



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**Trabajo final de graduación para optar al grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil**

Autor del estudio realizado: Jeffry Alvarado Cruz

**“Rehabilitación de la estructura de drenaje y construcción de una
carpeta asfáltica en caliente en un total de 2.5 km en el camino con
código 2-03-070 de Fanal a Iglesia Católica Rincón de Salas Centro,
Puente de Piedra, Grecia”**

Tutor: Ángelo Murcia Quesada

Sede Central

Marzo 2022

Agradecimientos a

Dios todo poderoso por cada uno de los momentos felices, tristes, de angustia y desesperación dentro de mi caminar hasta el día de hoy, ya que nunca me ha dejado solo a lo largo de mi vida. Gracias a su gran amor y misericordia, me ha permitido crecer como persona, profesional, esposo, papá, hermano e hijo y ser lo que soy. Gracias por la fortaleza que me has brindado para ser un hombre de bien.

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Central por darme la oportunidad de formarme como profesional, especialmente a todos los docentes que, con su esfuerzo y profesionalismo, me supieron proporcionar las herramientas necesarias para mi formación. A los diferentes profesionales que, mediante su valiosa colaboración, enriquecieron este trabajo, brindándonos su apoyo para elaborarlo:

Arquitecta Sharon Araya

Ingeniero José Madrigal

Lic. Zoilamerica Ortega

Ingeniero Alan Quesada

Ingeniero Esteban Angulo

En general, a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta a la realización del presente trabajo de graduación.

Dedicatoria a

Dios padre y señor, quien me cobija con su protección y su guía, quien me permite realizar el siguiente trabajo, por ayudarme a superar mis propios límites, proporcionarme fuerzas, darme mucha sabiduría para cambiar mi destino y guiarme a través de la senda del triunfo.

A mis padres, Rodolfo Alvarado Sánchez y Ruth Cruz Vargas, y mi esposa, Kathy Jiménez Chávez, por ser pilares fundamentales apoyándome y acompañándome en este proceso. A mi hija Lucianna Alvarado Jiménez, quien es el motor de impulso día a día para no desmayar y querer ser mejor, a mi hermano, Brayan Alvarado Cruz, por ser ejemplo de superación y tenacidad para lograr metas y sueños, y a todas a aquellas personas con las que interactuamos en los últimos años ligadas a esta linda profesión.

Contenido

Agradecimientos.....	2
Dedicatoria.....	3
Introducción.....	6
1.1 Planteamiento del problema	6
1.1.1 Pregunta de investigación	7
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos	7
1.3 Justificación	8
1.4 Antecedentes	9
1.4.1 Antecedentes nacionales:	11
1.4.2 Antecedentes Internacionales:	17
1.5 Proyecciones	23
1.5.1 Alcances	23
1.5.2 Limitaciones	25
Capítulo 2	26
2.1 Marco teórico	26
Capítulo 3	49
3.1 Marco metodológico	49
3.1.1 Metodología	49
Parámetros de diseño-metodología empírica Aashto	71
Período de análisis	71
Confiabilidad del diseño (% R)	71
Grado de variabilidad del diseño (So)	71
Índice de “serviciabilidad” inicial (Psi) y final (Pst)	71
Módulo resiliente efectivo de la subrasante (MREFEC)	71
Ejes equivalentes de diseño (Ndiseño)	72
Propiedades de los materiales	72
Dimensionamiento de espesores método empírico AASHTO 93	74
Conclusiones sobre el dimensionamiento de espesores obtenido	76

Pavimento semirrígido	76
Capítulo 4	79
Capítulo 5	83

Capítulo I

Introducción

1.1 Planteamiento del problema

A raíz del requisito de plantear propuestas eficientes para las distintas necesidades de las vías cantonales, y al tratarse de un trayecto que ya ha sobrepasado su vida útil, es fundamental contextualizar el espacio geográfico en que se delimita la investigación con el fin de conocer las características que permiten concretar el problema. La vía en estudio es una ruta alterna al cantón de Grecia que, en sus últimos años, ha aumentado en demasía sus desarrollos urbanísticos, lo que ha convertido al cantón en un lugar muy cotizado por personas que adquieren propiedades para vivir y desplazarse al Gran Área Metropolitana (GAM) a sus trabajos.

Actualmente, la vía está colapsada tanto por el constante tráfico liviano proveniente del Valle de Central como por el tráfico de vehículos pesados provenientes de las actividades económicas e industriales que se realizan en el sector. Sin embargo, el estado de la carpeta es de regular a malo, lo cual afecta la seguridad de los usuarios. A su vez, esto conlleva a un gasto económico elevado en mantenimiento, mientras que no se está brindando un buen servicio al usuario final, ya que dicha vía no cumple con las condiciones necesarias de seguridad vial y confort.

La dinámica comercial e industrial de la zona genera una serie de características que, junto con múltiples factores físicos, se deben abordar de manera eficiente a la hora de construir o intervenir obras viales de vital importancia para la economía local y nacional. Dichos aspectos responden al crecimiento demográfico y las bases de la productividad económica de la zona central del país. La experiencia ha enseñado que, para lograr alcanzar un final exitoso, debe existir un buen comienzo (Chaverri 2020). Se trata de una filosofía aplicable a los proyectos relacionados con infraestructura vial, es decir, la iniciativa para la creación de este tipo de obras debe nacer por una necesidad poblacional.

Por ello, resulta fundamental destacar los aspectos ambientales y sociales, especialmente por tratarse de un proyecto que, dentro de sus políticas de prioridad, incluye la salvaguarda de los aspectos ambientales. Se plantea generar el componente socio-ambiental, de manera que el equipo de trabajo establezca las medidas pertinentes necesarias para evitar conflictos tanto con los vecinos como con las organizaciones comunales, los empresarios, los estudiantes o algún otro actor identificado.

1.1.1 Pregunta de investigación

¿Cómo desarrollar una propuesta constructiva para determinar las condiciones actuales del camino 2-03-070 (Calle Puente de Piedra) y, a partir del estudio, diseñar la estructura de pavimento más adecuada, según la fluencia del tránsito proyectada para un período mínimo de quince años?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Elaborar una propuesta constructiva para mejorar la conectividad, el tránsito, la seguridad y el nivel de servicio del camino 2-03-070 (Calle Puente de Piedra) de la red vial del cantón de Grecia.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar la estructura de pavimento flexible en una longitud de 2 500 m para así aumentar el nivel de servicio, dada la disminución en el IRI.
- Crear mejores condiciones de tránsito al construir sistemas de drenaje y aceras y colocar elementos de seguridad vial en el tramo a intervenir.

- Garantizar la conectividad entre los caminos 2-03-070 y las rutas nacionales No. 1, No. 717 y No. 154.

1.3 Justificación

La siguiente investigación pretendió determinar, por medio de estudios de laboratorio con el fin de evaluar las condiciones actuales del camino 2-03-070 (Calle Puente de Piedra), la estructura de pavimento más adecuada, según la fluencia del tránsito cuantificada y proyectada para un período mínimo de quince años. Dado lo anterior, los resultados finales de los estudios y el diseño se tomaron como base para el presente proyecto.

La metodología empleada para el diseño de la estructura de pavimento fue la siguiente: la cantidad de ensayos se encontraba establecida dentro del Manual CR-2010 (MOPT) por su particularidad en la ubicación de las pruebas realizadas (ITP-458-2020). Además, se llevaron a cabo sondeos para determinar la estratigrafía existente a lo largo del estudio, tomando muestras alternadas para efectuar límites de Atterberg (ASTM D-4318, Instrucción de ensayo IE-15), graduación (Norma Internacional: ASTM C-136 y C-117), clasificación unificada (Norma Internacional ASTM D-2487), Próctor estándar (Norma Internacional: AASHTO T-99), CBR (Valor de CBR a 0,254 cm y 0,508 cm de penetración, Norma Internacional: ASTM D-1883) y pruebas de CBR en sitio por medio del sistema de Penetrómetro de Cono Dinámico (DCP) (ASTM D 6951, Instrucción de ensayo IE-28). A partir de dicha información, se procedió a efectuar el diseño de espesores de pavimento flexible para tránsito liviano con ocasional pesado, para lo cual se utilizó la Guía de la AASHTO de 1993 (ITP-458-2020).

Para el volumen de tránsito, la guía de diseño AASHTO 93 sugiere espesores mínimos. Sin embargo, los espesores recomendados fueron definidos asegurando que cumplieran con el valor estructural SN_{nec} , la deformación plástica de la subrasante y la fatiga de la carpeta asfáltica (ITP-458-2020).

1.4 Antecedentes

A continuación, se presentan diferentes investigaciones, desde el campo nacional e internacional, relacionadas con el tema como insumo indispensable para este análisis. Se realizó trabajo de campo en el cual se contó con la participación de un representante de la Asociación de Desarrollo Integral de Rincón de Salas, mientras que el Gobierno local aportó personal de la Unidad Técnica de Gestión Vial mediante las figuras del director, el ingeniero asistente, el inspector de obras y el promotor social, además del estudiante que realizaba su trabajo de graduación.

Con este documento se pretende generar el planteamiento del diseño, de manera que sea posible establecer las medidas necesarias para evitar conflictos tanto con los vecinos como con las organizaciones comunales, los empresarios, los estudiantes o algún otro actor identificado. Así es como, en apego al Marco de Gestión Ambiental y Social (MGAS) y las políticas de salvaguarda, se debió realizar: un análisis ambiental y social (AAS), un plan de gestión ambiental y social (PGAS) y una consulta socio ambiental significativa (CSAS), que analicen e incorporen todas las preocupaciones y los criterios de la comunidad en el diseño del proyecto (Chaverri-2020).

Se llevó a cabo una visita de campo con la finalidad de atender las disposiciones establecidas en los diferentes manuales y normas utilizadas durante la investigación. De esta forma, se efectuó un recorrido guiado a pie por el camino, en donde los participantes recopilaban toda la información importante que se debía considerar, principalmente, sobre los aspectos que servían para realizar el diseño de la nueva estructura de pavimento.

El proyecto abarcará la intervención del camino código (2-03-070) con una longitud de 2 500 metros, el cual iniciará frente a la Fanal y finalizará en el entronque con la Ruta Nacional No. 717. Actualmente, este trayecto cuenta con una superficie de riego en asfalto con un ancho de 5,20 metros. Dicha ruta ya cumplió con su vida útil, por lo que, ante el paso del tiempo, ha sido reparada con la técnica del bacheo, lo cual hace que se vea estéticamente mal, además de que,

en ciertos tramos, se torna peligrosa para los usuarios. El sistema de drenaje presenta una condición regular en la mayoría del camino, pero unos sectores puntualizados se encuentran en mal estado; los sistemas de drenaje no son los adecuados y no están construidos en toda la ruta.

Costa Rica cuenta con un vasto marco legal ambiental, el cual establece una serie de lineamientos, requisitos e instrumentos que deben ser incorporados en las diferentes etapas del ciclo de un proyecto. Principalmente, el marco jurídico de evaluación del impacto ambiental está definido por la Ley Orgánica del Ambiente No. 7554 en su artículo 17, que versa sobre lo siguiente:

Las actividades humanas que alteren o destruyan elementos del ambiente o generen residuos, materiales tóxicos o peligrosos, requerirán una evaluación de impacto ambiental por parte de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental creada en esta ley. Su aprobación previa, de parte de este organismo, será requisito indispensable para iniciar las actividades, obras o proyectos. Las leyes y los reglamentos indicarán cuáles actividades, obras o proyectos requerirán la evaluación de impacto ambiental.

Es así como, a partir de lo establecido en la Ley Orgánica del Ambiente, se ha creado una serie de instrumentos para regular los procesos de evaluación de impacto ambiental, específicamente, el Decreto Ejecutivo No. 31849-MINAE, Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental. Por lo tanto, la legislación ambiental establece el proceso de planificación de proyectos, considerando criterios técnicos ambientales para ser aplicados en la valoración de los proyectos a desarrollar, cuyo fin es minimizar el impacto en el ambiente. Lo anterior complementa los argumentos financieros-económicos que han concentrado el análisis de viabilidad de un proyecto (Plan de Gestión Ambiental y Social – 2020, PGAS).

Con este proyecto se pretende realizar un mejoramiento de la superficie de ruedo y el sistema de drenaje de un camino existente e impactado. Debido al tipo de obra, se debió seguir lo indicado por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (Setena) en su Resolución No.2373-2016-

Setena. Dicha resolución, en el artículo 5, establece las actividades, las obras o los proyectos que, por su naturaleza, no requieren de una evaluación del impacto ambiental. Asimismo, el numeral 31 indica:

Reparación y mantenimiento de obras públicas como: puentes, muros, caminos, pistas de aterrizaje, líneas para ferrocarril y otras edificaciones. Para lo cual deben ser las mismas instituciones las encargadas de verificar el cumplimiento del Código de Buenas Prácticas Ambientales y las leyes correspondientes.

De la misma forma, para aquellas operaciones que requieran una evaluación ambiental, pero que no estén sujetas a una EIA (Setena) o a una EAE (Setena), se deberá realizar un análisis ambiental que comprenda una evaluación de los potenciales impactos y riesgos ambientales, sociales y de salud y seguridad asociados a la operación, así como indicar las medidas previstas para controlar dichos impactos y riesgos.

No se esperan impactos socioambientales significativos para el proyecto más allá de aquellos productos de la ejecución misma de las obras. Con la implementación de las medidas adecuadas de prevención, mitigación o compensaciones previstas se evitará la afectación del entorno natural o social.

1.4.1 Antecedentes nacionales:

1.4.1.1 Mejoramiento geométrico de la Ruta Cantonal 041 comprendida entre Dulce Nombre y Paraíso de Cartago (Alex Urena-TEC-2010)

El diseño vial es un instrumento de desarrollo social y económico que pretende ofrecer a la sociedad mejores condiciones de transporte. De esta manera, este diseño presenta el mejoramiento geométrico horizontal y altimétrico de drenajes superficiales, estructuras de pavimentos y obras necesarias para cumplir con las necesidades planteadas por parte de las municipalidades tanto de Paraíso de Cartago como de Cartago, así como también los

requerimientos que fueron evidenciados mediante las visitas de campo y la interacción con los vecinos de la zona.

El sentido de este mejoramiento nace a raíz de las malas condiciones geométricas y de drenajes y de la inexistencia de una estructura de pavimento bien definida. Los vehículos de diseño son los que establecen las exigencias propias que se deben cumplir, pues, dependiendo del tipo de tránsito, son planteadas las diferentes dimensiones y los elementos que integran la estructura vial. De este modo, el análisis previo a la escogencia de las premisas de diseño es fundamental para la determinación del resto de los componentes que conforman dicha estructura vial.

El diseño geométrico de carreteras está asociado de manera directa a la cantidad de vehículos que circulan diariamente, así como también a los tipos de vehículos y las respectivas cargas que transportan. Para la buena escogencia de las estructuras es de vital importancia un adecuado análisis de estos factores con el fin obtener datos reales, los cuales puedan ser utilizados en el diseño y, de esta forma, cubrir las necesidades dentro del periodo proyectado.

1.4.1.2 Diseño geométrico, drenajes y pavimentos para rutas cantonales (Lanamme 2018)

El presente estudio indica los tipos de caminos y la estructura de pavimento a utilizar, tomando en cuenta datos como la cantidad de vehículos diarios y el tipo de estructura que se va a conformar (subbase, base, MAC o concreto hidráulico). El drenaje fue el punto más importante por considerar en la construcción de una carretera en pavimento hidráulico o MAC. La investigación permitió tener un análisis de los modelos de cuentas a utilizar, la cuneta y la contra cuneta, la alcantarilla y los cabezales.

En el caso del diseño del pavimento rígido fue necesaria la suposición de un espesor de losa y un espesor de la subbase. De la misma forma, se siguieron los pasos que se presentan en la metodología AASHTO 1993 para el diseño del pavimento rígido, con el objetivo de obtener los espesores de la estructura de cada una de las calles.

Asimismo, respecto al cálculo de los drenajes, se realizaron mediciones de las cuencas en las que cada una de las estructuras de drenaje se encontraba ubicada. Para ello, se determinaron las áreas empleando el software de Google Earth Pro y la hoja cartográfica ABRA, mientras que se usó el método racional para el establecimiento de los caudales de las alcantarillas y las cunetas en las carreteras. Al conocer los caudales que se presentaban en las zonas, se escogieron los diámetros de las alcantarillas y se calcularon las dimensiones de las cunetas, de manera que se propuso un estilo de cuneta triangular.

Posteriormente, se realizó una estimación del costo de las calles según el tipo de trabajo, para lo cual también se incluyeron las obras complementarias y la superficie de ruedo. Además, se tomó en cuenta el costo aproximado definido por una investigación del Lanamme de la UCR, que indica el precio por costo de km de carretera en Costa Rica, considerando la superficie de ruedo y el trabajo efectuado.

1.4.1.3 Proyecto de diseño vial de calle Portones, calle Loma Linda y calle Nazareth en San Rafael de Alajuela (Dennise Alejandra Álvarez Castillo Cartago, agosto 2019)

En Costa Rica existe una gran cantidad de problemas en la red vial. La mayor parte de la infraestructura vial del distrito de San Rafael, provincia de Alajuela, presenta una falta de mantenimiento, diseños geométricos inexistentes o mal elaborados, pocos drenajes e invasión del derecho de vía. En esta comunidad, el anteproyecto de diseño de tres rutas fue realizado para mejorar la red vial del distrito, la cual consta de 3,85 km distribuidos de la siguiente manera: calle Portones con un tramo de 1,50 km, calle Nazareth con uno de 1,25 km y, por último, calle Loma Linda con uno de 1,10 km.

La intervención de las rutas mencionadas tuvo la función de que estas sirvieran como rutas alternas para disminuir el congestionamiento vial que se presentaba en el centro de la comunidad, así como ayudar en el desarrollo económico del distrito. Por ello, se buscó plantear un diseño geométrico que cumpliera con los alineamientos horizontales y verticales mediante el uso de las normas establecidas para el diseño de las carreteras.

Primero, se examinaron las necesidades existentes en la zona y se buscó la opinión de la población acerca de una mejora en estas carreteras. Luego, se realizó una medición de las carreteras con un odómetro para conocer la longitud de los tramos por diseñar y los derechos de vía para cada calle. Además, se efectuaron conteos vehiculares en diferentes puntos de las carreteras donde había la mayor movilidad del tránsito, con el fin de obtener el valor de tránsito promedio diario (TPDa) para las calles, ya que no se presentaba ninguna investigación previa de este tipo. En el diseño vial, se hizo un análisis sobre los diversos factores que afectaban cada proyecto en específico, de acuerdo con el tipo de topografía del terreno, las actividades económicas, el crecimiento demográfico, entre otros aspectos. Por medio de la información recopilada, se plantearon los requerimientos específicos del proyecto.

A partir de la información topográfica obtenida se empleó AutoCAD Civil 3D, mediante el cual se realizó el diseño geométrico de las carreteras. Se tomaron en consideración todos los parámetros que se presentan en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales: el tipo de terreno, el ancho de los carriles, los niveles de servicio en la vía y la determinación de la velocidad de diseño a usar. En este caso y debido a las opiniones de la población, se escogió una velocidad menor a la que indicaba el manual. Además, se estimaron los radios de giro de las curvaturas y se analizaron las distancias de visibilidad de parada y adelantamiento permitidas. Asimismo, se procedió a definir el nivel de rasante para que el movimiento de la tierra fuera el mínimo posible. Dado lo anterior, se crearon los alineamientos horizontales y verticales para las tres calles bajo estudio.

El proyecto ofreció los siguientes aspectos por mejorar:

- Seguridad vial: si se realizan inspecciones en tiempos específicos y se detectan elementos de seguridad vial que se están deteriorado —por ejemplo, los retro reflectivos (ojos de gato) o alguna otra demarcación horizontal o vertical—, se pueden corregir a tiempo y así abaratar los costos y alargar la vida del proyecto

- Superficies de ruedo: de acuerdo con la normativa internacional, las juntas entre las losas deben sustituirse cada tres años, con la puesta en marcha de esta metodología en pavimentos rígidos.
- Mantenimiento vial: con un mantenimiento oportuno, si se llegaran a detectar deterioros y estos fueran atendidos con oportunidad, entonces no se generaría un mayor gasto que el del propio proyecto.

1.4.1.4 Proyecto de la carretera Cañas – Liberia (Lanamme UCR, 2020)

En el proyecto de Cañas-Liberia, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (Lanamme UCR) implementó una metodología que permite seguir evaluando los pavimentos rígidos (concreto hidráulico) de la red vial nacional (RVN).

En Costa Rica, solo el 2 % (aproximadamente 103 kilómetros) de la RVN está conformada por pavimentos rígidos, por lo que, a través de su historia, el Lanamme UCR se ha concentrado en evaluar pavimentos flexibles (asfalto). Sin embargo, debido a la construcción de proyectos importantes en el país con concreto hidráulico, durante los últimos años, ha sido necesario desarrollar la herramienta y la tecnología que permitan la evaluación de los pavimentos rígidos de una forma eficiente.

Desde el 2019 se desarrolló un proyecto de investigación en la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN) del Programa de Infraestructura del Transporte, que se complementó con una tesis de grado, con el propósito definir la primera metodología para evaluar los proyectos rígidos, en donde el plan piloto para su aplicación fue el proyecto de Cañas-Liberia: “Esta metodología permite evaluar de forma muy eficiente los pavimentos rígidos, puesto que las metodologías existentes y utilizadas por el LanammeUCR están planteadas para los pavimentos flexibles de la RVN”.

Con la implementación de esta nueva metodología, se pudo determinar que el proyecto Cañas-Liberia cuenta actualmente con un pavimento en buen estado. Sin embargo, en el informe se

recomienda definir una pronta estrategia de mantenimiento para conservar el buen estado de dicha carretera.

Estamos en el punto ideal para hacer intervenciones de mantenimiento. Es urgente que se hagan las intervenciones lo antes posible, porque de no ser así existe el riesgo de perder de forma rápida gran parte de la inversión que se hizo en este importante proyecto.

Las evaluaciones se realizarán por separado a la evaluación bianual de la RVN, ya que se requiere de un análisis y una cantidad de estudios distintos para no afectar la evolución de la evaluación bianual que hace el Lanamme UCR desde el 2002, de manera estas que se harán en el año intermedio. Así será posible cumplir con el 100 % de las evaluaciones de la RVN, tanto en pavimentos flexibles como rígidos.

1.4.1.5 Diseño geométrico, drenajes y pavimentos de la ruta cantonal 3-01-033 (Efraím Zeledón Leiva, junio 2010, TEC, Escuela de Ingeniería en Construcción)

El siguiente estudio indica que una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno, denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y el tiempo, manteniendo niveles adecuados de seguridad y comodidad.

En una carretera, el diseño geométrico es de las partes más importantes, ya que a través de este se establece su configuración geométrica tridimensional, cuyo fin es que la vía sea funcional, segura y compatible con el medio ambiente. Una carretera se considerará funcional de acuerdo con su tipo, sus características geométricas y sus volúmenes de tránsito, de manera que ofrezca una adecuada movilidad mediante una velocidad suficiente de operación.

Principalmente, el diseño geométrico de una carretera busca hacerla segura a partir de un diseño simple y uniforme. Uno de los elementos primarios para este diseño es el volumen del

tránsito promedio diario anual, conocido como PDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o una sección de la carretera en un período determinado, el cual es mayor a un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición. De este modo, se toma en cuenta el tránsito promedio diario anual junto con las características propias de la zona como lo son la topografía, el crecimiento demográfico y los tipos de producción.

1.4.2 Antecedentes Internacionales:

1.4.2.1 Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles (Carmen Elena Rodríguez, agosto 2004)

Este documento evalúa aspectos enfocados en cómo obtener resultados óptimos de una carretera reciclada, dando a conocer los aspectos que se deben considerar en los estudios previos, el diseño y la ejecución de un proyecto. Para ello, se tomaron como base las especificaciones técnicas de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (Sieca) y las Especificaciones Normales para la Construcción de Caminos y Puentes en Proyectos de Carreteras Federales de 1996 (FP'96, siglas en inglés), de manera que se lleve a cabo la rehabilitación de un pavimento asfáltico utilizando la técnica del reciclaje *in situ*.

La vida de las vías de comunicación de transporte terrestre parece estar sometida a un ciclo repetitivo de construcción. Esto se debe a la conservación insuficiente que sufrieron dichas vías durante muchos años, lo cual dio lugar a su degradación. Bajo la necesidad de volver a proveer una nueva condición adecuada para el tráfico y con la limitante de la carencia relativa de agregados (con sus altos costos), resulta fundamental la recuperación de caminos a través de métodos que brinden carreteras durables. Por esta razón, se investigaron técnicas de mantenimiento de vías que redujeran los costos de una reconstrucción, de mano de obra y de equipo a usar. Esto trajo consigo alternativas como la de extraer los materiales que conforman al pavimento y reutilizarlos, mezclándolos con otros productos, lo que permite el reciclaje.

El reciclaje de pavimento asfáltico es una tecnología especial que permite la reconstrucción de los pavimentos envejecidos o deteriorados, empleando los materiales de construcción originales. Esto es posible en la medida en que no haya llegado a un grado de degradación tal que impida rejuvenecimiento eficiente. La técnica del reciclaje tiene un conjunto de ventajas, entre las que predomina la disponibilidad *in situ*.

1.4.2.2 Métodos de rehabilitación en pavimentos (Rufino Mario Marchan, México, CDMX, 2005)

El estudio que se comenta a continuación sobre las carreteras o los caminos es un resumen de los elementos en vías de comunicación que se emplean para el transporte, mientras que también se abordan los métodos para la rehabilitación de caminos. Por ello, se brinda una serie de definiciones de los conceptos de mayor relevancia para un mejor entendimiento. Se establece como camino, carretera u obra vial al conjunto de instalaciones y construcciones efectuadas para permitir el tránsito fácil, cómodo y seguro de vehículos automotores, en donde el pavimento es la superestructura del camino.

En este trabajo se dio énfasis a los pavimentos asfálticos o flexibles, ya que la gran mayoría de caminos que integran la red nacional del país son de este tipo; además, el período de diseño de un pavimento flexible es menor que el de un pavimento rígido y, por lo tanto, se requiere de una mayor conservación y reconstrucción. La estructura o la disposición de los elementos que constituyen un pavimento, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrece varias alternativas, de tal suerte que se encuentra compuesto por una sola o varias capas. También es posible que dichas capas sean materiales naturales seleccionados y sometidos a muy diversos tratamientos. Su superficie de rodamiento propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar conformada por acumulaciones de materiales pétreos compactados.

Los pavimentos flexibles están hechos de una carpeta bituminosa, que, por lo general, está formada de una mezcla de agregados pétreos y un aglutinante asfáltico, el cual se apoya sobre

dos capas no rígidas bien diferenciadas: una base de material granular y una subbase compuesta preferentemente por un suelo granular. La calidad de las capas es descendiente hacia abajo. Bajo la subbase se dispone de otra capa denominada subrasante, todavía con menores requisitos de calidad mínima que la subbase. Por su parte, bajo la subrasante aparece el material convencional de la terracería, que es tratado mecánicamente en la actualidad casi sin excepción, al menos en lo referente a la compactación.

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además, se requiere que sea una capa prácticamente impermeable, la cual constituya una protección para la base. Cuando está hecha de concreto asfáltico, la carpeta colabora con la resistencia estructural del pavimento. Desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento, se trata del elemento más importante.

1.4.2.3 ¿Cuánto cuesta tener malos pavimentos? (Torres, 2015)

Esta investigación estuvo dirigida a relacionar los costos asociados a las obras de pavimentación con su impacto en los usuarios. Se demuestra la importancia y el efecto de la condición de la red vial sobre la calidad de vida de los ciudadanos. Esta investigación, entre otros aspectos, expone la manera en que los costos asociados a la operación vehicular, el tiempo de viaje, los accidentes, el confort, la congestión y el ruido representan la parte más importante de la estructura de costos en el ciclo de vida de los pavimentos de la red vial urbana y extraurbana.

Prueba de lo anterior es la estadística del Banco Mundial que indica como, en un camino con al menos cincuenta vehículos diarios en circulación, los costos de operación serán mayores que la suma de los costos de construcción inicial y de conservación durante su vida útil. A efectos de la presente investigación, la movilidad urbana se presenta como el marco de referencia para los objetivos de calidad vial que se requieren en las ciudades. En el mismo orden de ideas, Torres (2015) expresa aspectos relevantes y datos estadísticos significativos de la movilidad urbana en la *Revista Ingeniería U* de la Universidad Metropolitana de Valencia. De este trabajo se resaltan los siguientes planteamientos:

1. Hacer el diagnóstico de los problemas de movilidad de la comunidad.
2. Conocer las características geométricas de la red vial principal, disponer de conteos vehiculares y peatonales, modelar el tránsito vehicular en la red vial y conocer las horas pico y los niveles de servicio en las intersecciones.
3. Regular la circulación de los vehículos pesados y la distribución de mercancías.
4. Realizar el estudio de transporte público en cuanto a conteos, encuestas, análisis de accesibilidad en las paradas y su diseño deficiente, cambios intermodales, cobertura y “transitabilidad” en la red vial. En este mismo trabajo, Torres indica que, para el 2012, en Valencia, se hacían 3 169 000 viajes diarios, considerando cualquier modo de transporte. El número de viajes que se realizaban en transporte público era de 1 965 000 diarios (62 %).

1.4.2.4 Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (edición 2001)

En este documento editado en el 2001 se encuentran datos reales sobre las carreteras latinoamericanas. Además, se menciona que para diseñar carreteras es de gran importancia tomar en cuenta los tres elementos que conforman el sistema de tránsito: factor humano (ser humano), factor vehicular (vehículo) y factor ambiental (vía), los cuales hacen referencia al triángulo de la seguridad, conocido como la trilogía vial. De acuerdo con la zona de ubicación, las carreteras latinoamericanas se dividen en rurales o urbanas, por lo que se clasifican según la funcionalidad y los volúmenes de tránsito respecto a su diseño.

El estudio señala los tipos de caminos y la forma de pavimento a utilizar por la cantidad de vehículos diarios y la clase de estructura que se va a constituir (subbase, base, MAC o concreto hidráulico). El drenaje es el punto más importante por considerar en la construcción de una carretera en pavimento hidráulico o MAC. La investigación permite tener un análisis de los modelos de cunetas a emplear (cuneta, contra cuneta, alcantarilla y cabezales).

1.4.2.5 Diseño de la vía en pavimento flexible de la carrera 2.^a de Gualanday, municipio de Coello-Yolima (Lorena Lozada, Colombia 2020)

El presente trabajo muestra el estado actual de la vía Carrera 2.^a del corregimiento de Gualanday, municipio de Coello – Tolima, y el diseño en pavimento flexible para este tramo de la vía. Se trata de una vía terciara que cuenta con una longitud de 350 metros, sin capa de rodadura, y, dadas sus condiciones, no brinda una movilidad óptima para los habitantes de dicho municipio y las demás personas que la emplean. De esta forma, resultó necesario plantear el diseño de la estructura de un pavimento asfáltico para la vía no solo por su cercanía a viviendas y a cultivos, sino también por ser una de las vías de acceso a la quebrada Guacarí (lugar turístico de la localidad) y a una zona de deporte utilizada por la comunidad del sector y las zonas aledañas.

Para el diseño de esta vía se estudió la situación actual del sector y, de igual manera, se evaluó el impacto socioambiental que iba a tener en la zona y la comunidad. Asimismo, se realizó un aforo que permitió analizar la parte de transporte y determinar la movilidad del sector, junto con ensayos de suelos como granulometría, límites y CBR, los cuales brindaron la caracterización actual del terreno en donde se implementará el diseño.

1.4.2.6 Diseño geométrico y estructura de pavimento articulado del tramo de carretera de la comunidad El Bramadero-El Jocote, municipio de Condega, departamento de Estelí (Uriel José Moreno, Managua, agosto, 2020)

El documento aquí citado hace referencia al municipio de Condega, departamento de Estelí, el cual cuenta con una superficie de 398 km², una densidad poblacional de 74 habitantes por km² y se encuentra a 185 km de la capital Managua. Su economía está basada en la producción de granos básicos como maíz y frijoles, así como en la siembra de tabaco y café. El tramo que une las comunidades El Bramadero-El Jocote es parte de las rutas de comercio de Condega, región que tiene una longitud de 3 km, una topografía ondulada y pésimas condiciones en la estructura de rodamiento, lo que aumenta los costos de operación vehicular y los tiempos de viaje.

Actualmente, el tramo está revestido de macadán y su último mantenimiento fue realizado en el 2016 con fondos de la comunidad.

Se realizaron ensayos de suelos con el objetivo de conocer las características físico-mecánicas de los materiales existentes a través de la clasificación por el método AASHTO 93 y la estimación del valor CBR necesario para hacer correlaciones con el módulo de resistencia de los materiales, tanto para la subrasante existente como para los bancos de materiales que podrían ser usados como base o subbase. Además, se llevó a cabo el análisis del tránsito actual con el fin de cuantificar el tráfico vehicular existente, lo que a su vez permitió establecer la repetición de ejes equivalentes de carga para el diseño apropiado de la estructura de pavimento.

Ante la falta de presupuesto, la alcaldía no ha realizado un diseño para la gestión de la mejora de la carretera que permita a los pobladores la gestión de los fondos para su construcción. Por lo tanto, se elaboró el diseño de estructura de pavimento articulado aplicando el método de AASHTO 93, que contribuirá a la mejora de las condiciones de operación del tramo, lo cual logrará un ahorro en los costos y los tiempos de viaje en correspondencia al aumento del comercio en esa zona. Se realizó el diseño geométrico del tramo siguiendo las normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA (2004) y el enfoque de gestión de dos Riesgos propuestos en SIECA (2011), en donde este método fue considerado como uno de los más empleados y se incorporaron sus variables de diseño.

De acuerdo con la entrevista realizada al alcalde municipal (Arce, 2018), en el 2011, se pretendía llevar al cabo el proyecto de adoquinado del tramo Condega–San Sebastián De Yalí del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), sin embargo, por motivos de presupuesto, solamente se adoquinó Condega–Dariel. Hasta el momento, no existe una iniciativa de construcción del tramo en estudio por parte del MTI, la alcaldía u otras organizaciones. Ante esta situación, dicho trabajo monográfico presentó un diseño geométrico vial y una estructura de pavimento con adoquines como alternativa para solucionar el problema, ya que el objetivo era aportar a la municipalidad y contribuir con el desarrollo social y económico. Actualmente, la vía es ineficiente, pues no cuenta con mejoramiento de suelo, hace falta una carpeta de

rodamiento y tiene el drenaje deteriorado. Cabe destacar que esta es inaccesible en temporada de invierno, lo cual afecta a los sectores salud y educación, que son parte vital del desarrollo de una población.

En vista de la situación antes descrita, el Gobierno municipal y la población, preocupados por esta problemática, solicitaron el mejoramiento del camino, pero la Alcaldía, por falta de fondos, no había podido realizar los estudios requeridos para lograr ejecutar el proyecto. De aquí surge la iniciativa de contribuir directamente con la Alcaldía al proporcionarle un diseño de la estructura de pavimento.

La ejecución de este proyecto beneficiará de manera directa e indirecta a los pobladores y las comunidades aledañas de diferentes estratos sociales, económicos y culturales, pues se crearán las condiciones necesarias para lograr un mejor desarrollo económico, facilitar la circulación vehicular y peatonal, reducir de 6 el tiempo de viaje y el polvo, corregir el estado de la vía, incidir en la economía local y embellecer la comunidad.

1.5 Proyecciones

1.5.1 Alcances

1.5.1.1 Es criterio que las obras a ejecutar en el proyecto descrito en este documento son de muy bajo impacto ambiental. Estas se ejecutarán sobre un camino existente, el cual se reparará para mejorar las condiciones de ruedo de los vehículos.

1.5.1.2 Las obras por ejecutar en el proyecto descrito en este documento son compatibles con las definidas como de muy bajo impacto ambiental en el artículo 3, Definiciones, Resolución No. 2373-2016 de la Setena.

1.5.1.3 Se garantiza que no se producirán ruidos que superen la norma técnica que establece los límites máximos permitidos por el Ministerio de Salud.

1.5.1.4 Se aplicarán las prácticas de gestión ambiental, conforme a lo determinado en las regulaciones ambientales vigentes en el país, y el Código de Buenas Prácticas Ambientales del PRVC MOPT/BID.

1.5.1.5 Se mantiene el uso del suelo conforme.

1.5.1.6 Se trata de un camino cantonal existente, ya impactado y en operación, en donde las reparaciones y los mejoramientos planteados generarán consecuencias positivas mediante la disminución de ruido, polvo y emisiones de gases. También será posible el control adecuado de las aguas pluviales y la disminución del transporte de partículas erosionadas, las cuales podrían afectar zonas ambientalmente frágiles.

1.5.1.7 El Proyecto deberá acogerse a la normativa ambiental vigente para la ejecución:

- *No tramitar la viabilidad ambiental para este proyecto.
- *Cumplir la legislación ambiental vigente.
- *Apegarse al Código de Buenas Prácticas Ambientales del PRVC.
- *Comunicar esta decisión a la Setena para lo que corresponda.

1.5.1.8 Se realizará la reconstrucción de la estructura de pavimento, contemplando la subbase, la base y la carpeta de rodamiento.

1.5.1.9 Se sustituirán los pasos de alcantarilla existentes por alcantarillas de mayor diámetro que cumplan con los refuerzos de las normas.

1.5.1.10 Se mejorarán los sistemas de drenaje en todo el trayecto, incluyendo cunetas revestidas, cordón de caño, tragantes y alcantarillado longitudinal.

1.5.1.11 Colocación de señalización para el componente de seguridad vial.

1.5.2 Limitaciones

1.5.2.1 No se realizaron planos constructivos por el tiempo en el que se debió llevar a cabo la investigación.

1.5.2.2 El estudio fue para un tramo de 2 500 m y no el total de la vía.

1.5.2.3 No se estudiaron detalles de la hidrología subterránea de la vía.

1.5.2.4 El estudio no abarcó elementos de diseño del asfalto.

Capítulo II

2.1 Marco teórico

2.1.1 Datos generales

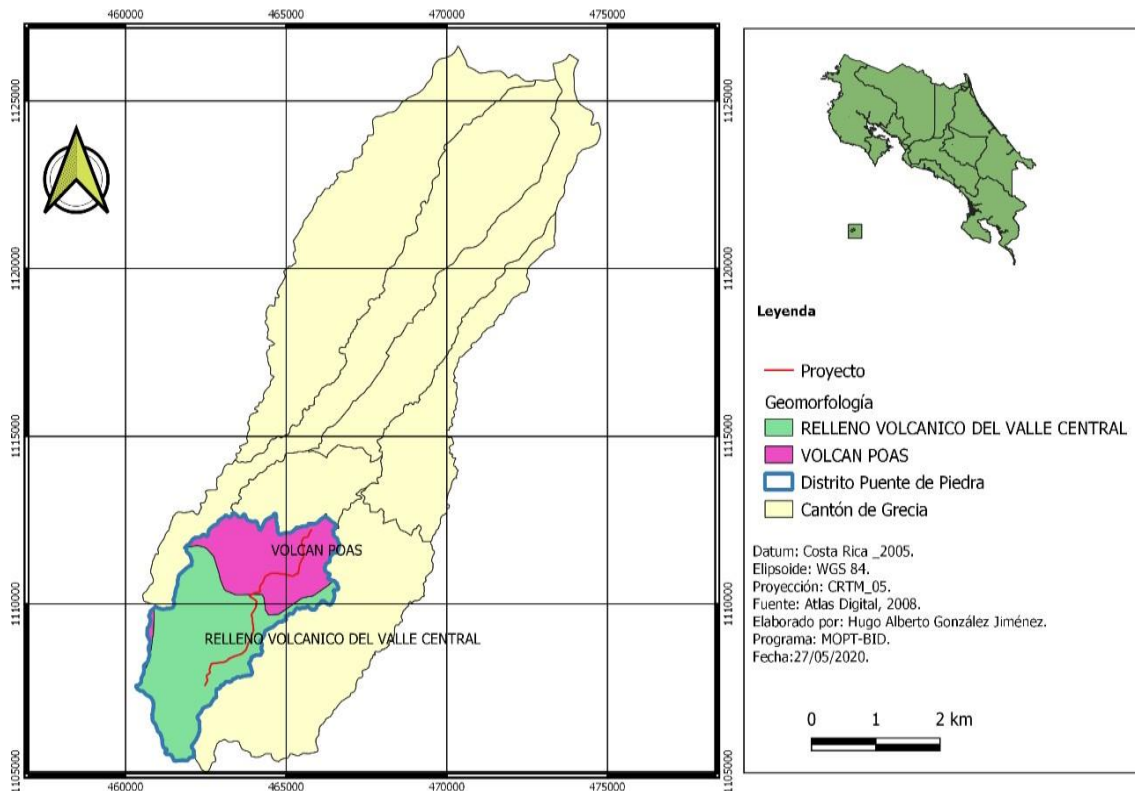
2.1.2 Análisis físico-natural del cantón

De acuerdo con el Atlas Cantonal del IFAM, el proyecto forma parte de una unidad geomórfica de origen volcánico, la cual se divide en dos subunidades denominadas volcán Poás y relleno volcánico del Valle Central. La subunidad volcán Poás se ubica al norte de esta parte del cantón, a partir del sector entre los poblados Las Pilas y Peralta, que corresponde al macizo del mismo nombre. Esta presenta laderas con todo tipo de pendiente y su máxima altura es de 2 708 msnm. En dicha subunidad se encuentran rocas volcánicas de todo tipo, principalmente de composición andesítica, de manera que su forma se debe a la actividad volcánica sostenida por varias centurias, en donde la erosión ha afectado determinados lugares. Sin embargo, su forma actual es resultado exclusivo del cúmulo de diferentes coladas lávicas y piroclastos.

Por su parte, la subunidad relleno volcánico del Valle Central se localiza al sur de la anterior. Esta corresponde a un relieve plano ondulado, formado en superficie por rocas volcánicas, en especial lavas, tobas e ignimbritas, el cual está cubierto por ceniza en un espesor variable. La secuencia de lavas descansa sobre roca sedimentaria, mientras que las lavas son del tipo andesítico. Aunque geomorfológicamente la subunidad no es un valle, para efectos políticos, socioeconómicos y de todo tipo de referencia, se considera preferible seguirla denominando Valle Central; el nombre técnico correcto es Fosa Tectónica debido a la presencia de una falla a todo lo largo del pie de la Sierra Volcánica Central, que está evidenciada por la existencia de fuentes termominerales; la interrupción brusca y alineada con la supuesta falla de las estribaciones, que bajan de la mencionada sierra hacia el valle; y la presencia de un vulcanismo sin explicación aparente (Formación Pacacua) en correspondencia con la posición de la falla o cerca de ella (Instituto Fomento Y Asesoría Municipal, 2002).

Mapa 1

Geomorfología



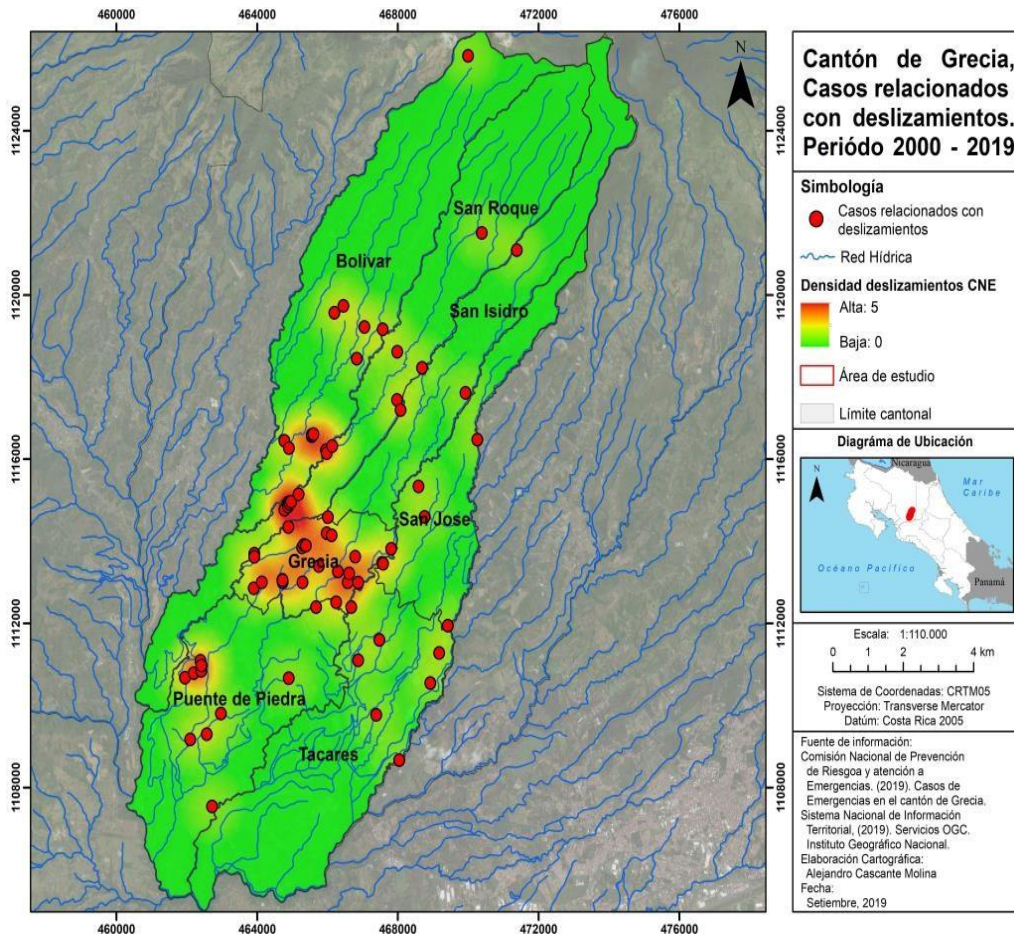
Fuente. Estudio Riesgo del cantón de Grecia realizado por la UNA (2020).

2.1.3 Drenaje proyecto

El cantón de Grecia posee una red fluvial bien definida y muy baja, la cual cuenta con un grupo de ríos y quebradas. Principalmente, dicha red de drenaje está compuesta por los ríos: Prendas, Tacaes, Pilas, Rosales, Poro, Agualote, Vigía, San Juan y Sarchí (ver mapa 2 de la red Hídrica de Grecia).

Mapa 2

Drenaje Cantonal



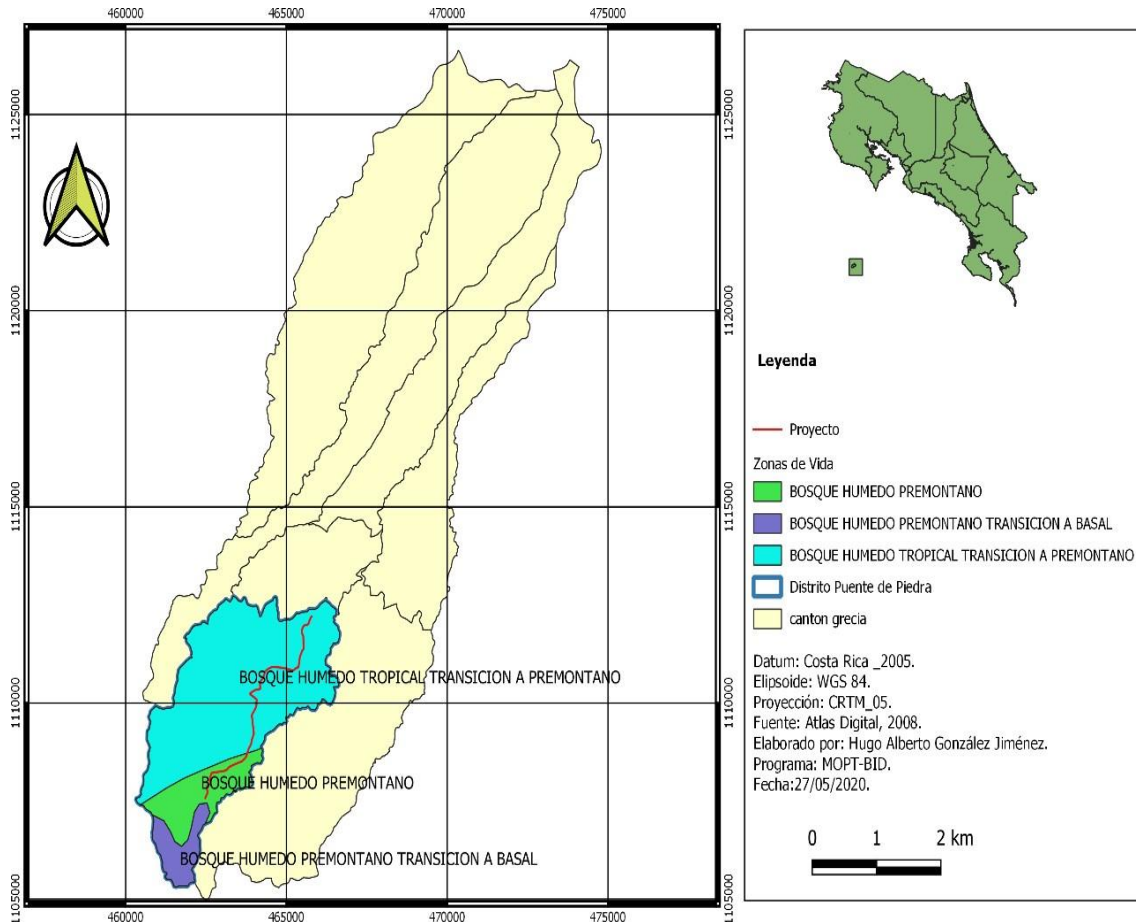
Fuente. Estudio Riesgo del cantón de Grecia realizado por la UNA (2020).

2.1.4 Clima cantonal

El proyecto se encuentra dentro de dos categorías de zonas de vida: bosque húmedo premontano (bh-P) y bosque húmedo tropical transición basal (bh-T), según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (ver mapa 3). Las características generales de la primera categoría son: piso altitudinal (1000-1800 msnm), régimen de precipitación húmedo; temperatura promedio de 22° a 26 °C y precipitación anual de 1000 a 2000 ml. Por su parte, las características generales de la segunda categoría son: piso altitudinal (400 a 800 msnm), régimen de precipitación húmedo, temperatura promedio de 18° a 24 °C y precipitación anual de 1000 a 1700 ml.

Mapa 3

Zonas de vida



Fuente. Estudio Riesgo del cantón de Grecia realizado por la UNA (2020).

2.1.5 Hidrología cantonal

De acuerdo con el Atlas Cantonal² del IFAM (2002), el sistema fluvial del cantón de Grecia corresponde a la vertiente del Pacífico. Para describirlo puntualmente, el puente en donde se ubicará este proyecto se sitúa sobre la microcuenca de río Agualote, la cual pasa a la subcuenca del Río Grande, que a su vez es afluente para la cuenca del Río Grande de Tárcoles.

Los ríos que drenan el área son Poás, Rosales y Colorado, que son afluentes del río Grande. Al

primero se le unen los ríos Prendas y Tacares; el segundo recibe los ríos Pilas, Poro y Achiote; y al tercero se le juntan los ríos Aguacate y Sarchí; este último con sus tributarios: los ríos San Juan y Vigía. Estos cursos de agua, excepto Poás, Prendas y Colorado, nacen en el cantón, en las laderas del volcán Poás y las filas Palmichal, Carbonera, Setillal, y presentan una dirección de noreste a suroeste. Los ríos Colorado, Sarchí, Grande, Poás, Prendas y Tacares son límites cantonales: el primero con Naranjo, el segundo con Atenas, el tercero con Alajuela y los últimos con Poás.

El sistema fluvial de la parte norte del cantón, que constituye el distrito Río Cuarto, corresponde a la subvertiente norte de la vertiente del Caribe, que pertenece a la cuenca del río Sarapiquí. Los ríos que drenan el área son Toro, Cuarto, Sardinal, María Aguilar y Caño Negro; este último se une a los ríos Toro, Pozo Azul y Quebrada Gata, mientras que al segundo se le juntan los ríos Hule y Tercero. Estos cursos de agua nacen en el cantón y presentan una dirección de sur a norte.

Los ríos Toro, María Aguilar, Sardinal y la Quebrada Gata son límites cantonales: el primero con San Carlos, los dos siguientes con Alajuela y la última con Valverde Vega. También se encuentran en la región las lagunas Río Cuarto, Hule y Congo.

2.1.6 Amenazas naturales

En el cantón de Grecia se pueden identificar tres tipos amenazas naturales citadas a continuación:

Hidrometeorológicas

El cantón de Grecia posee una red fluvial bien definida y muy baja, la cual cuenta con un grupo de ríos y quebradas que se pueden considerar el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón. De la red pluvial, algunos ríos y quebradas han disminuido el periodo de recurrencia de inundaciones debido a la ocupación de las planicies de inundación, el

desarrollo urbano sin planificación y el lanzamiento de desechos sólidos a los cauces; todos estos factores han provocado el desbordamiento de ríos y quebradas. Las zonas o barrios que pueden ser afectados y con alto riesgo por las inundaciones o los flujos de lodo de los ríos y las quebradas anteriormente mencionadas son: Mesón Arriba, Coopevictoria, San Juan, Barrio Latino, Calle Ugalde en Santa Gertrudis Sur, La Giralda, el bajo del Río Vigía en La Virgencita y la parte baja de San Vicente.

Sísmicas

Tanto dentro de los límites del cantón de Grecia como en sus alrededores existe una serie de fuentes sísmicas que, en repetidas ocasiones, han presentado actividad sísmica de importancia hasta provocar daños considerables. Hacia el sur de la ciudad de Grecia se encuentra la traza en superficie de la llamada falla de Alajuela, la cual, entre 1851 y 1888, entró en períodos de reactivación sísmica causando daños graves.

En el norte del cantón, dentro de la región de Bajos del Toro, a unos 17 km al norte de la ciudad de Grecia, hay una fuente sísmica que ha generado daños a los pobladores de este cantón en diversos momentos (28 agosto de 1911, 6 junio de 1912 y 1 setiembre de 1955). El 8 de enero del 2009, un fuerte sismo asociado a la falla Vara Blanca, ubicada en el flanco este del volcán Poás, sacudió la región del Valle Central y causó daños en un área estimada por la CNE de aproximadamente 564,8 kilómetros cuadrados, en donde el sector de Río Cuarto fue uno de los más afectados.

Asimismo, los eventos sísmicos generados por subducción de placas (choque de las placas Cocos-Caribe) pueden ser percibidos de manera importante y causar daños materiales como recientemente el sismo de Samara del 2012, en donde una gran cantidad de viviendas localizadas en terrenos quebrados, rellenos informales o sobre pilotes presentaron agrietamientos y deterioros severos, de manera que necesitaron reparaciones considerables para ser habitables de nuevo. Además, las aceras y las calles evidenciaron ondulaciones, agrietamientos y asentamientos diferenciales.

Entre los efectos geológicos más notorios de un evento sísmico de intensidad importante cerca del cantón de Grecia se destacan las amplificaciones de la intensidad sísmica en aquellos sitios donde existen rellenos poco compactos, o bien, suelos que, por su origen, favorecen este proceso. Los poblados más vulnerables son Grecia y sus alrededores con deslizamientos de diversa magnitud, sobre todo hacia el sur del cantón, en los márgenes de los ríos Prendas, Tacares, Rosales y Sarchí. Al norte es un proceso más común, inclusive, se han reportado deslizamientos de dimensiones considerables como consecuencia de los múltiples eventos sísmicos presentados en la región. Se han producido fracturas en el terreno, las cuales causaron daños a las viviendas. Existen líneas vitales en prácticamente todo el cantón y afectación en los asentamientos de aquellos sitios donde existen rellenos.

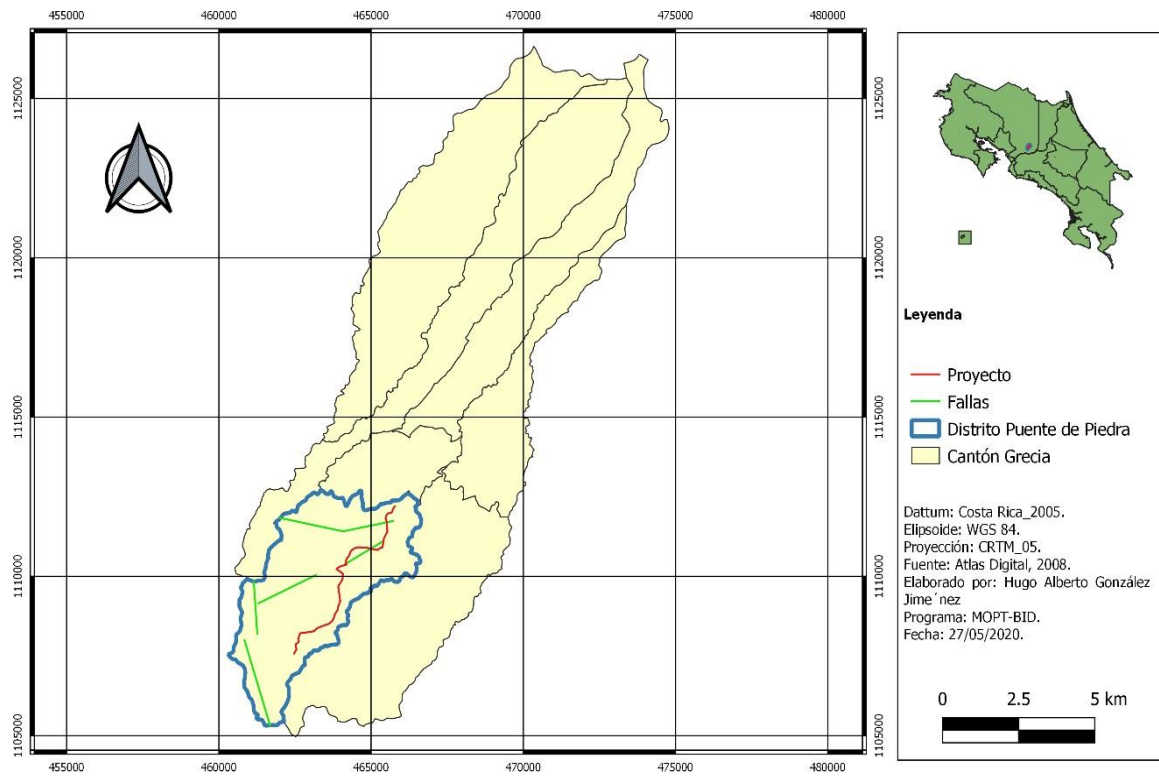
Volcánica

A unos 25 km al noreste de la ciudad de Grecia se localiza el volcán Poás, el cual, en las ocasiones que ha presentado actividad importante, ha afectado sobre todo el sector al norte del cantón de Grecia. En los últimos años, las constantes emisiones de gases de este aparato volcánico han generado lluvia ácida con pérdidas cuantiosas para la agricultura de la región. En caso de una erupción volcánica significativa cercana al cantón de Grecia, el efecto más relevante sería la caída de cenizas, lo que causaría la contaminación de los ríos Achote, Rosales, San Juan, Sarchí, Prendas, Toro y Cuarto. Además, existe la posibilidad de que la acumulación de esta ceniza provoque lahares posteriores en estos ríos. También, se deben mencionar los daños que se generarían en la agricultura, sin omitir la emanación de gases, que impactarían los poblados al norte de la ciudad de Grecia (Mesón, San Juan, San Miguel, Carbonal, San Luis, Cajón, San Isidro y Calle Rodríguez en el distrito San José).

De igual forma, en complemento a la información de la CNE, se utilizó Quantum GIS (QGIS), una herramienta (software libre) para el análisis de información geográfica. Lo anterior a través de la superposición de las capas de interés en el área de proyecto, con el fin de identificar o descartar alguna amenaza natural a considerar. Como resultado del análisis se evidencia una

Mapa 5

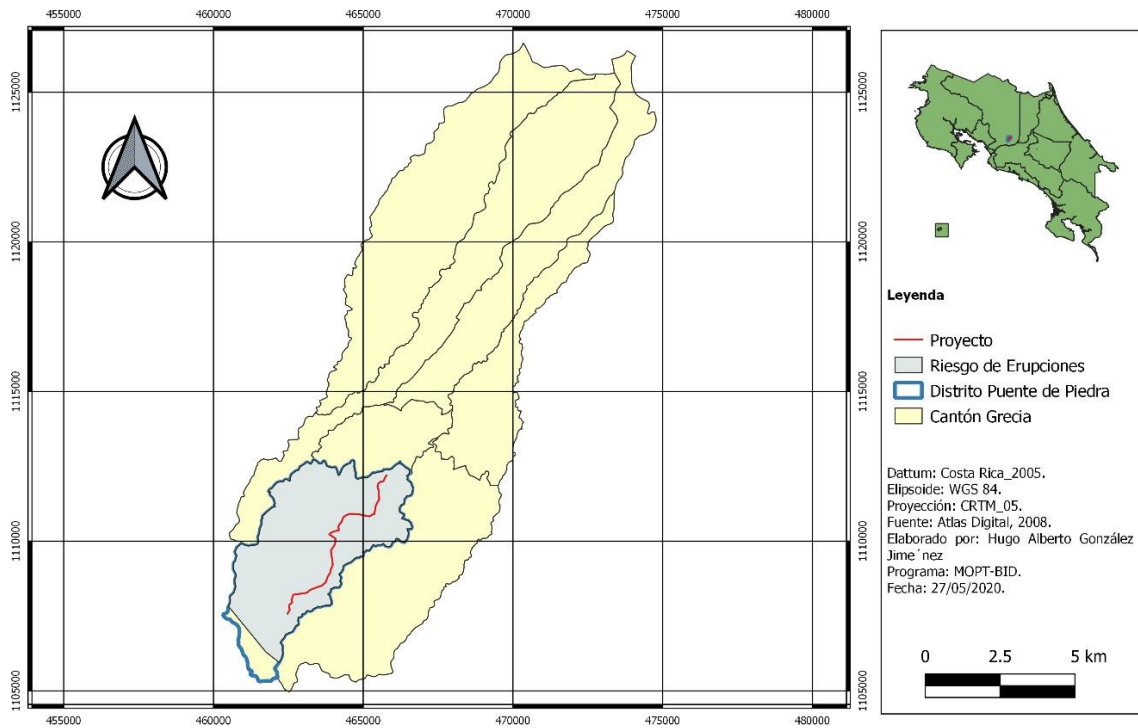
Fallamiento local



Fuente. Comisión Nacional de Emergencias (CNE), 27/05/2021.

Mapa 6

Amenaza volcánica



Fuente. Comisión Nacional de Emergencias (CNE), 27/05/2021.

2.1.7 Ecosistemas naturales

El trazado es del proyecto no atraviesa ni colinda con áreas protegidas, tampoco significa la fragmentación de bosque. Las áreas protegidas más cercanas al proyecto son: la Reserva Forestal (RF) Grecia, que se encuentra estacionada en las faldas del volcán Poás, a una distancia de diez kilómetros aproximadamente desde el centro del proyecto hasta el inicio de los límites de las áreas silvestres protegidas, y la Zona Protectora (ZP) de Río Grande, la cual se halla a cerca de 4 kilómetros.

El mapa 8 muestra gráficamente el tipo de cobertura vegetal en el área de proyecto. Durante la visita, se pudo evidenciar que la producción agrícola es una de las principales actividades económicas de la zona, en especial la siembra de la caña y otros. Por último, es importante resaltar que no se requiere de la corta de árboles para el proyecto.

Asimismo, en relación con la cobertura vegetal, se muestra un ejemplo en donde se demanda el descuaje de árboles, tanto en derecho de vía como en propiedad privada. Para el primer caso, se aplica —cuando corresponda— lo que establece la Ley General de Caminos Públicos en su artículo 2 bis:

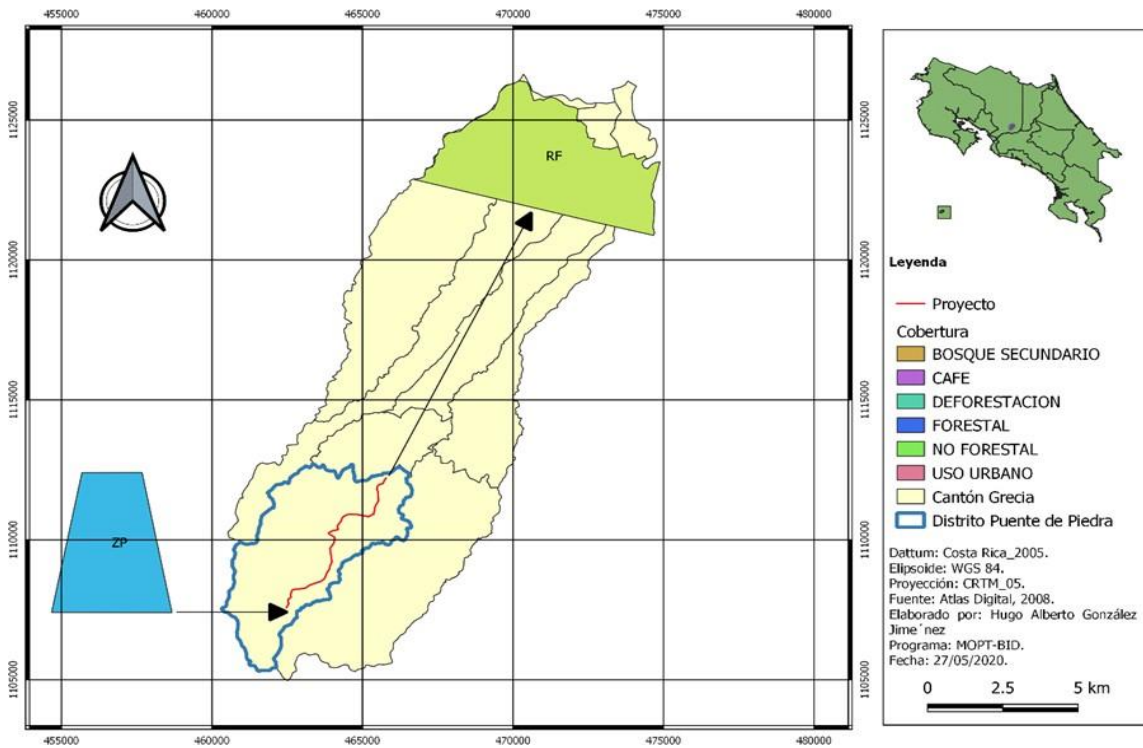
Los entes públicos competentes para la ejecución de obras de mantenimiento y mejoramiento de la red vial cantonal o nacional existente, tendrán la potestad para remover en virtud del interés público, sin previa autorización de las instancias competentes del Ministerio de Ambiente y Energía, todo obstáculo, situado en el derecho de vía legalmente constituido, sin que ello signifique transgresión a la normativa ambiental; lo anterior siempre que el derecho de vía se encuentre localizado fuera de áreas de protección y áreas silvestres protegidas, o cuando se trate de árboles vedados.

Para la corta o el descuaje en propiedad privada, se tendrá que coordinar con el propietario. Asimismo, en caso de que se requiera la corta de árboles en áreas de protección, se deberá

proceder conforme a derecho corresponda. Otro aspecto importante en relación con la cobertura es que, si existe un riesgo para realizar el descuaje debido a la cercanía de las líneas de tendido eléctrico, es necesario coordinar con el proveedor de servicios eléctricos correspondiente para efectuar dicha labor.

Mapa 7

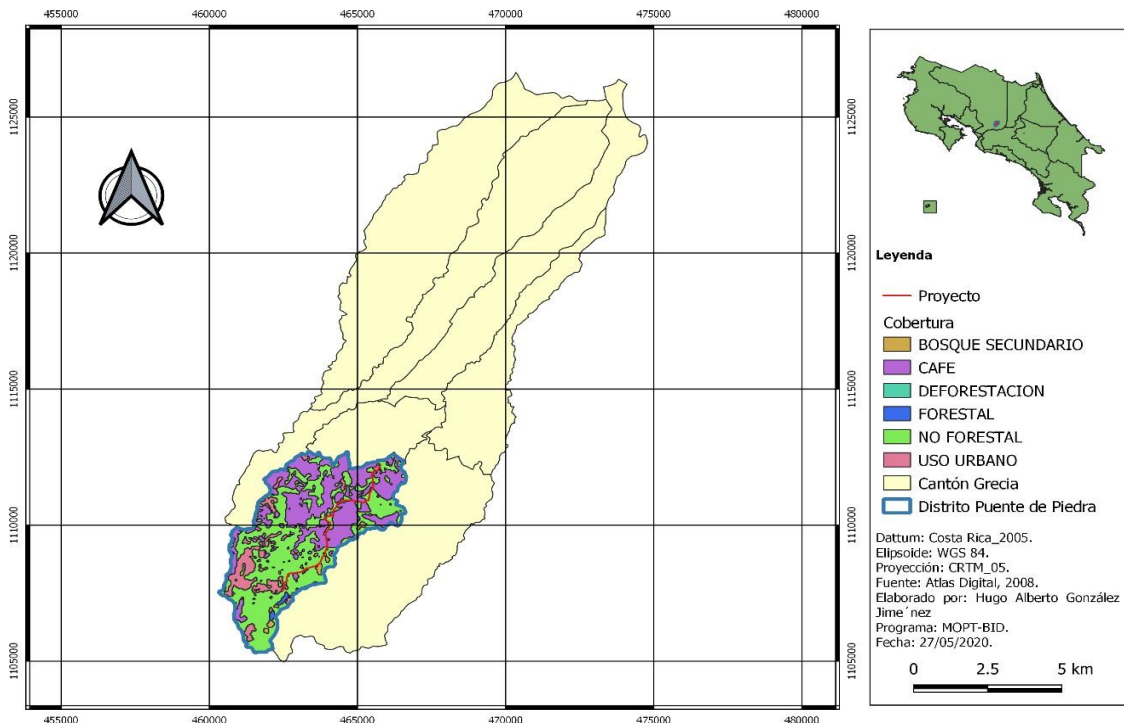
Áreas protegidas más cercanas al proyecto



Fuente. Comisión Nacional de Emergencias (CNE), 27/05/2021.

Mapa 8

Cobertura vegetal



Fuente. Comisión Nacional de Emergencias (CNE), 27/05/2021.

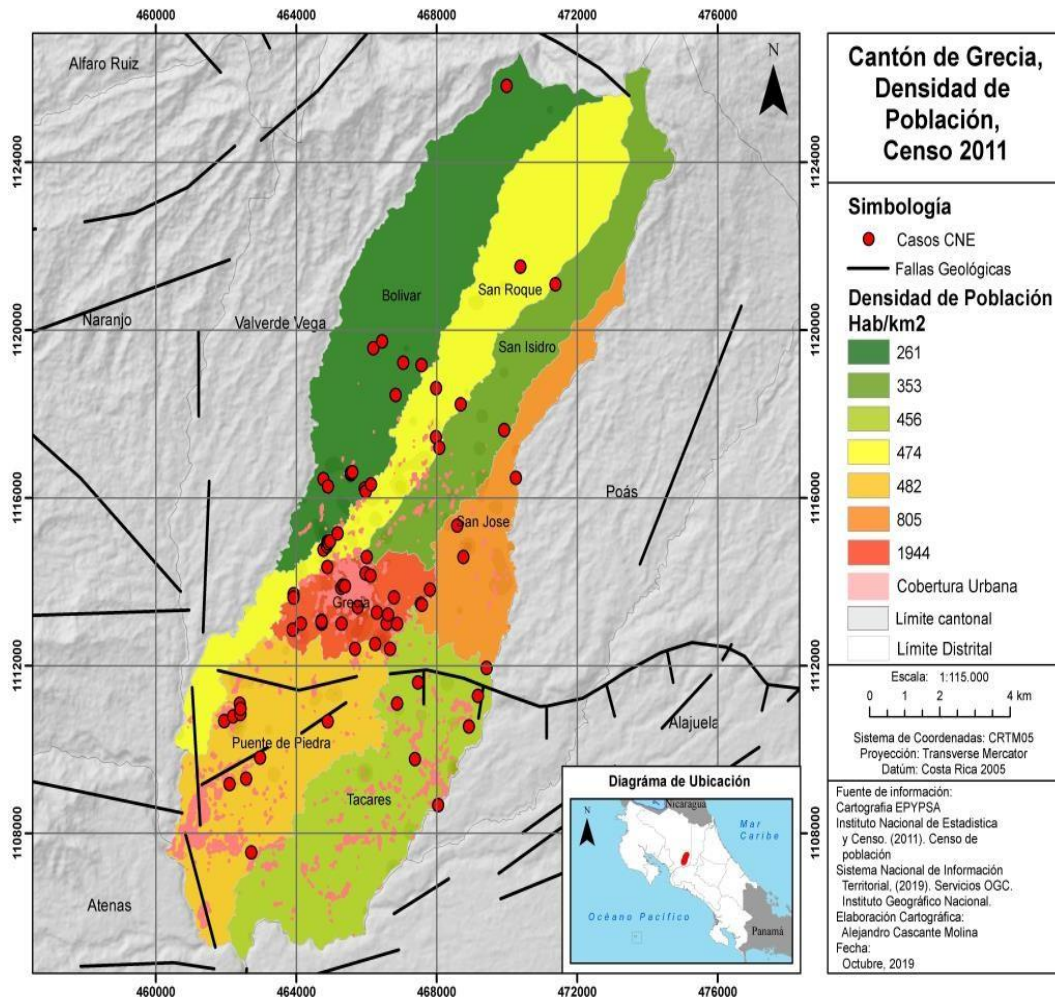
2.1.8 Análisis socioeconómico cantonal de Grecia

Según la información obtenida de la proyección demográfica ofrecida por el INEC, el cantón de Grecia mantiene una tendencia de crecimiento de población muy cercana al 1,5 % anual. Analizando los datos que van desde el 2016 al 2021, se observa que no hay una diferencia muy marcada en lo referente a la concentración poblacional en un solo sector, ya que, en comparación con los otros distritos, el contraste con el distrito primero es relativamente poco. Esta característica se puede apreciar en Grecia Centro, distrito que, junto a San Roque y Puente de Piedra, abarca un 54,3 % de la población y, a su vez, los distritos Tacares, San José, Bolívar y San Isidro manejan el restante 45,7 % de la población.

Grecia no depende de una actividad económica específica, sino que presenta muchas alternativas para el comercio como el cultivo de caña de azúcar, cuyo exponente principal es Coopevictoria R.L.; la producción cafetalera; y los sembradíos de fresas, vegetales y hasta orquídeas de diferentes clases. Además, se indican las actividades que han tenido un auge reciente como la diversificación comercial, el crecimiento industrial y el desarrollo inmobiliario. No se puede dejar de lado la innovación industrial en sectores económicos como fábricas de helados, fábricas de salsas y ventas de vehículos usados, que —en su mayoría— se trata de empresas medianas que mantienen trabajando entre veinte y cien empleados cada una. En términos laborales, la relación poblacional con respecto a la economía, la PEA se distribuye de la siguiente forma: el sector primario de la economía sostiene un 15,8 %; el sector secundario, un 25,4 %; y el sector terciario, el 58,8 % de la economía cantonal.

Mapa 9

Densidad de la población



Fuente. Estudio Riesgo del cantón de Grecia realizado por la UNA (2020).

2.1.9 Infraestructura y servicios

La población ubicada a lo largo de proyecto cuenta con todos los servicios básicos y municipales tales como agua potable, electricidad, teléfono, internet, televisión por cable, recolección de desechos sólidos, transporte público de pasajeros y gasolinera (estación de servicio). En lo académico, se encuentran dos centros educativos: Escuela Rafael Ángel Calderón Guardia en Rincón de Salas Sur y Escuela María Teresa Obregón en Rincón de Salas Centro, sin dejar de lado el Liceo de Puente de Piedra, que se ubica a 200 metros del proyecto.

A lo largo del recorrido por el trayecto hubo varios aspectos que debieron ser tomados en cuenta como elementos socioeconómicos, tales son:

- casas por todo el recorrido, unas están juntas y otras separadas;
- algunos tramos despoblados, pero dedicados al cultivo de la caña de azúcar;
- ventas de abarrotes tipo pulpería;
- un bazar;
- tres centros religiosos (uno católico en Rincón de Salas Sur, uno cristiano en Rincón de Salas Sur y otro católico en Rincón de Salas Centro);
- un predio para el estacionamiento de camiones de carga.

La empresa de autobuses Pegonza brinda el servicio de transporte de pasajeros desde la Fanal hasta el centro de Grecia de lunes a viernes. El primer autobús sale de la Fanal a las 4:50 a.m. y de Grecia a las 5:35 a.m. El último bus sale de la Fanal a las 9:15 p.m. y de Grecia a las 10:00 p.m. Esto genera un total de 19 carreras en cada sentido; los sábados realizan 15, los domingos 10 y los días feriados 9 (Directorio 506, s.f.).

Existe un excelente suministro de agua potable provisto por la asada de Puente de Piedra, que tiene un total de 2 571 abonados, de los cuales 794 son beneficiados directos del proyecto. Su horario de atención es de lunes a jueves de 7 a.m. a 12 p.m. y de 1 p.m. a 5 p.m.; los viernes de 7 a.m. a 12 p.m. y de 1 p.m. a 3 p.m. (información obtenida de iEthel Salazar, asistente administrativa de la Asada).

La Fábrica Nacional de Licores (Fanal) cuenta con un bus para el traslado de empleados, el cual ingresa a las 7:30 a.m. y regresa a las 3:55 p.m. En este lugar laboran doscientas personas y diariamente ingresan cuatro cisternas para el transporte de alcohol, así como un búnker todo el día durante dos semanas al mes. Los proveedores ingresan de manera continua: diez camiones por día en la temporada menos productiva, pero esta cifra puede aumentar hasta

cincuenta camiones por día, especialmente debido a la situación de emergencia provocada por la COVID-19 (información obtenida de Ronald Arias, Sección Administrativa de la Fanal).

En Rincón de Salas Sur hay un albergue para la atención de menores de edad en condición de abandono o vulnerabilidad social denominado Manitas Unidas. Actualmente, allí se atienden a quince personas en edades que van desde recién nacidos hasta los doce años. Este albergue es dirigido por cuatro mujeres conocidas como “tías” y el presidente de la Asociación Manos Unidas de Grecia, quien asume funciones administrativas. Dos veces por semana se presentan: una profesora, una psicóloga y una trabajadora social; tres veces al mes se cuenta con la visita de funcionarios del PANI de Alajuela y de Grecia; y cada quince días llega un camión con alimentos. En algunos casos se reciben visitas los sábados (Carlos Alberto Rodríguez, presidente de la junta directiva de Manos Unidas Grecia).

En dicha localidad se encuentra el Centro Educativo denominado Escuela Rafael Ángel Calderón Guardia, el cual tiene una población de 86 estudiantes, de los cuales 32 son hombres y 54 son mujeres, mientras que el personal docente y administrativo está conformado por 19 funcionarios; todo esto para un total de 105 personas que asisten diariamente a las instalaciones educativas. La mayoría de los estudiantes son trasladados en dos busetas que llegan dos veces al día y hay solo ocho estudiantes que son trasladados en carro particular. El horario es de lunes a viernes, desde las 7:00 a.m. hasta las 12:50 p.m.

En Rincón de Salas Centro existe un edificio para los Equipos Básicos de Atención Integral (Ebais), cuyo horario es el siguiente: lunes a jueves de 7 a.m. a 4 p.m. y viernes 7 a.m. a 3 p.m. El personal está compuesto por un médico, un enfermero, un ATAP, un técnico en estadísticas de salud, un encargado de limpieza y un técnico en farmacia, es decir, seis personas. Se atienden treinta y dos personas al día quienes van constantemente por medicamentos. Los martes se toman las muestras de sangre para el laboratorio a veinticinco personas (información obtenida de Elizabeth Gatgens, asistente administrativa).

En esta localidad se encuentra el centro educativo Escuela María Teresa Obregón, que tiene

una población de 206 estudiantes: 102 hombres y 104 mujeres. El personal docente y administrativo está compuesto por 29 funcionarios, lo que suma 235 personas. Además, por la noche, se imparten lecciones a 62 estudiantes de población adulta, 28 hombres y 34 mujeres, para un total de 297 personas que asisten diariamente a las instalaciones educativas. La mayoría de los estudiantes son trasladados en un bus y una buseta que realizan varios viajes. El horario diurno es de lunes a viernes, desde las 7:00 a.m. hasta las 2:20 p.m., mientras que el nocturno es lunes, miércoles y jueves, desde las 6:00 p.m. hasta las 9:00 p.m.

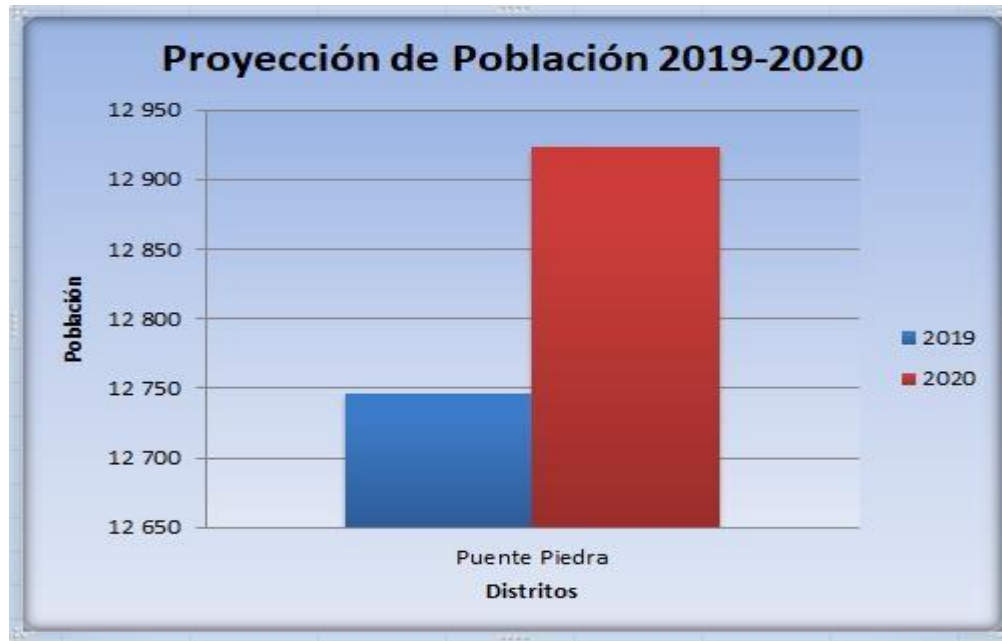
Asimismo, en Rincón de Salas Centro también se ubica otro Centro Educativo denominado Liceo de Puente de Piedra, cuya población es de 630 estudiantes, de los cuales 311 son hombres y 319 son mujeres. El personal docente y administrativo consta de 62 personas, para un total de 692 que asisten a las instalaciones educativas. La mayoría de los estudiantes son trasladados en seis buses y una buseta que ingresan por la mañana, a la salida y, algunas veces, al mediodía. El horario es de doble jornada, de lunes a viernes, desde las 7:00 a.m. hasta las 11:50 a.m. y de 12:00 p.m. hasta las 4:20 p.m.

La particularidad de ser un tramo compuesto por dos calles cantonales, que, a su vez, son atravesadas por dos rutas nacionales, hace que dichas rutas sean también rutas alternas al camino. La ventaja es que estas rutas alternas proporcionan conectividad con los centros de población más importantes para los vecinos de las comunidades. Se trata de las rutas N 001 y N 117, cuyas condiciones se pueden catalogar de buenas a excelentes. Los datos mencionados brindan la seguridad de que, sobre la marcha del proyecto, las incomodidades para los vecinos serán muy pocas y de solución rápida.

En este trayecto existen dos condominios: Valle de las flores, que cuenta con 42 viviendas, 64 vehículos y 98 habitantes (información obtenida de Emanuel Delgado Murillo, administrador del condominio Valle de las Flores), y Vista del Sol con 41 viviendas, 57 vehículos y 106 habitantes (información obtenida de Josué Hernández, administrador del condominio Vista del Sol).

Gráfico 1

Proyecciones de población 2019-2020 por distrito



Fuente. Chaverri (2020)

2.1.10 Contexto socioeconómico del proyecto

El trayecto por mejorar es un lugar rural ubicado entre los poblados de Rincón de Salas Sur, Rincón de Salas Centro y una parte de la localidad de Puente de Piedra. Además de ser una ruta de conectividad, este trayecto es una ruta alterna y tiene una menor longitud que la recorrida por los usuarios que se desplazan hacia Alajuela desde San José y viceversa, de manera que el camino es de alta transitividad, especialmente en horas pico.

A lo largo del trayecto se pueden apreciar algunos sitios con actividad económica como la Fábrica Nacional de Licores, la cual —además de producir licores y alcohol— proporciona una gran cantidad de empleos; la estación de servicio Dinamo; y las fincas sembradas en su mayoría de caña de azúcar, ya que existe un ingenio azucarero cerca del proyecto, una fuente de trabajo para una gran cantidad de la población. Por su parte, la actividad comercial se limita a tres pulperías, un bazar y un taller electromotriz, junto con muchos vecinos que laboran en los centros de población de la GAM.

2.2 Impactos identificados para la etapa de ejecución de obras

2.2.1 Impactos generales producto del proceso constructivo

Estos impactos fueron identificados de acuerdo con las actividades constructivas típicas para el mejoramiento y la rehabilitación de obras viales cantonales, además de lo descrito en el perfil del proyecto y el recorrido realizado durante la visita de campo.

A continuación, las medidas que se aplican a los impactos identificados, las cuales se presentan en el PGAS de construcción:

- emisiones de gases y partículas (procedentes de fuentes móviles y fijas);
- generación de polvo o barro;
- generación de ruidos o vibraciones por la operación de maquinaria y equipo;

- contaminación de cuerpos de agua por hidrocarburos;
- generación de residuos sólidos ordinarios;
- conflictos sociales (incomodidades a los residentes y los establecimientos de la zona);
- erosión y arrastre de partículas a cuerpos de agua, redes de alcantarillado o corrientes superficiales;
- generación de escombros;
- generación de empleo.

2.2.3 Impactos identificados en la visita de campo

Como resultado del recorrido también se evidenciaron los siguientes aspectos:

- La descarga de aguas residuales al drenaje de aguas pluviales, situación que será manejada por parte del Gobierno local de Grecia (Promoción Social e Ingeniería), en conjunto con las autoridades del Ministerio de Salud y los líderes comunales, para la identificación, la notificación y la clausura de estos desfogues. Lo anterior debido a que el desfogue puede tener afectaciones a la salud pública por el estancamiento de estas aguas, pues generaría la proliferación de vectores como el mosquito *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (transmisores de los virus que causan enfermedades como el dengue, el Zika y la Chikungunya), entre otros problemas de salud pública.
- La necesidad de implementar losas tipo pasarela en tres sitios específicos donde hay cajas de registro y el peatón debe caminar por la superficie de riego, pues esto es parte de las medidas para la seguridad vial.
- La disposición de residuos sólidos vertidos en algunos puntos del camino, específicamente en el tramo comprendido entre la Fanal y Rincón de Salas Centro. En este caso, se recomienda coordinar la recolección de dichos residuos, así como establecer un trabajo de sensibilización con la comunidad.
- Algunos postes de alumbrado público que deben reubicarse, por lo cual, se

recomienda que se realicen las gestiones necesarias con el proveedor de los servicios eléctricos.

- La necesidad, en relación con la cobertura vegetal, de coordinar el descuaje de los árboles en algunos sectores. Cuando los árboles se encuentren en propiedad privada, dicha coordinación deberá hacerse con los propietarios. Otro aspecto importante en relación con la cobertura es que, ante un riesgo potencial por la cercanía a las líneas de tendido eléctrico, el descuaje se llevará a cabo junto con el ICE.
- La inestabilidad de suelos por un conocido deslizamiento. Según el criterio técnico, se debe valorar el tipo de intervención y evidencia la solución en el diseño final del proyecto.

2.2.4 Medidas

Las medidas ambientales son una serie de actividades o procedimientos cuyo objetivo es evitar, prevenir y mitigar los impactos negativos provocados por las actividades del proyecto durante las etapas de construcción y operación. El responsable de ejecutar las medidas ambientales de la construcción (incluidas en el cartel de licitación) es el contratista, supervisado por el equipo socioambiental de la municipalidad o por quien esta designe para darle un estrecho seguimiento a todas las operaciones constructivas.

Capítulo III

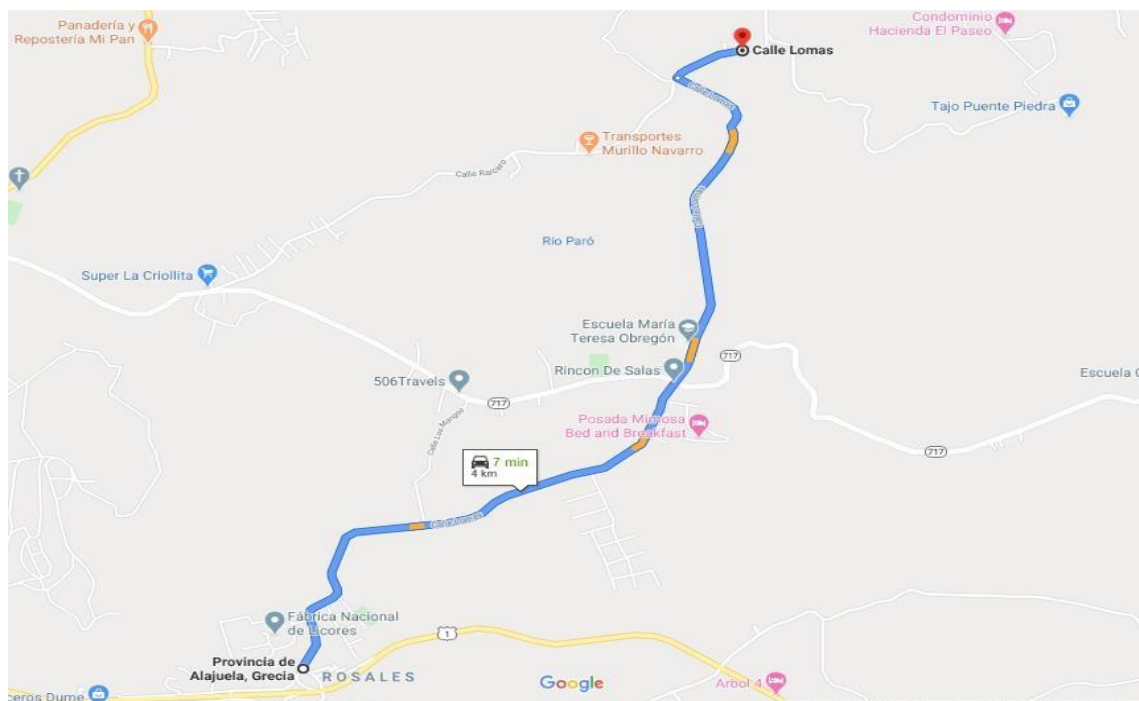
3.1 Marco metodológico

3.1.1 Metodología

El presente proyecto corresponde a la ruta cantonal denominada Calle Puente de Piedra, ubicada en el distrito Puente de Piedra, cantón de Grecia, provincia de Alajuela. La calle consta de 7,5 km de longitud y en este proyecto se diseñó un tramo de 2,5 km. La ruta iniciará desde la Fanal hasta el entronque con la Ruta Nacional 717. Esta sección se caracteriza por tener una superficie de ruedo protegida de dos carriles, así como un alto índice de deterioro superficial. Además, la zona se destaca por la producción industrial, especialmente de la Fanal, y el tránsito de vehículos particulares y buses. El mapa 10 muestra la ubicación de la ruta que se desea intervenir.

Mapa 10

Localización del camino



Fuente. Chaverri(2020).

Con base en las visitas realizadas al tramo a diseñar, se pudo evidenciar una cantidad significativa de depresiones en la superficie de riego en donde se acumula el agua de lluvia, las cuales son producto de la alta erosión de los materiales granulares debido a la alta tasa de lluvias que gobierna la zona. Además, fue posible observar la carencia de sistemas de evacuación adecuados tales como cunetas, que son claves para el transporte del agua hacia los sistemas de alcantarillado, lo que actualmente impide la evacuación del agua y provoca un deterioro acelerado del pavimento existente. La superficie de riego ha perdido la pendiente que le permitía transportar el agua a los escasos elementos de cuneta existentes, así como la regularidad superficial adecuada que garantizaba el confort de los usuarios.

De acuerdo con los resultados de estudios exploratorios realizados recientemente en el proyecto, se identificó la presencia de una subrasante categorizada como un limo de alta plasticidad (MH), según la clasificación SUCS. Los valores de CBR percentil 90 correspondieron al 4,10 %. La alta deformabilidad y la limitada capacidad de este material se deriva en estructuras de pavimento muy susceptibles a la deformación permanente a nivel de subrasante bajo el tránsito de cargas pesadas. El tipo de suelo identificado coincide con aquel que se esperaría en la zona, dada su alta producción agrícola.

En una visita realizada el 6 de febrero del 2020 fue posible demostrar la presencia de una gran cantidad de bacheos en estado regular; cuero de lagarto de severidad baja, moderada y alta; y agrietamientos de borde debido a la falta de elementos de confinamiento y la pérdida de durabilidad de la capa asfáltica existente. Todas estas patologías son indicadores de que la estructura de pavimento existente debe ser atendida mediante una rehabilitación a nivel de las capas granulares, la cual permita incrementar su servicio, tanto a nivel estructural como a nivel funcional.

Las patologías mencionadas anteriormente se dan debido a la poca robustez de la estructura existente en términos de espesores, la pérdida de rigidez de los materiales existentes, así como a la falta de elementos de confinamiento y un sistema de evacuación de aguas de escorrentía con capacidad de evacuar el agua del pavimento en el menor tiempo posible. De esta forma, se propusieron dos diseños diferenciados, uno por sección, según la sectorización

realizada por tránsito, pero ambos bajo la metodología de recuperación y estabilización con cemento hidráulico, añadiendo una porción de material virgen y una nueva capa de rodadura con mezcla asfáltica.

Las propuestas contenidas en el presente estudio pretenden dimensionar una estructura de pavimento con una capacidad suficiente para acarrear los esfuerzos producto de las cargas vehiculares y los efectos de expansión y contracción del suelo/subrasante, que pueden ser causantes de deformaciones y hundimientos a corto plazo. La sectorización mencionada buscó optimizar las intervenciones desde el punto de vista económico, pero manteniendo el desempeño mecánico y funcional del pavimento para un período de diseño de quince años. Se proponen dos estructuras (una por sección) de pavimento para la ruta cantonal Calle Puente Piedra, para lo cual se consideraron criterios empíricos y mecanicistas, que permitieron concluir sobre la factibilidad de dicha propuesta para proveer una estructura capaz de desempeñarse adecuadamente durante un período determinado (diez años y quince años) y predecir su comportamiento ante condiciones de carga y condiciones ambientales locales.

El análisis mecanicista realizado indica que las estructuras de pavimento semirrígido, propuestas en los cuadros 1 y 2, son capaces de reducir significativamente las deflexiones verticales resultantes en la fibra superior de la subrasante y las deflexiones horizontales por tensión en la fibra inferior de la capa asfáltica. Esto permitió concluir que la sección transversal se desempeñará de manera adecuada ante el fenómeno de la deformación permanente a corto plazo y la fatiga de la capa asfáltica a largo plazo.

Se estima que, desde mayo a noviembre, se tendrán los meses más lluviosos del año y, de diciembre a abril, habrá los días con menor lluvia. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta que la ruta estará expuesta a condiciones lluviosas importantes, las cuales son necesarias de considerar a la hora del dimensionamiento de las capas. Bajo estas condiciones, las que más sufren son las capas compuestas por materiales granulares, así como la subrasante, puesto que sus propiedades físicas y mecánicas son muy susceptibles a la humedad. Se puede concluir que, de mayo a noviembre, se presentará la mayor reducción del módulo resiliente

de la subrasante, mientras que ocurrirá el caso opuesto en los restantes meses. Por ello, resulta fundamental mencionar que el desempeño adecuado de la estructura de pavimento está ligado directamente a la capacidad real de los drenajes superficiales y subsuperficiales para minimizar la presencia de agua en las capas granulares.

Cuadro 1

Espesores Ruta Cantonal Calle Puente Piedra, periodo de diseño de 10 años

Capa	Espesor de capas de pavimento convencional, cm
Capa asfáltica	9,0
Base estabilizada BE-25	25,0
Subbase granular existente	15,0

Cuadro 2

Espesores Ruta Cantonal Calle Puente Piedra, periodo de diseño de 15 años

Capa	Espesor de capas de pavimento convencional, cm
Capa asfáltica	9,5
Base estabilizada BE-25	28,0
Subbase granular existente	15,0

Estimaciones de tránsito y cálculo de ejes equivalentes de diseño (Ndiseño)

Para la estimación de los ejes equivalentes de diseño se utilizó el software ITP-ESAL, creado para tales fines, así como la información recabada mediante los conteos vehiculares realizados por Ingeniería Técnica de Proyectos (ITP) en Calle Puente Piedra.

Tránsito promedio diario anual (TPD)

El tránsito promedio diario (en adelante TPD) fue obtenido mediante los conteos vehiculares realizados en Calle Puente de Piedra los días 6, 8 y 11 de noviembre del 2021, en horarios de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Al haber un entronque con una ruta nacional, se hicieron dos conteos

por aparte, uno en cada sección. El cuadro 3 muestra los resultados obtenidos en cada una de las secciones:

Cuadro 3

Resumen de conteos vehiculares Calle Puente Piedra, tramo 1

Día	Liviano	Carga liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros	TOTAL
6/05/2021	1547	446	119	131	16	0	2	27	4	2292
8/05/2021	1664	484	106	147	47	0	4	15	2	2469
11/05/2021	1673	490	144	176	23	0	4	20	4	2534
Promedio	1628	473	123	151	29	0	3	21	3	2432
Máximo (TPD a utilizar)	1628	473	123	151	29	0	3	21	3	2432
Factor de expansión	20 %									
TPD amplificado	1954	568	148	182	34	0	4	25	4	2919
% frecuencia	66,94 %	19,46 %	5,07 %	6,24 %	1,16 %	0,0 %	0,14 %	0,86 %	0,14 %	100,0 %

Una vez que se recopilaron los datos de cantidad y tipo de vehículo por día, se tomó el valor máximo reportado para cada vehículo durante los tres días de conteo. Esto con el fin de realizar el dimensionamiento del pavimento bajo una condición más crítica de carga y tránsito.

Luego, se decidió incrementar en un 20 % la cantidad de vehículos por tipo debido a que en el TPD actual no está contemplado que, una vez que la ruta sea intervenida y se levanten las restricciones sanitarias al tránsito por la pandemia de la COVID-19, una mayor cantidad de usuarios empezará a utilizar la ruta con más frecuencia. Dicha situación provocará un aumento teórico en el valor de TPD actual asumido de un 20%. Con base en lo anterior, se pudo determinar un TPD al 2021 de 2919 vehículos por día para el tramo 1, mientras que, para la estimación de los ejes equivalentes de diseño, se consideró un período de diseño de diez años y de quince años a partir del 2022 (año tentativo para la construcción del proyecto).

Generalmente, los índices de crecimiento o decrecimiento anual del tráfico para cada tipo de vehículo se obtienen de las regresiones históricas basadas en datos de TPD previos (al menos cinco años antes de la fecha del diseño), las cuales permiten describir el comportamiento anual del volumen del tráfico en una ruta específica. Dado que para esta ruta no se contaba con tal información, se decidió tomar el índice de crecimiento anual estimado de 4,0 %, recomendado por Lanamme UCR en su artículo: “Desarrollo de una guía de diseño para pavimentos de bajo volumen de tránsito en Costa Rica” (Leiva-Villacorta, 2008). Dicho índice fue aplicado para proyectar el crecimiento vehicular de cada tipo de vehículo, pues no se contaba con un índice de este tipo. Se asumió “un crecimiento”, pues corresponde a una ruta conectada con la Ruta Nacional 717, que aumentaría su uso con la futura construcción de las obras viales impostergables (OVIS) sobre la Ruta Nacional No. 1.

Composición vehicular actual de la ruta cantonal Calle Puente de Piedra

La composición porcentual del tránsito vehicular adoptada para el diseño, tomando como base los conteos realizados, se muestra en el cuadro 4:

Cuadro 4

Ruta cantonal Calle Puente de Piedra

Composición vehicular								
Estación No.	% livianos	% carga liviana	% buses	% C2	% C3	% T3-S3	% T3-S2	Otros
1	31,1 %	30,4 %	17,6 %	11,4 %	1,1 %	1,1 %	6,6 %	0,7 %

Factores equivalentes de carga y factores camión

Debido a la ausencia de información sobre los tipos de eje y las magnitudes de carga por eje para los vehículos característicos de la ruta, no fue posible determinar los ejes equivalentes de carga y los factores camión calibrados para el tráfico de la ruta. Por esta razón, se utilizaron los factores camión recomendados por el Consejo Nacional de Vialidad (en adelante Conavi),

de conformidad con los lineamientos y las directrices emitidos por el Despacho del viceministro de Obras Públicas, mediante el Oficio No. DVOP-5170-07 del 10 de septiembre del 2007. El cuadro 5 muestra dichos factores.

Cuadro 5

Factores camión Oficio No. DVOP-5170-07 - MOPT

Tipo de vehículo	Factor camión
Livianos	0,004
Bus	2,290
Carga liviana	0,020
Camión C2	0,630
Camión C3	1,280
Camión C-4*	1,000
Camión T3-S2	2,380
Camión T3-S3**	2,490
Chapulines	0,0014

Nota. *Información tomada de *Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico-empíricos* (Lanamme UCR, octubre 2014). ***Incidencia de las estaciones de pesaje móvil en los factores camión en pavimentos de Costa Rica* (Lanamme UCR, 2007).

Para todos los tipos de vehículos se seleccionaron los valores máximos recomendados. La razón para aumentar los valores del “factor camión” es la poca cantidad de controles de los camiones pesados que circulan con sobrepeso en las vías nacionales y cantonales.

De acuerdo con los datos suministrados por los conteos vehiculares, se registró el paso de tractores o chapulines catalogados como “Otros”, por lo que se debieron estimar sus pesos mediante las especificaciones técnicas de un tractor John Deere Serie 5E, vendido por Matra Costa Rica, el cual se incluyó dentro de esta categoría. El factor camión obtenido fue de 0,00144, por debajo del 0,004 correspondiente a vehículos livianos. A continuación, se muestra el cálculo de dicho factor:

Cuadro 6

Estimación del factor camión para tractores

	Por vehículo	Por eje
Peso del tractor	2 500 kg	1 250 kg
	5 511,6 lb	2 755,8 lb
	EALF* (3 000 lb)=	0,00072
	Factor camión**=	0,00144

Nota. *Equivalent Axle Load Factor (Tabla 6.4., Huang, 2004). ** Calculado como la suma de los EALF de todos los ejes del vehículo.

Ejes equivalentes del diseño

El cuadro 7 presenta un resumen de los ejes equivalentes de diseño (Ndiseño), los cuales fueron estandarizados a un eje patrón simple de 18 000 lb para períodos de diseño de diez y quince años. El apéndice 2 presenta la memoria de cálculo que llevó a la determinación de los Ndiseño.

Cuadro 7

Ruta Cantonal Calle Puente de Piedra. Ejes equivalentes de diseño a diferentes periodos de diseño y ambos tramos

Sección	Año base	F. carril	F. sentido	Período de diseño	ESAL's diseño
Tramo 1	2021	1,0	0,5	10 años	1 282 987
Tramo 1	2021	1,0	0,5	15 años	2 140 478

Definición del índice de “serviciabilidad” final y el nivel de confiabilidad del diseño

El nivel de confianza y el nivel de servicio terminal fueron seleccionados de conformidad con la directriz del despacho del Sr. viceministro de Obras Públicas, DVOP-5170-07, del 10 de septiembre del 2007, de acuerdo con la clasificación de la vía (incluida dentro de categoría terciaria) y el tránsito promedio diario (más de 2 000). Dicha directriz se resume en el siguiente cuadro:

Cuadro 8

Definición de nivel de confianza % R-índice de serviciabilidad terminal (PSI)

Zona	TPD	Nivel de confianza %	Índice de servicio terminal (PSI)
Rutas primarias	Menor a 500	75	2,0
	Entre 500 y 2 000	85	2,5
	Mayor de 2 000	90	2,5
Rutas secundarias	Menor a 500	70	2,0
	Entre 500 y 2 000	80	2,0
	Mayor de 2 000	85	2,5
Rutas terciarias	Menor a 500	70	2,0
	Entre 500 y 2 000	75	2,0
	Mayor de 2 000	80	2,0

Evaluación del pavimento existente

Como parte de la evaluación del pavimento, se procedió a realizar un estudio en el campo y el laboratorio para determinar los rasgos del material existente en la base /subbase granular existente y la subrasante. Dicho estudio fue esencial para definir la capacidad requerida por la estructura de pavimento (en términos del número estructural) y así proteger a la subrasante existente de esfuerzos y deformaciones verticales excesivas. La localización de los puntos de recolección de las muestras fue llevada a cabo según los requerimientos contractuales, los cuales exigen la toma de muestras a cada 250 m para la caracterización de los materiales en el laboratorio, junto con la determinación de los espesores, la clasificación

visual y la determinación de la densidad en sitio con cono de arena (ASTM D-1556) en cada sondeo. Una vez que los puntos fueron ubicados, se procedió a la evaluación de las capas.

Mapa 11

Ubicación de sondeos



Evaluación de la capa granular existente y subrasante

Para evaluar el material que compone la estructura existente, así como el material de subrasante, se determinaron los espesores de cada capa existente (en el caso de la base y la subbase granular) y se obtuvieron muestras para su caracterización en el laboratorio. El cuadro 9 expone la lista de los ensayos aplicados.

Los cuadros 10, 11, 12 y 13 muestran los resultados de los sondeos, así como su interpretación.

Cuadro 10

Valores de CBR para materiales existentes y subrasante de Calle Puente Piedra

Sondeo	Base granular / Base estabilizada	Subbase granular	Material de relleno	Subrasante 1	Subrasante 2
1	84	70	---	1,2	1,0
2	92	55	---	4,3	1,0
3	77	14	---	5,7	---

Cuadro 11

Valores de CBR para materiales existentes y subrasante de Calle Puente Piedra

Sondeo	Base granular / Base estabilizada	Subbase granular	Material de relleno	Subrasante 1	Subrasante 2
4	74	40	---	4,0	---
5	70	44	---	3,8	---
6	64	41	58,0	6,0	---
7	51	65	40,0	6,0	---
8	51	58	57,0	5,7	---
Promedio	70	48	52	4,6	1,0
Percentil 90th	51	32	43	3,0	1,0
Mínimo	51	14	40	1,2	1,0

Cuadro 12

Valores de CBR para materiales existentes y subrasante de Calle Puente Piedra

Sondeo	Base granular / Base estabilizada	Subbase granular	Material de relleno	Subrasante 1	Subrasante 2
9	55	---	---	5,4	5,4
10	46	43	---	8,3	---
11	54	40	---	7,4	---
12	92	68,0	7,0	---	---
13	85	74	73,0	5,4	---
14	84	70,0	5,5	---	---

15	95	---	---	5,7	---
16	92	72	---	5,4	4,9
Promedio	75	61	29	6,3	5,2
Percentil 90th	52	42	6	5,4	5,0
Mínimo	46	40	6	5,4	4,9

Cuadro 13*Valores de espesores para materiales existentes de Calle Puente Piedra*

Sondeo	Carpeta asfáltica(cm)	Base granular /Base estabilizada (cm)	Subbase granular (cm)	Préstamo (cm)	Total (cm)
1	8,0	5,0	30,0	---	43,0
2	9,0	10,0	25,0	---	44,0
3	10,0	25,0	30,0	---	65,0
4	10,0	19,0	10,0	---	39,0
5	5,0	10,0	10,0	---	25,0
6	3,5	20,0	10,0	8,0	41,5
7	5,0	7,0	17,0	15,0	44,0
8	5,0	19,0	10,0	10,0	44,0
Promedio	7,0	14,0	18,0	11,0	43,0
Percentil 90th	5,0	6,0	10,0	8,0	35,0
Mínimo	3,5	5,0	10,0	8,0	25,0

Cuadro 14*Valores de espesores para materiales existentes de Calle Puente Piedra*

Sondeo	Carpeta asfáltica (cm)	Base granular / Base estabilizada (cm)	Subbase granular (cm)	Préstamo (cm)	Total (cm)
9	5,0	10,0	---	---	15,0
10	5,0	11,0	15,0	---	31,0
11	5,0	10,0	10,0	---	25,0
12	10,0	10,0	5,0	---	25,0
13	10,0	15,0	10,0	10,0	45,0
14	8,0	10,0	15,0	---	33,0
15	6,0	30,0	---	---	36,0
16	5,0	15,0	25,0	---	45,0
Promedio	7,0	14,0	13,0	10,0	32,0
Percentil 90th	5,0	10,0	8,0	10,0	22,0
Mínimo	5,0	10,0	5,0	10,0	15,0

Por su parte, el cuadro 15 muestra las densidades secas y el contenido de humedad de la subrasante encontrada en cada sondeo, los cuales fueron determinados por medio del ensayo de cono de arena, según ASTM D-1556, y de su comparación con la densidad seca máxima obtenida del ensayo Proctor.

Cuadro 15

Densidad seca en sitio de la subrasante y contenido de humedad

Sondeo	Densidad secamáxima Proctor (kg/m ³)	Humeda óptima (%)	Densidad seca in situ (kg/m ³)	Humedad insitu (%)	Compactación (%)
1	1341	25,4	1194	45,8	89,0%
2	1341	26,5	1116	34,0	83,2%
3	1294	32,7	990	47,9	76,5%
4	1420	29,2	1162	30,7	81,8%
5	1439	28,7	972	45,2	67,5%
6	1417	28,4	1019	45,8	71,9%
7	1417	28,4	1101	43,7	77,7%
8	1263	33,0	1191	31,2	94,3%
9	1298	32,9	929	47,8	71,6%
10	1295	37,1	927	47,6	71,6%
11	1272	38,3	1171	34,3	92,1%
12	1280	38,1	1114	55,1	87,0%
13	1400	29,8	1061	28,0	75,8%
14	1177	45,1	1054	44,0	89,5%
15	1240	42,7	900	54,1	72,6%
16	1230	43,6	1021	37,7	83,0%

Base granular existente

En el caso de la base granular, se puede observar que los datos se encontraron bastante dispersos, con valores de CBR entre 46 % y 95 %. Con respecto al límite líquido y plástico, la porción fina del material presentó un comportamiento no plástico en todos los puntos evaluados. Los resultados de los ensayos de compactación del laboratorio indicaron un material de una densidad desde 1445 kg/m³ hasta 1928 kg/m³ en las dieciséis estaciones evaluadas y una humedad óptima característica para este tipo de materiales. En cuanto a los criterios de clasificación del material, se pudo categorizar como un material A-1-a o

A-1-b en la mayoría de las estaciones. Sobre los espesores de la capa de base granular existente, estos oscilaron entre 5 cm y 30 cm. Para considerar esta gran variabilidad, se optó por utilizar el percentil 90 en las zonas donde la capa era muy delgada, con el objetivo de una eventual recuperación y estabilización del material.

Subbase granular existente

En el caso de la subbase granular, aproximadamente el 90 % de los datos estuvieron por encima de un valor de CBR de 32,0 % para el tramo 1 y de 49 % para el tramo 2. Con respecto al límite líquido y plástico, se puede observar que la porción fina del material presentó un comportamiento plástico en todos los puntos evaluados. Los resultados de los ensayos de compactación de laboratorio indicaron un material de una densidad variable, entre 1552 kg/m³ y 1930 kg/m³, en las estaciones evaluadas y una humedad óptima característica para este tipo de materiales. En cuanto a los criterios de clasificación del material, se pudo categorizar como uno A-1-b en la mayoría de las estaciones, pero con zonas en donde era A-2-4 y A-2-6 hasta A-7-6, siendo este último un material malo para la construcción de vías. Sobre los espesores de la capa de subbase granular existente, estos oscilaron entre 14 cm y 70 cm, lo cual demuestra una gran heterogeneidad en cuanto a los espesores de la subbase a lo largo del tramo. En el caso del CBR de diseño, se utilizó el valor de los percentiles 90 de cada caso.

Subrasante

Finalmente, el material de subrasante en el proyecto se clasificó como suelos A-7-5 y A-7-6 en todas las estaciones evaluadas. El promedio de resultados de CBR mostró un valor de 4,60 % y 6,30 % para los tramos 1 y 2, respectivamente, mientras que el 90 % de los datos obtenidos se encuentran por encima de 3,00 % y 5,40 % para los mismos tramos. Esto permitió categorizar la subrasante existente como una con malas características mecánicas. En el caso del CBR de diseño, se utilizó el valor de percentil 90 de cada caso. Las densidades obtenidas con el cono de arena abarcaron el rango entre 1230 kg/m³ y

1439 kg/m³. Son densidades bajas características de estos materiales, las cuales confirman la mala calidad del suelo.

Nivel freático

Durante los sondeos, no se identificaron niveles freáticos dentro de las profundidades evaluadas.

Valores de Laboratorio

Sondeo 1 0+000								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	8,0							
Base granular	5,0	62/49/32/17	NP	NP	1638	17,2	84	A-1-b
Subbase granular	30,0	57/44/29/15	30,8	7,8	1656	16,4	70	A-2-4
Subrasante 1	30,0	91/90/87/82,9	49,7	20,9	1341	25,4	1	A-7-6
Subrasante 2	-	99/98/98/95,2	70,8	33,2	1210	34,3	1	A-7-5

Sondeo 2 0+250								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	9,0							
Base granular	10,0	68/53/33/17,7	NP	NP	1670	16	92	A-1-b
Subbase granular	25,0	60/51/34/25,4	35,2	8,7	1588,0	18,3	55	A-2-4
Subrasante 1	70,0	94/90/79/68,2	50,3	22,7	1341,0	26,5	4	A-7-5
Subrasante 2	-	100/100/99/97,2	71,3	36,7	1164	35,2	1	A-7-5

Sondeo 3 0+500								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	10,0							
Base granular	25,0	59/47/31/18,7	NP	NP	1576	18,7	77	A-1-b
Subbase granular	30,0	65/58/48/39,5	42,7	18,2	1552	23,2	14	A-7-6
Subrasante	-	96/95/92/87,3	70,4	34,0	1294,0	32,7	6	A-7-5

Sondeo 4 0+750								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	10,0							
Base granular	19,0	55/40/29/16,2	NP	NP	1598	19,4	74	A-1-b
Subbase granular	10,0	48/41/32/23,2	35,2	12,6	1734	14,8	40	A-2-6
Subrasante	-	86/82/77/67,1	48,2	20,1	1420	29,2	4	A-7-6

Valores de Laboratorio

Sondeo 5 1+000								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	5,0							
Base granular	10,0	49/38/25/13,7	NP	NP	1665	20,1	70	A-1-a
Subbase granular	10,0	56/44/31/20,1	27,7	4,1	1647	9,8	44	A-1-b
Subrasante	-	86/82/76/66,7	47,1	18,5	1439	28,7	4	A-7-6

Sondeo 6 1+250								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	3,5							
Base granular	20,0	39/30/19/10,0	NP	NP	1445	15,2	64	A-1-a
Subbase granular	10,0	69/59/34/17,6	26,0	4,1	1954	12,4	41	A-1-b
Material de relleno	8,0	45/37/24/12,6	NP	NP	1848	10,3	58	A-1-a
Subrasante	-	92/92/86/78,2	47	18,6	1417	28,4	6	A-7-6

Sondeo 7 1+500								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	5,0							
Base granular	7,0	51/41/28/13,7	NP	NP	1829	11,1	51	A-1-a
Subbase granular	17,0	55/45/30/16,1	25,9	5,7	1918	11,3	65	A-1-b
Material de relleno	15,0	43/36/25/15,9	28,7	4,3	1772	14,7	40	A-1-b
Subrasante	-	88/86/84/79,4	63,9	24,5	1218	33,1	6	A-7-5

Sondeo 8 1+750								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	5,0							
Base granular	19,0	50/40/27/13,1	NP	NP	1850	11,1	51	A-1-a
Subbase granular	10,0	55/45/29/15,7	26,1	5,9	1930	12	58	A-1-b
Material de relleno	10,0	45/36/24/11,7	NP	NP	1823	11,3	57	A-1-a
Subrasante	-	85/82/74/63,7	55,8	22,1	1263	33	6	A-7-5

Valores de Laboratorio

Sondeo 9 2+000								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	5,0							
Base granular	10,0	51/42/27/13,2	NP	NP	1848	11,1	55	A-1-a
Subrasante 1	40,0	85/82/73/63,5	54,2	18,9	1298	32,9	5	A-7-5
Subrasante 2	-	84/81/73/63,0	55,5	19,4	1279	32,6	5	A-7-5

Sondeo 10 2+250								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	5,0							
Base granular	11,0	50/41/27/12,9	NP	NP	1842	11,5	46	A-1-a
Subbase granular	15,0	59/50/36/21,4	29,8	6,7	1840,0	13,4	43	A-1-b
Subrasante	-	100/100/94/82,3	56,4	18	1295	37,1	8	A-7-5

Sondeo 11 2+500								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m³)	% Humedad óptima	CBR %	Clasificación de suelos AASHTO
MAC	5,0							
Base granular	10,0	51/41/27/11,9	NP	NP	1850	11,6	54	A-1-a
Subbase granular	10,0	58/49/35/20,4	29,2	5,3	1851,0	13,9	40	A-1-b
Subrasante	-	98/98/92/79,6	57,5	19,2	1272	38,3	7	A-7-5

Determinación del módulo resiliente efectivo de la subrasante

Durante el dimensionamiento de una estructura de pavimento es de suma importancia considerar los efectos de los cambios estacionarios (época lluviosa-seca) sobre el módulo resiliente de la subrasante. Al ser un material altamente susceptible a la humedad, su respuesta en términos de esfuerzos y deformaciones varía dependiendo de la época del año. También son relevantes los resultados de CBR para diferentes épocas y su procesamiento, de manera que se obtenga el módulo resiliente efectivo de la subrasante a utilizar en el diseño. Se debe tomar en cuenta que se empleó la correlación $M_r = 1500 * CBR$ aplicable para suelos de subrasante (Sieca, 2010).

Se hace la suposición de que los meses más lluviosos comprenderán de mayo a octubre (más de veinte días de lluvia al mes) y, de noviembre a abril, los más secos (ver cuadro 16). Por lo tanto, se debe tomar en cuenta que la ruta estará expuesta a condiciones lluviosas importantes que deben ser consideradas a la hora del dimensionamiento de las capas.

Bajo estas circunstancias, las capas compuestas por materiales granulares y la subrasante serán las más afectadas, puesto que sus propiedades físicas y mecánicas son altamente susceptibles a la humedad. Por ello, se concluyó que se podría presentar la mayor reducción del módulo resiliente de la subrasante durante seis meses, mientras que en el resto ocurriría el caso opuesto. Debido a esto y tomando el dato de CBR de laboratorio como un parámetro crítico que puede darse en condiciones de saturación extremas, se decidió asignar el valor crítico para cada tramo para los meses lluviosos y un aumento del 20 % para los meses más secos y estimar así un módulo efectivo de subrasante. En este caso, se utilizó un CBR de diseño de 3,0 % para el tramo 1 y de 5,4 % para el tramo 2, acorde con el percentil 90 de lo obtenido en los sondeos.

Cuadro 16

Datos de lluvias por mes de una estación cercana al sitio de diseño

Fabio Baudrit

Ubicación: Alajuela

Lat: 10° 0' 0" Norte Lon: 84° 15' 59" Oeste Altitud: 840 m.s.n.m.

Tipo: Automatica

Período: 1995 - 2018

Promedios mensuales

Mes	Temperatura (°C)			Humedad Relativa(%)	Lluvia (mm)	Días con lluvia (mm)
	Max.	Min.	Med.			
ENE	29.5	18.2	23.9	65	6.3	3
FEB	30.2	18.4	24.3	62	10.9	3
MAR	31.1	18.7	24.9	63	17.3	3
ABR	31.3	19.1	25.2	69	71.8	9
MAY	29.6	19.1	24.3	83	262.0	23
JUN	28.9	19.0	24.0	86	241.2	23
JUL	29.1	18.9	24.0	83	154.1	20
AGO	29.1	18.7	23.9	85	204.9	21
SEP	28.6	18.5	23.5	88	313.0	26
OCT	27.9	18.6	23.2	89	321.3	27
NOV	28.5	18.4	23.4	83	165.0	18
DIC	29.2	18.2	23.7	73	38.1	9

Fuente. Instituto Meteorológico Nacional (2021).

Con base en los resultados, se obtuvo un módulo resiliente efectivo de la subrasante de 4.960 psi para el tramo 1 y de 8.928 psi para el tramo 2, el cual será utilizado para la ejecución del diseño (apéndice 3).

Cuadro 17

Módulo efectivo de la subrasante MR para el tramo 1

Mes	Índice de soporte de California CBR (%)	Módulo MR (psi)	Daño relativo (μf)	$\mu f * D$
Enero	3,8	5625	0,24	0,235
Febrero	3,8	5625	0,24	0,235
Marzo	3,8	5625	0,24	0,235
Abril	3,8	5625	0,24	0,235

Mayo	3,0	4500	0,39	0,395
Junio	3,0	4500	0,39	0,395
Julio	3,0	4500	0,39	0,395
Agosto	3,0	4500	0,39	0,395
Septiembre	3,0	4500	0,39	0,395
Octubre	3,0	4500	0,39	0,395
Noviembre	3,8	5625	0,24	0,235
Diciembre	3,8	5625	0,24	0,235
			$\Sigma \mu f * D$	3,781
uf promedio	0,3151			
MR efectivo (psi)	4.960			

Cuadro 18

Módulo efectivo de la subrasante MR para el tramo 2

Mes	Índice de soporte de California CBR (%)	Módulo MR (psi)	Daño relativo (μf)	$\mu f * D$
Enero	6,8	10125	0,06	0,060
Febrero	6,8	10125	0,06	0,060
Marzo	6,8	10125	0,06	0,060
Abril	6,8	10125	0,06	0,060
Mayo	5,4	8100	0,10	0,101
Junio	5,4	8100	0,10	0,101
Julio	5,4	8100	0,10	0,101
Agosto	5,4	8100	0,10	0,101
Septiembre	5,4	8100	0,10	0,101
Octubre	5,4	8100	0,10	0,101
Noviembre	6,8	10125	0,06	0,060
Diciembre	6,8	10125	0,06	0,060
			$\Sigma \mu f * D$	0,967
uf promedio	0,0806			
MR efectivo (psi)	8.928			

Parámetros de diseño-metodología empírica Aashto

Período de análisis

Se dimensionaron las capas de la estructura de pavimento para un periodo de diseño de diez y quince años (con base los requerimientos contractuales para mejoramientos o reconstrucciones).

Confiabilidad del diseño (% R)

Para el diseño de la ruta cantonal Calle Lomas, se consideró una probabilidad del 80 % de que la estructura de pavimento se desempeñase adecuadamente durante el período de estipulado (diez y quince años), para lo cual se tomó como referencia una ruta terciaria con TPD > 2000 vehículos por día.

Grado de variabilidad del diseño (So)

La desviación estándar del diseño es igual a 0,45, lo recomendado para el diseño de pavimentos flexibles (Huang, 2004).

Índice de “serviciabilidad” inicial (Psi) y final (Pst)

Se seleccionó como índice de servicio inicial (Psi) un valor de 4,2, recomendado para pavimentos flexibles (Huang, 2004). Como índice de servicio final (Pst), con base en el cuadro 7, se escogió un valor de 2,0 para carreteras terciarias con un volumen vehicular característico para esta ruta. Dado lo anterior, se pudo determinar el cambio de “serviciabilidad” requerido (Δ PSI) de 2,2.

Módulo resiliente efectivo de la subrasante (MREFEC)

El módulo resiliente efectivo determinado para la subrasante y utilizado para el diseño

corresponde al indicado en los cuadros 20 y 21, dependiendo del tramo a considerar.

Ejes equivalentes de diseño (Ndiseño)

Cuadro 19

Período de diseño – Ndiseño

Período de diseño	Ejes equivalentes de diseño Ndiseño
10 años	1.282.987
15 años	2.140.478

Propiedades de los materiales

Debido a que no se contaba con medidas directas del módulo resiliente de los materiales de la subbase y la base granular y a que en el país no hay curvas maestras que caractericen las mezclas asfálticas producidas a nivel nacional, se debió utilizar información tipo II (nivel de confianza medio) para determinar las propiedades necesarias mediante correlaciones y, posteriormente, establecer el coeficiente estructural (a_i) de cada una de las capas.

En este caso, la información tipo II utilizada correspondió al índice de soporte de California (CBR) para materiales granulares y a un módulo dinámico típico empleado para mezclas asfálticas a temperaturas ambientales promedio (21°C). El cuadro 20 muestra las propiedades deseables de los materiales a usar en la estructura de pavimento y su coeficiente estructural.

Para el caso del coeficiente de drenaje (m_i), se asumieron valores de 1,0 para la capa asfáltica y la capa de base estabilizada con cemento hidráulico (en el caso del pavimento semirrígido), cuyas características las hacen durables ante la presencia de agua. Respecto a la subbase granular y la base granular, se determinó un valor de 0,60, pues la ruta se encuentra en una zona con altas tasas de lluvia, lo cual hace pensar que la presencia de agua será inminente y reducirá la capacidad estructural de dicha capa. Los valores se muestran en el cuadro 20.

Cuadro 20

Características de los materiales

Capa	Módulo dinámico (psi)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	CBR (%)	Módulo resiliente (psi)	Coefficiente estructural (ai)	Coefficiente de drenaje (mi)
Capa asfáltica (AC-30)	450.000	-	-	-	0,442 (1)	1,0
Base estabilizada con cemento hidráulico BE-25	-	30 (Sección 302.03 CR 2010)	-	625.000	0,163 (2)	1,0
Base granular	-	-	80 (Sección 301.03 CR 2010)	28.000	0,130 (4)	0,6
Subbase granular	-	-	30 (Sección 301.03 CR 2010)	15.000	0,109 (3)	0,6
Subrasante (fundación)	-	-	4,1	6.150	-	-

: el coeficiente estructural fue obtenido utilizando la correlación $0,171 \cdot \ln(\text{Módulo MAC}) - 1,784$ (NCAT Test Track, 2003).

: el coeficiente estructural fue conseguido empleando el nomograma de Van Til (1972) para bases granulares tratadas con cemento hidráulico $0,2139 \cdot \ln(Mr) - 2,6921$ (Huang, 2004).

: el coeficiente estructural fue obtenido usando la correlación $0,227 \cdot (\log Mr) - 0,839$ para subbases granulares (Huang, 2004).

: el coeficiente estructural fue sacado mediante el nomograma de Van Til (1972) para bases granulares $0,249 \cdot \log(Mr) - 0,977$ (Huang, 2004).

Para el efecto del dimensionamiento de espesores, el plan de verificación y el control de calidad en el campo, se debe garantizar que las capas granulares alcancen un porcentaje de compactación igual o mayor al 95 % de la densidad seca máxima obtenida en el laboratorio mediante el método de compactación modificado (AASHTO T-180). De igual forma, resulta

esencial verificar que las fuentes a utilizar iguallen o superen el CBR de diseño a partir de su muestreo y ensayo, los cuales serán efectuados días antes del inicio de las obras.

El plan de autocontrol y verificación de la calidad de la obra también debe garantizar que las fuentes cumplan con los parámetros de aceptación y control restantes en cuanto a graduación, plasticidad de la porción más fina que el tamiz No. 40, resistencia al desgaste, entre otros aspectos detallados en la División 300, Sección 301 Subbases y bases granulares, del “Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010” de Costa Rica.

La mezcla asfáltica por colocar deberá ser verificada por el cliente mediante ensayos de laboratorio aplicados sobre muestras tomadas de planta o cualquier otra fuente técnicamente factible, en donde se verifique que el producto cumple con los requisitos para la mezcla de concreto asfáltico Tipo A, Tabla 402-1 del CR-2010. El tamaño máximo nominal de la MAC deberá ser preferiblemente de 19,0 mm. Sin embargo, un tamaño máximo nominal de 12,5 mm también es factible. Se recomienda que las mezclas asfálticas a utilizar sean sometidas a ensayos de deformación plástica en laboratorio (APA o Rueda de Hamburgo), con el fin de corroborar su desempeño ante esfuerzos por compresión, condición bajo la cual estará sometida en un pavimento semirrígido.

Dimensionamiento de espesores método empírico AASHTO 93

El dimensionamiento de cada una de las capas de la estructura de pavimento se basó en la teoría del número estructural (SN) de capas necesarias para proteger las capas inferiores hasta la subrasante. A continuación, se menciona el procedimiento:

Figura 1

Esquema de trabajo

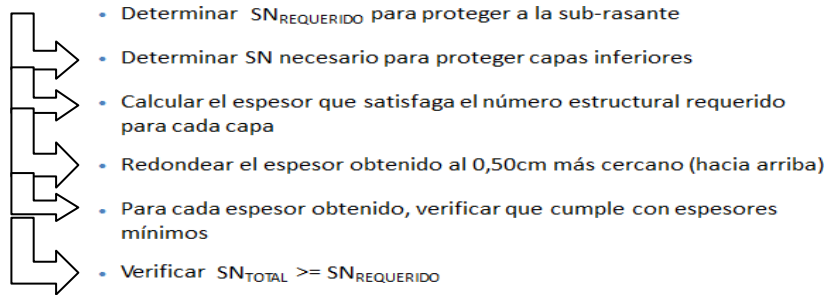
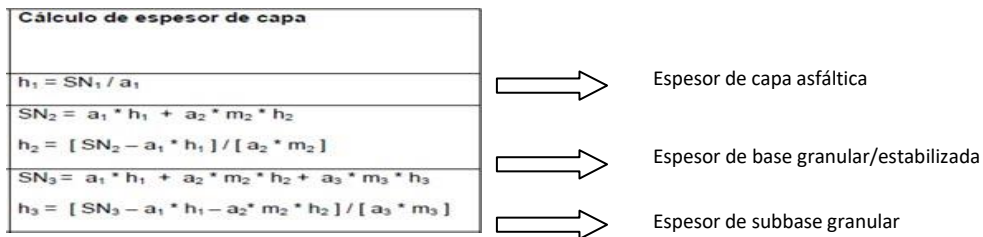


Figura 2

Cálculo de espesor de capa



Los cuadros 21 y 22 muestran un resumen con los espesores de diseño obtenidos utilizando el software FPAVE para la opción de pavimento semirrígido (apéndice 4). De igual forma, las figuras 1 y 2 exponen un resumen gráfico de los espesores conseguidos para un período de diseño de diez años y ambos tipos de pavimento.

Cuadro 20

Resumen - Dimensionamiento de espesores - Método empírico AASHTO C7-03-22-00

Período de diseño: diez años pavimento semirrígido				
Capa	Espesor de diseño (cm)	Coeficiente estructural (a_i)	Coeficiente de drenaje (m_i)	Número estructural decapa (SN_i)
Capa asfáltica (AC-30)	9,0 0	0,4 4	1,00	1,56
Base estabilizada BE-25	25, 0	0,1 7	1,00	1,67
Subbase granular	15, 0	0,1 1	0,80	0,52
			SNTOT	3,75

AL	
SNREQUERIDO según MREFECsub-rasante	3,71
¿ SNTOTAL > SNREQUERIDO ?	SI

Cuadro 21

Resumen - Dimensionamiento de espesores - Método empírico AASHTO C7-03-22-00

Período de diseño: quince años pavimento semirrígido				
Capa	Espesor de diseño (cm)	Coficiente estructural (ai)	Coficiente de drenaje (mi)	Número estructural de capa (SNi)
Capa asfáltica (AC-30)	9,5 0	0,4 4	1,00	1,6 5
Base estabilizada BE-25	28, 0	0,1 7	1,00	1,8 7
Subbase granular	15, 0	0,1 1	0,80	0,5 2
			SNTOTAL	4,0 4
			SNREQUERIDO según MREFECsub-rasante	4,0 0
			¿ SNTOTAL > SNREQUERIDO ?	SI

Conclusiones sobre el dimensionamiento de espesores obtenido

Pavimento semirrígido

Período de diseño: Diez años

La capa asfáltica se dimensionó con 9,00 cm de espesor, el cual superó el mínimo establecido en el Manual de Diseño de Pavimentos de SIECA (7,62 cm) para el nivel de ejes equivalentes del proyecto.

Para la base estabilizada con cemento hidráulico BE-25 se propuso un espesor de capa de 25,00 cm. Este espesor tendrá las siguientes funciones:

controlar los esfuerzos provocados por los cambios volumétricos del material arcilloso que predomina en la fundación del pavimento, cuyos efectos no fueron considerados durante el dimensionamiento de los espesores con la metodología empírica AASHTO;

brindar una mayor resistencia a la base granular ante los efectos erosivos del agua;

disminuir significativamente los esfuerzos verticales por compresión a nivel del subrasante que puedan causar deformaciones permanentes;

protección a las capas granulares inferiores durante el paso de maquinaria pesada;

disminuir los niveles de excavación al reducir los espesores requeridos para la capa de material de préstamo;

cumplir con los criterios mecánicos de fatiga en la fibra inferior de la capa de BE-25.

Es importante indicar que, bajo el criterio AASHTO 93, un espesor menor hubiese sido suficiente. Sin embargo, se consideró importante incluir la verificación por fatiga en la capa de BE-25, la cual derivó en espesores mayores.

La capa de subbase se estableció con un espesor de 15,0 cm, tomando en cuenta un CBR mínimo de 30 %, que se compondrá del material que quede sin alterar en el sitio por debajo del nivel de recuperación. Asimismo, se espera que los valores de CBR sean superiores al 30 %, según el percentil 90 de los datos obtenidos de los sondeos. La presencia de esta capa remanente permitirá brindar una plataforma de trabajo que proteja a la subrasante existente, así como proveer un medio de transmisión de esfuerzos adecuado entre una capa semirrígida y un suelo con deformabilidad significativa, lo que reducirá el riesgo de agrietamientos.

Período de diseño: quince años

La capa asfáltica se dimensionó con 9,00 cm de espesor, el cual superó el mínimo establecido en el Manual de Diseño de Pavimentos de SIECA (7,62 cm) para el nivel de ejes equivalentes del proyecto.

Respecto a la base estabilizada con cemento hidráulico BE-25, se propuso un espesor de capa de 28,0 cm, el cual cumplirá las siguientes funciones:

controlar los esfuerzos provocados por los cambios volumétricos del material arcilloso que predomina en la fundación del pavimento, cuyos efectos no fueron considerados durante el dimensionamiento de los espesores con la metodología empírica AASHTO;

brindar una mayor resistencia a la base granular ante los efectos erosivos del agua;

disminuir significativamente los esfuerzos verticales por compresión a nivel de la subrasante que puedan causar deformaciones permanentes;

proteger las capas granulares inferiores durante el paso de maquinaria pesada;

disminuir los niveles de excavación al reducir los espesores requeridos para la capa de material de préstamo;

cumplir con los criterios mecánicos de fatiga en la fibra inferior de la capa de BE-25.

Es importante indicar que, bajo el criterio AASHTO 93, un espesor menor hubiese sido suficiente. Sin embargo, se consideró importante incluir la verificación por fatiga en la capa de BE-25, la cual derivó en espesores mayores.

La capa de subbase se estableció con un espesor de 15,0 cm, tomando en cuenta un CBR mínimo de 30 %, que se compondrá del material que quede sin alterar en el sitio por debajo del nivel de recuperación. Se espera que los valores de CBR sean superiores al 30 %, según el percentil 90 de los datos obtenidos de los sondeos. La presencia de esta capa remanente permitirá brindar una plataforma de trabajo que proteja a la subrasante existente, así como proveerá un medio de transmisión de esfuerzos adecuado entre una capa semirrígida y un suelo con deformabilidad significativa, lo que reducirá el riesgo de agrietamientos.

Capítulo IV

Análisis de datos

Verificación mecánica-empírica pavimento semirrígido/modelos de desempeño Conavi dvop 5170-07

Con respecto al uso de los modelos de desempeño propuestos por el Conavi en el oficio DVOP 5170-07, se realizó una verificación de la estructura de pavimento resultante ante la fatiga y la deformación permanente utilizando criterios mecanicistas. Para esto, se determinaron los ejes equivalentes que serían capaces de resistir la estructura de pavimento antes de presentar ciertos niveles de fatiga y deformación permanente (en adelante $N_{\text{permisibles}}$) y, posteriormente, se compararon contra los ejes equivalentes de diseño (en adelante $N_{\text{diseño}}$) calculados y proyectados para el proyecto. Lo anterior permitió verificar si los $N_{\text{permisibles}}$ superaban los $N_{\text{diseño}}$ y concluir sobre la conformidad de la estructura de pavimento diseñada.

Respecto a la estimación de los ejes equivalentes permisibles y necesarios para que, ante la fatiga durante el período de diseño, la estructura de pavimento alcance la falla por agrietamientos, se emplearon las ecuaciones propuestas por el MOPT en el oficio DVOP-5170-07 del 10 de setiembre del 2007, realizadas por el ministro Ing. Pedro Castro. Dichas ecuaciones se muestran a continuación.

$$N_f = 1.0226 \times 10^{25} \times \left[\frac{1}{\epsilon_f} \right]^{-6.308} \times \left[\frac{1}{MR} \right]^{-0.810}$$

N_f es el número de repeticiones de carga para la falla por fatiga
 ϵ_f es la deformación unitaria de la fibra en tensión en la capa asfáltica
 MR es el modulo de resiliente del concreto asfáltico, es decir, $MR=2\ 757.902\ \text{MPa}$

Con el objetivo de estimar los ejes equivalentes permisibles y necesarios para que la estructura de pavimento alcance una deformación de 0,5 in (1,27cm) durante el período de diseño, se utilizó la ecuación propuesta por el Instituto del Asfalto (Huang, 2004) y el oficio DVOP- 5170-07.

$$Nr = 1.365 \times 10^{-9} (\varepsilon_{vs})^{-4.477}$$

ε_{vs} : deformación unitaria a la compresión en fibra superior de la sub-rasante
Fuente: Instituto del Asfalto.

Para estimar los ejes equivalentes permisibles y necesarios para que, ante la fatiga en la base mejorada durante los diferentes períodos de diseño, la estructura de pavimento alcance la falla por agrietamientos, se emplearon las ecuaciones propuestas por la Asociación del Cemento Portland (en adelante PCA), sugeridas en la publicación: *Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico-empíricos* del Lanamme UCR. En este caso y a pesar de que el oficio DVOP 5170-07 no lo solicita, se considera de suma importancia verificar este comportamiento. A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas.

$$N_f = \left(\frac{\beta_{c4}}{\sigma_t / M_{rup}} \right)^{\beta_{c3} * 20}$$

Donde,

- N_f = Número de repeticiones de carga para el agrietamiento por fatiga de la base estabilizada.
- σ_t = Máximo esfuerzo a tensión inducido por el tráfico en la parte inferior de la capa de base estabilizada (psi).
- MR: Módulo de ruptura a los 28 días (resistencia a flexión) $\beta_{c3, c4}$: Factores de calibración en campo (psi).
- $\beta_{c3} = 1.0259$, y $\beta_{c4} = 1.1368$, para granular.
- $\beta_{c3} = 0.6052$, y $\beta_{c4} = 2.1154$, para material fino.

Nota. Tomado de Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico-empíricos (LanammeUCR, 2014).

En la determinación del módulo de ruptura se utilizó un valor de 105 psi para ambos casos, el cual representa un valor típico para las bases granulares tratadas con cemento hidráulico (105 psi – 107 psi, Wen *et al.*) para el diseño mecanístico-empírico.

En términos de esfuerzos, deformaciones y deflexiones, las respuestas de la estructura de pavimento fueron calculadas utilizando el software PITRA-PAVE, que se basa en la teoría elástica-lineal de capas. Para los análisis por fatiga, se determinó la deflexión horizontal máxima por tensión comúnmente producida en la fibra inferior de la capa asfáltica, mientras que, para la base mejorada con cemento hidráulico, se estableció el esfuerzo horizontal por tensión en la fibra inferior de dicha capa. Respecto al análisis por deformación permanente,

se empleó la deflexión vertical en la fibra superior de la subrasante.

Una vez calculados los ejes equivalentes permisibles para cada tipo de vehículo característico de la ruta, se procedió a aplicar la hipótesis de Miner con el fin de verificar que los ejes equivalentes permisibles superaban los ejes equivalentes de diseño para los diferentes períodos.

Hipótesis de Miner = $N_{\text{diseño}} / N_{\text{permisibles}} < 1$ diseño satisfactorio hipótesis de Miner = $N_{\text{diseño}} / N_{\text{permisibles}} > 1$ replantear diseño

Es importante destacar que el coeficiente de Poisson, utilizado para las diferentes capas del pavimento modelado, fue seleccionado siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM D5858: Standard Guide for Calculating In Situ Equivalent Elastic Moduli of Pavement Materials Using Layered Elastic Theory.

Parámetros de Asfalto

asphalt concrete:	0.30 to 0.40
portland cement concrete:	0.10 to 0.20
unbound granular bases:	0.20 to 0.40*
cohesive soil:	0.25 to 0.45*
cement-stabilized soil:	0.10 to 0.30
lime-stabilized soil:	0.10 to 0.30

* Depending on stress/strain level and degree of saturation.

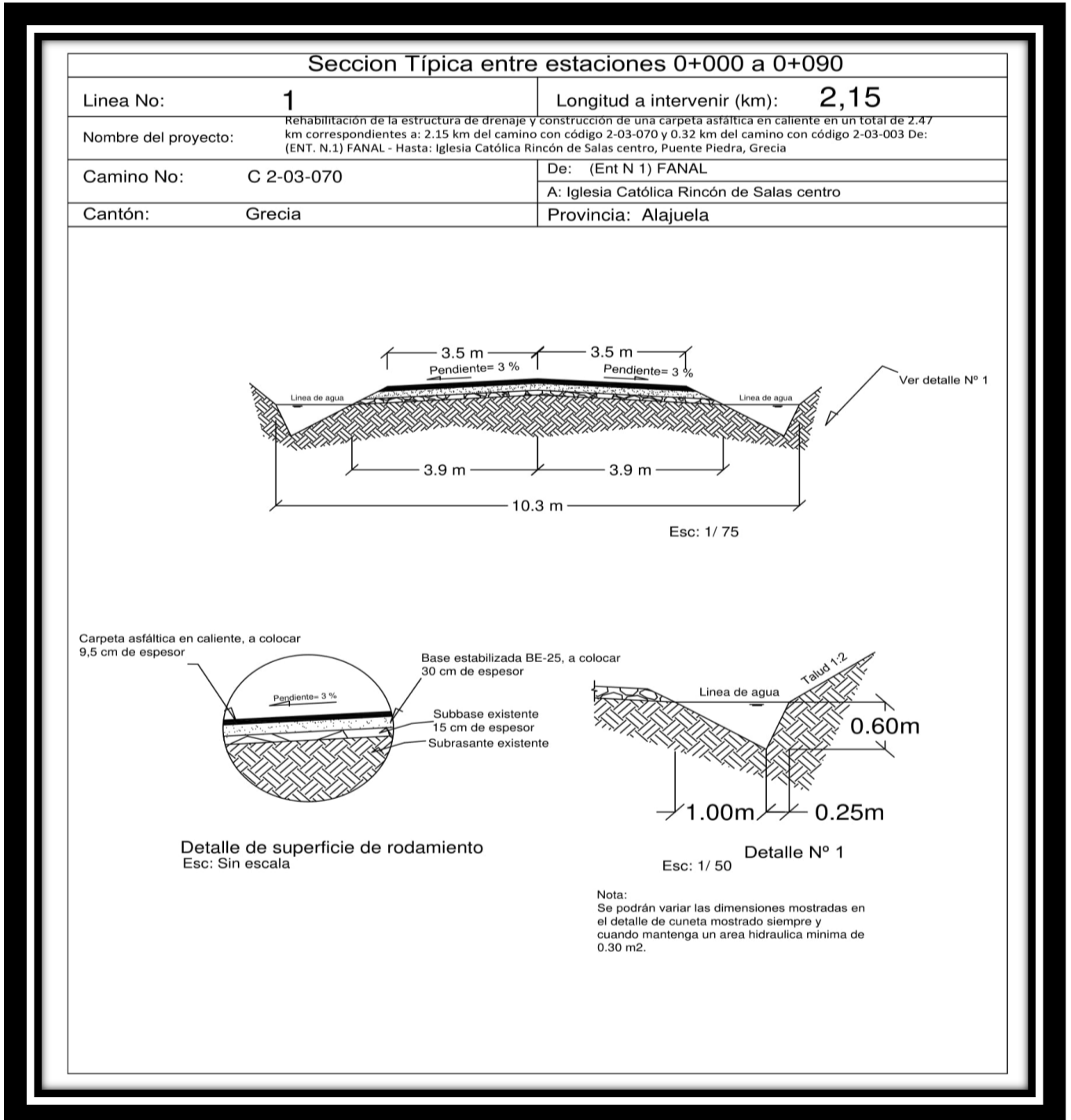
En el caso del concreto asfáltico, se utilizó un valor medio de 0,35. Además, para la base estabilizada, se empleó un valor de 0,25; para las capas granulares, uno de 0,40; y para la subrasante, uno de 0,45, el cual es un valor típico para suelos subrasantes.

Es importante mencionar que, para efectos de diseño, se seleccionaron las secciones transversales indicadas en los cuadros 1, 2, 3 y 4 del presente informe. A continuación, se muestran los resultados.

Como se puede apreciar, el paquete estructural propuesto para la opción de pavimento semirrígido cumple con los criterios de fatiga y deformación plástica destinados a los modelos de desempeño propuestos por Conavi.

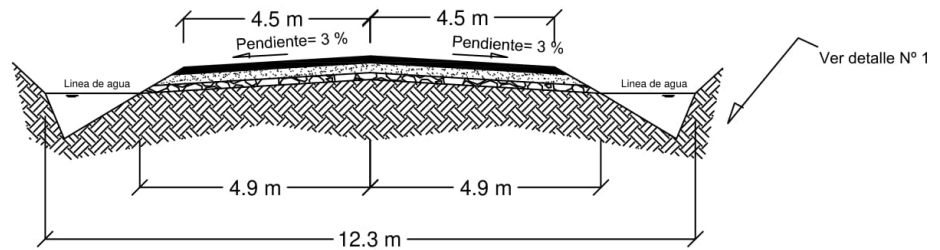
Capítulo V

Resultados

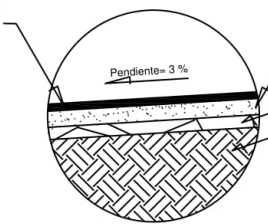


Seccion Típica entre estaciones 0+212 a 0+287

Linea No: 1	Longitud a intervenir (km): 2,15
Nombre del proyecto: Rehabilitación de la estructura de drenaje y construcción de una carpeta asfáltica en caliente en un total de 2,47 km correspondientes a: 2.15 km del camino con código 2-03-070 y 0.32 km del camino con código 2-03-003 De: (ENT. N.1) FANAL - Hasta: Iglesia Católica Rincón de Salas centro, Puente Piedra, Grecia	
Camino No: C 2-03-070	De: (Ent N 1) FANAL
Cantón: Grecia	A: Iglesia Católica Rincón de Salas centro
	Provincia: Alajuela



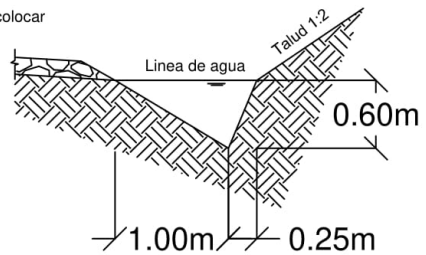
Carpeta asfáltica en caliente, a colocar
9,5 cm de espesor



Base estabilizada BE-25, a colocar
30 cm de espesor

Subbase existente
15 cm de espesor
Subrasante existente

Detalle de superficie de rodamiento
Esc: Sin escala

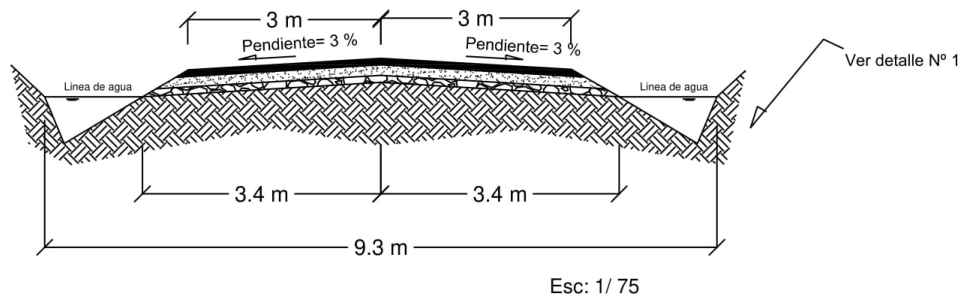


Detalle N° 1
Esc: 1/ 50

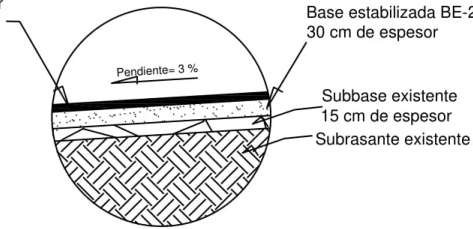
Nota:
Se podrán variar las dimensiones mostradas en el detalle de cuneta mostrado siempre y cuando mantenga un area hidraulica minima de 0.30 m2.

Seccion Típica entre estaciones 0+447 a 1+706

Linea No: 1	Longitud a intervenir (km): 2,15
Nombre del proyecto: Rehabilitación de la estructura de drenaje y construcción de una carpeta asfáltica en caliente en un total de 2.47 km correspondientes a: 2.15 km del camino con código 2-03-070 y 0.32 km del camino con código 2-03-003 De: (ENT. N.1) FANAL - Hasta: Iglesia Católica Rincón de Salas centro, Puente Piedra, Grecia	
Camino No: C 2-03-070	De: (Ent N 1) FANAL A: Iglesia Católica Rincón de Salas centro
Cantón: Grecia	Provincia: Alajuela



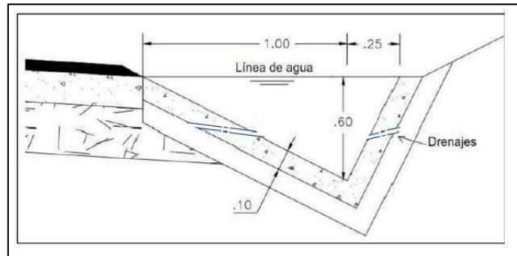
Carpeta asfáltica en caliente, a colocar
9,5 cm de espesor



Detalle de superficie de rodamiento
Esc: Sin escala

Base estabilizada BE-25, a colocar
30 cm de espesor

Subbase existente
15 cm de espesor
Subrasante existente



Detalle N°. 1
Esc: Sin escala

Nota:
Se podrán variar las dimensiones mostradas en el detalle de cuneta mostrado siempre y cuando mantenga un area hidraulica minima de 0.30 m2.

Componentes (rubros de costo) de proyecto y estimación de cantidades

A continuación, se presentan las estimaciones de cantidades para cada uno de los rubros de costo propuestos, las cuales fueron hechas con base en los diseños aportados en la sección anterior.

Cuadro 22

Estimación de cantidades para cada renglón de pago que compone el proyecto

SUMARIO TOTAL DE CANTIDADES DEL PROYECTO					
Longitud por intervenir (km):			2,5		
Nombre del proyecto:	Rehabilitación de la estructura de drenaje y construcción de una carpeta asfáltica en caliente en un total de 2,5 km en el camino con código 2-03-070 de Fanal a Iglesia católica Rincón de Salas Centro, Puente de Piedra, Grecia				
Camino No.:	2-03-070				
De:	(ENT.N.1) FANAL				
A:	Iglesia católica Rincón de Salas Centro				
Provincia:	Alajuela	Cantón:	Grecia	Distrito	Puente de Piedra
Renglón de pago	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
CR.201.01	Limpieza y desmonte	ha	0,43	¢400 000,00	¢172 000,00
CR.303.06	Recuperación de la superficie existente (11 cm)	m2	15 895,60	¢1 200,00	¢19 074 720,00
PRVC-304 (1)	Base estabilizada con cemento Portland BE-25	m3	3 872,00	¢23 000,00	¢89 056 000,00
CR.413.02	Riego de imprimación (emulsión de rompimiento lento)	l	32 631,00	¢155,00	¢5 057 805,00
CR.413.04	Material de secado	m3	19,00	¢23 000,00	¢437 000,00
CR.411.05	Emulsión asfáltica de rompimiento rápido (riego de liga)	l	12 023,00	¢110,00	¢1 322 530,00
PRVC.402	Capa de concreto asfáltico preparado en planta en caliente, diseñada con la metodología Marshall	m3	1 583,00	¢150 000,00	¢237 450 000,00
PRVC.663.01	Excavación, limpieza y conformación de cunetas o canales o zanjas	m	4 940,00	¢500,00	¢2 470 000,00
CR.609.02	Cordón y caño tipo C-2	m	2 872,00	¢20 500,00	¢58 876 000,00
PRVC.608.01 (d)	Canal revestido tipo IV, concreto hidráulico	m2	4 467,00	¢19 000,00	¢84 873 000,00
CR.615.01	Acera con loseta táctil	m2	1 946,00	¢22 000,00	¢42 812 000,00
CR 204.01 (a)	Excavación en la vía para ampliaciones	m3	293,00	¢5 000,00	¢1 465 000,00
PRVC. 301.03	Base de agregados graduación C, caso	m3	3 967,00	¢20 000,00	¢79 340 000,00

CR.204.05 (b)	Material de Préstamo selecto para acabado, caso 2	m3	533,00	¢16 000,00	¢8 528 000,00
CR.209.01 (a)	Excavación para otras estructuras, alcantarillas y obras de arte	m3	2 289,00	¢6 800,00	¢15 565 200,00
CR.209.04 (a)	Relleno para otras estructuras, alcantarillas y obras de arte	m3	2 289,00	¢19 000,00	¢43 491 000,00
PRVC. 651.02(b)	Tubería de concreto sin refuerzo C 14, diámetro 450 mm	m	868,00	¢45 000,00	¢39 060 000,00
PRVC. 651.02(d)	Tubería de concreto sin refuerzo C 14, diámetro 600 mm	m	589,00	¢55 000,00	¢32 395 000,00
CR.602.01 (a)	Tubería de concreto reforzada clase III – C 76, diámetro 600 mm	m	41,00	¢90 000,00	¢3 690 000,00
CR 602.01 (c)	Tubería de concreto reforzada clase III – C 76, diámetro 800 mm	m	31,00	¢130 000,00	¢4 030 000,00
CR.604.03	Cabezales tipo CA-1 para tubo de concreto de 800 mm	unidad	9,00	¢250 000,00	¢2 250 000,00
CR.604.04	Tragantes de doble parrillas (tipo AYA)	unidad	28,00	¢200 000,00	¢5 600 000,00
CR.604.09	Marcos metálicos y parrillas	Unidad	56,00	¢60 000,00	¢3 360 000,00
CR.615.04	Entrada a garajes en concreto (rampas o accesos)	m2	1 041,60	¢35 000,00	¢36 456 000,00
PRVC.633.01 (a)	Señal de alto R-1-1	unidad	9,00	¢110 000,00	¢990 000,00
PRVC.633.01(b)	Señal de ceda R-1-2	unidad	2,00	¢110 000,00	¢220 000,00
PRVC.633.01(n)	Velocidad máxima 40 KPH R-2 -1	unidad	4,00	¢110 000,00	¢440 000,00
PRVC.633.01(d)	Señal de curva P-1-6	unidad	14,00	¢110 000,00	¢1 540 000,00
PRVC.633.01(i)	Escuela E-1-1 E-1-2	unidad	4,00	¢150 000,00	¢600 000,00
PRVC.633.01(i)	Escuela E-1-1 E-3-3	unidad	4,00	¢150 000,00	¢600 000,00
PRVC.633.01(s)	Reductor de velocidad P-9-12 y P-9-11	unidad	8,00	¢150 000,00	¢1 200 000,00
PRVC.633.01(l)	Señal de intersección adelante P-2-8	unidad	2,00	¢110 000,00	¢220 000,00
PRVC.634.01(b)	Demarcación de flechas direccionales 2 vías	unidad	18,00	¢80 000,00	¢1 440 000,00
PRVC.634.01(c)	Demarcación de flechas direccionales 3 vías	unidad	2,00	¢80 000,00	¢160 000,00
PRVC.634.01(d)	Demarcación letrero tipo alto	unidad	9,00	¢80 000,00	¢720 000,00
PRVC.634.01(e)	Demarcación letrero tipo ceda	unidad	2,00	¢80 000,00	¢160 000,00
PRVC.634.01(f)	Demarcación letrero velocidad máxima	unidad	4,00	¢80 000,00	¢320 000,00
PRVC.634.01(g)	Demarcación letrero de escuela	unidad	4,00	¢80 000,00	¢320 000,00
PRVC.634.04	Demarcación de línea continua blanca	m	4 940,00	¢750,00	¢3 705 000,00
PRVC.634.04	Demarcación de línea continua amarilla	m	2 470,00	¢750,00	¢1 852 500,00
N/A	Diseño	global	1,00	¢4 833 000,00	¢4 833 000,00
N/A	Fiscalización	meses	3,00	¢1 500 000,00	¢4 500 000,00
Subtotal					¢840 651 755,00
SC.13.5	Montos provisionales	Global	1	¢42 032 587,75	¢42 032 587,75
CR.77-103.09 (d)	Reajustes	Global	1	¢25 219 552,65	¢25 219 552,65
Monto total (colones)					¢907 903 895,40
Monto total (dólares) TC=579,36¢/\$					\$1 567 080,74

De las actividades desglosadas en el cuadro anterior se tiene un costo total del proyecto de ₡907 903 895,40 (novecientos siete millones novecientos tres mil ochocientos noventa y nueve colones con 40/100). A continuación, se detallan las actividades que se proponen que sean financiadas con recursos del PRVC-II.

Cuadro 23

Estimación de cantidades a financiarse con fondos del PRVC-II

SUMARIO TOTAL DE CANTIDADES FINANCIADAS CON FONDOS DEL PRVC-II					
Longitud por intervenir (km):			2,5		
Nombre del proyecto:	Rehabilitación de la estructura de drenaje y construcción de una carpeta asfáltica en caliente en un total de 2,5 km en el camino con código 2-03-070 de Fanal a Iglesia católica Rincón de Salas Centro, Puente de Piedra, Grecia				
Camino No.:	2-03-070				
De:	(ENT.N.1) FANAL				
A:	Iglesia católica Rincón de Salas Centro				
Provincia:	Alajuela	Cantón:	Grecia	Distrito	Puente de Piedra
Renglón de pago	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
CR.201.01	Limpieza y desmonte	ha	0,43	₡400 000,00	₡172 000,00
CR.303.06	Recuperación de la superficie existente (11 cm)	m ²	15 895,60	₡1 200,00	₡19 074 720,00
PRVC-304 (1)	Base estabilizada con cemento Portland BE-25	m ³	3 872,00	₡23 000,00	₡89 056 000,00
CR.413.04	Material de secado	m ³	19,00	₡23 000,00	₡437 000,00
PRVC.402	Capa de concreto asfáltico preparado en planta en caliente, diseñada con la metodología Marshall	m ³	1 583,00	₡116 460,00	₡184 356 180,00
PRVC.663.01	Excavación, limpieza y conformación de cunetas o canales o zanjas	m	4 940,00	₡500,00	₡2 470 000,00
CR.609.02	Cordón y caño tipo C-2	m	2 872,00	₡20 500,00	₡58 876 000,00
PRVC.608.01 (d)	Canal revestido tipo IV, concreto hidráulico	m ²	4 467,00	₡19 000,00	₡84 873 000,00
CR.615.01	Acera con loseta táctil	m ²	1 946,00	₡22 000,00	₡42 812 000,00
CR 204.01 (a)	Excavación en la vía para ampliaciones	m ³	293,00	₡5 000,00	₡1 465 000,00
PRVC. 301.03	Base de agregados graduación C, caso 2	m ³	3 967,00	₡20 000,00	₡79 340 000,00
CR.204.05 (b)	Material de Préstamo selecto para acabado, caso 2	m ³	533,00	₡16 000,00	₡8 528 000,00
CR.209.01 (a)	Excavación para otras estructuras, alcantarillas y obras de arte	m ³	2 289,00	₡6 800,00	₡15 565 200,00
CR.209.04 (a)	Relleno para otras estructuras, alcantarillas y obras de arte	m ³	2 289,00	₡19 000,00	₡43 491 000,00

PRVC. 651.02(b)	Tubería de concreto sin refuerzo C 14, diámetro 450 mm	m	868,00	¢45 000,00	¢39 060 000,00
PRVC. 651.02(d)	Tubería de concreto sin refuerzo C 14, diámetro 600 mm	m	589,00	¢55 000,00	¢32 395 000,00
CR.602.01 (a)	Tubería de concreto reforzada clase III – C 76, diámetro 600 mm	m	41,00	¢90 000,00	¢3 690 000,00
CR 602.01 (c)	Tubería de concreto reforzada clase III – C 76, diámetro 800 mm	m	31,00	¢130 000,00	¢4 030 000,00
CR.604.03	Cabezales tipo CA-1 para tubo de concreto de 800 mm	unidad	9,00	¢250 000,00	¢2 250 000,00
CR.604.04	Tragantes de doble parrillas (tipo AYA)	unidad	28,00	¢200 000,00	¢5 600 000,00
CR.604.09	Marcos metálicos y parrillas	Unidad	56,00	¢60 000,00	¢3 360 000,00
CR.615.04	Entrada a garajes en concreto (rampas o accesos)	m ²	1 041,60	¢35 000,00	¢36 456 000,00
PRVC.633.01 (a)	Señal de alto R-1-1	unidad	9,00	¢110 000,00	¢990 000,00
PRVC.633.01(b)	Señal de ceda R-1-2	unidad	2,00	¢110 000,00	¢220 000,00
PRVC.633.01(n)	Velocidad máxima 40 KPH R-2 -1	unidad	4,00	¢110 000,00	¢440 000,00
PRVC.633.01(d)	Señal de curva P-1-6	unidad	14,00	¢110 000,00	¢1 540 000,00
PRVC.633.01(i)	Escuela E-1-1 E-1-2	unidad	4,00	¢150 000,00	¢600 000,00
PRVC.633.01(i)	Escuela E-1-1 E-3-3	unidad	4,00	¢150 000,00	¢600 000,00
PRVC.633.01(s)	Reductor de velocidad P-9-12 y P-9-11	unidad	8,00	¢150 000,00	¢1 200 000,00
PRVC.633.01(l)	Señal de intersección adelante P-2-8	unidad	2,00	¢110 000,00	¢220 000,00
PRVC.634.01(b)	Demarcación de flechas direccionales 2 vías	unidad	18,00	¢80 000,00	¢1 440 000,00
PRVC.634.01(c)	Demarcación de flechas direccionales 3 vías	unidad	2,00	¢80 000,00	¢160 000,00
PRVC.634.01(d)	Demarcación letrero tipo alto	unidad	9,00	¢80 000,00	¢720 000,00
PRVC.634.01(e)	Demarcación letrero tipo ceda	unidad	2,00	¢80 000,00	¢160 000,00
PRVC.634.01(f)	Demarcación letrero velocidad máxima	unidad	4,00	¢80 000,00	¢320 000,00
PRVC.634.01(g)	Demarcación letrero de escuela	unidad	4,00	¢80 000,00	¢320 000,00
PRVC.634.04	Demarcación de línea continua blanca	m	4 940,00	¢750,00	¢3 705 000,00
PRVC.634.04	Demarcación de línea continua amarilla	m	2 470,00	¢750,00	¢1 852 500,00
Subtotal					¢771 844 600,00
SC.13.5	Montos provisionales	Global	1	¢42 032 587,75	¢42 032 587,75
CR.77-103.09 (d)	Reajustes	Global	1	¢25 219 552,65	¢25 219 552,65
Monto total (colones)					¢839 096 740,40
Monto total (dólares) TC=579,36¢/\$					\$1 448 316,66

El monto total a ejecutar con recursos del Programa PRVC-II es de ¢839 096 740,40 (ochocientos treinta y nueve millones noventa y seis mil setecientos cuarenta colones con 40/100).

Cuadro 24

Estimación de cantidades a financiarse con fondos del Gobierno local

SUMARIO TOTAL DE CANTIDADES FINANCIADAS CON FONDOS DEL GOBIERNO LOCAL					
Longitud por intervenir (km):			2,5		
Nombre del proyecto:	Rehabilitación de la estructura de drenaje y construcción de una carpeta asfáltica en caliente en un total de 2,5 km en el camino con código 2-03-070 de Fanal a Iglesia católica Rincón de Salas Centro, Puente de Piedra, Grecia				
Camino No.:	2-03-070				
De:	(ENT.N.1) FANAL				
A:	Iglesia católica Rincón de Salas Centro				
Provincia:	Alajuela	Cantón:	Grecia	Distrito	Puente de Piedra
Renglón de pago	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
CR.413.02	Riego de imprimación (emulsión de rompimiento lento)	l	32 631,00	¢155,00	¢5 057 805,00
CR.411.05	Emulsión asfáltica de rompimiento rápido (riego de liga)	l	12 023,00	¢110,00	¢1 322 530,00
PRVC.402	Capa de concreto asfáltico preparado en planta en caliente, diseñada con la metodología Marshall (AC-30)	m ³	1 583,00	¢33 540,00	¢53 093 820,00
N/A	Diseño	global	1,00	¢4 833 000,00	¢4 833 000,00
N/A	Fiscalización	meses	3,00	¢1 500 000,00	¢4 500 000,00
Monto total (colones)					¢68 807 155,00
Monto total (dólares) TC=579,36¢/\$					\$118 764,08

El monto total del aporte del Gobierno local al proyecto es de ¢68 807 155,00 (sesenta y ocho millones ochocientos siete mil ciento cincuenta y cinco colones con 00/100).

La emulsión de rompimiento lento, la emulsión de rompimiento rápido y el AC-30 serán aportados por el Gobierno local, el cual se encuentra realizando las gestiones para la donación por medio de Recope, por lo que será responsabilidad del contratista el acarreo, la maquila y la colocación de estos materiales en el proyecto.

Componentes locales de costo para el proyecto

A continuación, se presentan las referencias respecto a los materiales por adquirir localmente, los cuales se consideraron para la estimación de precios unitarios para los rubros de costos indicados en el apartado 2.3, Componentes (rubros de costo) del proyecto y estimación de cantidades.

Cuadro 25

Precios locales de materiales considerados para el proyecto

Material	Unidad	Precio en boca de quebrador	Distancia promedio de acarreo al proyecto	Nombre de la fuente /nombre del propietario	No. de permiso / vigencia y al día
Base	m ³	¢ 6.500,00	2 Km	ALBOSA	-----
Préstamo	m ³	¢ 5.500,00			
Base	m ³	¢ 6.500,00	4 Km	TAJO PUENTE DE PIEDRA	-----
Préstamo	m ³	¢ 5.500,00			

Criterio de la comunidad sobre la propuesta técnica del proyecto

Se adjunta el informe derivado de la consulta social significativa realizada por la Municipalidad de Grecia, previo a la elaboración de la factibilidad del proyecto.

De acuerdo con los aspectos identificados en el análisis socioambiental, se incluye dentro del proyecto la colocación de pasos de alcantarilla y la construcción de canal revestido en puntos críticos del camino, en donde, por la carencia de sistemas de drenaje, se da la saturación y la inestabilidad de la superficie de ruedo.

Análisis de reducción de riesgos y desastres

Identificación de amenazas en el sitio

Seguidamente, se hace un recuento de los eventos que podrían afectar al proyecto como consecuencia de los riesgos que este mismo generará. También se incluyen los riesgos naturales y los fenómenos causantes de desastres, partiendo de las vulnerabilidades y las debilidades de la zona.

En la siguiente tabla se detallan algunas amenazas o vulnerabilidades. Se marca con una (X) las que aplican al proyecto:

Cuadro 26

Amenazas según origen

Amenazas o peligros		No	Sí	Comentario (indicar si hay antecedentes del evento o estudios que lo pronostiquen y el % de probabilidad)
Naturales	Inundación		X	
	Sísmica		X	Debe ser considerada en el país para toda obra civil que se ejecute
	Volcanismo	X		
	Avalancha	X		
	Deslizamiento o derrumbe	X		
	Sequía	X		
	Tsunami	X		
	Granizada	X		
	Neblina	X		
	Helada	X		
	Viento	X		
Otros:				
Socio-naturales	Inundaciones relacionadas con deforestación o degradación de cuencas	X		
	Inundaciones relacionadas con acumulación de desechos domésticos, industriales u otros en los cauces de los ríos	X		

	Deslizamientos asociados a deforestación o degradación de cuencas	X		
	Erosión costera por destrucción de manglares	X		
	Incendios forestales	X		
	Otras:			
Antrópicos	Incendios urbanos	X		
	Contaminación de aguas	X		
	Contaminación del aire	X		
	Contaminación de suelos	X		
	Explosiones	X		
	Derrame de sustancias tóxicas	X		
	Ruptura de represas de retención de agua	X		
	Conflictos civiles o alteración de la paz social	X		
	Otras:			

Medidas para la reducción de riesgos de amenazas y vulnerabilidades

Entre las medidas que se pueden establecer para mitigar los efectos de un posible sismo, se encuentra apearse a toda la legislación vigente al respecto, como lo son el Código Sísmico de Costa Rica (2010) y el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.

Cuadro 27

Medidas de mitigación por riesgos a desastres

Amenazas o peligros	Medidas de mitigación (por ejemplo, aislar, proteger, reforzar, podar, limpiar, mantener estructuras e instalaciones, regular, etc.)	Comentario respecto a su implementación
Sismo	Se tomará en consideración el CR-2010 y sus recomendaciones.	La normativa vigente en Costa Rica para la construcción de cualquier proyecto de infraestructura contempla que se diseñe con base en lo establecido en el Código Sísmico (2010).

Análisis socioambiental y medidas de mitigación

Aspectos ambientales

Es criterio de la Municipalidad de Grecia que las obras a ejecutar en el proyecto, descritas en este documento, son de muy bajo impacto ambiental y que estas se ejecutarán sobre un camino existente, el cual se reparará para mejorar las condiciones de ruedo de los vehículos.

En este sentido, considerando:

1. Que en el artículo 5, Actividades, de la Resolución No. 2373-2016-SETENA de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental se describe:
 31. Reparación y mantenimiento de obras públicas como: puentes, muros, caminos, pistas de aterrizaje, líneas para ferrocarril y otras edificaciones. Para lo cual deben ser las mismas instituciones las encargadas de verificar el cumplimiento del Código de Buenas Prácticas Ambientales y las leyes correspondientes, como obras o proyectos que se excluyen del trámite de Viabilidad Ambiental, al tenor de los requisitos de esa misma resolución.
2. Que las obras a ejecutar en el proyecto descrito en este documento son compatibles con aquellas definidas como de muy bajo impacto ambiental, según el artículo 3, Definiciones, de la Resolución No. 2373-2016-Setena, por los siguientes motivos:
 - a. No se localizan en un área ambientalmente frágil conforme a lo establecido en el Anexo 3 del Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental de EIA.
 - b. Los desechos sólidos por producir serán recogidos y depositados en los lugares autorizados por la autoridad competente.
 - c. La municipalidad garantiza que no se producirán ruidos que superen la norma técnica que establece los límites máximos permitidos por el Ministerio de Salud.

- d. La municipalidad se compromete a aplicar prácticas de gestión ambiental, conforme a lo establecido en las regulaciones ambientales vigentes en el país y el Código de Buenas Prácticas Ambientales del PRVC MOPT/BID.
 - e. Se mantiene el uso del suelo conforme.
3. Que se trata de un camino cantonal existente, ya impactado y en operación, en el que las reparaciones y los mejoramientos planteados generarán consecuencias positivas con la disminución de ruido, polvo y emisiones de gases. Además, habrá un control adecuado de aguas pluviales y la disminución del transporte de partículas erosionadas que podrían afectar zonas ambientalmente frágiles.

La Alcaldía de la Municipalidad de Grecia decide acogerse a la normativa ambiental vigente para la ejecución de este proyecto y, por consiguiente, resuelve:

- no tramitar la viabilidad ambiental para este proyecto;
- cumplir con la legislación ambiental vigente;
- apegarse al Código de Buenas Prácticas Ambientales del PRVC;
- comunicar esta decisión a la Setena para lo que corresponda.

Análisis legal y administrativo

Aspectos legales

A través de la Alcaldía Municipal y la Dirección de la Unidad Técnica de Gestión Municipal, la Municipalidad de Grecia da fe de que se observaron los reglamentos, los procedimientos, las normas, los códigos, los decretos y las leyes vigentes para la formulación de este proyecto. En este sentido, se aclara que dicho proyecto se elaboró en apego al Manual de Operaciones del Préstamo BID 4507/OC-CR-Proyecto MOPT-BID-Municipalidades y no fue necesario utilizar normativa internacional que requiriera procesos de homologación.

Organización y estructura administrativa

La entidad ejecutora será la Municipalidad de Grecia, a través de la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal, la cual se financia con recursos provenientes de la Ley 8114. La Unidad Técnica cuenta con el siguiente personal: director, promotor social y un asistente que apoya en el área de inspección vial. Adicional a este personal, se cuenta con los operadores de equipo pesado y una cuadrilla de mantenimiento vial y maquinaria.

Planificación y programación de la ejecución del proyecto

Se presenta el cronograma propuesto para desarrollar el proyecto. En total, se requieren cien días efectivos de trabajo y labores por realizar mediante los recursos del PRVC-II. Además, se adjunta un flujograma de los recursos y las obras que se desarrollaran en la totalidad del proyecto.

10 AÑOS

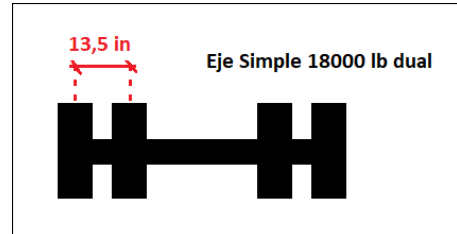


INGENIERÍA TÉCNICA DE PROYECTOS

Funciones de transferencia para análisis mecánico de pavimentos.

Módulo de carpeta asfáltica	
Módulo capa asfáltica (psi)	450 000
Módulo capa asfáltica (MPa)	3 103
Módulo capa asfáltica (ksi)	450

Ejes equivalentes de diseño	
Ndiseño	1 282 987



FATIGA						
Tipo de vehículo	Peso eje (lb)	Referencia	Deflexión por tensión horizontal en la fibra inferior de la capa asfáltica (ϵ_t)x10 ⁶	Ejes equivalentes Npermisibles (falla por fatiga)	Razón de Miners	¿Cumple?
Eje simple dual	4500	MOPT Oficio DVOP-5170-07	34,06	3 280 982 590 780	0,000	SI

DEFORMACIÓN PERMANENTE						
Tipo de vehículo	Peso eje (lb)	Referencia	Deflexión por compresión vertical en la fibra superior de la subrasante (ϵ_v)	Ejes equivalentes Npermisibles (falla por deformación permanente)	Razón de Miners	¿Cumple?
Eje simple dual	4500	MOPT Oficio DVOP-5170-07	1,7522E-04	89 662 023	0,014	SI

Cumplimiento de hipótesis de Miners por fatiga en BE-25

Tipo de vehículo	Peso eje (Ton)	Max. esfuerzo por tensión en la fibra inferior de la BE (psi)	Ejes equivalente Npermisibles (100% Fatiga)	Ejes equivalentes de diseño Ndiseño	Hipótesis de Miners (PCA)	¿Cumple ?
Ejes equivalentes simple dual 8 Ton	8,20	53,59	1,37E+07	1261591	0,09	OK

15 AÑOS

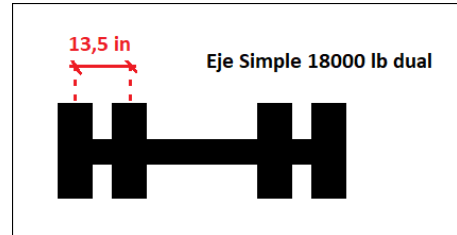


INGENIERÍA TÉCNICA DE PROYECTOS

Funciones de transferencia para análisis mecánico de pavimentos.

Módulo de carpeta asfáltica	
Módulo capa asfáltica (psi)	450 000
Módulo capa asfáltica (MPa)	3 103
Módulo capa asfáltica (ksi)	450

Ejes equivalentes de diseño	
Ndiseño	2 140 478



FATIGA						
Tipo de vehículo	Peso eje (lb)	Referencia	Deflexión por tensión horizontal en la fibra inferior de la capa asfáltica (ϵ_t)x10 ⁶	Ejes equivalentes Npermisibles (falla por fatiga)	Razón de Miners	¿Cumple?
Eje simple dual	4500	MOPT Oficio DVOP-5170-07	31,45	5 425 154 105 599	0,000	SI

DEFORMACIÓN PERMANENTE						
Tipo de vehículo	Peso eje (lb)	Referencia	Deflexión por compresión vertical en la fibra superior de la subrasante (ϵ_v)	Ejes equivalentes Npermisibles (falla por deformación permanente)	Razón de Miners	¿Cumple?
Eje simple dual	4500	MOPT Oficio DVOP-5170-07	1,4954E-04	182 282 039	0,012	SI

Cumplimiento de hipótesis de Miners por fatiga para BE-25

Tipo de vehículo	Peso eje (Ton)	Max. esfuerzo por tensión en la fibra inferior de la BE (psi)	Ejes equivalente Npermisibles (100% Fatiga)	Ejes equivalentes de diseño Ndiseño	Hipótesis de Miners (PCA)	¿Cumple ?
Ejes equivalentes simple dual 8 Ton	8,20	45,65	3,67E+08	2140478	0,01	OK

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Para el tramo 1, con un período de diseño de diez años, se propone la siguiente sección transversal para un pavimento flexible:

CARPETA ASFÁLTICA AC-30 $M_D = 450.000$ psi 9,0 cm de espesor
BASE EXISTENTE ESTABILIZADA CON CEMENTO HIDRÁULICO BE-25 (30 kg/cm²) 25,0 cm de espesor
SUB-BASE GRANULAR $M_R = 15.000$ psi CBR > 30 15,0 cm de espesor

SUB-RASANTE $M_R = 4.960$ psi

Para el tramo 1, con un período de diseño de quince años, se propone la siguiente sección transversal para un pavimento flexible:

CARPETA ASFÁLTICA AC-30 $M_D = 450.000$ psi 9,5 cm de espesor
BASE EXISTENTE ESTABILIZADA CON CEMENTO HIDRÁULICO BE-25 (30 kg/cm²) 28,0 cm de espesor
SUB-BASE GRANULAR $M_R = 15.000$ psi CBR > 30 15,0 cm de espesor

SUB-RASANTE $M_R = 4.960$ psi

Con base en el análisis estructural, se concluye que la estructura de pavimento no será susceptible a deformaciones plásticas o fatiga acelerada durante el período de diseño.

Recomendaciones

Se recomienda la construcción de un sistema de drenajes transversales y longitudinales adecuado para recolectar y guiar el agua de escorrentía a los puntos de desfogue apropiados. La construcción de cunetas revestidas de concreto hidráulico de 225 kg/cm² a ambos lados de la ruta permitirá recolectar las aguas de lluvia provenientes de tierras altas y la superficie de ruedo y transportarlas hacia alcantarillas tipo cuadro u otro tipo de drenaje transversal. El buen desempeño de la estructura de pavimento dependerá directamente de la capacidad y el funcionamiento adecuado del sistema de drenajes.

Es fundamental realizar ensayos de reflectometría por impacto (FWD) o algún otro capaz de medir deflexiones superficiales aplicadas sobre cada capa de pavimento, posterior a su colocación y compactación, para así verificar que los niveles de rigidez alcanzados en dichas capas alcanzan los requerimientos de diseño.

Se debe considerar una capa asfáltica con agregados resistentes al desgaste provocado por la fricción entre las llantas y la superficie de ruedo, ya que esto evitará desprendimientos del agregado que favorecerían al hidroplaneo de los vehículos bajo la lluvia. Se debe garantizar una superficie de ruedo antideslizante como elemento de seguridad.

Asimismo, resulta esencial incluir los elementos de seguridad vial apropiados para la ruta con el fin de prevenir accidentes y garantizar el confort del usuario.

Dadas las condiciones restringidas del tránsito para las fechas en que se realizaron los conteos (restricciones sanitarias por la pandemia de la COVID-19), se sugiere que se realicen nuevos conteos cuando se normalice la situación, de manera que se valide la información de tránsito obtenida y utilizada en este diseño. Esto con el fin de asegurar la adecuación y el desempeño de dicho diseño a la realidad de tránsito de la ruta.

Es recomendable utilizar elementos de confinamiento como cunetas o espaldones para

evitar los agrietamientos del borde por los desplazamientos laterales.

Si se espera construir bahías de buses o zonas de velocidad lenta o detenida, se sugiere el uso de un asfalto de grado PG-70 en la mezcla asfáltica, pues esto evitará el exceso de deformaciones permanentes como hundimientos o roderas en la superficie de rueda.

Sobre modificaciones o ajustes al diseño objeto de este informe

En caso de que el diseño propuesto aquí sea modificado, ajustado o utilizado como referencia para un replanteo posterior a su entrega y recepción oficial por parte del cliente, ITP se libera de cualquier responsabilidad en cuanto al desempeño futuro del diseño original que se presenta en este informe.

Bibliografía

Arias, E. (octubre, 2014). *Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico-empíricos*, Lanamme UCR.

Fernández, S. (2014). *Software ITP-ESAL para cálculo de ejes equivalentes de diseño*. Ingeniería Técnica de Proyectos.

Fernández, S. (2014). *Software ITP-FPAVE para diseño de pavimentos flexibles*. Ingeniería Técnica de Proyectos.

Fernández, S.,(2014). *Software ITP-RPAVE para diseño de pavimentos rígidos*. Ingeniería Técnica de Proyectos.

Huang, Y. (2004). *Análisis y Diseño de Pavimentos*. Prentice Hall.

Lanamme UCR. (2017). *Software para diseño mecanístico-empírico de pavimento flexibles*.

LanammeUCR. (2017). *Software PITRAPVE para análisis elástico-lineal de capas, versión 1.0*.

Leiva-Villacorta, F. (2008). *Desarrollo de una guía de diseño para pavimentos de bajo volumen de tránsito en Costa Rica*.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). *Manual para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010*.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2007). *Oficio No. DVOP-5170-07*.

Sieca. (2020). *Manual de diseño de pavimentos*.

Apéndices

Apéndice 1: Conteos vehiculares

Apéndice 2: Estimación de ejes equivalentes de diseño ITP-ESAL para diez y quince años para pavimentos semirrígidos

Apéndice 3: Cálculo del módulo resiliente efectivo de subrasante

Apéndice 4: Memoria de cálculo para dimensionamiento de espesores ITP-FPAVE

Apéndice 5: Datos de entrada y salida PITRA PAVE

APÉNDICE 1

INGENIERÍA TÉCNICA DE PROYECTOS	Ingeniería Técnica de Proyectos	Código ITP-R-XX	
	Toma de datos para conteos vehiculares y categorización de vehículos	Versión: 01	Página: 1 de 1
	Consecutivo: 01		

Fecha de conteo: 2020-05-06 **Tipo de ruta:** Municipal **Código de ruta:** Punto Conteo 1
Nombre de ruta: Calle Lomas **Estación inicial:** _____ **Estación final:** _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	168	23	11	6			1	1	
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	176	49	14	15	4			2	
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	114	39	6	10	1			3	1
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	106	36	7	15	2			4	
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	104	39	4	14	1		1	1	
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	98	37	11	12				2	
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	106	32	5	11				5	1
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	107	29	6	10	1			3	1
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	117	38	14	12	3			2	
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	132	48	12	13	1			2	
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	159	38	15	6	1				1
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	160	38	15	6	1			2	
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.									

C3

C4

T2-S2

T2-S3

T3-S1

T3-S2

T3-S3

Fecha de conteo: 2020-05-08

Tipo de ruta: Municipal

Código de ruta: Punto Conteo 1

Nombre de ruta: Calle Lomas

Estación inicial: _____

Estación final: _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	139	32	10	17	1				
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	168	23	16	12	6			1	1
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	118	46	5	14	4		1	2	1
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	125	35	7	10	5			2	
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	107	55	5	10	3			2	
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	97	31	10	15	7		2	2	
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	122	41	9	12	2		1	1	
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	134	35	10	16	3				
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	160	52	8	11	1			2	
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	162	48	15	8	6				
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	167	44	6	12	4			2	
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	165	42	5	10	5			1	
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.									

1664

484

106

147

47

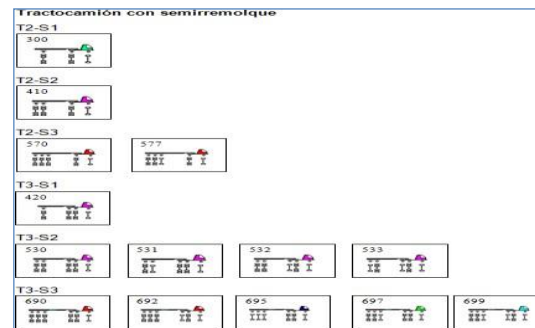
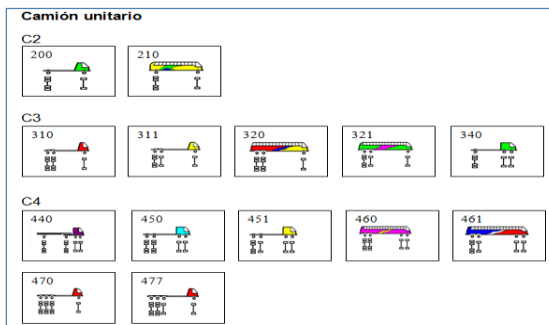
0


4

15

2

2469



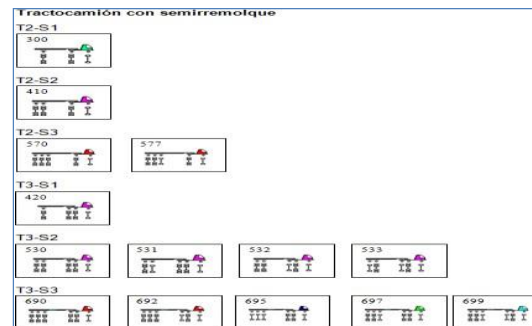
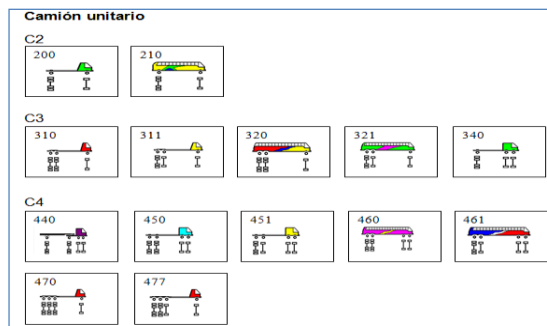
	Ingeniería Técnica de Proyectos	Código ITP-R-XX	
	Toma de datos para conteos vehiculares y categorización de vehículos	Versión: 01	Página: 1 de 1
	Consecutivo: 01		

Fecha de conteo: 2020-05-11 Tipo de ruta: Municipal Código de ruta: Punto Conteo 1

Nombre de ruta: Calle Lomas Estación inicial: _____ Estación final: _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	171	37	12	12	3			3	
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	202	35	12	13	2			2	
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	133	36	6	14				2	
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	98	45	7	10	2			1	1
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	96	46	9	10			1	2	1
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	99	48	19	22				1	
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	107	34	9	16	4		1	1	1
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	103	35	10	19	1			2	
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	138	37	15	16	3			3	
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	168	51	20	6	2		2		
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	188	46	13	21	3			2	1
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	170	40	12	17	3			1	
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.									
		1673	490	144	176	23	0	4	20	4

2534



Fecha de conteo: 6 de Mayo 2020

Tipo de ruta: Municipal

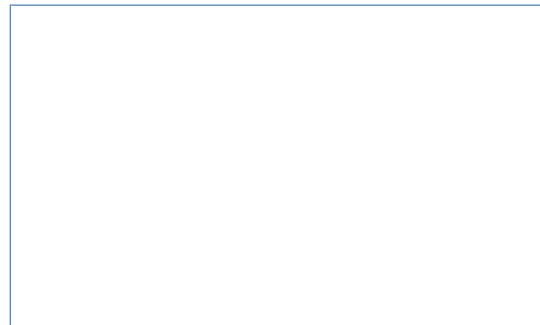
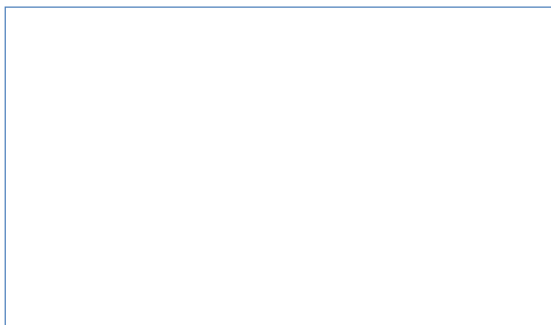
Código de ruta: Punto de conteo 2

Nombre de ruta: Rincon de Salas

Estación inicial: _____

Estación final: _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros	
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	132	25	3	4						
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	131	35	4	7	1				2	
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	80	25	5	4	1				2	
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	81	27	6	14		1				
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	96	20	4	11	1				1	
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	80	28	10	5					2	
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	74	19	2	4				1	2	
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	74	20	4	5					2	
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	100	28	9	5	2				2	
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	130	29	11	8					1	
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	143	23	8	4						
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	145	25	4	5						
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.										
		1266	304	70	76	5	1	0	1	14	
											1737



Fecha de conteo: 8 de Mayo 2020

Tipo de ruta: Municipal

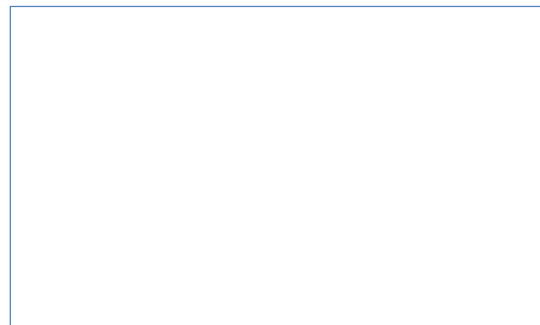
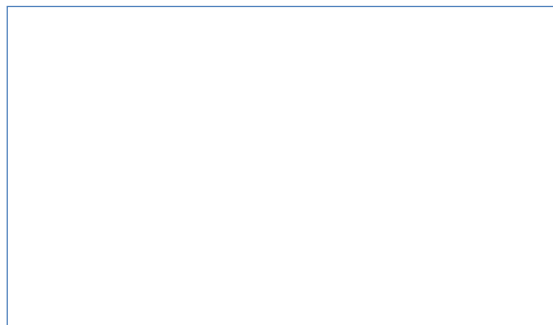
Código de ruta: Punto de conteo 2

Nombre de ruta: Rincon de Salas

Estación inicial: _____

Estación final: _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros	
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	129	21	4	8	4				2	
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	158	28	10	11	4					
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	103	24	4	9	2				1	
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	118	25	5	7	2					
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	94	48	5	7	2			1	1	
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	95	29	5	5	7				1	
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	97	33	7	10	1					
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	110	27	8	10	1				1	
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	130	38	7	6					3	
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	143	44	8	8						
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	152	31	9	4					2	
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	145	35	7	6						
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.										
		1474	383	79	91	23	0	0	1	11	2062



Fecha de conteo: 11 de Mayo 2020

Tipo de ruta: Municipal

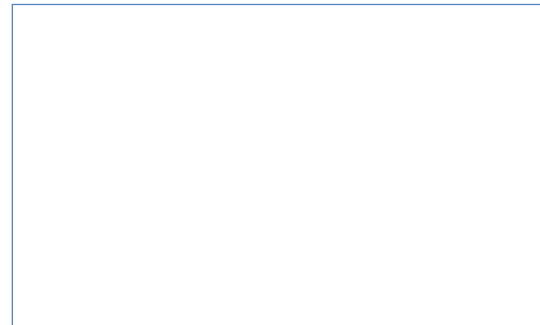
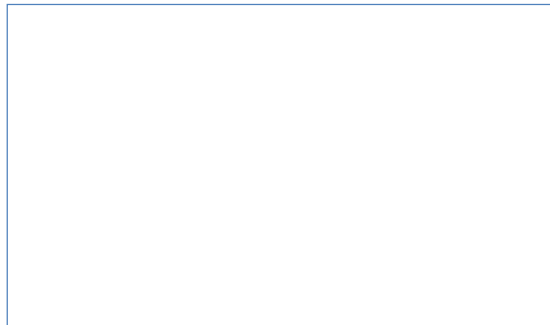
Código de ruta: Punto de conteo 2

Nombre de ruta: Rincon de Salas

Estación inicial: _____

Estación final: _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros	
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	134	23	3	4					1	
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	168	23	7	6	2				3	
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	105	33	4	6					1	
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	77	36	6	5				1	1	
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	85	41	3	9						
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	91	34	12	14					1	
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	88	35	6	11				1	2	
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	105	26	4	7					1	
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	117	22	4	8						
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	129	33	6	11						
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	137	25	4	9	1					
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	125	32	4	10						
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.										
		1361	363	63	100	3	0	0	2	10	1902



APÉNDICE 2

Resumen: Ejes equivalentes de carga ESAL's

Información general	
Tipo de pavimento	Flexible
Número de carriles	2
Carriles por sentido	1
Factor de distribución por carril L.D	1
Factor de distribución direccional D.D	0,5
Serviciabilidad final Pt	2
Número estructural SN o espesor (in)	5
Período de diseño (años)	10
Tráfico promedio diario anual TPDA (Veh/día)	2918
Design AADT (Trucks/day)	0,00

Volver a índice

Average % Heavy Trucks in design lane	
Average TADT bi-directional, assuming p_1 dependent on AADT	

AADT * % Heavy trucks * % Average TADT (taken from ALDOT website)

Clase de vehículo	Descripción del vehículo	% Frecuencia	TPDA Actual	Índice de crecimiento	Factor de crecimiento	Factor ESAL	ESAL's
Livianos		66,94%	1953,33	4,000%	12,006	0,004	17120
Carga liviana		19,46%	567,81	4,000%	12,006	0,02	24883
C2, C2+		6,24%	181,94	4,000%	12,006	0,63	251147
Buses		5,07%	147,95	4,000%	12,006	2,29	742358
C3		1,16%	33,99	4,000%	12,006	1,28	95325
C4		0,00%	0,00	4,000%	12,006	1,00	
T3-S2		0,86%	24,99	4,000%	12,006	2,38	130327
T3-S3		0,14%	4,00	4,000%	12,006	2,49	21816
Otros		0,14%	4,00	4,000%	12,006	0,0014	12
Todos los vehículos		100,00%	2918			ESAL's Diseño	1282987

BORRAR

Ecuaciones:

$$ESAL's = L.D \times D.D \times Growth\ Factor \times ESAL\ factor \times 365 \times Current\ Traffic$$

Resumen: Ejes equivalentes de carga ESAL's

Información general

Tipo de pavimento	Flexible
Número de carriles	2
Carriles por sentido	1
Factor de distribución por carril L.D	1
Factor de distribución direccional D.D	0,5
Serviciabilidad final Pt	2
Número estructural SN o espesor (in)	5
Periodo de diseño (años)	15
Tráfico promedio diario anual TPDA (Veh/día)	2919
Design AADT (Trucks/day)	0,00

Volver a índice

From Table 6.16, % of ESALs in design lane = 90%
 Traffic volume is bi-directional, assuming 50% in each direction
 p_i, dependent on AADT

Average % Heavy Trucks	
Average TADT	

AADT * % Heavy trucks * % Average TADT (taken from ALDOT website)

Clase de vehículo	Descripción del vehículo	% Frecuencia	TPDA Actual	Índice de crecimiento	Factor de crecimiento	Factor ESAL	ESAL's
Livianos		66,94%	1954,00	4,000%	20,024	0,004	28562
Carga liviana		19,46%	568,00	4,000%	20,024	0,02	41513
C2, C2+		6,24%	182,00	4,000%	20,024	0,63	419003
Buses		5,07%	148,00	4,000%	20,024	2,29	1238517
C3		1,16%	34,00	4,000%	20,024	1,28	159035
C4		0,00%	0,00	4,000%	20,024	1,00	
T3-S2		0,86%	25,00	4,000%	20,024	2,38	217431
T3-S3		0,14%	4,00	4,000%	20,024	2,49	36397
Otros		0,14%	4,00	4,000%	20,024	0,0014	20
Todos los vehículos		100,00%	2919			ESAL's Diseño	2140478

Ecuaciones:

$$ESAL's = L \cdot D \cdot D \cdot \text{Growth Factor} \cdot \text{ESAL factor} \cdot 365 \cdot \text{Current Traffic}$$

BORRAR

Resumen: Ejes equivalentes de carga ESAL's

Información general

Tipo de pavimento	Flexible
Número de carriles	2
Carriles por sentido	1
Factor de distribución por carril L.D	1
Factor de distribución direccional D.D	0,5
Serviciabilidad final Pt	2
Número estructural SN o espesor (in)	5
Periodo de diseño (años)	10
Tráfico promedio diario anual TPDA (Veh/día)	2280
Design AADT (Trucks/day)	0,00

Volver a índice

From Table 6.16, % of ESALs in design lane = 90%
 Traffic volume is bi-directional, assuming 50% in each direction
 p_i, dependent on AADT

Average % Heavy Trucks	
Average TADT	

AADT * % Heavy trucks * % Average TADT (taken from ALDOT website)

Clase de vehículo	Descripción del vehículo	% Frecuencia	TPDA Actual	Índice de crecimiento	Factor de crecimiento	Factor ESAL	ESAL's
Livianos		71,93%	1640,00	4,000%	12,006	0,004	14374
Carga liviana		18,42%	420,00	4,000%	12,006	0,02	18405
C2, C2+		4,69%	107,00	4,000%	12,006	0,63	147703
Buses		3,73%	85,00	4,000%	12,006	2,29	426500
C3		0,53%	12,00	4,000%	12,006	1,28	33656
C4		0,00%	0,00	4,000%	12,006	1,00	
T3-S2		0,09%	2,00	4,000%	12,006	2,38	10430
T3-S3		0,00%	0,00	4,000%	12,006	2,49	
Otros		0,61%	14,00	4,000%	12,006	0,0014	43
Todos los vehículos		100,00%	2280			ESAL's Diseño	651111

Ecuaciones:

$$ESAL's = L \cdot D \cdot D \cdot Growth\ Factor \cdot ESAL\ factor \cdot 365 \cdot Current\ Traffic$$

BORRAR

Resumen: Ejes equivalentes de carga ESAL's

Información general

Tipo de pavimento	Flexible
Número de carriles	2
Carriles por sentido	1
Factor de distribución por carril L.D	1
Factor de distribución direccional D.D	0,5
Serviciabilidad final Pt	2
Número estructural SN o espesor (in)	5
Periodo de diseño (años)	15
Tráfico promedio diario anual TPDA (Veh/día)	2280
Design AADT (Trucks/day)	0,00

Volver a índice

From Table 6.16, % of ESALs in design lane = 90%
 Traffic volume is bi-directional, assuming 50% in each direction
 p_i, dependent on AADT

Average % Heavy Trucks	
Average TADT	

AADT * % Heavy trucks * % Average TADT (taken from ALDOT website)

Clase de vehículo	Descripción del vehículo	% Frecuencia	TPDA Actual	Índice de crecimiento	Factor de crecimiento	Factor ESAL	ESAL's
Livianos		71,93%	1640,00	4,000%	20,024	0,004	23972
Carga liviana		18,42%	420,00	4,000%	20,024	0,02	30696
C2, C2+		4,69%	107,00	4,000%	20,024	0,63	246337
Buses		3,73%	85,00	4,000%	20,024	2,29	711310
C3		0,53%	12,00	4,000%	20,024	1,28	56130
C4		0,00%	0,00	4,000%	20,024	1,00	
T3-S2		0,09%	2,00	4,000%	20,024	2,38	17394
T3-S3		0,00%	0,00	4,000%	20,024	2,49	
Otros		0,61%	14,00	4,000%	20,024	0,0014	72
Todos los vehículos		100,00%	2280			ESAL's Diseño	1085912

Ecuaciones:

$$ESAL's = L \cdot D \cdot D \cdot \text{Growth Factor} \cdot \text{ESAL factor} \cdot 365 \cdot \text{Current Traffic}$$

BORRAR

APÉNDICE 3

Módulo efectivo de la sub-rasante M_R

Módulo efectivo de la sub-rasante M_R				
Mes	Índice de soporte de California CBR (%)	Módulo M_R (psi)	Daño relativo (μ_i)	$\mu_i * D$
Enero	3,8	5625	0,24	0,235
Febrero	3,8	5625	0,24	0,235
Marzo	3,8	5625	0,24	0,235
Abril	3,8	5625	0,24	0,235
Mayo	3,0	4500	0,39	0,395
Junio	3,0	4500	0,39	0,395
Julio	3,0	4500	0,39	0,395
Agosto	3,0	4500	0,39	0,395
Septiembre	3,0	4500	0,39	0,395
Octubre	3,0	4500	0,39	0,395
Noviembre	3,8	5625	0,24	0,235
Diciembre	3,8	5625	0,24	0,235
			$\Sigma \mu_i * D$	3,781
u_f promedio	0,3151		$u_f = 1.18 \times 10^8 * M_R^{-2.32}$ $u_{f \text{ average}} = \frac{\sum u_{fi} * D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$ $M_{R \text{ Effective}} = \left(\frac{u_{f \text{ average}}}{1.18 \times 10^8} \right)^{-\frac{1}{2.32}}$	
M_R efectivo (psi)	4960			
<input type="button" value="Volver a índice"/>		<input type="button" value="Borrar"/>		



APÉNDICE 4

Periodo de Diseño 10 años

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₁														
Capa 1	Mezcla asfáltica													
Capa 2	Material alternativo													
Parámetros iniciales		Número estructural SN₁					Resumen							
Confiabilidad R	80%	SN Diseño 0,37					Coefficiente estructural a₁	0,44	Base granular	0,135	Sub-base granular	0,11	Material alternativo	0,17
Desviación estándar So	0,45						Coefficiente de drenaje m₁	-	0,80	0,80	1,00			
ΔPSI	2,2						Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	640000			
Módulo Mr Capa 2 (psi)	640000													
ESAL's Diseño	1,28E+06													
Zstat	-0,841621234													
											Tabular residual			
LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Log W18*	LogW18*-LogW18		
6,108222256	-0,378729555	0	7,5	15	8,69936114	-0,2	-0,088941083	0,416418486	13,47033754	-8,07	13,30738331	7,199161054		
6,108222256	-0,378729555	0	3,75	7,5	6,33385219	-0,2	-0,088941083	0,736494127	13,47033754	-8,07	11,03469738	4,926475128		
6,108222256	-0,378729555	0	1,875	3,75	4,29285027	-0,2	-0,088941083	4,957082443	13,47033754	-8,07	9,096516027	2,988293772		
6,108222256	-0,378729555	0	0,9375	1,875	2,68858242	-0,2	-0,088941083	35,73725748	13,47033754	-8,07	7,507701652	1,399479396		
6,108222256	-0,378729555	0	0,46875	0,9375	1,56263215	-0,2	-0,088941083	149,1845469	13,47033754	-8,07	6,383643956	0,2754217		
6,108222256	-0,378729555	0	0,234375	0,46875	0,85594502	-0,2	-0,088941083	367,1809602	13,47033754	-8,07	5,677310776	-0,43091148		
6,108222256	-0,378729555	0,234375	0,3515625	0,46875	1,22462621	-0,2	-0,088941083	229,4750496	13,47033754	-8,07	6,045846609	-0,062375647		
6,108222256	-0,378729555	0,3515625	0,41015625	0,46875	1,39714133	-0,2	-0,088941083	184,1893594	13,47033754	-8,07	6,218266441	0,110044185		
6,108222256	-0,378729555	0,3515625	0,38085938	0,41015625	1,31179888	-0,2	-0,088941083	205,3470455	13,47033754	-8,07	6,132973737	0,024751481		
6,108222256	-0,378729555	0,3515625	0,36621094	0,38085938	1,26844621	-0,2	-0,088941083	217,0108261	13,47033754	-8,07	6,089644352	-0,018577904		
6,108222256	-0,378729555	0,36621094	0,37353516	0,38085938	1,29018034	-0,2	-0,088941083	211,0826947	13,47033754	-8,07	6,111366967	0,003144712		
6,108222256	-0,378729555	0,36621094	0,36987305	0,37353516	1,2793278	-0,2	-0,088941083	214,0222364	13,47033754	-8,07	6,100520217	-0,007702039		
6,108222256	-0,378729555	0,36987305	0,3717041	0,37353516	1,28475769	-0,2	-0,088941083	212,5463933	13,47033754	-8,07	6,105947222	-0,002275034		
6,108222256	-0,378729555	0,3717041	0,37261963	0,37353516	1,28746992	-0,2	-0,088941083	211,8130332	13,47033754	-8,07	6,108658001	0,000435745		
6,108222256	-0,378729555	0,3717041	0,37216187	0,37261963	1,28611403	-0,2	-0,088941083	212,1793347	13,47033754	-8,07	6,107302838	-0,000919418		
6,108222256	-0,378729555	0,37216187	0,37239075	0,37261963	1,28679203	-0,2	-0,088941083	211,9960894	13,47033754	-8,07	6,107980476	-0,00024178		



DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₂

Capa 2	Material alternativo
Capa 3	Sub-base granular

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	80%
Desviación estándar So	0,45
ΔPSI	2,2
Módulo Mr Capa 3 (psi)	15000
ESAL's Diseño	1,28E+06

Número estructural SN ₂	
SN Diseño	2,52

2,15

Resumen	Mezcla asfáltica	Base granular	Sub-base granular	Material alternativo
Coefficiente estructural a _i	0,44	0,135	0,11	0,17
Coefficiente de drenaje m _i	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	640000

Zstat	-0,841621234
-------	--------------

LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmox	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											Log W18*	LogW18*-LogW18
6,108222256	-0,378729555	1	8	15	8,93170989	-0,2	-0,088941083	0,412203902	9,688531721	-8,07	9,755742424	3,647520168
6,108222256	-0,378729555	1	4,5	8	6,92979477	-0,2	-0,088941083	0,557229837	9,688531721	-8,07	7,809984016	1,70176176
6,108222256	-0,378729555	1	2,75	4,5	5,37293267	-0,2	-0,088941083	1,547611899	9,688531721	-8,07	6,355264943	0,247042687
6,108222256	-0,378729555	1	1,875	2,75	4,29285027	-0,2	-0,088941083	4,957082443	9,688531721	-8,07	5,314710209	-0,793512047
6,108222256	-0,378729555	1,875	2,3125	2,75	4,8686591	-0,2	-0,088941083	2,584782803	9,688531721	-8,07	5,874051768	-0,234170488
6,108222256	-0,378729555	2,3125	2,53125	2,75	5,12861043	-0,2	-0,088941083	1,967720321	9,688531721	-8,07	6,123212536	0,014990281
6,108222256	-0,378729555	2,3125	2,421875	2,53125	5,00071236	-0,2	-0,088941083	2,245807605	9,688531721	-8,07	6,000911362	-0,107310894
6,108222256	-0,378729555	2,421875	2,4765625	2,53125	5,06516439	-0,2	-0,088941083	2,099998771	9,688531721	-8,07	6,062613631	-0,045608625
6,108222256	-0,378729555	2,4765625	2,50390625	2,53125	5,09701119	-0,2	-0,088941083	2,032262347	9,688531721	-8,07	6,09304879	-0,015173466
6,108222256	-0,378729555	2,50390625	2,51757813	2,53125	5,11284152	-0,2	-0,088941083	1,999603147	9,688531721	-8,07	6,108164316	-5,79403E-05
6,108222256	-0,378729555	2,51757813	2,52441406	2,53125	5,12073362	-0,2	-0,088941083	1,983566038	9,688531721	-8,07	6,115696805	0,007474549
6,108222256	-0,378729555	2,51757813	2,52099609	2,52441406	5,11678948	-0,2	-0,088941083	1,991560501	9,688531721	-8,07	6,111932659	0,00371404
6,108222256	-0,378729555	2,51757813	2,51928711	2,52099609	5,11481598	-0,2	-0,088941083	1,99557578	9,688531721	-8,07	6,110049013	0,001826757
6,108222256	-0,378729555	2,51757813	2,51843262	2,51928711	5,11382887	-0,2	-0,088941083	1,99758795	9,688531721	-8,07	6,109106796	0,00088454
6,108222256	-0,378729555	2,51757813	2,51800537	2,51843262	5,11333522	-0,2	-0,088941083	1,99859517	9,688531721	-8,07	6,108635588	0,000413333
6,108222256	-0,378729555	2,51757813	2,51779175	2,51800537	5,11308838	-0,2	-0,088941083	1,999099064	9,688531721	-8,07	6,10839996	0,000177704



DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₃ (PROTECCIÓN DE SUB-RASANTE)

Capa 3 Sub-base granular

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	80%
Desviación estándar So	0,45
ΔPSI	2,2
Módulo Mr Capa 3 (psi)	4959,81
ESAL's Diseño	1,28E+06

Número estructural SN ₃	
SN Diseño	3,71

Resumen	Mezcla asfáltica	Base granular	Sub-base granular	Material alternativo
Coefficiente estructural a _i	0,44	0,135	0,11	0,17
Coefficiente de drenaje m _i	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	640000

Zstat -0,841621234

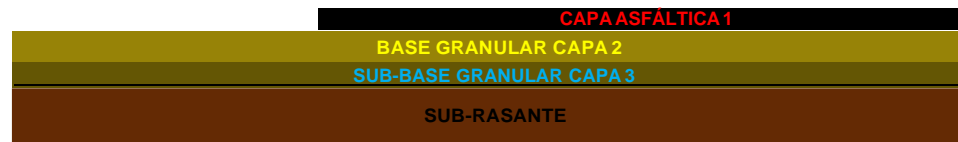
LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											Log W18*	LogW18*-LogW18
6,108222256	-0,378729555	1	8	15	8,93170989	-0,2	-0,088941083	0,412203902	8,573479076	-8,07	8,64068978	2,532467524
6,108222256	-0,378729555	1	4,5	8	6,92979477	-0,2	-0,088941083	0,557229837	8,573479076	-8,07	6,694931371	0,586709115
6,108222256	-0,378729555	1	2,75	4,5	5,37293267	-0,2	-0,088941083	1,547611899	8,573479076	-8,07	5,240212299	-0,868009957
6,108222256	-0,378729555	2,75	3,625	4,5	6,22544586	-0,2	-0,088941083	0,786444746	8,573479076	-8,07	6,037102777	-0,071119479
6,108222256	-0,378729555	3,625	4,0625	4,5	6,59285674	-0,2	-0,088941083	0,641747941	8,573479076	-8,07	6,379014334	0,270792078
6,108222256	-0,378729555	3,625	3,84375	4,0625	6,4133009	-0,2	-0,088941083	0,70403543	8,573479076	-8,07	6,211720011	0,103497755
6,108222256	-0,378729555	3,625	3,734375	3,84375	6,32045845	-0,2	-0,088941083	0,742297829	8,573479076	-8,07	6,125389372	0,017167116
6,108222256	-0,378729555	3,625	3,6796875	3,734375	6,27322974	-0,2	-0,088941083	0,763573195	8,573479076	-8,07	6,081499161	-0,026723095
6,108222256	-0,378729555	3,6796875	3,70703125	3,734375	6,29691268	-0,2	-0,088941083	0,752744271	8,573479076	-8,07	6,103506429	-0,004715827
6,108222256	-0,378729555	3,70703125	3,72070313	3,734375	6,30870261	-0,2	-0,088941083	0,747474232	8,573479076	-8,07	6,114463306	0,00624105
6,108222256	-0,378729555	3,70703125	3,71386719	3,72070313	6,30281192	-0,2	-0,088941083	0,750097425	8,573479076	-8,07	6,108988735	0,00076648
6,108222256	-0,378729555	3,70703125	3,71044922	3,71386719	6,29986337	-0,2	-0,088941083	0,751417876	8,573479076	-8,07	6,106248551	-0,001973704
6,108222256	-0,378729555	3,71044922	3,7121582	3,71386719	6,30133792	-0,2	-0,088941083	0,750756909	8,573479076	-8,07	6,107618885	-0,00060337
6,108222256	-0,378729555	3,7121582	3,7130127	3,71386719	6,30207499	-0,2	-0,088941083	0,750426982	8,573479076	-8,07	6,108303871	8,1615E-05
6,108222256	-0,378729555	3,7121582	3,71258545	3,7130127	6,30170647	-0,2	-0,088941083	0,750591899	8,573479076	-8,07	6,107961393	-0,000260863
6,108222256	-0,378729555	3,71258545	3,71279907	3,7130127	6,30189073	-0,2	-0,088941083	0,750509429	8,573479076	-8,07	6,108132636	-8,962E-05



Dimensionamiento de espesores (10 años)

Diseño de pavimento flexible	
Capa 1	
Capa	Mezcla asfáltica
Número estructural SN ₁	0,37
Coefficiente estructural a ₁	0,44
Espesor calculado D ₁ (in)	0,85
Espesor calculado D ₁ (cm)	2,15
Espesor mínimo requerido D _{1 MIN} (cm)	7,62
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	9,00
Nuevo Número estructural SN ₁	1,56
Capa 2	
Capa	Material alternativo
Número estructural SN ₂	2,52
Coefficiente estructural a ₂	0,17
Coefficiente de drenaje m ₂	1,00
Espesor calculado D ₂ (in)	5,64
Espesor calculado D ₂ (cm)	14,3
Espesor mínimo requerido D _{2 MIN} (cm)	15,2
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	25,0
Nuevo Número estructural SN ₂	3,23
Número estructural de capa SN ₂ -SN ₁	1,67
Capa 3	
Capa	Sub-base granular
Número estructural SN ₃	3,71
Coefficiente estructural a ₃	0,11
Coefficiente de drenaje m ₃	0,80
Espesor calculado D ₃ (in)	5,46
Espesor calculado D ₃ (cm)	13,87
Espesor mínimo requerido D _{3 MIN} (cm)	15,2
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	15,0
Nuevo Número estructural SN ₃	3,75
Número estructural de capa SN ₃ -SN ₂	0,52
SN Total Requerido	3,71
SN Total Diseño	3,75
Cumple o no ?	OK

Resumen	Mezcla asfáltica	Base granular	Sub-base granular	Material alternativo
Coefficiente estructural a _i	0,44	0,135	0,11	0,17
Coefficiente de drenaje m _i	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	640000



Espesores mínimos SIECA

Volver a índice



Periodo de Diseño 15 años

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₁

Capa 1	Mezcla asfáltica
Capa 2	Material alternativo

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	80%
Desviación estándar So	0,45
ΔPSI	2,2
Módulo Mr Capa 2 (psi)	640000
ESAL's Diseño	2,14E+06
Zstat	-0,841621234

Número estructural SN ₁	
SN Diseño	0,45

Resumen	Mezcla asfáltica	Base granular	Sub-base granular	Material alternativo
Coefficiente estructural a ₁	0,44	0,135	0,11	0,17
Coefficiente de drenaje m ₁	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	640000

LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											Log W18*	LogW18*-LogW18
6,330510768	-0,378729555	0	7,5	15	8,69936114	-0,2	-0,088941083	0,416418486	13,47033754	-8,07	13,30738331	6,976872542
6,330510768	-0,378729555	0	3,75	7,5	6,33385219	-0,2	-0,088941083	0,736494127	13,47033754	-8,07	11,03469738	4,704186615
6,330510768	-0,378729555	0	1,875	3,75	4,29285027	-0,2	-0,088941083	4,957082443	13,47033754	-8,07	9,096516027	2,766005259
6,330510768	-0,378729555	0	0,9375	1,875	2,68858242	-0,2	-0,088941083	35,73725748	13,47033754	-8,07	7,507701652	1,177190883
6,330510768	-0,378729555	0	0,46875	0,9375	1,56263215	-0,2	-0,088941083	149,1845469	13,47033754	-8,07	6,383643956	0,053133188
6,330510768	-0,378729555	0	0,234375	0,46875	0,85594502	-0,2	-0,088941083	367,1809602	13,47033754	-8,07	5,677310776	-0,653199993
6,330510768	-0,378729555	0,234375	0,3515625	0,46875	1,22462621	-0,2	-0,088941083	229,4750496	13,47033754	-8,07	6,045846609	-0,28466416
6,330510768	-0,378729555	0,3515625	0,41015625	0,46875	1,39714133	-0,2	-0,088941083	184,1893594	13,47033754	-8,07	6,218266441	-0,112244328
6,330510768	-0,378729555	0,41015625	0,43945313	0,46875	1,48072885	-0,2	-0,088941083	165,5855895	13,47033754	-8,07	6,301799706	-0,028711063
6,330510768	-0,378729555	0,43945313	0,45410156	0,46875	1,52188678	-0,2	-0,088941083	157,1294522	13,47033754	-8,07	6,342928724	0,012417956
6,330510768	-0,378729555	0,43945313	0,44677734	0,45410156	1,5013599	-0,2	-0,088941083	161,2912787	13,47033754	-8,07	6,322416457	-0,008094311
6,330510768	-0,378729555	0,44677734	0,45043945	0,45410156	1,5116363	-0,2	-0,088941083	159,1941047	13,47033754	-8,07	6,332685586	0,002174817
6,330510768	-0,378729555	0,44677734	0,4486084	0,45043945	1,50650135	-0,2	-0,088941083	160,2385895	13,47033754	-8,07	6,327554279	-0,00295649
6,330510768	-0,378729555	0,4486084	0,44952393	0,45043945	1,50906963	-0,2	-0,088941083	159,7153263	13,47033754	-8,07	6,330120745	-0,000390023
6,330510768	-0,378729555	0,44952393	0,44998169	0,45043945	1,51035317	-0,2	-0,088941083	159,4544608	13,47033754	-8,07	6,331403369	0,0008926
6,330510768	-0,378729555	0,44952393	0,44975281	0,44998169	1,50971145	-0,2	-0,088941083	159,5848298	13,47033754	-8,07	6,330762108	0,00025134



DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₂

Capa 2	Material alternativo
Capa 3	Sub-base granular

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	80%
Desviación estándar So	0,45
ΔPSI	2,2
Módulo Mr Capa 3 (psi)	15000
ESAL's Diseño	2,14E+06

Número estructural SN2
SN Diseño 2,73

Resumen	Mezcla asfáltica	Base granular	Sub-base granular	Material alternativo
Coefficiente estructural a _i	0,44	0,135	0,11	0,17
Coefficiente de drenaje m _i	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	640000

Zstat	-0,841621234
-------	--------------

LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											LogW18*	LogW18*-LogW18
6,330510768	-0,378729555	1	8	15	8,93170989	-0,2	-0,088941083	0,412203902	9,688531721	-8,07	9,755742424	3,425231656
6,330510768	-0,378729555	1	4,5	8	6,92979477	-0,2	-0,088941083	0,557229837	9,688531721	-8,07	7,809984016	1,479473248
6,330510768	-0,378729555	1	2,75	4,5	5,37293267	-0,2	-0,088941083	1,547611899	9,688531721	-8,07	6,355264943	0,024754175
6,330510768	-0,378729555	1	1,875	2,75	4,29285027	-0,2	-0,088941083	4,957082443	9,688531721	-8,07	5,314710209	-1,01580056
6,330510768	-0,378729555	1,875	2,3125	2,75	4,8686591	-0,2	-0,088941083	2,584782803	9,688531721	-8,07	5,874051768	-0,456459001
6,330510768	-0,378729555	2,3125	2,53125	2,75	5,12861043	-0,2	-0,088941083	1,967720321	9,688531721	-8,07	6,123212536	-0,207298232
6,330510768	-0,378729555	2,53125	2,640625	2,75	5,25260686	-0,2	-0,088941083	1,738178836	9,688531721	-8,07	6,241239909	-0,089270859
6,330510768	-0,378729555	2,640625	2,6953125	2,75	5,31321496	-0,2	-0,088941083	1,63853346	9,688531721	-8,07	6,29873622	-0,031774549
6,330510768	-0,378729555	2,6953125	2,72265625	2,75	5,34318347	-0,2	-0,088941083	1,592039338	9,688531721	-8,07	6,327119506	-0,003391262
6,330510768	-0,378729555	2,72265625	2,73632813	2,75	5,35808528	-0,2	-0,088941083	1,569574053	9,688531721	-8,07	6,341221705	0,010710937
6,330510768	-0,378729555	2,72265625	2,72949219	2,73632813	5,35064121	-0,2	-0,088941083	1,580742974	9,688531721	-8,07	6,334178007	0,003667239
6,330510768	-0,378729555	2,72265625	2,72607422	2,72949219	5,34691405	-0,2	-0,088941083	1,58637512	9,688531721	-8,07	6,330650611	0,000139843
6,330510768	-0,378729555	2,72265625	2,72436523	2,72607422	5,34504919	-0,2	-0,088941083	1,589203207	9,688531721	-8,07	6,328885523	-0,001625246
6,330510768	-0,378729555	2,72436523	2,72521973	2,72607422	5,34598173	-0,2	-0,088941083	1,58778816	9,688531721	-8,07	6,329768183	-0,000742586
6,330510768	-0,378729555	2,72521973	2,72564697	2,72607422	5,34644792	-0,2	-0,088941083	1,587081389	9,688531721	-8,07	6,330209426	-0,000301343
6,330510768	-0,378729555	2,72564697	2,7258606	2,72607422	5,34668099	-0,2	-0,088941083	1,586728192	9,688531721	-8,07	6,330430026	-8,07427E-05

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₃ (PROTECCIÓN DE SUB-RASANTE)

Capa 3 **Sub-base granular**

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	80%
Desviación estándar So	0,45
ΔPSI	2,2
Módulo Mr Capa 3 (psi)	4959,81
ESAL's Diseño	2,14E+06

Número estructural SN ₃	
SN Diseño	4,00

Resumen	Mezcla asfáltica	Base granular	Sub-base granular	Material alternativo
Coefficiente estructural a _i	0,44	0,135	0,11	0,17
Coefficiente de drenaje m _i	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	640000

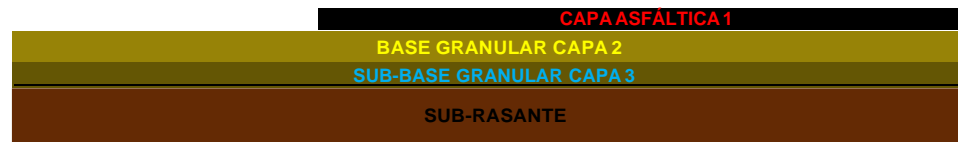
Zstat -0,841621234

LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											Log W18*	LogW18*-LogW18
6,330510768	-0,378729555	1	8	15	8,93170989	-0,2	-0,088941083	0,412203902	8,573479076	-8,07	8,64068978	2,310179011
6,330510768	-0,378729555	1	4,5	8	6,92979477	-0,2	-0,088941083	0,557229837	8,573479076	-8,07	6,694931371	0,364420603
6,330510768	-0,378729555	1	2,75	4,5	5,37293267	-0,2	-0,088941083	1,547611899	8,573479076	-8,07	5,240212299	-1,09029847
6,330510768	-0,378729555	2,75	3,625	4,5	6,22544586	-0,2	-0,088941083	0,786444746	8,573479076	-8,07	6,037102777	-0,293407991
6,330510768	-0,378729555	3,625	4,0625	4,5	6,59285674	-0,2	-0,088941083	0,641747941	8,573479076	-8,07	6,379014334	0,048503566
6,330510768	-0,378729555	3,625	3,84375	4,0625	6,4133009	-0,2	-0,088941083	0,70403543	8,573479076	-8,07	6,211720011	-0,118790758
6,330510768	-0,378729555	3,84375	3,953125	4,0625	6,50407014	-0,2	-0,088941083	0,670765805	8,573479076	-8,07	6,29622333	-0,034287438
6,330510768	-0,378729555	3,953125	4,0078125	4,0625	6,54870584	-0,2	-0,088941083	0,655766636	8,573479076	-8,07	6,337826193	0,007315425
6,330510768	-0,378729555	3,953125	3,98046875	4,0078125	6,52644925	-0,2	-0,088941083	0,663138796	8,573479076	-8,07	6,317077406	-0,013433362
6,330510768	-0,378729555	3,98046875	3,99414063	4,0078125	6,53759278	-0,2	-0,088941083	0,659421485	8,573479076	-8,07	6,327464858	-0,00304591
6,330510768	-0,378729555	3,99414063	4,00097656	4,0078125	6,54315311	-0,2	-0,088941083	0,657586329	8,573479076	-8,07	6,332648778	0,00213801
6,330510768	-0,378729555	3,99414063	3,99755859	4,00097656	6,54037389	-0,2	-0,088941083	0,658501965	8,573479076	-8,07	6,330057633	-0,000453136
6,330510768	-0,378729555	3,99755859	3,99926758	4,00097656	6,54176374	-0,2	-0,088941083	0,658043663	8,573479076	-8,07	6,331353409	0,00084264
6,330510768	-0,378729555	3,99755859	3,99841309	3,99926758	6,54106888	-0,2	-0,088941083	0,658272693	8,573479076	-8,07	6,330705572	0,000194803
6,330510768	-0,378729555	3,99755859	3,99798584	3,99841309	6,5407214	-0,2	-0,088941083	0,658387298	8,573479076	-8,07	6,330381615	-0,000129153
6,330510768	-0,378729555	3,99798584	3,99819946	3,99841309	6,54089514	-0,2	-0,088941083	0,658329988	8,573479076	-8,07	6,330543597	3,2828E-05

Dimensionamiento de espesores (15 años)

Diseño de pavimento flexible	
Capa 1	
Capa	Mezcla asfáltica
Número estructural SN ₁	0,45
Coefficiente estructural a ₁	0,44
Espesor calculado D ₁ (in)	1,02
Espesor calculado D ₁ (cm)	2,60
Espesor mínimo requerido D _{1 MIN} (cm)	7,62
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	9,50
Nuevo Número estructural SN ₁	1,65
Capa 2	
Capa	Material alternativo
Número estructural SN ₂	2,73
Coefficiente estructural a ₂	0,17
Coefficiente de drenaje m ₂	1,00
Espesor calculado D ₂ (in)	6,35
Espesor calculado D ₂ (cm)	16,1
Espesor mínimo requerido D _{2 MIN} (cm)	15,2
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	28,0
Nuevo Número estructural SN ₂	3,52
Número estructural de capa SN ₂ -SN ₁	1,87
Capa 3	
Capa	Sub-base granular
Número estructural SN ₃	4,00
Coefficiente estructural a ₃	0,11
Coefficiente de drenaje m ₃	0,80
Espesor calculado D ₃ (in)	5,44
Espesor calculado D ₃ (cm)	13,81
Espesor mínimo requerido D _{3 MIN} (cm)	15,2
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	15,0
Nuevo Número estructural SN ₃	4,04
Número estructural de capa SN ₃ -SN ₂	0,52
SN Total Requerido	4,00
SN Total Diseño	4,04
Cumple o no ?	OK

Resumen	Mezcla asfáltica	Base granular	Sub-base granular	Material alternativo
Coefficiente estructural a _i	0,44	0,135	0,11	0,17
Coefficiente de drenaje m _i	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	640000



Espesores mínimos SIECA

Volver a índice



APÉNDICE 5

10 AÑOS

Sistema Multicapa															
	Numero de C	4													
	Numero de C	2													
	Numero de F	6													
Preferencias															
	Analisis:	General	Estatico	Lineal											
	Union entre	Ligadas													
	Cargas:	General	Circular	Uniforme											
	Puntos:	General													
Capas															
ID	Modulo E (P)	Poisson v (1)	Espesor (m)	Descripcion	Tipo										
1	3.1026e+09	3.5000e-01	9.0000e-02	MAC	Elastica										
2	4.4126e+09	2.5000e-01	2.5000e-01	BE-25	Elastica										
3	1.0342e+08	4.0000e-01	1.5000e-01	SBG	Elastica										
4	3.4198e+07	4.5000e-01	1.2340e+03	SR	Elastica										
Cargas															
ID	Carga (N)	Presion (Pa)	X (m)	Y (m)											
1	2.0017e+04	6.8948e+05	0.0000e+00	0.0000e+00											
2	2.0017e+04	6.8948e+05	0.0000e+00	3.5000e-01											
Puntos															
ID	X (m)	Y (m)	Z (m)												
1	0.0000e+00	0.0000e+00	9.0000e-02												
2	1.7500e-01	0.0000e+00	9.0000e-02												
3	0.0000e+00	0.0000e+00	3.3900e-01												
4	1.7500e-01	0.0000e+00	3.3900e-01												
5	0.0000e+00	0.0000e+00	4.9100e-01												
6	1.7500e-01	0.0000e+00	4.9100e-01												
Resultados															
ID	dx (m)	dy (m)	dz (m)	Exx (1)	Eyy (1)	Ezz (1)	Exy (1)	Exz (1)	Eyz (1)	Sxx (Pa)	Syy (Pa)	Szz (Pa)	Sxy (Pa)	Sxz (Pa)	Syz (Pa)
1	8.1695e-22	4.4473e-06	4.1478e-04	3.7540e-06	-3.3754e-08	9.4540e-05	-1.3916e-21	-3.7250e-21	-2.0278e-05	2.7209e+05	2.6339e+05	4.8074e+05	-1.5991e-12	-4.2805e-12	-2.3302e+04
2	-3.7621e-06	4.2589e-06	3.9823e-04	3.4058e-05	1.7552e-05	-2.2321e-05	3.9461e-06	7.2794e-05	-1.6133e-05	1.5681e+05	1.1887e+05	2.7231e+04	4.5345e+03	8.3649e+04	-1.8539e+04
3	-1.6940e-21	-9.2219e-06	4.0356e-04	-6.6734e-05	-5.0328e-05	4.1189e-05	6.0277e-21	-2.7415e-22	-1.4924e-06	-3.6950e+05	-3.1158e+05	1.1482e+04	1.0639e-11	-4.8389e-13	-2.6342e+03
4	1.0251e-05	-8.5492e-06	3.9533e-04	-4.5198e-05	-4.5307e-05	3.1946e-05	-1.3273e-05	2.3726e-06	-1.2412e-06	-2.6291e+05	-2.6330e+05	9.4112e+03	-2.3428e+04	4.1878e+03	-2.1909e+04
5	-2.2780e-21	-1.2401e-05	3.8470e-04	-7.7167e-05	-6.3697e-05	1.7522e-04	4.9487e-21	-1.2283e-20	-6.6867e-05	1.8267e+03	2.1444e+03	7.7793e+03	5.8357e-14	-1.4485e-13	-7.8852e+02
6	1.2659e-05	-1.1792e-05	3.7907e-04	-6.3824e-05	-6.0520e-05	1.5777e-04	-1.1818e-05	7.7535e-05	-6.0916e-05	2.0424e+03	2.1203e+03	7.2687e+03	-1.3936e+02	9.1432e+02	-7.1835e+02



TRAMO 15 AÑOS

Sistema Multicapa															
	Numero de C	4													
	Numero de C	2													
	Numero de F	6													
Preferencias															
	Analisis:	General	Estatico	Lineal											
	Union entre	Ligadas													
	Cargas:	General	Circular	Uniforme											
	Puntos:	General													
Capas															
ID	Modulo E (P	Poisson v (1)	Espesor (m)	Descripcion	Tipo										
1	3.1026e+09	3.5000e-01	9.5000e-02	MAC	Elastica										
2	4.4126e+09	2.5000e-01	2.8000e-01	BE-25	Elastica										
3	1.0342e+08	4.0000e-01	1.5000e-01	SBG	Elastica										
4	3.4198e+07	4.5000e-01	1.2340e+03	SR	Elastica										
Cargas															
ID	Carga (N)	Presion (Pa)	X (m)	Y (m)											
1	2.0017e+04	6.8948e+05	0.0000e+00	0.0000e+00											
2	2.0017e+04	6.8948e+05	0.0000e+00	3.5000e-01											
Puntos															
ID	X (m)	Y (m)	Z (m)												
1	0.0000e+00	0.0000e+00	9.5000e-02												
2	1.7500e-01	0.0000e+00	9.5000e-02												
3	0.0000e+00	0.0000e+00	3.7400e-01												
4	1.7500e-01	0.0000e+00	3.7400e-01												
5	0.0000e+00	0.0000e+00	5.2600e-01												
6	1.7500e-01	0.0000e+00	5.2600e-01												
Resultados															
ID	dx (m)	dy (m)	dz (m)	Exx (1)	Eyy (1)	Ezz (1)	Exy (1)	Exz (1)	Eyz (1)	Sxx (Pa)	Syy (Pa)	Szz (Pa)	Sxy (Pa)	Sxz (Pa)	Syz (Pa)
1	7.2548e-22	3.9493e-06	3.8497e-04	1.1407e-07	-2.3398e-06	9.4536e-05	-9.0154e-22	-3.2834e-21	-1.7874e-05	2.4777e+05	2.4213e+05	4.6478e+05	-1.0360e-12	-3.7730e-12	-2.0539e+04
2	-3.1488e-06	3.8039e-06	3.7087e-04	3.1446e-05	1.5102e-05	-1.8804e-05	2.8913e-06	6.9861e-05	-1.4196e-05	1.4666e+05	1.0910e+05	3.1175e+04	3.3225e+03	8.0279e+04	-1.6313e+04
3	-1.4915e-21	-8.1194e-06	3.7364e-04	-5.6709e-05	-4.3383e-05	3.5176e-05	4.8962e-21	-2.2925e-22	-1.2480e-06	-3.1477e+05	-2.6773e+05	9.5941e+03	8.6421e-12	-4.0464e-13	-2.2027e+03
4	8.8483e-06	-7.5496e-06	3.6777e-04	-4.0328e-05	-3.9643e-05	2.8184e-05	-1.0919e-05	1.8902e-06	-1.0435e-06	-2.3377e+05	-2.3135e+05	8.0867e+03	-1.9272e+04	3.3364e+03	-1.8418e+03
5	-1.9483e-21	-1.0606e-05	3.5754e-04	-6.5142e-05	-5.4453e-05	1.4954e-04	3.9271e-21	-1.0088e-20	-5.4914e-05	1.6420e+03	1.8941e+03	6.7053e+03	4.6310e-14	-1.1896e-13	-6.4757e+02
6	1.0732e-05	-1.0090e-05	3.5367e-04	-5.4713e-05	-5.1887e-05	1.3590e-04	-9.4388e-06	6.2566e-05	-5.0165e-05	1.8197e+03	1.8864e+03	6.3154e+03	-1.1131e+02	7.3781e+02	-5.9156e+02



