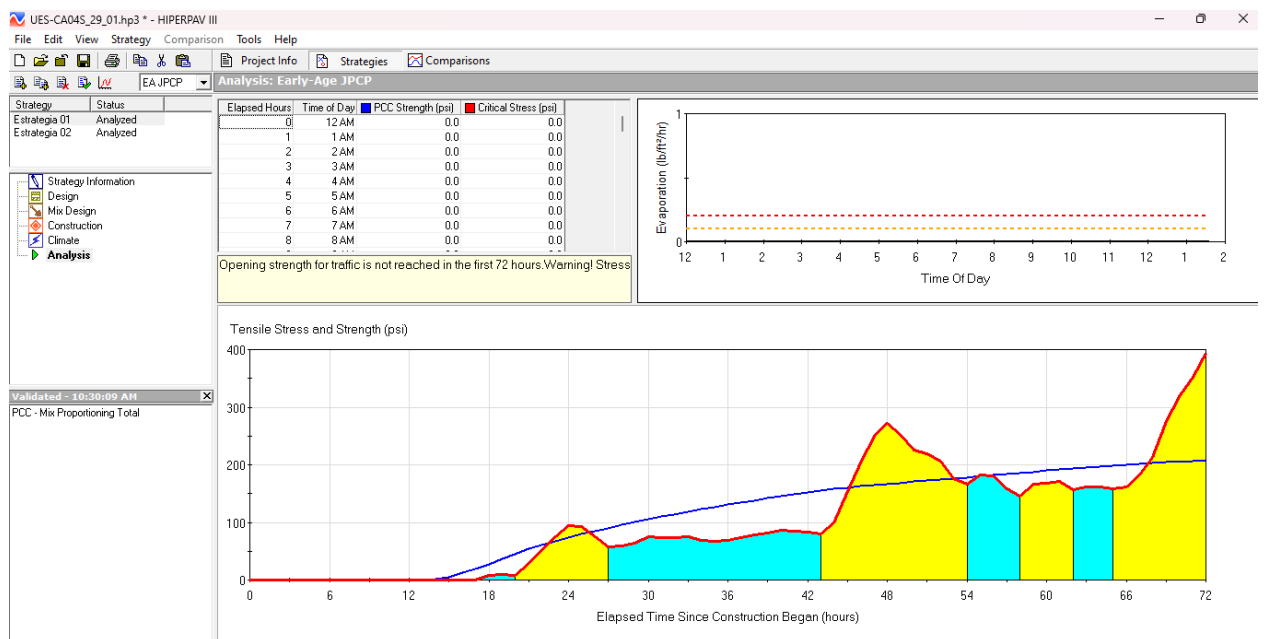


Figura. 4-12 Datos de análisis pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

PARA ANÁLISIS A LARGO PLAZO.

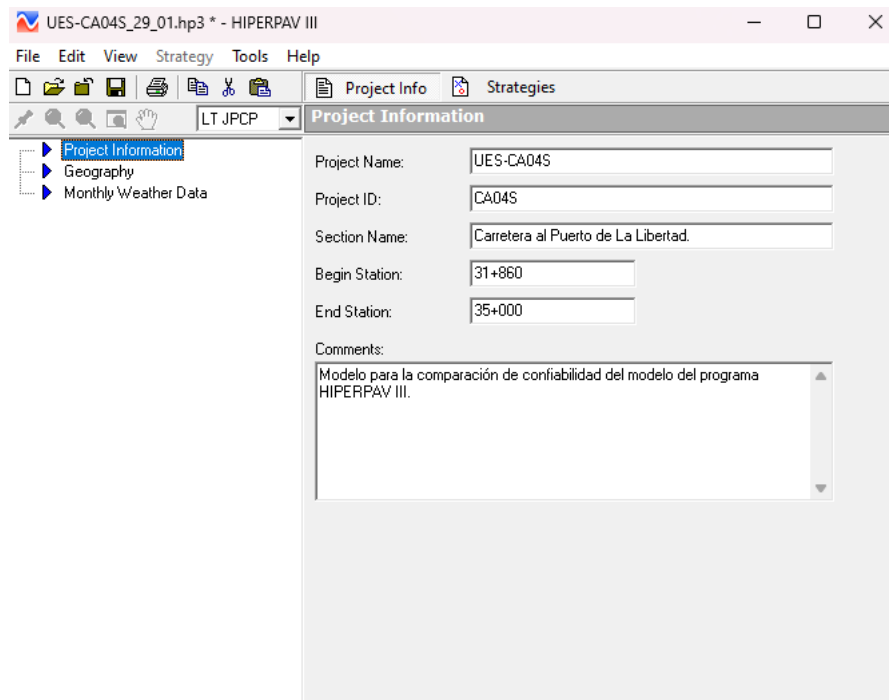


Figura. 4-13 Se cambia a "LT JPCP".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En Figura 4-14 es necesario definir los parámetros generales del proyecto en estudio, tales como el nombre del proyecto entre otra información. También el programa brinda un texto informativo acerca de cómo no podría ser utilizado.

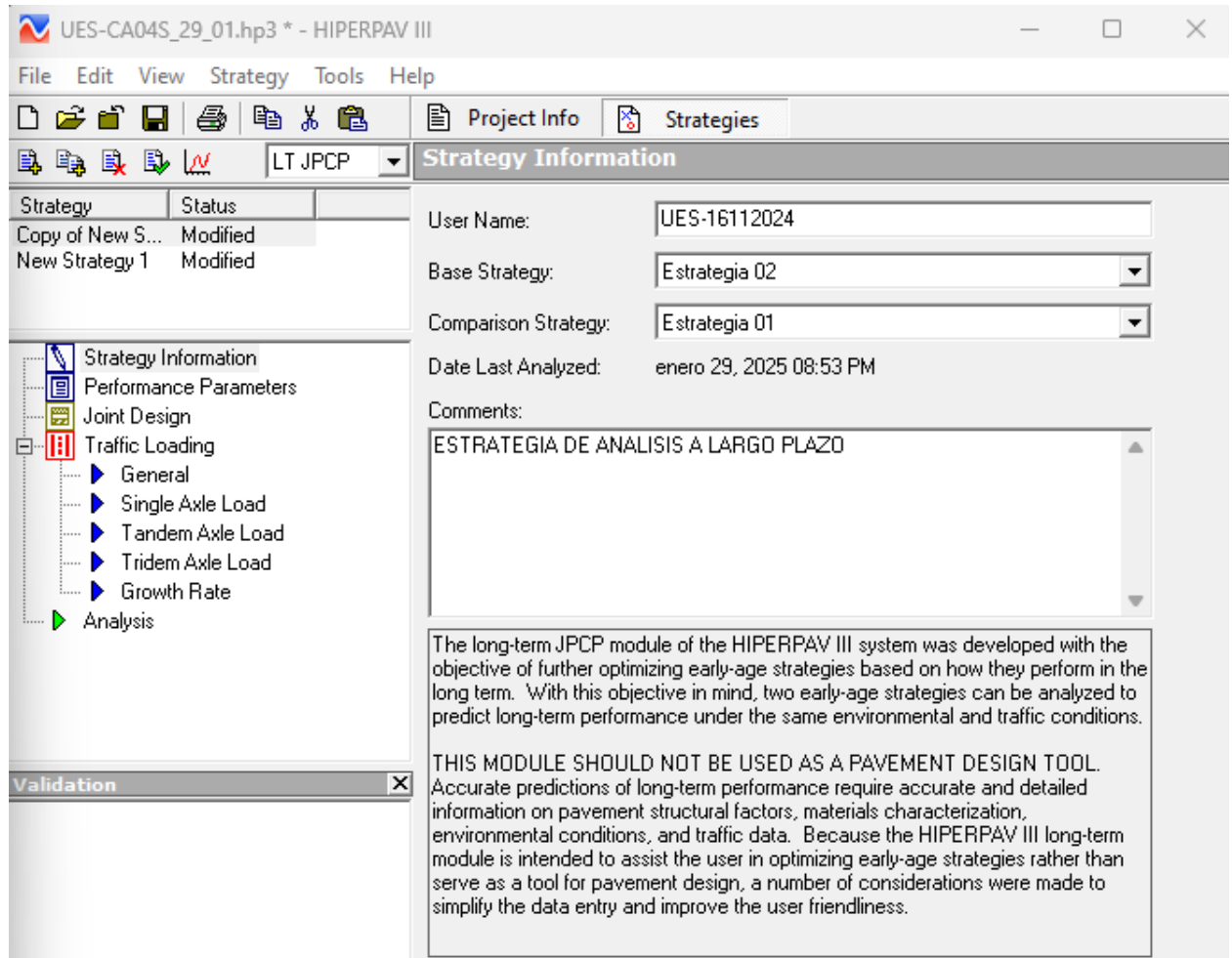


Figura. 4-14 Información general pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En la resolución 052-2024 proporcionada por la Unidad de Acceso de la información Pública del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte, se extrajo parte de la información colocada en el software. El periodo de análisis fue de 6 años, el nivel de confiabilidad fue de 90% y Agrietamiento transversal máximo/ Agrietamiento longitudinal máximo se indican en la Figura 4-15

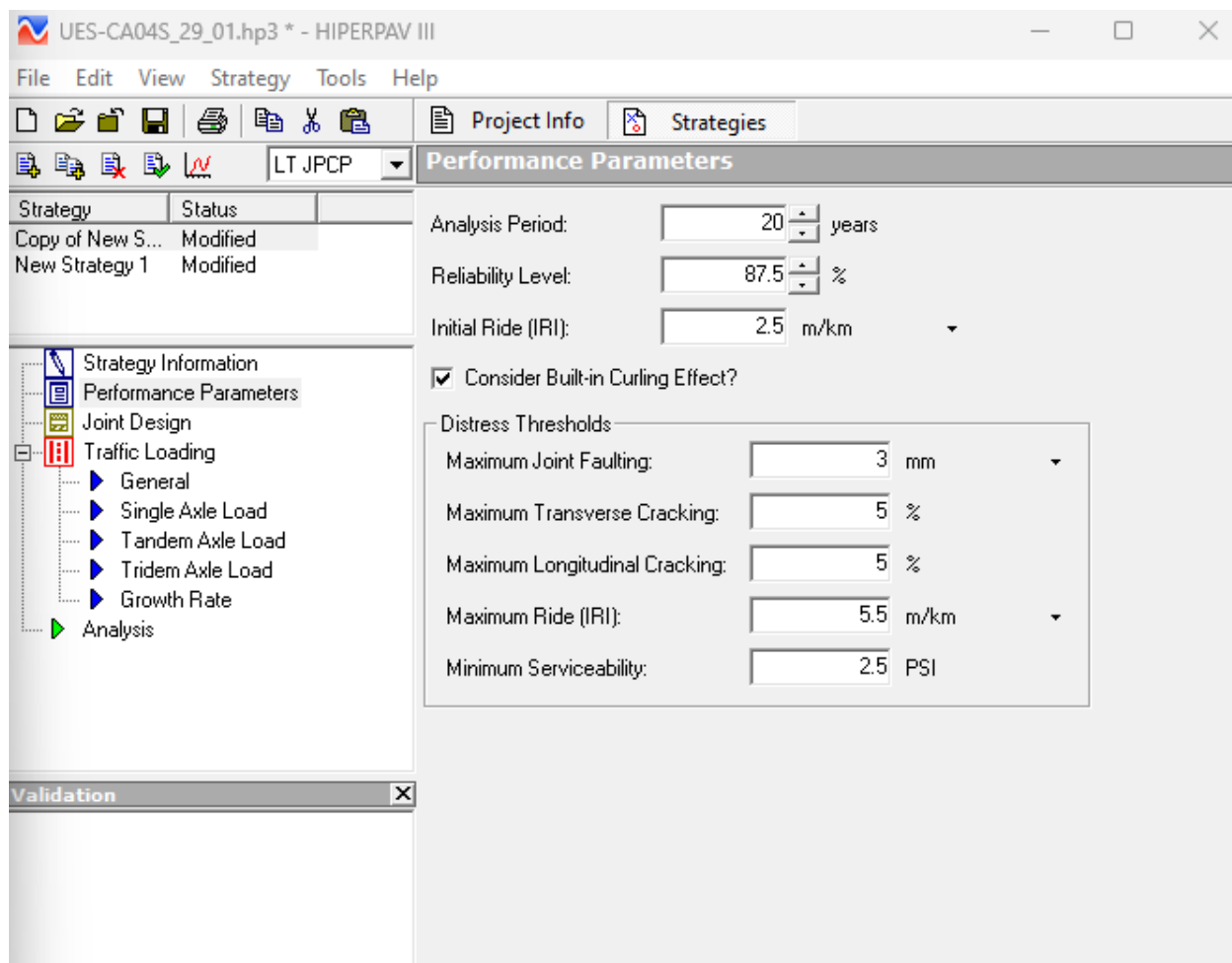


Figura. 4-15 Parámetros de análisis pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

La Figura 4-16 Diseño de Juntas se especifican las propiedades de las dovelas y las barras de unión, en cada una se especifica el tamaño y el espaciamiento, estos datos fueron obtenidos de la resolución 052-2024 proporcionada por la Unidad de Acceso de la información Pública del Ministerio de Obras Públicas, y

a continuación se presenta un cuadro de donde se han seleccionado algunos datos para este paso de la corrida del software. Ver Imagen 4.2-16

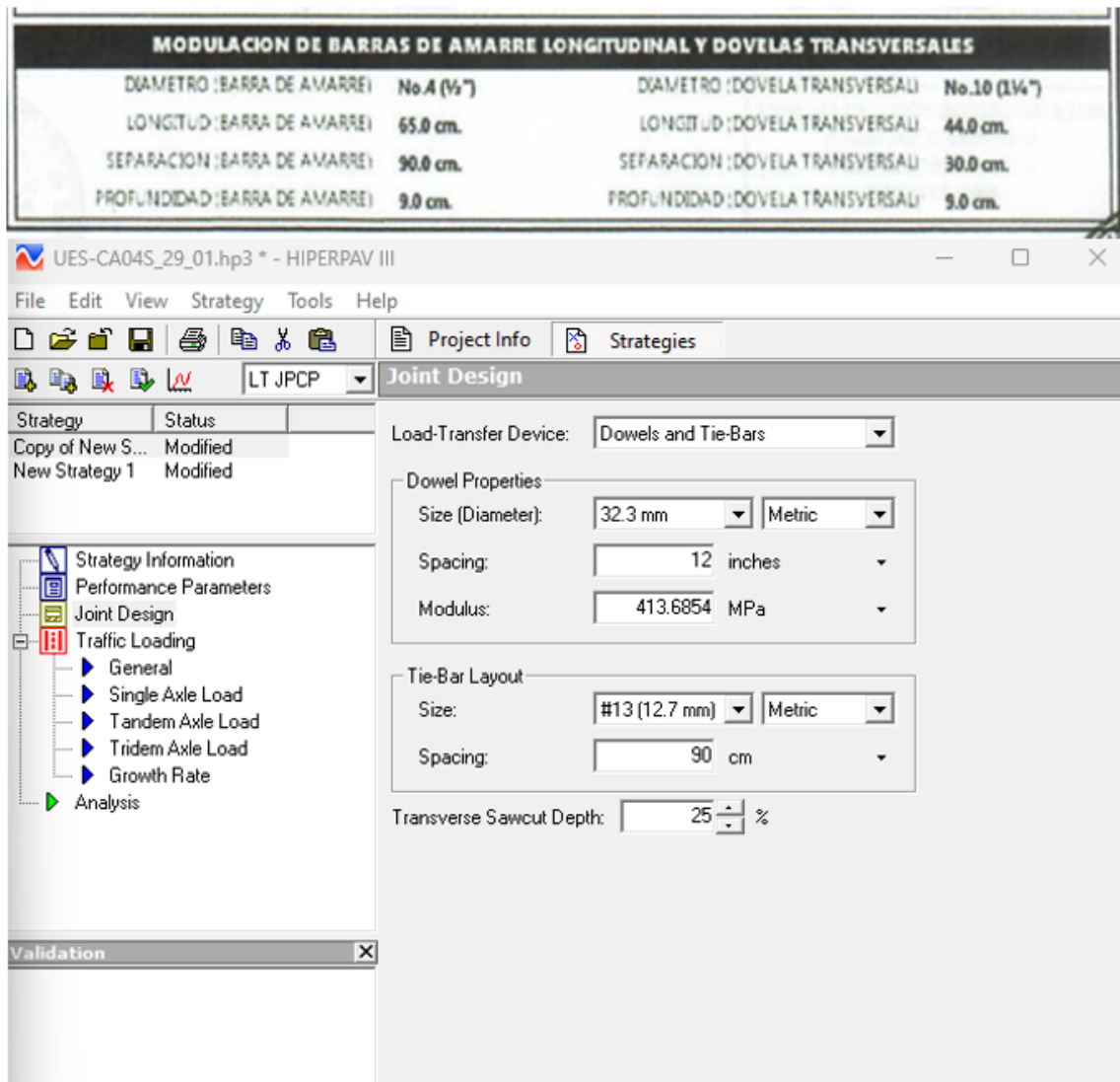


Figura. 4-16 Diseño de junta pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En la Figura 4 -17 se colocaron datos de Esal's para el año de diseño tomados de la resolución 052-2024 proporcionada por la Unidad de Acceso de la información Pública del Ministerio de Obras Públicas

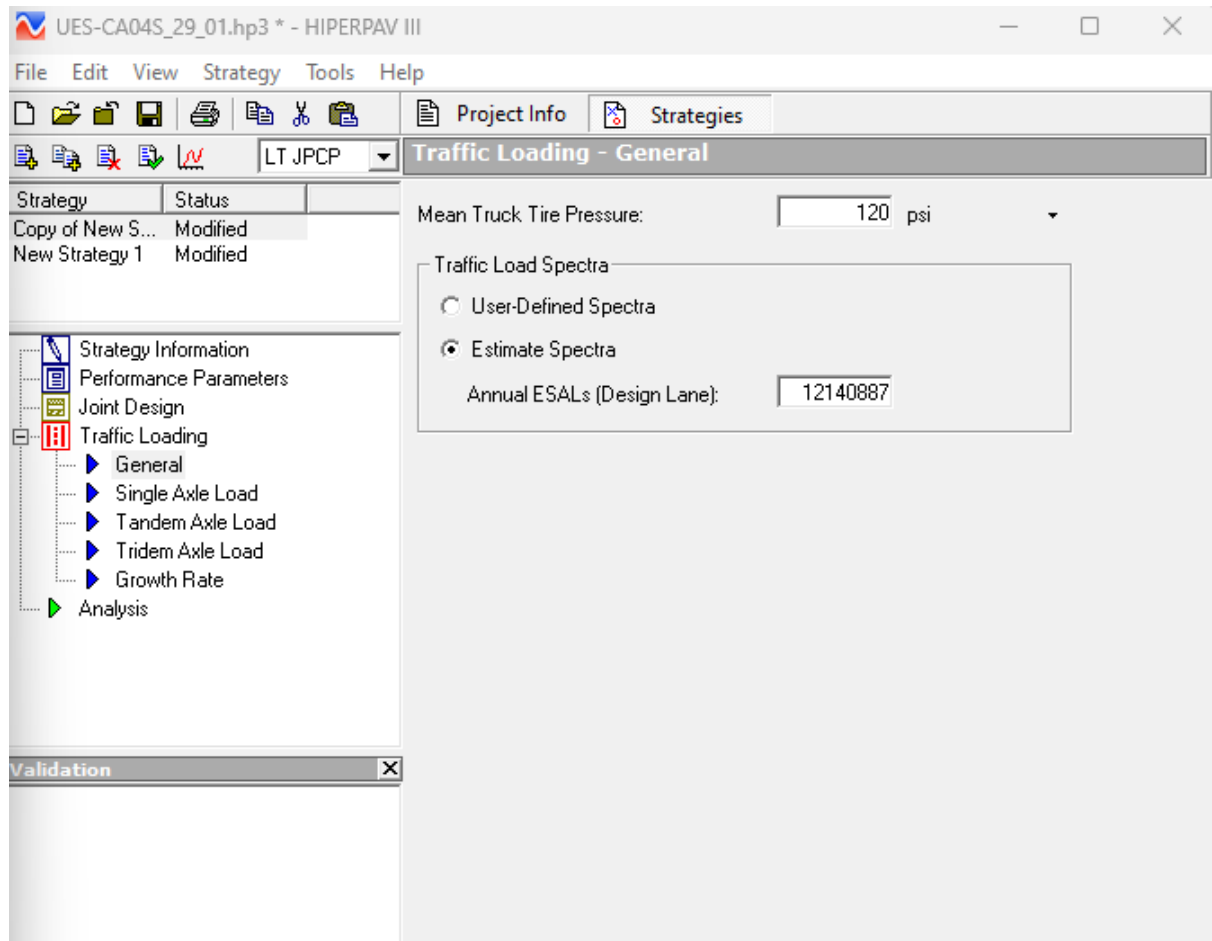


Figura. 4-17 General carga de Esal's pestaña "Strategies".

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

Como se menciona en el manual de usuario de HIPERPAV III: "El efecto de la pérdida de humedad hacia la capa base depende de la permeabilidad de la base (el efecto es más crítico para una base permeable). El efecto también depende del espesor de la losa. Para simplificar, las condiciones de humedad de la base

en HIPERPAV® III representan solo los dos extremos: pérdida crítica de humedad hacia la base (base seca permeable) y baja pérdida de humedad (base húmeda no permeable).” Así, se justifica la modificación propuesta en la base del pavimento para garantizar una mayor durabilidad y rendimiento de este (Figura 4-18).

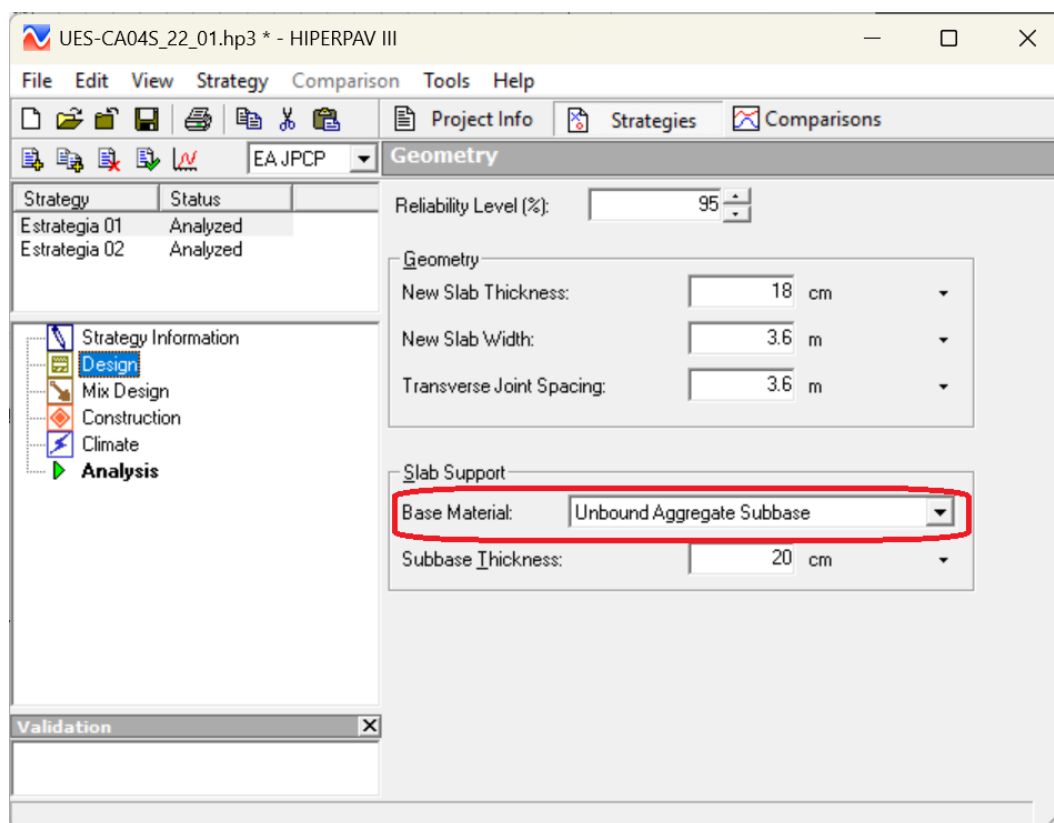


Figura. 4-18 Cambio de la base de pavimento en el HiperPav III.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

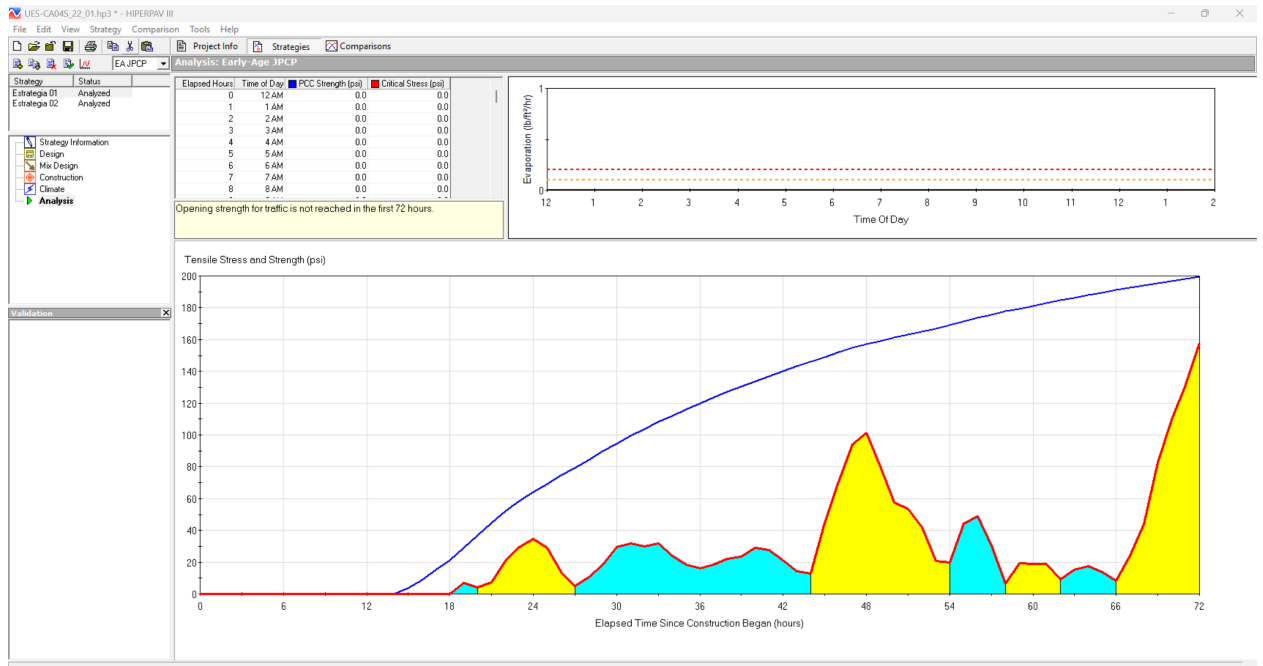


Figura. 4-19 Gráfico de análisis a edad temprana.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

La figura 4-19 captura de pantalla muestra el análisis del comportamiento del concreto en las primeras horas después de su colocación, lo cual es crucial para determinar cuándo el pavimento puede abrirse al tráfico sin riesgo de daños. La información sugiere que la resistencia del concreto no alcanza niveles adecuados para abrir el pavimento al tráfico en las primeras 72 horas.

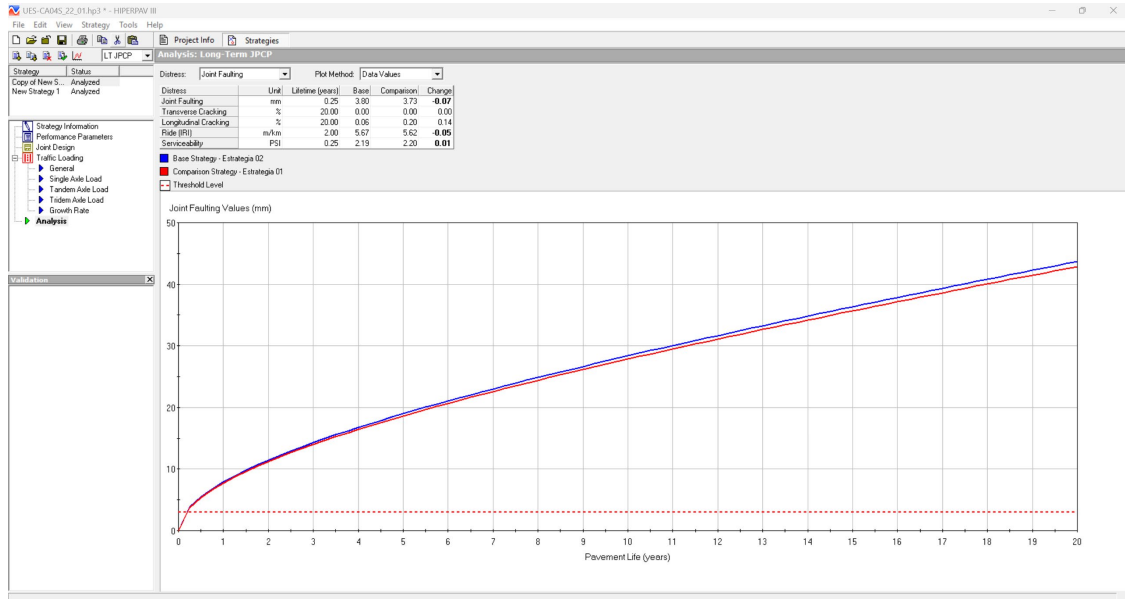


Figura. 4-20 Gráfico de escalonamiento a largo plazo.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

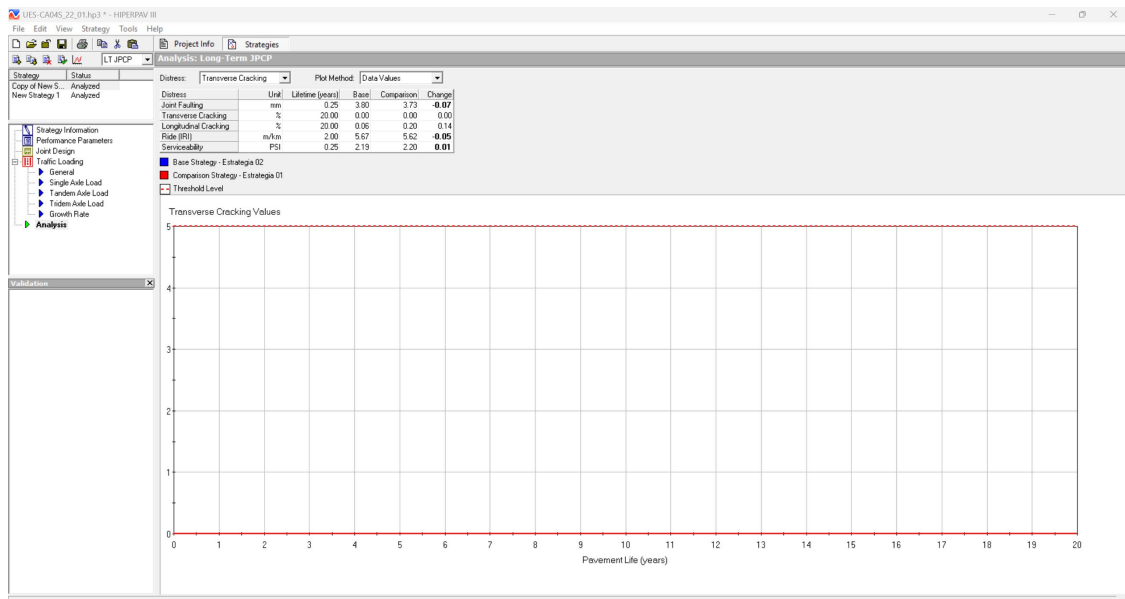


Figura. 4-21 Gráfico de Grietas transversales a largo plazo.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

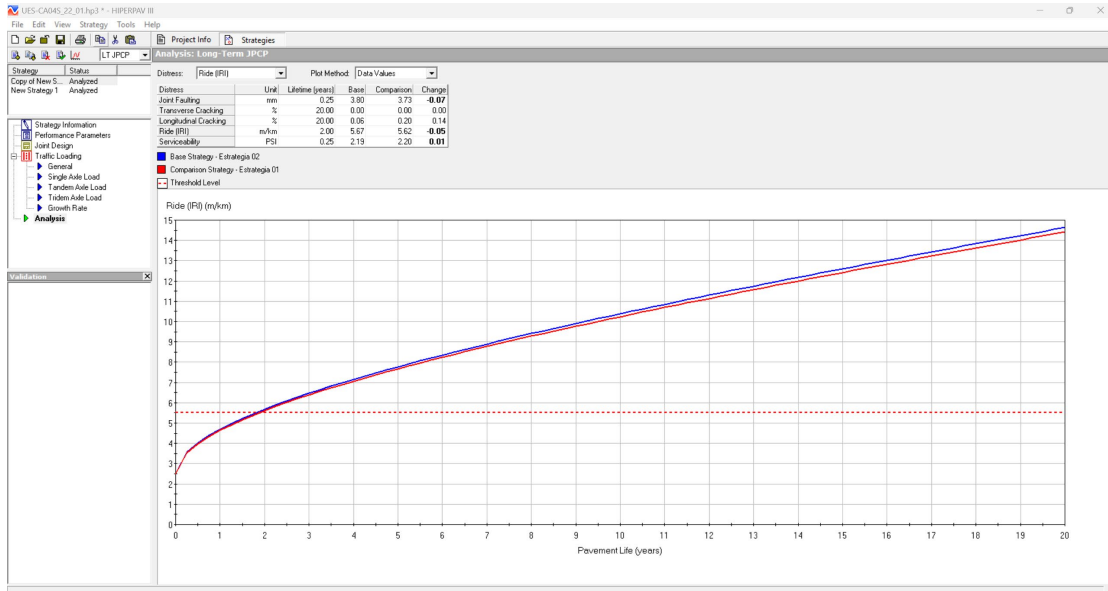


Figura. 4-22 Gráfico comparativo de estrategias del IRI.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

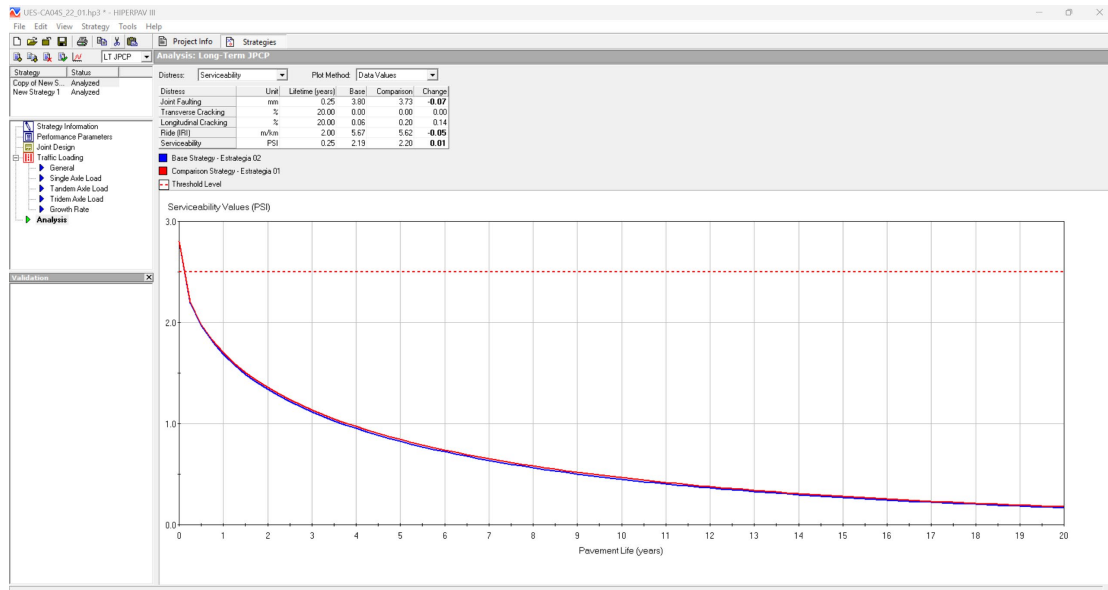


Figura. 4-23 Gráfico de Servicibilidad a largo plazo.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

Interpretación:

- **Joint Faulting (mm):** Mide la diferencia de nivel en las juntas del pavimento. Un valor negativo en el cambio indica una leve mejora en la estrategia de comparación.
- **Transverse Cracking (%):** Porcentaje de grietas transversales. Ambos valores son 0.00%, lo que indica que no hay grietas transversales en ambas estrategias.
- **Longitudinal Cracking (%):** Porcentaje de grietas longitudinales. La estrategia de comparación muestra una leve mejora (menos grietas) en comparación con la estrategia base.
- **Ride (IRI) (m/km):** Índice de rugosidad internacional. Un valor más bajo indica una superficie más suave. La estrategia de comparación tiene un IRI ligeramente mejor.
- **Serviceability (PSI):** Índice de servicialidad. Un valor positivo indica una leve mejora en la estrategia de comparación.

Conclusión:

En el análisis de las bases estabilizadas con cemento, se observó que estas bases, aunque fuertes y duraderas, tendían a desarrollar grietas tempranas debido a la rigidez del material. Estas grietas tempranas podrían comprometer la integridad estructural del pavimento a largo plazo.

Por este motivo, se decidió cambiar la base estabilizada por cemento a una base con agregados no consolidados. Esta alternativa permite mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a los movimientos naturales del suelo y el tráfico. Además, los agregados no consolidados permiten una distribución más uniforme de las cargas, reduciendo así la aparición de grietas tempranas y mejorando la vida útil del pavimento.

La decisión se tomó para hacer más confiables los resultados a largo plazo debido a que el análisis a corto plazo mostraba un pavimento que fallaba en las primeras horas de curado del concreto.

4.3 Resultados obtenidos por el Modelo HIPERPAV III.**4.3.1 Alternativa 1.**

En la Figura 4-24 se observa un daño por escalonamiento de 20.66 mm para 6 años lo cual está fuera de nivel lumbral o permisible según HiperPav y a final del periodo de diseño más de 4 cm lo cual podría deberse a la carga de diseño de 12140887 ESAL'S.

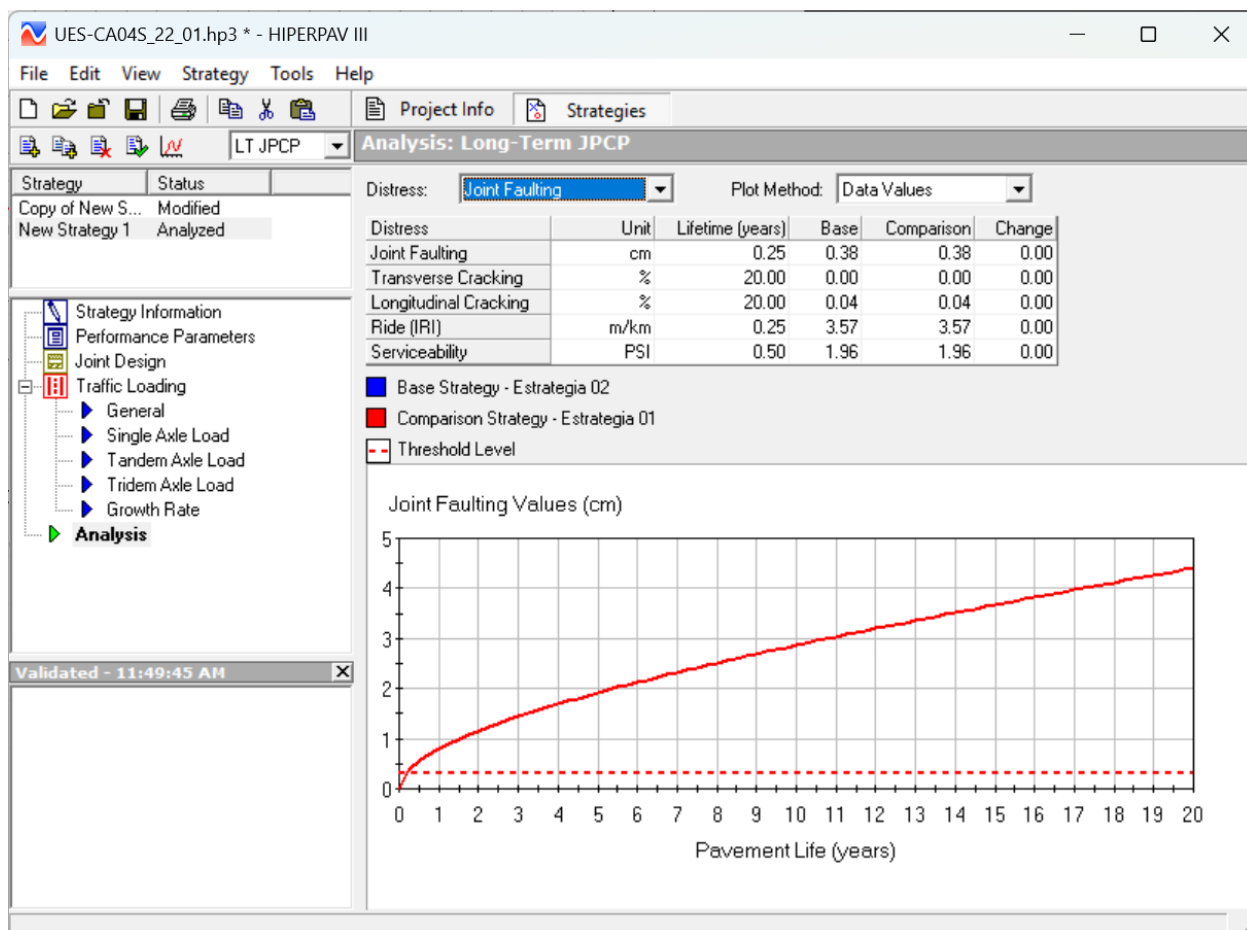


Figura. 4-24 Del análisis Joint Faulting.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

La Figura 3-25 muestra que según los datos ingresados y analizados no sufrirá daños en el periodo de diseño de 20 años y presentará tendencia constante.

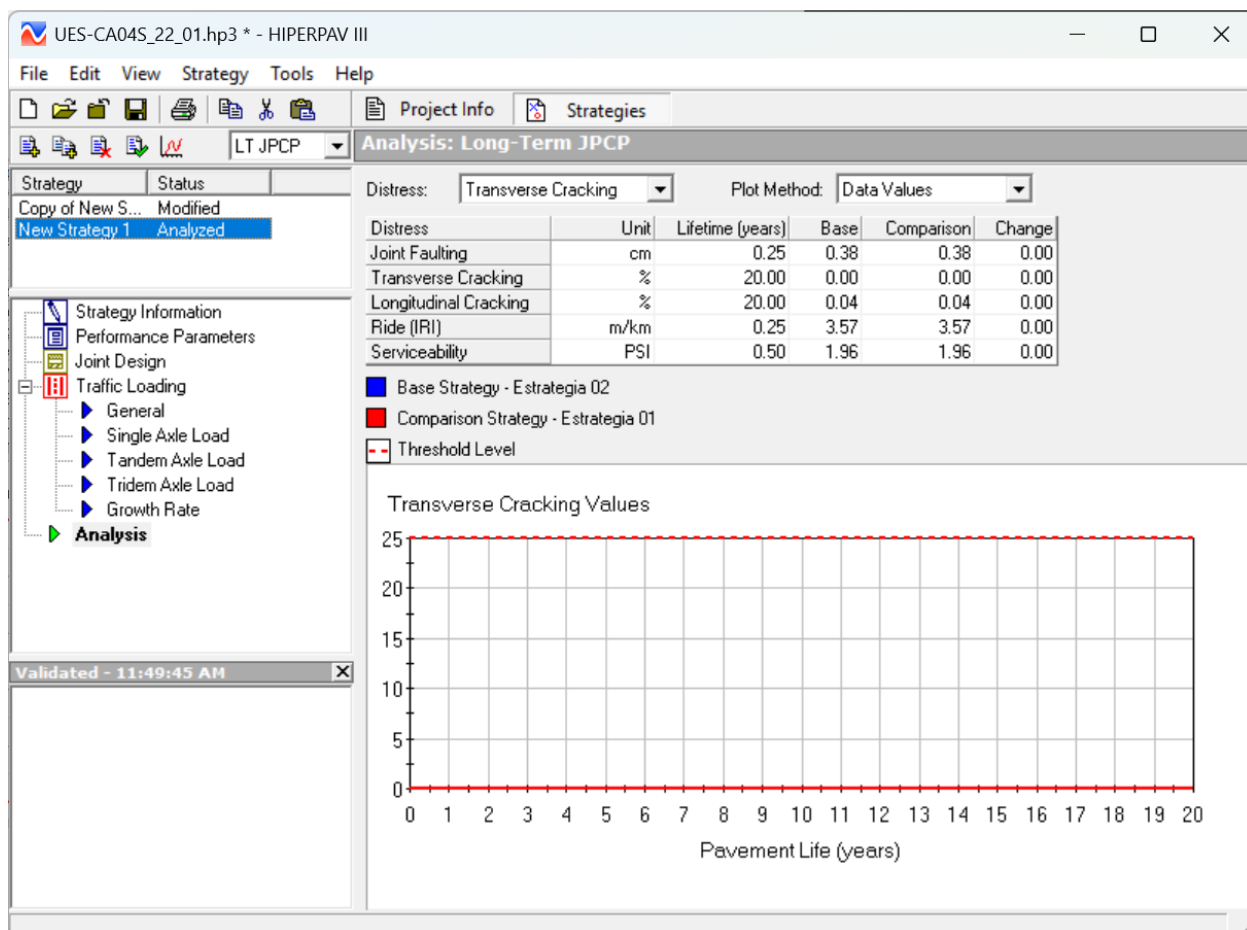


Figura. 4-25 Datos de análisis Transverse Cracking.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

La Imagen 4-26 muestra que el porcentaje de agrietamiento longitudinal no es considerable y tendrá un valor máximo de 0.04 % al final del periodo de diseño.

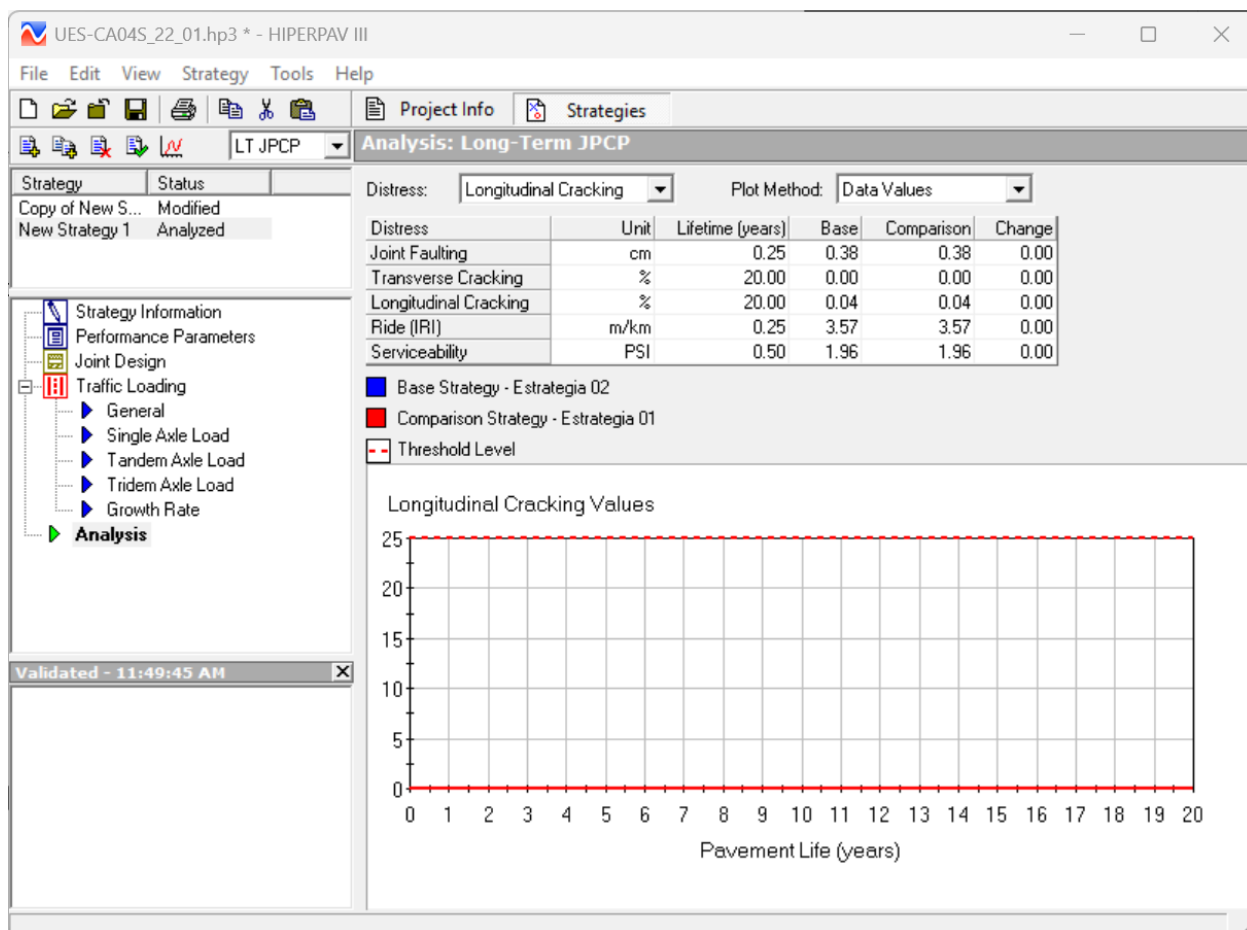


Figura. 4-26 Datos de Análisis sobre Grietas Longitudinales.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En la Imagen 4-27 muestra que al final del periodo de 6 años, el programa HiperPav arroja un IRI de 8.40 m/km, lo cual es el doble del resultado del levantamiento de campo el cual fue de 4.2 m/km. esa notable diferencia podría ser debido a las cargas vehiculares reales podrían ser menores a las utilizadas en el diseño.

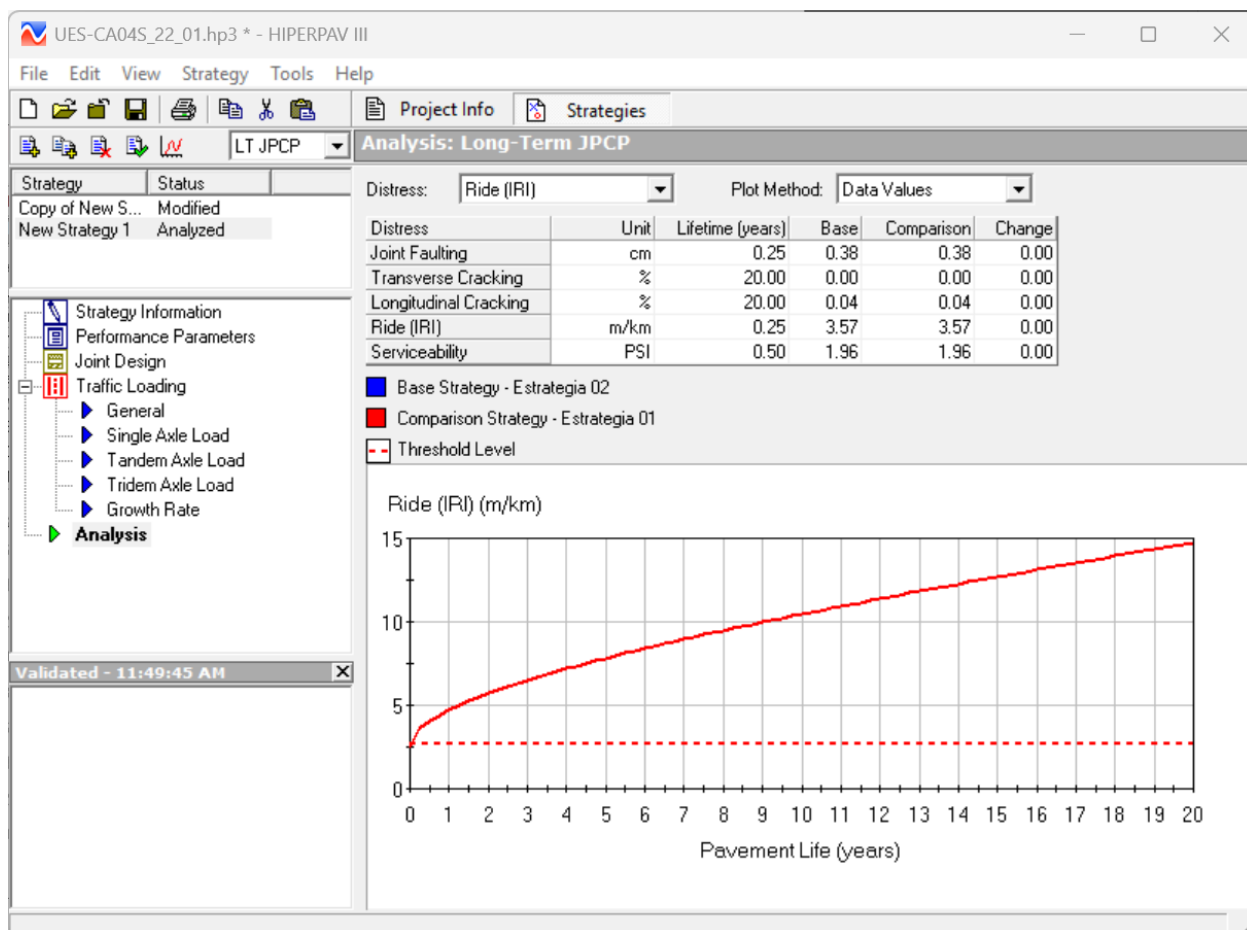


Figura. 4-27 Resultado del análisis del comportamiento del IRI.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

En la Imagen 4-28 muestra una pérdida de la serviciabilidad debido a los daños por escalonamiento y por incremento del IRI esto según los datos obtenidos y arrojados por HiperPav.

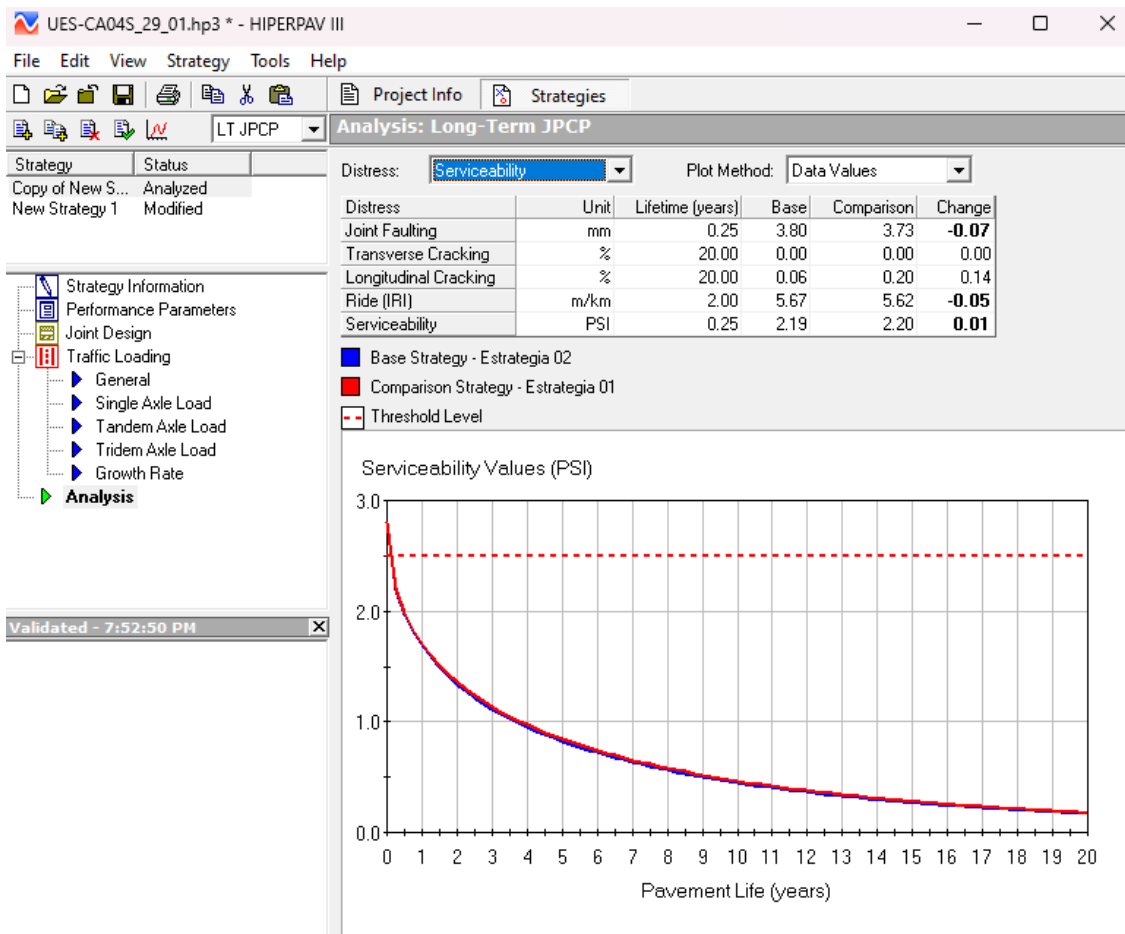


Figura. 4-28 Resultado de análisis comportamiento de la serviciabilidad.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

4.3.2 Alternativa 2:

Modificación en la base del pavimento estabilizado con cemento.

Para evitar fallos en las primeras 72 horas, se decidió cambiar la base de pavimento presentada en la imagen 5. Este cambio permitirá realizar un análisis temprano utilizando el programa HiperPav, asegurando así que el pavimento no falle prematuramente.

Como se menciona en el manual de usuario de HIPERPAV III: “El efecto de la pérdida de humedad hacia la capa base depende de la permeabilidad de la base (el efecto es más crítico para una base permeable). El efecto también depende del espesor de la losa. Para simplificar, las condiciones de humedad de la base en HIPERPAV® III representan solo los dos extremos: pérdida crítica de humedad hacia la base (base seca permeable) y baja pérdida de humedad (base húmeda no permeable).” Así, se justifica la modificación propuesta en la base del pavimento para garantizar una mayor durabilidad y rendimiento de este (Imagen 4-29).

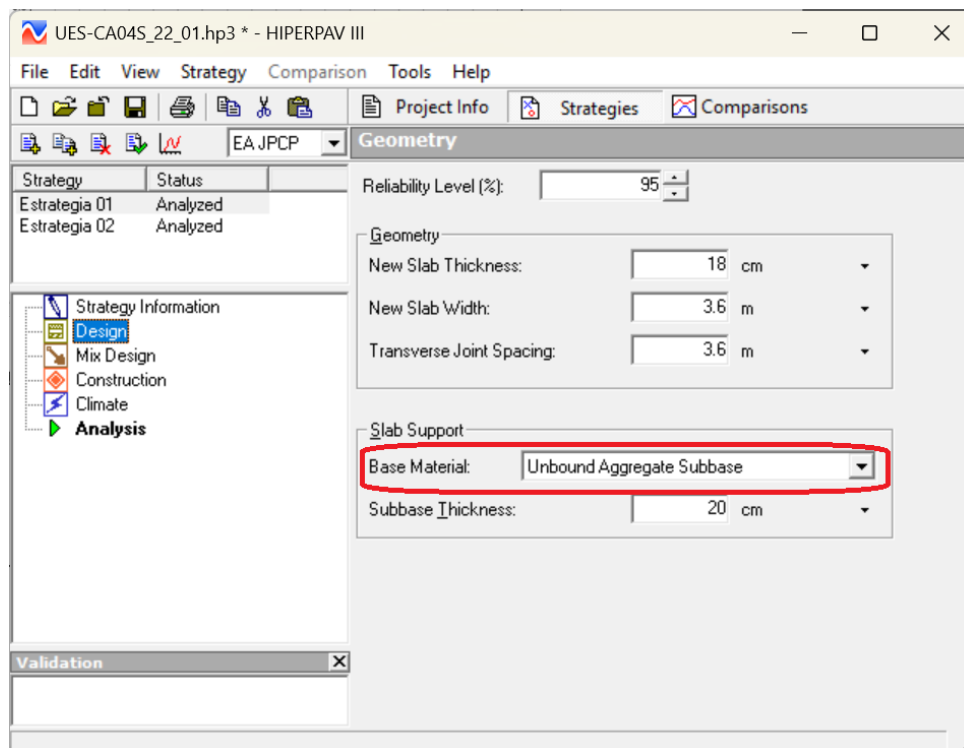


Figura. 4-29 Cambio de la base de pavimento en el HiperPav III.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

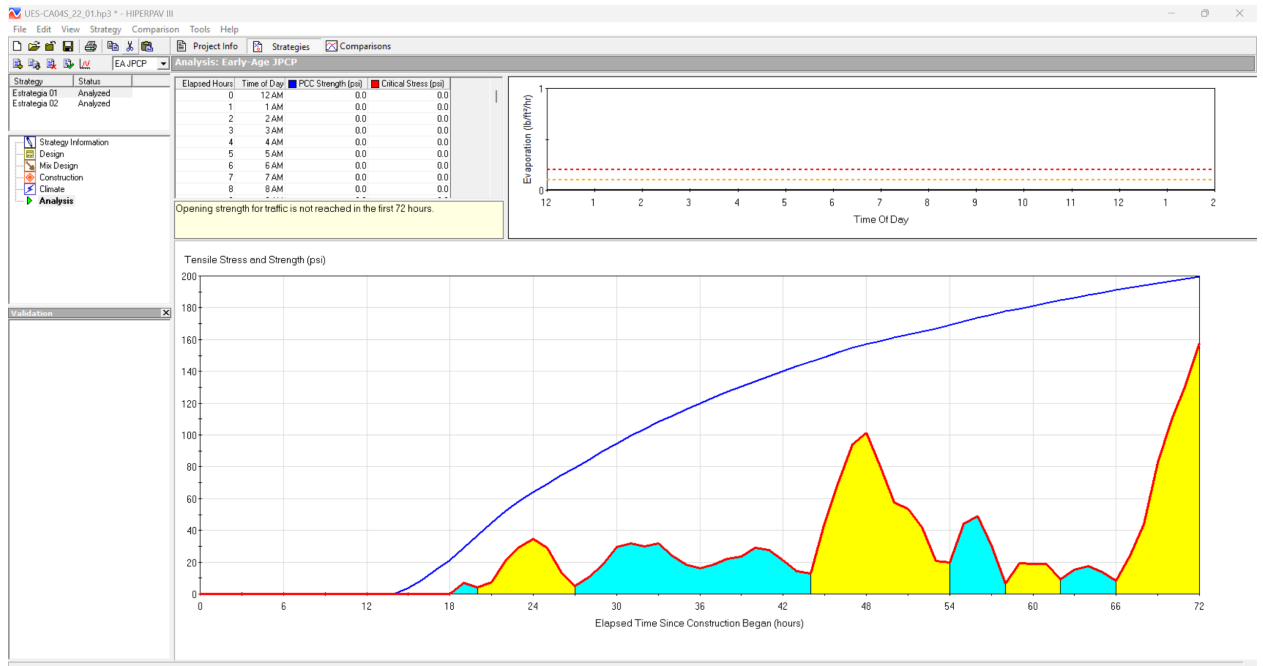


Figura. 4-30 Gráfico de análisis a edad temprana.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

Esta captura de pantalla (figura 4-30) muestra el análisis del comportamiento del concreto en las primeras horas después de su colocación, lo cual es crucial para determinar cuándo el pavimento puede abrirse al tráfico sin riesgo de daños. La información sugiere que la resistencia del concreto no alcanza niveles adecuados para abrir el pavimento al tráfico en las primeras 72 horas.

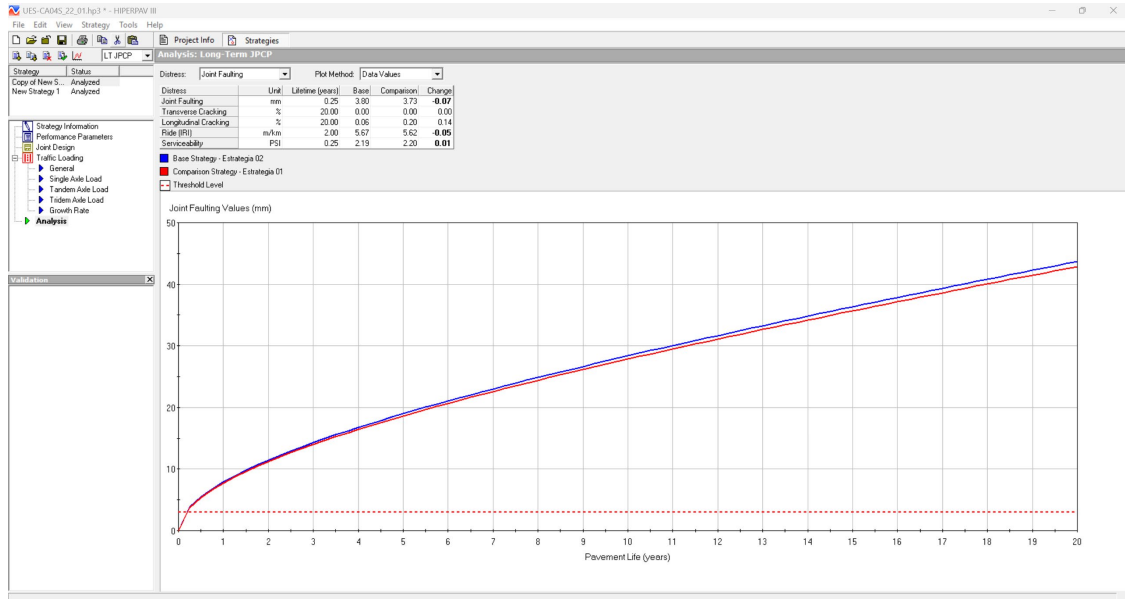


Figura. 4-31 Gráfico de escalonamiento a largo plazo.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

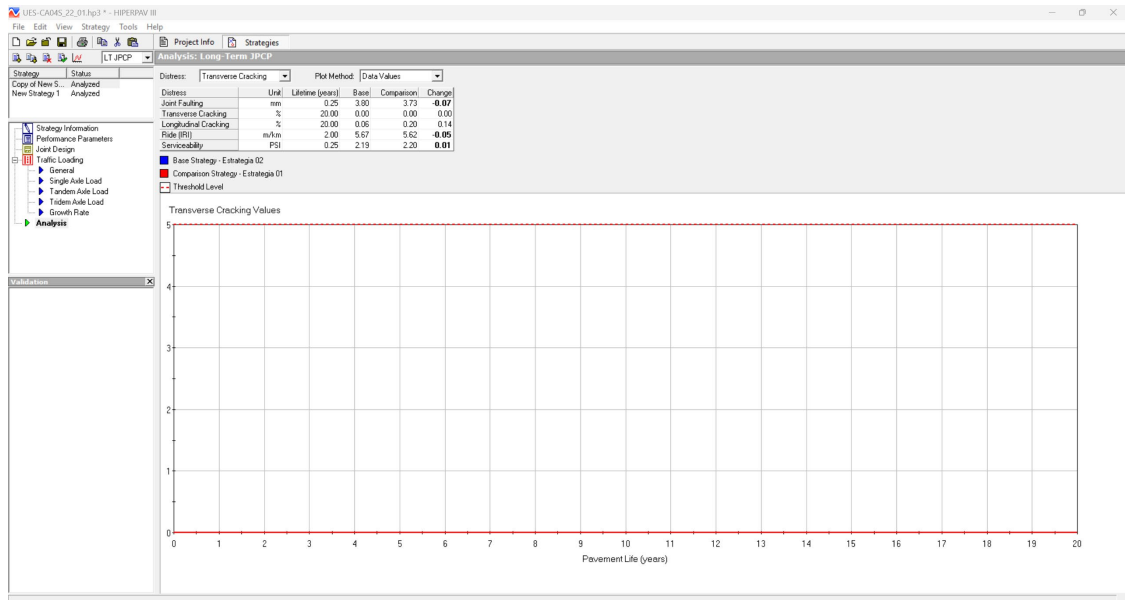


Figura. 4-32 Gráfico de Grietas transversales a largo plazo (muestra que las grietas transversales tienden a 0%).

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

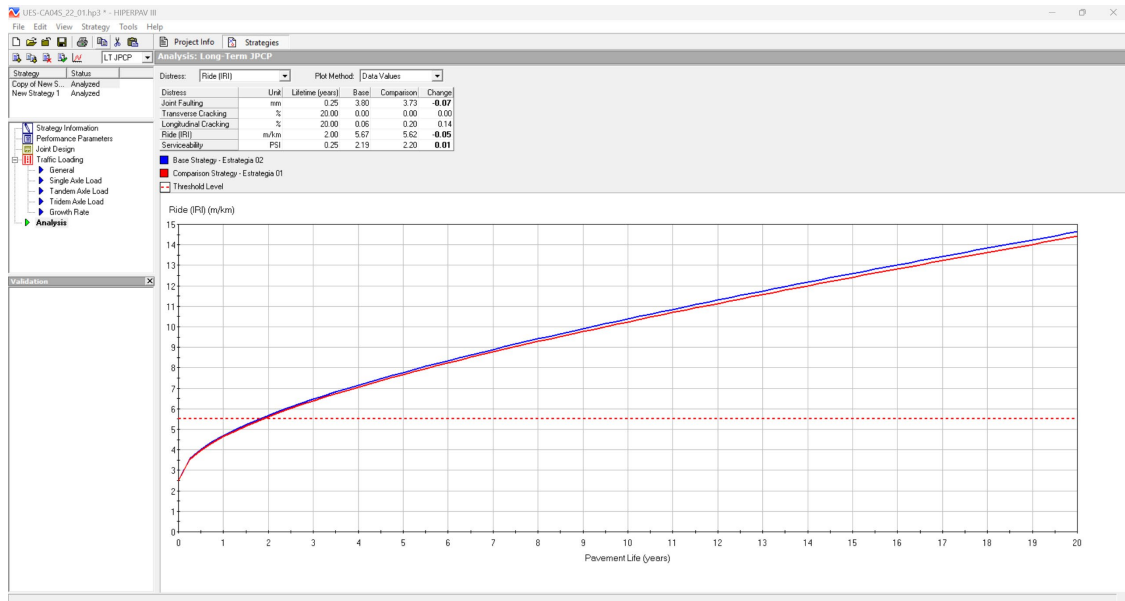


Figura. 4-33 Gráfico comparativo de estrategias del IRI.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

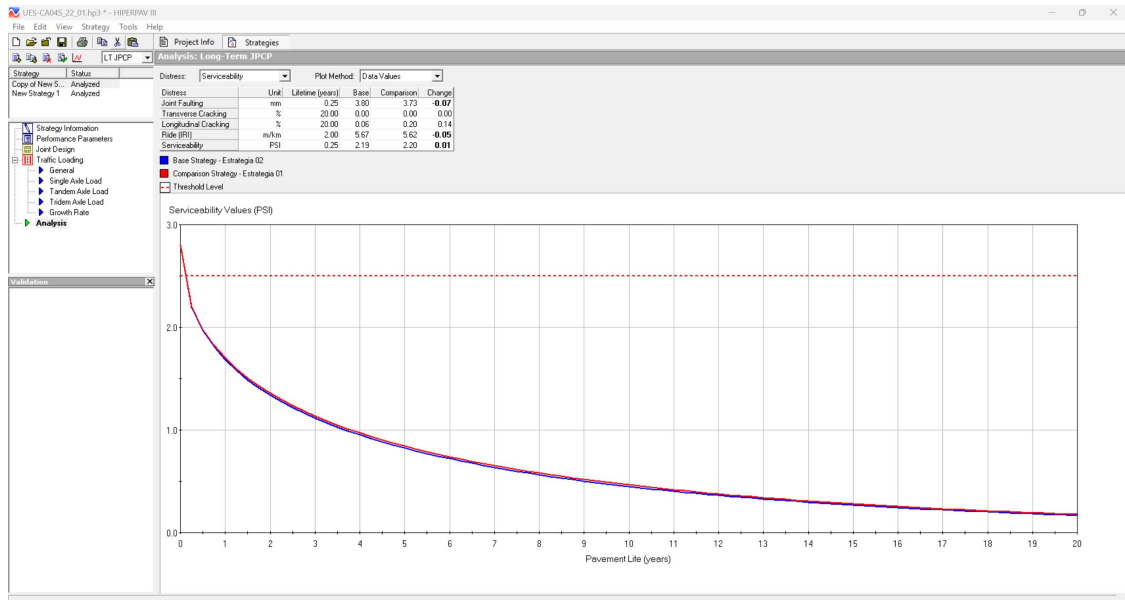


Figura. 4-34 Gráfico de Servicibilidad a largo plazo.

Fuente: Imagen obtenida del software HIPERPAV III

Interpretación:

- **Joint Faulting (mm):** Mide la diferencia de nivel en las juntas del pavimento. Un valor negativo en el cambio indica una leve mejora en la estrategia de comparación.
- **Transverse Cracking (%):** Porcentaje de grietas transversales. Ambos valores son 0.00%, lo que indica que no hay grietas transversales en ambas estrategias.
- **Longitudinal Cracking (%):** Porcentaje de grietas longitudinales. La estrategia de comparación muestra una leve mejora (menos grietas) en comparación con la estrategia base.
- **Ride (IRI) (m/km):** Índice de rugosidad internacional. Un valor más bajo indica una superficie más suave. La estrategia de comparación tiene un IRI ligeramente mejor.
- **Serviceability (PSI):** Índice de servicialidad. Un valor positivo indica una leve mejora en la estrategia de comparación.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Conclusión 1: En el análisis de las bases estabilizadas con cemento, se observó que, aunque estas bases son fuertes y duraderas, tienden a desarrollar grietas tempranas debido a la rigidez inherente del material. Estas grietas pueden comprometer la integridad estructural del pavimento a largo plazo. Por este motivo, se tomó la decisión de sustituir la base estabilizada con cemento por una base con agregados no consolidados. Esta alternativa ofrece mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a los movimientos naturales del suelo y al tráfico, además de permitir una distribución más uniforme de las cargas, lo cual reduce la formación de grietas tempranas y mejora la vida útil del pavimento.

Sin embargo, es importante señalar que las bases de suelo-cemento empleadas en el país pueden alcanzar cierto grado de flexibilidad dependiendo de las condiciones específicas del proyecto, como se ha observado en el comportamiento registrado en carreteras bajo el programa HIPERPAV III. Este análisis destaca que, en algunos casos, la flexibilidad de estas bases puede ser suficiente para adaptarse al tráfico y a las condiciones del suelo, brindando una solución viable. Aun así, la decisión de optar por agregados no consolidados se fundamentó en la necesidad de garantizar resultados más confiables a largo

plazo, dado que los análisis a corto plazo mostraban fallas en las primeras horas de curado del concreto.

Conclusión 2: El modelo de deterioro de HIPERPAV III se ha consolidado como una herramienta confiable y fundamental para el análisis y diseño de pavimentos de concreto hidráulico. Su capacidad para integrar datos climáticos, parámetros de diseño y propiedades de los materiales permite realizar simulaciones detalladas que resultan en resultados específicos y precisos. Estos resultados permiten comprender las interacciones complejas entre los materiales y las condiciones externas que afectan el comportamiento del pavimento, y proporcionan una base sólida para la toma de decisiones informadas.

Además, el software destaca por su capacidad para evaluar diversas estrategias de pavimentación, simulando su desempeño a largo plazo. Esta funcionalidad es esencial para proyectar la durabilidad y la calidad del pavimento bajo diferentes escenarios, lo cual permite anticipar posibles problemas estructurales antes de que se presenten, optimizando así los recursos y reduciendo costos en el mantenimiento y reparación. La validación de los resultados del modelo mediante datos de campo y estudios previos también refuerza su precisión y confiabilidad, lo que lo convierte en una herramienta indispensable para ingenieros y diseñadores que buscan soluciones más eficaces y sostenibles.

En particular, el uso de HIPERPAV III en carreteras secundarias podría generar beneficios significativos debido a las características específicas de estas vías. En

muchos casos, las carreteras secundarias están sometidas a menores volúmenes de tráfico y condiciones variables de carga, lo que representa un desafío para garantizar la integridad del pavimento. La capacidad del modelo para adaptar sus análisis a estas particularidades permite diseñar estrategias más precisas, mejorando el rendimiento del pavimento y prolongando su vida útil. Este enfoque puede resultar especialmente útil en zonas rurales o con limitaciones de recursos, donde la optimización del diseño y mantenimiento de los pavimentos es crucial para garantizar su sostenibilidad y funcionalidad a largo plazo.

HIPERPAV III no solo es una herramienta que permite diseñar y evaluar pavimentos de concreto con un alto grado de precisión, sino que también ofrece un análisis integral que se adapta a las necesidades específicas de cada proyecto. Su aplicación en carreteras secundarias representa una oportunidad para optimizar el diseño de pavimentos en estas vías, asegurando resultados más eficientes y confiables. Con estas capacidades, el modelo se posiciona como una opción estratégica para mejorar la infraestructura vial y garantizar el cumplimiento de estándares de calidad en los proyectos de pavimentación.

Conclusión 3: Aunque el modelo de deterioro de HIPERPAV III es una herramienta valiosa para el análisis de pavimentos de concreto, su confiabilidad puede verse afectada por ciertos factores inherentes al proceso de análisis. En el caso del trabajo de investigación realizado sobre la carretera al Puerto de La

Libertad, se identificaron desafíos asociados a la variabilidad de los datos de entrada, como la dependencia de datos climáticos históricos y la simplificación de parámetros clave. Estas limitaciones pueden generar resultados que no reflejen con precisión las condiciones reales del sitio, comprometiendo la efectividad del diseño proyectado.

Asimismo, el modelo presenta restricciones en la simulación de condiciones reales del pavimento, lo que puede influir en la exactitud de los resultados, especialmente cuando se enfrentan escenarios complejos de tráfico y clima. Otro aspecto relevante es la falta de actualización periódica en los datos y posibles limitaciones en el software, lo que podría derivar en cierta obsolescencia que afecte la precisión de los análisis a largo plazo.

En el contexto de la investigación sobre la carretera al Puerto de La Libertad, estos aspectos subrayan la importancia de complementar los análisis realizados con estudios de campo y ajustes a las simulaciones, asegurando así que los resultados se adapten mejor a las condiciones específicas del proyecto y se optimice el desempeño del pavimento en el tiempo.

Conclusión 4: El modelo de deterioro de HIPERPAV III es una herramienta útil para el análisis de pavimentos de concreto. Su confiabilidad, sin embargo, está directamente ligada a la precisión y actualización de los datos de entrada utilizados en los análisis. Si bien el software proporciona simulaciones detalladas y comparativas de diferentes estrategias de pavimentación, es importante

reconocer las limitaciones asociadas a la simplificación de ciertos parámetros y a la variabilidad de las condiciones climáticas. Estos factores pueden influir en la precisión de los resultados, especialmente en contextos complejos como el diseño de carreteras en regiones con características climáticas cambiantes.

La validación de los resultados con datos de campo se presenta como un elemento fundamental para garantizar la confiabilidad del modelo. En este sentido, la disponibilidad de bases de datos climáticas y de diseño actualizadas es clave para fortalecer el análisis. Entidades como el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en El Salvador juegan un papel esencial al proporcionar datos validados y precisos. Una base de datos climática robusta y constantemente actualizada no solo mejora la exactitud de las simulaciones realizadas por el software, sino que también contribuye a la toma de decisiones informadas y efectivas en proyectos de infraestructura vial.

Por último, el uso adecuado de HIPERPAV III no solo requiere un análisis cuidadoso de los datos de entrada, sino también una evaluación continua de su desempeño en proyectos específicos. La integración de datos confiables y la validación con estudios de campo refuerzan su utilidad como herramienta estratégica para mejorar la calidad y durabilidad de los pavimentos de concreto en proyectos de infraestructura clave.

5.2 Recomendaciones

- Se propone desarrollar un trabajo de graduación que investigue los daños recurrentes en la losa de acceso al puente, específicamente analizando el fenómeno generado en la junta entre el pavimento flexible del puente y el pavimento rígido de las losas de acceso. Este trabajo de graduación no solo contribuiría al entendimiento de los problemas asociados con las juntas, sino que también proporcionaría soluciones prácticas que podrían ser replicadas en proyectos similares a nivel nacional.
- Se debe tener la certeza y cuidado que los datos ingresados sean de fuentes confiables y oficiales para que el análisis con HIPERPAV III pueda tener la solides necesaria.
- Actualización de datos: Es fundamental mantener los datos de entrada actualizados y precisos para garantizar la confiabilidad del modelo. Se recomienda revisar y actualizar periódicamente la base de datos utilizada por HIPERPAV III.
- Validación continua: Los resultados obtenidos del modelo deben ser validados con datos de camp/o de manera regular. Esto asegurará que las simulaciones se alineen con las condiciones reales y aumenten la precisión del modelo.
- Consideración de variabilidad climática: Dado que las condiciones climáticas pueden variar significativamente, es crucial considerar un

rango amplio de datos climáticos históricos y actuales. Esto ayudará a mejorar la precisión de las simulaciones y los análisis.

BIBLIOGRAFIA

- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. Capítulo 5, Elementos de la estructura de pavimentos
- Verificación de la confiabilidad de los modelos de deterioro para pavimentos rígidos en El Salvador
Universidad de El Salvador Año 2011
- RESOLUCIÓN 052-2024
- Modelación de pavimentos de concreto hidráulico para la obtención de la respuesta estructural del mismo.
Universidad de El Salvador Año 2018
- DARC No.27 Subrasante
- Apuntes de clases de Pavimentos 1 y 2 por Ing. Gilbert Sánchez
- Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos de geometría optimizada
Universidad de El Salvador Año 2016
- American Association of state highway and transport officials (AASHTO), 1993
- Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. Normativa para el Diseño de Pavimentos Rígidos. San Salvador: Ministerio de Obras Públicas, 2018.

- Instituto Nacional de Tecnología de Pavimentación. Manual de Diseño de Pavimentos Rígidos para Carreteras. San Salvador: Instituto Nacional de Tecnología de Pavimentación, 2016.
- American Concrete Pavement Association. Thickness Design of Concrete Pavements for Highways. 7th ed. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association, 2018.
- -Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte. Guía de Diseño Mecanicista Empírica para Pavimentos Rígidos. Washington, DC: Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte, 2020.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. USAID.
- Diseño de Pavimentos Rígidos (Universidad Nacional Autónoma de México)
- Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos (Experiencia en Bolivia)
- Chevallier, R. (1997). Roman Roads. University of California Press.

RECURSOS BIBLIOGRAFICOS DIGITALES.

- <https://www.thetranstecgroup.com/hiperpav/>
- Computer-Based Guidelines for Concrete Pavements: HIPERPAV III: User Manual (bts.gov)

- 1 Gutiérrez García, F. (2006). Capítulo 2: Evolución histórica de los pavimentos [Tesis de licenciatura, Universidad de las Américas Puebla]. Repositorio UDLAP.
https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/gutierrez_g_f/capitulo2.pdf
- 2 Gutiérrez García, F. (2006). Capítulo 4: Diseño de pavimento [Tesis de licenciatura, Universidad de las Américas Puebla]. Repositorio UDLAP.
https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/gutierrez_g_f/capitulo4.pdf
- 3 Gómez, P. (2021). Línea de tiempo de pavimentos. uDocz.
<https://www.udocz.com/apuntes/210527/linea-del-tiempo-pavimentos>
- 4 Gonzales Bardales, K. L. (s.f.). Ventajas y desventajas del pavimento adoquinado. uDocz. <https://www.udocz.com/apuntes/14213/ventajas-y-desventajas-del-pavimento-adoquinado>
- 5 Instituto Mexicano del Transporte. (2006). Reflexiones sobre el uso de pavimentos asfálticos y rígidos. Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- 6 Leiva Villacorta, F. (2006). Nueva guía de diseño mecanística-empírica para estructuras de pavimento (Vistazo a la Guía 2002, Proyecto NCHRP 1-37A). Universidad de Costa Rica, LANAMME.
https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/438/GUIA_DISENO_MECANISTICA_EMPIRICA.pdf

- 7 National Geographic. (s.f.). [Mapa de rutas romanas en la península itálica] [Fotografía]. Historia National Geographic.
<https://historia.nationalgeographic.com.es/>
- 8 Paredes Cárdenas, J. A. (2018). Modelos de deterioro del pavimento y su correlación con las evaluaciones funcionales de los años 2010–2016, en la carretera Inambari–Azángaro [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. 1Library. <https://1library.co/document/yng348jz>
- 9 SACDEL. (2004). La red vial en El Salvador: Análisis de competencias y recursos. Sistema de Asesoría y Capacitación para el Desarrollo Local. <https://sacdel.org.sv/phocadownload/documentos/Red%20Vial%20en%20El%20Salvador.pdf>
- 10 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1993). Normas para Construcción e Instalaciones: Carreteras y Aeropistas. SCT México.
- 11 Ventura Espinal, J. A., Alvarenga, E. R., & Hernández Flores, D. A. (2005). Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano, El Salvador. <https://www.mop.gob.sv/wp-content/uploads/2010/03/IRI.pdf>
- 12 Xu, Q., Ruiz, J. M., Chang, G. K., Dick, J. C., Garber, S. I., & Rasmussen, R. O. (2009). Computer-Based Guidelines for Concrete Pavements: HIPERPAV III: User Manual (FHWA-HRT-09-048). Federal Highway Administration. <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/859>

Anexos.

ANEXOS.

- CARTA 1 ENVIADA AL FOVIAL.
- CARTA 2 ENVIADA A FOVIAL.
- RESOLUCION 052-2024 OIR-MOP

CARTA 1 ENVIADA AL FOVIAL.



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

Ciudad Universitaria, 13 de junio de 2024

Ref.EIC-FIA/153-2024

Ingeniero
 Alexander Beltrán.
 Director Ejecutivo del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)
 Presente

Estimado Ingeniero Beltrán:

Reciba un cordial saludo en representación de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, deseándole muchas bendiciones y éxitos en el desempeño de sus funciones.

Considerando la notoriedad de la Institución que usted representa, hago referencia al estudio que se realizará como parte de la investigación requerida en el Trabajo de Graduación denominado: **EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL MODELO DE HIPERPAV III EN CARRETERA DE PAVIMENTO RÍGIDO EN EL SALVADOR**, el cual está siendo desarrollado por los Bachilleres: Cesia Merari Arias Aguilar, Carnet: AA10142, César Iván Hernández Aguilar, Carnet: HA13037 y Samael Gustavo Rosales Meléndez, Carnet RM09112, alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil.

Dentro de este contexto le informo que, como parte de las actividades a realizar para el desarrollo del trabajo, se pretende hacer un trabajo de campo, para el cual se ha enfocado el análisis en el Segmento I de la carretera CA04S, tramo III Construcción de By Pass de La Libertad entre km 31.86 y km 35, este trabajo consiste en el relevamiento de los daños superficiales del pavimento en un tramo de la mencionada vía, por lo que se le solicita atentamente se nos brinde su valioso apoyo de la manera siguiente.

1. Conceder Autorización para que los alumnos puedan realizar el levantamiento de los daños superficiales del pavimento.
2. Brindar servicio de Cuadrilla para que nos apoye en el manejo del tráfico, para no entorpecer el paso vehicular y tampoco poner en peligro la vida de conductores, peatones, ni la de nuestros alumnos, durante 3 días.

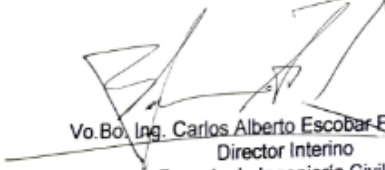
La fecha de realización del levantamiento de daños estará sujeta a las fechas que el FOVIAL decida y nos adaptaremos a las mismas, el periodo de duración del relevamiento de daños se ha estimado en 3 días, en jornada de 8 horas de trabajo, para cualquier ampliación o información adicional quedan a su disposición los siguientes correos electrónicos: mauricio.valencia@ues.edu.sv y carlos.escobar@ues.edu.sv.

Agradeciendo la atención a la presente y en espera de una respuesta favorable a nuestra petición, me suscribo de usted,

Atentamente,

"Hacia la Libertad por la Cultura"


 Ing. Mauricio Ernesto Valencia
 Docente Asesor del Trabajo de Graduación


 Vo.Bo. Ing. Carlos Alberto Escobar Flores
 Director Interino
 Escuela de Ingeniería Civil



CARTA 2 ENVIADA A FOVIAL.

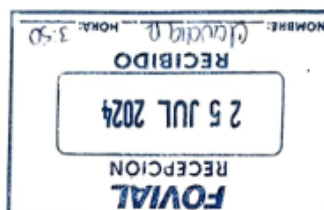


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Ciudad Universitaria, 16 de julio de 2024

Ref.EIC-FIA/153-2024

Ingeniero
 Luis Gerardo Moreno Gutiérrez
 Gerente Técnico de FOVIAL
 Presente



Estimado Ingeniero Moreno:

Reciba un cordial saludo en representación de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, deseándole muchas bendiciones y éxitos en el desempeño de sus funciones.

Considerando la notoriedad de la Institución que usted representa, hago referencia al estudio que se realizará como parte de la investigación requerida en el Trabajo de Graduación denominado: **EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL MODELO DE HIPERPAV III EN CARRETERA DE PAVIMENTO RÍGIDO EN EL SALVADOR**, el cual está siendo desarrollado por los Bachilleres: Cesia Merari Arias Aguilar, Carnet: AA10142, César Iván Hernández Aguilar, Carnet: HA13037 y Samael Gustavo Rosales Meléndez, Carnet RM09112, alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil.

Dentro de este contexto le informo que, como parte de las actividades a realizar para el desarrollo del trabajo, se pretende hacer un trabajo de campo, para el cual se ha enfocado el análisis en el Segmento I de la carretera CA04S, tramo III Construcción de By Pass de La Libertad entre km 31.86 y km 35, este trabajo consiste en el relevamiento de los daños superficiales del pavimento en un tramo de la mencionada vía, por lo que se le solicita atentamente se nos brinde su valioso apoyo de la manera siguiente.

1. Conceder Autorización para que los alumnos puedan realizar el levantamiento de los daños superficiales del pavimento.
2. Brindar servicio de Cuadrilla para que nos apoye en el manejo del tráfico, para no entorpecer el paso vehicular y tampoco poner en peligro la vida de conductores, peatones, ni la de nuestros alumnos, durante 3 días.


La fecha de realización del levantamiento de daños estará sujeta a las fechas que el FOVIAL decida y nos adaptaremos a las mismas, el periodo de duración del relevamiento de daños se ha estimado en 3 días, en jornada de 8 horas de trabajo, para cualquier ampliación o información adicional quedan a su disposición los siguientes correos electrónicos: mauricio.valencia@ues.edu.sv y carlos_escobar@ues.edu.sv.

Agradeciendo la atención a la presente y en espera de una respuesta favorable a nuestra petición, me suscribo de usted,

Atentamente,

"Hacia la Libertad por la Cultura"


 Ing. Mauricio Ernesto Valencia
 Docente Asesor del Trabajo de Graduación


 Vo.Bo. Ing. Carlos Alberto Escobar Flores
 Director Interino
 Escuela de Ingeniería Civil



C.c. Ing. Marlon Cárcamo

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de Julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Apartado Postal No. 740 - Teléfono: 2225-7564.

RESOLUCION 052-2024 OIR-MOP



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS
Y DE TRANSPORTE

Ministerio de Obras Públicas
WWW.MOP.GOB.SV

En la Unidad de Acceso de la Información Pública del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte, Distrito de San Salvador, Municipio de San Salvador Centro, Departamento de San Salvador, a las ocho horas con cincuenta minutos del día veintiuno de junio de dos mil veinticuatro.

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

- I. Que el día veintisiete de mayo de dos mil veinticuatro, se recibió la solicitud de acceso a la información número cincuenta y dos (052-2024), presentada por el ciudadano **Samael Gustavo Rosales Meléndez**, en la que manifestó y solicitó específicamente lo siguiente:
“Con respecto a la obra denominada ‘Diseño más Construcción del Proyecto: Ampliación de Carretera CA04S, Tramo III: Construcción de By Pass de La Libertad entre km 31.86 (Carretera CA04S) km 35 (Carretera CA02 W), departamento de La Libertad’.
Quisiera obtener la sig. Información: -IRI (Índice de Rugosidad).
- Diseño de concretos y diseño de losas.
- Datos de temperatura.
-TPDA del tramo de carretera.
Nota: Adjunto nombre y detalle de la obra, publicado por el Portal de Transparencia. Para mayor referencia”.
(El Tramo Ejecutado de interés es: Estacionamiento 2+100 a 2+480 ejecutado por FESSIC S.A. DE C.V)
- II. Con base en las atribuciones de las letras d), i) y j) del artículo 50 de la Ley de Acceso a la Información Pública -en adelante LAIP- le corresponde al Oficial de Información realizar los trámites necesarios para la localización y entrega de la información solicitada, resolver sobre las solicitudes de información que se reciben y notificar a los particulares.
- III. El acceso a la información en poder de las instituciones públicas es un derecho reconocido en el ordenamiento jurídico nacional, lo que supone el cumplimiento del “Principio de Máxima Publicidad”, plasmado en el art. 4 LAIP, por el cual, la información en poder de los entes obligados es pública y su difusión irrestricta, salvo las excepciones contenidas en la Ley.



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS
Y DE TRANSPORTE

Ministerio de Obras Públicas
WWW.MOP.GOB.SV

- IV. Con base en lo establecido en los arts. 65 y 72 LAIP, las decisiones de los entes obligados deben entregarse por escrito al solicitante, con mención breve pero suficiente de los fundamentos, el suscrito debe establecer los razonamientos de su decisión sobre el acceso a la información.
- V. Para el presente caso, el suscrito Oficial de Información, después de analizar la solicitud de acceso a la información pública y con base en lo establecido en el artículo 66 LAIP y artículos 50, 54 y 55 RELAIP, consideró pertinente admitir y dar el trámite correspondiente.
- VI. Las peticiones referentes a la información solicitada fueron trasladadas a la **Dirección de Planificación de la Obra Pública y a la Dirección de Inversión de la Obra Pública del Ministerio de Obras Públicas y de Transporte -en adelante MOPT-** para la localización y remisión de la información requerida.
- VII. El suscrito Oficial de Información hace saber que, mediante resolución de las ocho horas con veintisiete minutos del día siete de junio del corriente año, esta UAIP determinó ampliar el plazo de respuesta por diez días hábiles, de conformidad con los arts. 70 y 71 inc. 1 de la LAIP, ya que, a esa fecha, aún se continuaba en la búsqueda y localización de la información requerida, en tal sentido se notificó por medio de correo electrónico al solicitante el mismo día de emitida la resolución.
- VIII. En respuesta a la solicitud planteada por **Samael Gustavo Rosales Meléndez**, la **Dirección de Planificación de la Obra Pública** contestó a través de una nota el día diecinueve de junio de dos mil veinticuatro, y entre otros aspectos, lo siguientes:
“En relación a solicitud No. 052-2024 presentada en la oficina de información y respuesta (OIR) de este Ministerio, en la cual solicita del ‘DISEÑO MAS CONSTRUCCION DEL PROYECTO: AMPLIACION DE CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCION DE BY PASS DE LA LIBERTAD ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S) KM 35 (CARRETERA CA02 W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD’ el TPDA del tramo; estacionamiento 2+100 a 2+479 ejecutado por FESSIC S.A. de C.V.

Al respecto, el Departamento de Estudios de Transito de la Subdirección de Administración de Obras de Paso y de Inventarios Viales de esta Dirección proporciona el TPDA 2023 del tramo solicitado,

identificándose en inventario vial de este Ministerio como RN22W, Tramo: CA04S - CA02W, By Pass de La Libertad (segmento 1 y 2)".

Se adjunta la respuesta elaborada y remitida con los correspondientes datos y detalles solicitados, por la Dirección de Planificación de la Obra Pública. (Ver copia simple anexa (TPDA) a resolución).

IX. Mientras que la **Dirección de Inversión de la Obra Pública** indicó a través de un memorando con referencia MOPT-DIOP-0111-06-2024, entre otros puntos lo siguiente:

"En atención a la solicitud de OIR número 052-2024, en la cual solicita 'Información sobre el IRI, Diseño de concreto y losas, datos de temperatura y TPDA del segmento 1 ampliación de Carretera La Libertad Tramo III, By Pass de la Libertad', la Dirección de Inversión de la Obra Pública informa que de acuerdo con los registros que posee la información es la siguiente:

- IRI (Índice de Rugosidad: Según los registros no se realizó medición del IRI, no obstante, se hizo revisión con la regla de 3.0 m.
- El diseño de concretos y diseño de losas, datos de temperatura y TPDA del tramo de carretera solicitado, se encuentra anexo al documento".

Se adjunta la respuesta elaborada y remitida con la correspondiente información (ver copia simple de documentos anexos a la resolución), por la Dirección de Inversión de la Obra Pública.

X. La Unidad de Acceso a la Información Pública advierte y hace saber al ciudadano **Rosales Meléndez**, que, conforme a lo solicitado, a lo manifestado y remitido por las referidas Unidades Administrativas y en cumplimiento a los artículos 6, 18 y 86 inc.3 de la Cn. y artículos 71 inc.1 y 72 de la LAIP, esta entidad pública brinda respuesta y entrega la información que tiene en su poder. Así mismo, se informa que cada Unidad Administrativa respondió y remitió la información, según las funciones y competencias que cada una de las mismas posee en este Ministerio.

Por tanto,

Con base en las facultades legales previamente señaladas y a las razones antes expuestas, se **RESUELVE:**

- a) **Declárese** procedente la solicitud de acceso a la información presentada por **Samael Gustavo Rosales Meléndez**.



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS
Y DE TRANSPORTE

Ministerio de Obras Públicas
WWW.MOP.GOB.SV

- b) **Entréguese**, con base en los arts. 4 letra "a", 62, 71 y 72 de la LAIP, al petionario **Rosales Meléndez** las respuestas elaboradas y remitida con los datos y detalles requeridos, por la Dirección de Planificación de la Obra Pública y por la Dirección de Inversión de la Obra Pública.
- c) **Notifíquese** al interesado en el medio y forma señaladas para tales efectos.

Oscar Machado

Oficial de Información Ad honorem



**VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE LA OBRA PÚBLICA
SUBDIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE PASO Y DE INVENTARIOS VIALES**

INFORME DE SOLICITUD No. 052-2024

En relación a solicitud No. 052-2024 presentada en la oficina de información y respuesta (OIR) de este Ministerio, en la cual solicita del "DISEÑO MÁS CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN DE BY PASS DE LA LIBERTAD ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S) KM 35 (CARRETERA CA02 W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD" el TPDA del tramo: estacionamiento 2+100 a 2+479 ejecutado por FESSIC S.A. de C.V.

Al respecto, el Departamento de Estudios de Tránsito de la Subdirección de Administración de Obras de Paso y de Inventarios Viales de esta Dirección proporciona el TPDA 2023 del tramo solicitado, identificándose en inventario vial de este Ministerio como RN22W, Tramo: CA04S - CA02W, By Pass de La Libertad (segmento 1 y 2).

Lo que se informa para los fines consiguientes.

Enlace DPOP-OIR


 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y DE TRANSPORTE DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE LA
 OBRA PÚBLICA SUBDIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE PASO Y DE INVENTARIOS
 VIALES

 "ESTUDIO DE TRÁNSITO EN LA RED VIAL NACIONAL URBANA E INTERURBANA DEL MOPT – 2021"
 TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (AÑO 2023)

DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD		ESTACIÓN	LIVIANOS			P E S A D O S											TPDA 2023 con motos	TPDA 2023 sin motos
LISTADO DE LA RED VIAL PAVIMENTADA			PASAJ.		CARGA	PASAJEROS		C A R G A										
CÓDIGO	TRAMO		MOTO	AUTO	PICK-UP	M.BUS	BUS	C2	C3	C4	T2-S1	T2-S2	T2-S3	T3-S2	T3-S3	T3-S4		
RN22W	CA04S - CA02W, By Pass de La Libertad (segmento 1 y 2)	LIBIPC004	860	8,049	2,266	39	38	97	58	2	1	0	6	48	50	24	11,538	10,678

MEMORANDO

MOPT-DIOP-0111-06-2024

PARA: Lic. Oscar Alfredo Machado Artiga
Oficial de Información Institucional

DE: Ing. Carlos Mauricio Mártir Castro
Director de Inversión de la Obra Pública

ASUNTO: Respuesta de solicitud OIR 052-2024

FECHA: 20 de junio de 2024



En atención a la solicitud de OIR número 052-2024, en la cual solicita “*Información sobre el IRI, Diseño de concreto y losas, datos de temperatura y TPDA del segmento 1 ampliación de Carretera La Libertad Tramo III, By Pass de la Libertad*”, la Dirección de Inversión de la Obra Pública informa que de acuerdo con los registros que posee la información es la siguiente:

- IRI (Índice de Rugosidad: Según los registros no se realizó medición del IRI, no obstante, se hizo revisión con la regla de 3.0 m.
- El diseño de concretos y diseño de losas, datos de temperatura y TPDA del tramo de carretera solicitado, se encuentra anexo al documento.

Sin otro particular, me suscribo de usted.



2:28 pm Eul.



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

3.1.3. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES - CONCRETO HIDRÁULICO (CH).

MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO.

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'_c) o módulo de ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

El módulo de ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba está normalizada por las normas AASHTO T97. En el presente diseño se utilizará un módulo de ruptura igual a 650.0psi (4.5MPa).

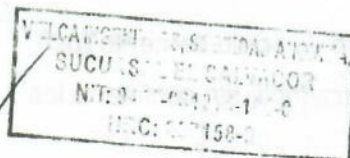
MODULO ELÁSTICO DEL CONCRETO HIDRÁULICO.

Para el presente diseño se utilizará la correlación recomendada por ACPA (American Concrete Pavement Association), que estima E_s en función del módulo de ruptura, de acuerdo a lo siguiente:

Módulo elástico del concreto hidráulico [Tomado de ACPA].

$$E_s = 6,750(s'_c)$$

Donde:



MOP-BLLTIIIS2-IP-R2



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

s'_c : Módulo de ruptura del concreto hidráulico (psi).

El valor del módulo de ruptura considerado en el diseño es de 650.0psi (4.5MPa), y retomando las recomendaciones anteriores, se obtiene un valor de $E_s=4,400,000$ psi. (30,000Mpa).

Tabla 41. Características estructurales, concreto hidráulico

MATERIAL	MÓDULO DE RUPTURA	MODULO ELÁSTICO
CH	650.0psi	4,400,000.0psi

3.1.4. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES – SUB-BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO (SC).

- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE SUELO CEMENTO

La utilización del material pétreo proveniente de bancos de préstamo mezclado con cemento será considerada como la capa de sub-base sobre la cual se asentará la losa de concreto hidráulico. La proporción para la producción de este material deberá ser diseñada en laboratorio, la cual deberá poseer una un valor de resistencia a la compresión sin confinar a los 7 días de curado de **2.8MPa (400.0 psi)**. Se utilizará la variable de compresión simple a los 7 días como el parámetro de especificación para el control de calidad durante la fase de construcción.

- MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (E_{sc}).

Para el presente diseño se utilizará la correlación recomendada por AASHTO, que estima E_{sb} en función de la resistencia a la compresión simple a los 7 días, de acuerdo a lo siguiente:

Modulo elástico del suelo-cemento (Fuente: Guía de diseño AASHTO '98)

$$E_{sb} = (500 + CS) \cdot 1,000$$

Dónde:

- E_{sb} : Modulo elástico de sub-base de suelo-cemento (psi)
- CS: Resistencia a la compresión simple sin confinar a los 7 días de curado (psi)



SUCURSAL EL SALVADOR
 NIT: 247-081216-101-0
 TEL: 237150-9



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

El valor de resistencia a la compresión simple considerado en el diseño es de 2.8MPa (400.0 psi), y retomando las recomendaciones anteriores, se obtiene un valor de **Es=900,000 psi. (6,200Mpa).**

Tabla 42. Características estructurales, sub-base de suelo-cemento

MATERIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	MODULO ELASTICO DE SUELO-CEMENTO
SC	650.0psi	900,000.0psi

3.2. PROPUESTAS DE DISEÑO

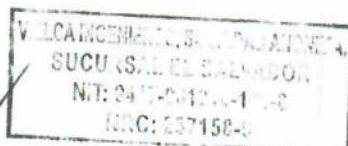
El diseño de la estructura de pavimento, tiene como objetivos básicos los siguientes:

- Proveer una estructura de pavimento que satisfaga los criterios de diseño, cumpliendo con los estándares de calidad que garanticen una serviciabilidad satisfactoria durante su vida de servicio.
- Permitir la utilización al máximo de los suelos existentes a lo largo del trazado.
- Procesos de ejecución de la obra en campo que estén acorde a las prácticas constructivas del país.

Se propone, de conformidad con los términos de referencia, dos configuraciones estructurales:

- Sección 1 - Pavimento rígido: Concreto hidráulico
(Rampas de aproximación al puente) Sub-base de suelo-cemento (SB-SC)
- Sección 2 – Pavimento flexible: Mezcla asfáltica en caliente (MAC PG64-H)
(Capa de desgaste del puente)

Cada una de estas opciones o configuraciones estructurales se dimensionaron para solicitaciones proyectadas a 20 años.





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

3.3. PROCESO DE CÁLCULO

3.3.1. PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Para el método de AASHTO, la fórmula de diseño para pavimentos rígidos es:

Ecuación AASHTO '93, pavimentos rígidos [Tomada de Guía de diseño AASHTO '93].

$$\log_{10} W_{R2} = Z \cdot S_o + 7.35 \log_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta \text{ PSI}}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{-9}}{(D + 25.4)^{4.6}}} + (4.22 - 0.32P) \times \log_{10} \left(\frac{M, C_{ok} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

3.4. MEMORIA DE CALCULO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

En las páginas siguientes se presenta la memoria de cálculo para los espesores y diferentes alternativas constructivas de los pavimentos para el proyecto. La base de cálculo ha sido la guía de diseño AASHTO '93 y se ha estudiado diferentes alternativas equivalentes de repavimentación para los diferentes segmentos del proyecto.

MOP-BLLTIIS2-IP-R2



V. LA INGENIERO, SOCIEDAD ANÓNIMA
SUCURSAL EL SALVADOR
NIT: 047-041244-1710
R.C.: 007150-0



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

WinPAS

Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Rigid Pavement Design

Agency: MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DE EL SALVADOR

Company:

Contrador: FESSIC S.A. DE C.V

Project Description: AMPLIACION DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III, CONSTRUCCION DE BYPASS DE LA LIBERTAD

Location: ENTRE KM. 31.86 (CA04S) A KM. 35.00 (CA02W), LA LIBERTAD, ESTACIONES 2+100 A 2+480

Rigid Pavement Design/Evaluation

PCC Thickness	6.90 inches	Load Transfer, J	2.70
Design E SALS	12,140,887.00	Mod. Subgrade Reaction, k	1,663 psi/in
Reliability	87.50 percent	Drainage Coefficient, Cd	1.00
Overall Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Modulus of Rupture	650 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,400,000 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade	17,360 psi
Resilient Modulus of the Subbase	900,000 psi
Subbase Thickness	7.87 inches
Depth to Rigid Foundation	feet
Loss of Support Value (0,1,2,3)	

Modulus of Subgrade Reaction	1,663.40 psi/in
------------------------------	-----------------

Figura 5. Reporte de resultados WIMPAS, Sección 1 – Pavimento rígido

Tabla 43. Memoria de cálculo, Sección 1.

VIELCA INGENIEROS, SOCIEDAD ANONIMA,
SUCURSAL EL SALVADOR
NIT: 9447-081214-101-0
NRC: 237158-9





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

**DISEÑO ESTRUCTURAL POR METODOLOGIA AASHTO '93 DE PAVIMENTOS RIGIDOS
PROPUESTA ESTRUCTURAL - PAVIMENTO RIGIDO**

1. VARIABLES DE DISEÑO

PERIODO DE DISEÑO (n):	20 AÑOS	REGULARIDAD INICIAL (IRI _i):	-
CONFIABILIDAD (R):	87.5%	REGULARIDAD FINAL (IRI _f):	-
DESVIACION ESTANDAR (Z _i):	-1.150	SERVICIABILIDAD INICIAL (P _o):	4.5
ERROR ESTANDAR COMBINADO (S _e):	0.35	SERVICIABILIDAD FINAL (P _f):	2.5
CONFIABILIDAD DE DISEÑO (FC):	2.53	VELOCIDAD DE OPERACIÓN (V):	50.0 kph

2. EJES EQUIVALENTES

VEHICULO	TRANSITO	LD	LC	LEF	ESAL
LIVIANO PASAJERO	64,802,100	50.0%	80.0%	0.0006	15,553
LIVIANO CARGA	27,436,685	50.0%	80.0%	0.0074	81,213
MICROBUS	1,988,885	50.0%	80.0%	0.1278	101,672
AUTOBUS	2,238,180	50.0%	80.0%	1.6312	1,460,368
CAMION C2	2,571,790	50.0%	80.0%	2.5002	2,571,996
CAMION C3	1,272,025	50.0%	80.0%	2.6903	1,368,852
CAMION C4	18,250	50.0%	80.0%	1.8864	13,771
CAMION T352	3,523,710	50.0%	80.0%	4.6311	6,527,462
ESAL's DISEÑO (PAVIMENTO FLEXIBLE):					12,140,887

3. VARIABLES ESTRUCTURALES

TRANSFERENCIA DE CARGA (J):	2.7	MODULO RESILIENTE DE SUB-RASANTE:	17,380.0 psi
COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd):	1.0	MODULO "K" SUB-RASANTE:	292.0 psi/in
PERDIDA DE SOPORTE:	0.0	PROFUNDIDAD DE LECHO ROCOSO (ft):	-
MODULO DE RUPTURA (MR):	650.0 psi	MODULO "K" COMBINADO:	1,663.0 psi/in
MODULO DE ELASTICIDAD (E _c):	4,400,000.0 psi	MODULO "K" COMBINADO CORREGIDO:	1,663.0 psi/in

4. DETERMINACION DE ESPESORES

No. CAPA	TIPO DE CAPA	MODULO (psi)	ESPOSOR (in)	ESPOSOR (cm)	ESAL's
1	CARPETA	4,400,000.0	6.88	18.0	12,140,887
2	SUB-BASE	900,000.0	7.87	20.0	-
3	SUB-RASANTE	17,380.0	-	-	-
4	-	-	-	-	-

5. DIMENSIONAMIENTO DE TABLERO Y JUNTAS

MODULACION DEL TABLERO DE LOSAS

LONGITUD DE LOSA	360.0 cm.	PROFUNDIDAD DE SELLO	2.0 cm.
PROFUNDIDAD DE JUNTAS	6.0 cm.	ANCHO DE CORTE	0.6 cm.

MODULACION DE BARRAS DE AMARRE LONGITUDINAL Y DOVELAS TRANSVERSALES

DIAMETRO (BARRA DE AMARRE)	No.4 (1/2")	DIAMETRO (DOVELA TRANSVERSAL)	No.10 (1 1/4")
LONGITUD (BARRA DE AMARRE)	65.0 cm.	LONGITUD (DOVELA TRANSVERSAL)	44.0 cm.
SEPARACION (BARRA DE AMARRE)	90.0 cm.	SEPARACION (DOVELA TRANSVERSAL)	30.0 cm.
PROFUNDIDAD (BARRA DE AMARRE)	9.0 cm.	PROFUNDIDAD (DOVELA TRANSVERSAL)	9.0 cm.

VIELCA INGENIEROS, SOCIEDAD ANONIMA,
SUCURSAL EL SALVADOR
NIT: 9447-081214-101-0
NRC: 237158-9



MOP-BLLTIIIS2-IP-R2



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

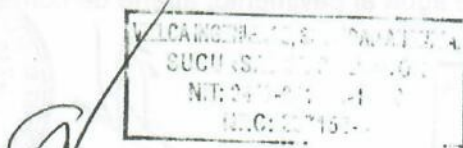
3.5. DETERMINACIÓN DE ESPESORES

Mediante la ecuación básica del AASHTO, se procede al dimensionamiento de las estructuras propuestas para los diferentes tramos homogéneos. Sin embargo, para el caso de la capa de desgaste sobre el puente, se utilizará el espesor mínimo recomendado por la guía de diseño AASHTO '93, el cual es de 5.0cm. Los resultados de la estructuración se presentan en forma resumida en la siguiente tabla:

Tabla 44. Propuestas de diseño.

CAPA	MATERIAL	ESPESOR
SECCION 1 (RAMPAS DE APROXIMACION) - PAVIMENTO RIGIDO.		
RODADURA	CONCRETO HIDRAULICO (MR: 4.5MPa)	18.0cm
BASE	SUELO - CEMENTO (CS: 2.8MPa)	20.0cm
SECCION 2 (CAPA DE DESGASTE) - PAVIMENTO FLEXIBLE.		
RODADURA	M.A.C. CON ASFALTO PG64-10(H)	5.0cm
BASE	-	-
SUB-BASE	-	-

MOP-BLL TIIIS2-IP-R2



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO
MODULO DE RUPTURA: 4.5MPa

SUB-BASE DE SUELO-CEMENTO
RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE: 2.8MPa

MATERIAL DE RESTITUCION
CBR: 30.0%

SUB-RASANTE NATURAL
CBR: 5.4%

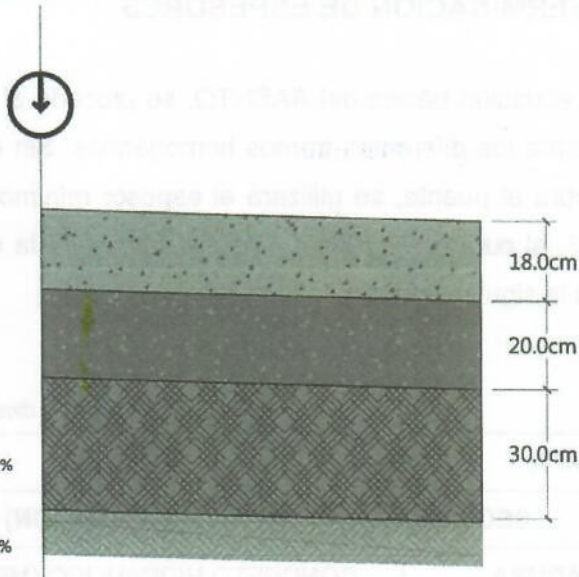


Figura 6. Sección propuesta para la sección 1 (rampas de aproximación) – Pavimento rígido

3.6. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS AL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

3.6.1. TRANSFERENCIA DE CARGA EN JUNTAS LONGITUDINALES Y BARRAS DE AMARRE.

La transferencia de carga a través de las juntas longitudinales entre los carriles de circulación y entre los hombros de concreto hidráulico ligado a los carriles principales, afecta los esfuerzos de tensión y las deflexiones de las losas de concreto. En consecuencia, una eficiente transferencia de carga a través de las juntas longitudinales minimiza la formación de grietas transversales y el escalonamiento en las juntas.

Además de optimizar la eficiencia de transferencia de carga en las juntas longitudinales, el sistema de barras de amarre también previene la separación entre carriles. La separación entre carriles puede llevar a una mayor infiltración de agua al pavimento, aparte de convertirse en un problema de seguridad vial.

INGENIERO CIVIL
SUCURSAL EL SALVADOR
NIT: 9477-01134-1-1-0
NIC: 237158-9





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

Un adecuado sistema de barras de amarre es crítico para asegurar la efectividad de la construcción de las juntas longitudinales. Las barras de amarre a utilizar serán de **acero corrugado No.4 (12.5 mm), grado 40, de 65.0cm. de longitud y una separación de 90.0cm.** Estas barras no se deben insertar a menos de **30.0cm.** de las juntas transversales para evitar que interfieran con el movimiento de las losas.

3.6.2. TRANSFERENCIA DE CARGAS EN JUNTAS TRANSVERSALES Y DOVELAS.

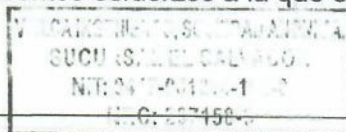
La transferencia de carga a través de las juntas transversales es el factor más crítico para controlar el escalonamiento en los pavimentos de concreto hidráulico y por consecuencia la rugosidad. Una eficiente transferencia de carga a través de las juntas transversales también minimiza la formación de grietas en el espesor de la losa de concreto. La utilización de dispositivos de transferencia de carga (dovelas) reduce significativamente el potencial de escalonamiento en las juntas, donde el diámetro de la dovela es un factor importante. Las bases estabilizadas también contribuyen a incrementar la transferencia de carga. En base a lo anterior se procede a realizar el análisis para determinar los diámetros de dovelas a utilizar. De acuerdo a ACPA, el diámetro, longitud y posición de la dovela deberá de ser:

Tabla 45. Características de dovelas.

CARACTERISTICA	ECUACION	VALOR
DIAMETRO	$\phi = \frac{D}{8}$	1.25" (No. 10)
LONGITUD	$L = 12\phi + 5$	44.0cm.
PROFUNDIDAD	$H = \frac{D}{2}$	9.0cm
SEPARACION	---	30.0cm.

A continuación, se procede a realizar una comprobación mecánica de la dovela para verificar su resistencia a los diferentes esfuerzos a la que estará sometida.

Handwritten signature



Handwritten signature





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

DowelCAD 2.0

Dowel Comparison Analysis and Design

Dowel Sizing | Dowel Spacing | About DowelCAD

[Jump to Guidelines](#)

Dowel Spacing: 12 inches Joint Opening: 0.25 inches
 Concrete Elastic Modulus: 4400000 psi Wheel Load: 9000 lbs
 Slab Thickness: 8.66 inches Tire Pressure: 100 psi
 Slab Support Reaction Modulus: 700 psi/inch

= Acceptable Option = Acceptable for Wide Lanes, Tied Shoulders, Good Support, and/or Low Traffic = Unacceptable Option

	1	1.25	1.5	1.75	2	1.41	1.66	1.98
Dowel Diameter(s) (inches):	1	1.25	1.5	1.75	2	0.88	1.13	1.34
Load Transfer (%) -								
Deflection LTE:	64.9	71.3	75.6	78.5	80.4	69.1	69.7	73.6
Stress LTE:	25.6	30.1	33.6	36.3	38.3	28.5	29.0	32.0
Effectiveness:	45.2	46.1	46.7	47.2	47.4	45.8	45.9	46.5
Bearing Stress (psi) -								
Edge Loading:	1826	1321	990	759	591	1548	943	708
Corner Loading:	2921	2074	1534	1166	904	2446	1487	1104

Figura 7. Revisión mecánica de eficiencia de dovelas.

Atendiendo las recomendaciones de ACPA (American Concrete Pavement Association), para el diseño de dovelas, se proponen como dispositivos de transferencia de carga **barras de acero liso No.10 (32.0mm), grado 60, de 44.0cm. de longitud, y una separación de 30.0cm.** Las dovelas no deben insertarse a menos de **15 cm.** del borde de las losas.

MOP-BLLTIIIS2-I-P-R2

PROYECTO: BARRAS DE ACERO LISO
 SUCURSAL: EL SALVADOR
 NIT: 040740104-101-0
 RUC: 207158-0





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

3.6.3. MODULACIÓN DE LOSAS

El espaciamiento entre juntas de contracción en pavimentos de concreto hidráulico simple afecta la formación de grietas transversales y los costos de construcción. En menor grado, tiene incidencia en el escalonamiento de las losas.

A mayor separación entre juntas, se incrementa el potencial de formación de grietas transversales. La separación entre juntas debe seleccionarse dentro del contexto de los criterios de diseño considerados como espesor y dimensiones de losas, propiedades de los materiales de la mezcla de concreto, y tipo de base. El objetivo es poder seleccionar el máximo espaciamiento entre juntas que provee un nivel aceptable de grietas trasversales y confort a los usuarios en el período de diseño de la carretera a un nivel deseado de fiabilidad. La guía de diseño AASHTO 93 recomienda como regla general que el espaciamiento entre juntas en pies no supere dos veces el espesor de la losa en pulgadas. A continuación, se detalla los parámetros referentes a la modulación de las losas.

Tabla 46. Características de losas.

CARACTERÍSTICA	ECUACION	VALOR
LONGITUD	$L = 24 \cdot D$	4.30m.
PROFUNDIDAD DE JUNTA	$d = \frac{1}{3} \cdot D$	6.0cm.
PROFUNDIDAD DE SELLO	$d_s = \frac{1}{5} \cdot d$	1.2cm.
ANCHO DE CORTE	$a_s = \frac{1}{10} \cdot d$	0.6cm.

Sin embargo, se considera que la forma ideal de un tablero de losas es la cuadrada, pero no siempre es posible tener losas con este patrón, por lo que en el mayor de los casos se considera un cierto grado de rectangularidad. En el presente diseño se considerarán losas cuadradas iguales al ancho de carril.





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

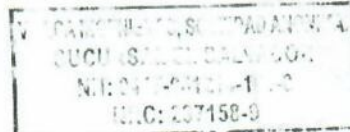
REALIZÓ:

Tabla 47. Aspectos complementarios al diseño de pavimentos rígidos.

CARACTERISTICAS

• Diámetro de barras de amarre longitudinal	No.4 (½")
• Longitud de barras de amarre longitudinal	65.0cm
• Diámetro de barras de transferencia de carga transversal	No.10 (1¼")
• Longitud de barras de transferencia de carga transversal	44.0cm
• Longitud de losa	3.6m.
• Ancho de losa	3.6m.

MOP-BLLTIIIS2-I-P-R2





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

2.2.2. PARÁMETROS AMBIENTALES

De acuerdo al suplemento de la guía de diseño AASHTO publicado en 1,998, es necesario para el dimensionamiento del espesor de losa y del tablero el uso de ciertos parámetros ambientales tales como:

- Temperatura anual promedio
- Precipitación anual promedio
- Velocidad del viento anual promedio

Para su determinación, ha sido utilizada la base de datos climatológicos del SNET, en específico la referida a la estación meteorológica permanente de "San Diego", ubicada en la hacienda Melara, cantón San Diego, municipio y departamento de La Libertad, a continuación, se presenta un resumen del perfil meteorológico de la estación San Diego, el cual se presenta completo en la sección de anexos del presente estudio.

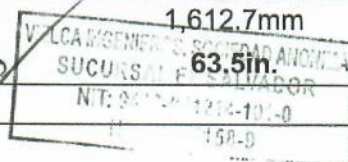
Tabla 18. Perfil climatológico de estación meteorológica "San Diego". Fuente: Perfil climático de la estación meteorológica San Diego (Anexo "B")

PARAMETROS/MES	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
TEMP. PROMEDIO (°C)	25.7	26.1	27.2	28.2	27.9	27.1	27.0	26.8	26.3	26.3	26.3	25.8
TEMP. MINIMA PROMEDIO (°C)	19.4	19.9	21.3	23.1	23.5	22.7	22.2	22.0	22.2	21.9	20.8	19.8
TEMP. MAXIMA PROMEDIO (°C)	33.5	34.0	34.0	34.5	33.2	32.5	33.2	33.1	32.0	32.5	33.1	33.7
TEMP. MINIMA ABSOLUTA (°C)	39.7	41.0	40.1	44.5	40.5	38.7	39.0	39.0	37.0	37.0	38.8	39.6
TEMP. MAXIMA ABSOLUTA (°C)	13.6	14.0	15.6	16.0	20.2	19.9	18.8	18.3	18.6	17.6	14.9	11.0
VELOCIDAD VIENTO PROMEDIO	1.7	1.7	1.6	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.8	1.9
HUMEDAD RELATIVA (%)	71.0	68.0	71.0	72.0	80.0	83.0	81.0	82.0	85.0	84.0	78.0	72.0
PRECIPITACION (mm)	2.5	0.5	14.5	42.6	167.2	292.7	229.9	293.4	326.9	190.6	46.9	5.0
EVAPOTRANSPIRACION (mm)	139	143	173	177	170	153	164	158	141	139	132	

De la tabla anterior se obtienen los siguientes parámetros

Tabla 19. Parámetros ambientales del proyecto

TEMP. ANUAL PROM.	PRECIP. ANUAL PROM.	VEL. VIENTO PROMEDIO
26.7°C	1,612.7mm	8.0kph
80.0°F	63.5in.	5.0mph





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

2.1. TRÁNSITO

2.1.1. PERIODO DE DISEÑO.

En el procedimiento de diseño presentado en la Guía AASHTO 93, el período de diseño equivale al tiempo transcurrido durante el cual una estructura nueva, reconstruida o rehabilitada se deteriora desde su serviciabilidad inicial hasta su serviciabilidad final. Para este proyecto de conformidad con los términos de referencia, se ha considerado un período de diseño de 20 años, considerando como año de puesta en servicio de la estructura de pavimento diseñada, el año 2,020.

Tabla 1. Años horizonte.

AÑO	DESCRIPCION
2,018	Año de diseño
2,019	Año de construcción
2,020	Puesta en servicio
2,039	Año horizonte de análisis de proyecciones

2.1.2. TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL AL AÑO BASE.

Se define como "tráfico normal", o TPDA al año base (2,018), a aquel tráfico que no depende de la ejecución del proyecto; es decir que se registraría de todas maneras, de no realizarse el proyecto. Se define como año base, el año en que se realizan los conteos. De acuerdo al estudio de tránsito realizado, el proyecto considera un solo tramo homogéneo de flujo vehicular, delimitado entre las estaciones 2+100 a 2+480, las cuales definen este proyecto.

VIELCA INGENIEROS, SOCIEDAD ANONIMA,
SUCURSAL EL SALVADOR
NIT: 9447-981214-101-0
NRC: 237158-9





DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

Tabla 2. Transito promedio diario al año base 2,018 [Tomado de Estudio de trafico].

LIVIANO	PICK UP	MICROBUS	BUS	CAMION C2	CAMION C3	CAMION C4	CAMION ART.
5,677	2,404	236	265	271	134	2	371

2.1.3. PROYECCIONES DE TRÁNSITO.

De conformidad con los resultados de los análisis de los históricos de tránsito, las tendencias de crecimiento del producto interno bruto y del crecimiento poblacional de la zona de influencia, se determinaron los factores de crecimiento correspondientes las proyecciones de transito total siguientes:

Tabla 3. Proyecciones de TPDA [Tomado de Anexo 2 de Estudio de tráfico].

AÑO	LIVIANO	PICK UP	MICROBUS	BUS	CAMION C2	CAMION C3	CAMION C4	CAMION ART.
2,018	5,677	2,404	236	265	271	134	2	371
2,019	5,891	2,494	239	268	277	137	2	380
2,020	6,112	2,588	242	272	283	140	2	388
2,021	6,342	2,685	245	275	289	143	2	397
2,022	6,580	2,786	248	279	296	146	2	406
2,023	6,828	2,891	251	282	302	150	2	415
2,024	7,085	2,999	254	286	309	153	2	424
2,025	7,351	3,112	257	289	316	157	2	434
2,026	7,627	3,229	260	293	323	160	2	443
2,027	7,914	3,351	264	296	331	164	2	453
2,028	8,212	3,477	267	300	338	167	2	464
2,029	8,520	3,607	270	304	346	171	2	474
2,030	8,841	3,743	274	308	353	175	3	485
2,031	9,173	3,884	277	312	361	179	3	496
2,032	9,518	4,030	280	315	369	183	3	507
2,033	9,876	4,181	284	319	378	187	3	518
2,034	10,247	4,339	288	323	386	191	3	530
2,035	10,633	4,502	291	327	395	196	3	543

VIELCA INGENIEROS, SOCIEDAD ANONIMA,
SUCURSAL EL SALVADOR
NIT: 9447-081214-131-0
NRC: 237158-0



MOP-BLL TIIIS2-JP-R2



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: "AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO III: CONSTRUCCIÓN BY PASS DE LA LIBERTAD, ENTRE KM 31.86 (CARRETERA CA04S)-KM 35 (CARRETERA CA02W), DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD. ESTACIONES 2+100 A 2+480"

REF:

PÁGINA:

REALIZÓ:

AÑO	LIVIANO	PICK UP	MICROBUS	BUS	CAMION C2	CAMION C3	CAMION C4	CAMION ART.
2,036	11,032	4,671	295	332	404	200	3	554
2,037	11,447	4,847	298	336	413	205	3	566
2,038	11,878	5,029	302	340	422	209	3	579
2,039	12,324	5,218	302	344	432	209	3	579

• **Tasas de crecimiento**

Estas proyecciones surgen a partir de las valoraciones elaboradas en el informe de transito del proyecto en el cual han sido establecidas las diferentes tasas de crecimiento volumétricas para la flota vehicular, en las cuales han sido consideradas variables como:

- ❖ Crecimiento del PIB a nivel nacional
- ❖ Crecimiento del PIB en el sector transporte a nivel nacional
- ❖ Crecimiento del PIB en los sectores comercio, restaurantes y hoteles a nivel local
- ❖ Crecimiento demográfico local.

Los factores anteriormente mencionados son los más representativos para identificar las proyecciones vehiculares durante el periodo de servicio de la estructura de pavimentos, ya que está acorde a las tendencias que se han vivido en la región, como por ejemplo el crecimiento de trafico histórico y el PIB de carga, el cual representa la carga movilizada y su promedio de crecimiento, para lo cual la vía actual, CA02, es una ruta fiscal y de alto uso para este tipo de transporte.

Tabla 4. Años horizonte

CLASIFICACION VEHICULAR	FACTOR DE CRECIMIENTO	TASA DE CRECIMIENTO
LIVIANO Y PICK-UP	TPDA HISTORICO (CA04S)	3.76%
MICROBUS Y AUTOBUS	CENSO DEMOGRAFICO	1.25%
TRANSPORTE DE CARGA	PIB SECTOR TRANSPORTE	2.25%

MOP-BLLTIIIS2-IP-R2

VIELCA INGENIEROS, SOCIEDAD ANONIMA,
SUCURSAL EL SALVADOR
NIT: 9447-981214-101-0
NRC: 237158-9

