



FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO, INGENIERÍAS Y ARTE & DISEÑO



“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LOSA EN PAVIMENTO RÍGIDO AV. PEDRO RUIZ (CUADRAS 6-9) PARA MEJORAR SU DURABILIDAD, CHICLAYO, 2020”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

BACH. ANTONIO GONZALES VALDIVIA

ASESOR:

ING. MIGUEL CASTOPE CAMACHO

CHICLAYO – PERÚ

2021



FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO, INGENIERÍAS Y ARTE & DISEÑO



“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LOSA EN PAVIMENTO RÍGIDO AV. PEDRO RUIZ (CUADRAS 6-9) PARA MEJORAR SU DURABILIDAD, CHICLAYO, 2020”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

BACH. ANTONIO GONZALES VALDIVIA

ASESOR:

ING. MIGUEL CASTOPE CAMACHO

CHICLAYO – PERÚ

2021

SUSTENTACION DE TESIS**TÍTULO:**

“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LOSA EN PAVIMENTO RÍGIDO AV. PEDRO RUIZ (CUADRAS 6-9) PARA MEJORAR SU DURABILIDAD, CHICLAYO, 2021

Presentada como requisito para optar el Título Profesional de INGENIERO CIVIL, y sustentada por:

.....
Ing. Antonio Gonzales Valdivia

Bachiller en Ingeniería Civil

.....
Ing. Miguel Castope Camacho

Asesor

Aprobado por los siguientes Miembros de Jurado:

.....
Ing. Yrma Capuñay Capuñay

Presidente

.....
Ing. Ethel Medrano Lizarzaburu

Secretario

.....
Ing. Cesar Antonio Idrogo Perez

Vocal

Fecha de Sustentación: Chiclayo, Miércoles 28 de Abril de 2021

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mi madre, quien fue mi mayor sostén en tiempos de angustia, quien hizo todo lo posible para que la universidad fuera un sueño posible.

A mis hermanos y toda mi familia, quienes, con mucho cariño y apoyo, han hecho todo lo posible para llegar a esta etapa de mi vida

A mis amigos y compañeros, que me animaron día a día y me brindaron soporte en momentos críticos.

Antonio Gonzales Valdivia

Agradecimiento

Empiezo dando gracias a Dios por, a lo largo de este complicado y agotador proceso, haberme hecho ver el camino, en los momentos en que pensé en darme por vencido.

No puedo dejar de agradecer a la Universidad por ser un espacio que favorece el conocimiento y donde todas las ideas son bien recibidas.

También doy un agradecimiento especial a mis profesores, porque sin ellos esta investigación no habría sido posible.

Índice

Sustentación de Tesis.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
Resumen	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad Problemática	10
1.2. Formulación del Problema	13
1.3. Hipótesis.....	13
1.4. Objetivos	14
1.4.1. Objetivo General	14
1.4.2. Objetivos Específicos.....	14
II. BASES TEÓRICAS.....	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Marco Teórico.....	19
2.3. Definición de términos.....	26
III. MARCO METODOLÓGICO	30
3.1. Variables	30
3.2. Operacionalización de Variables.....	31
3.3. Metodología	32
3.4. Tipo de Estudio	32
3.5. Diseño	33
3.6. Población, Muestra y Muestreo.....	33
3.7. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	34
3.8. Método de Análisis de Datos	34
3.9. Aspectos Éticos	34
IV. RESULTADOS.....	36
V. DISCUSIÓN	38
VI. CONCLUSIONES	40
VII. RECOMENDACIONES	41

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
IX. ANEXOS.....	45
ANEXO 01: Flujograma de diseño pavimento rígido AASHTO-93	45
ANEXO 02: Diseño geométrico de losa optimizada de concreto	46
ANEXO 03: Memoria de cálculo de losa rígida optimizada.....	48
ANEXO 04: Panel fotográfico de campo	67
ANEXO 05: Planos	72
ANEXO 06: Matriz de consistencia	76

Índice de Cuadros

Cuadro 1: Operacionalización de variables	31
Cuadro 2: Dimensiones de la durabilidad del pavimento de la Av. Pedro Ruiz (c-6 a c-9) 36	
Cuadro 3: Espesor de losas rígidas Av. Pedro Ruiz (c-6 a c-9).....	37

Resumen

La presente investigación denominada “Propuesta de optimización de losa en pavimento rígido Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9) para mejorar su durabilidad, Chiclayo, 2020” tuvo como objetivo desarrollar una propuesta metodológica para la optimización de losa en pavimento rígido, desde el punto de vista analítico. El método empleado fue deductivo hipotético, cuantitativo, de tipo exploratorio, diseño no experimental y de corte transversal. La muestra estuvo conformada por las cuadras 6 a 9 de la Av. Pedro Ruiz. La técnica a emplear fue la observación directa, no participante, estructurada e individual, usando como instrumento las herramientas computacionales. La durabilidad fue investigada en sus dimensiones: Falla superficial por desprendimientos, falla estructural por hundimientos y falla de juntas por fisuras. El diseño de la losa rígida fue calculado por el método PCI para una losa optimizada geométricamente.

Se concluye que el espesor de la losa optimizada es de 26 cm con una resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 y dimensiones de $1.80 \times 1.80 \text{ m}$. Se recomienda incrementar la resistencia a compresión del hormigón en el diseño para obtener una mayor durabilidad conjunta e integral en el pavimento.

Palabras claves: Losa optimizada, pavimento rígido, durabilidad.

Abstract

The present investigation called "Proposal for optimization of slab in rigid pavement Av. Pedro Ruiz (blocks 6-9) to improve its durability, Chiclayo, 2020" aimed to develop a methodological proposal for optimization of slab in rigid pavement, from the analytical point of view. The method used was hypothetical deductive, quantitative, exploratory, non-experimental and cross-sectional design. The sample was made up of blocks 6 to 9 of Av. Pedro Ruiz. The technique to be used was direct, non-participant, structured and individual observation, using computational tools as an instrument. The durability was investigated in its dimensions: surface failure due to detachments, structural failure due to subsidence and failure of joints due to cracks. The rigid slab design was calculated by the PCI method for a geometrically optimized slab.

It is concluded that the thickness of the optimized slab is 26 cm with a compressive strength of 280 kg/cm² and dimensions of 1.80 x 1.80 m. It is recommended to increase the compressive strength of the concrete in the design to obtain a greater joint and integral durability in the pavement.

Keywords: Optimized slab, rigid pavement, durability.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

A Nivel Internacional

- En Colombia: Avances “concretos” para vías más resistentes (Martínez, 2020): Los expertos en ingeniería están experimentando con un pavimento que es más fuerte y más duradero que los pavimentos tradicionales que puede extender la vida útil de las carreteras del país en tres veces. Una de las quejas más frecuentes de los ciudadanos sobre los problemas de tráfico son las malas condiciones de las carreteras. Esto se ha escuchado en grandes capitales, ciudades intermedias y zonas rurales. Este es un problema que afecta a la mayoría de las carreteras del país. ¿Es posible construir carreteras más resistentes para mejorar la movilidad?

La Pontificia Universidad Javeriana ha desarrollado un proyecto de investigación que se enfoca en brindar soluciones para la movilidad a través de un material que brinde mejores resultados para las carreteras de vehículos. Estos materiales son Hormigón de Ultra Alto Rendimiento (UHPC). Son la familia de hormigón más nueva que se utiliza en la construcción. Desde la década de 1990, los avances científicos han hecho posible la fabricación de estos materiales, que tienen una mayor resistencia y una vida útil más larga.

- En Costa Rica: Nueva tecnología para evaluar pavimentos rígidos (NCYT, 2020): La Universidad de Costa Rica ha implementado un método en el proyecto de la carretera Cañas-Liberia que permitirá la evaluación continua del pavimento rígido (hormigón hidráulico) de la Red Nacional de Carreteras (RVN).

En Costa Rica, solo el 2% (aproximadamente 103 kilómetros) de RVN está compuesto por carreteras rígidas. Sin embargo, dado que el hormigón hidráulico se ha utilizado en el país en los últimos años para la construcción de importantes proyectos, es necesario desarrollar herramientas y técnicas que permitan evaluar eficazmente las superficies rígidas de las carreteras. Con la implementación de este nuevo método, se determinó que los pavimentos rígidos del proyecto Cañas-Liberia se encuentran en buenas condiciones hasta el momento.

- En Paraguay: Ahorrarán US\$ 17 millones con el pavimento rígido (Diario La Nación, 2017): Según Jorge Méndez, presidente de la Corporación Nacional de la Industria del Cemento, el uso de cemento para obtener pavimentos más duros en proyectos viales en Paraguay permitirá ahorrar aproximadamente \$ 17 millones al año. Los ahorros se atribuirán a la reducción de las importaciones de asfalto utilizado en la mayoría de los proyectos viales en Paraguay.

El representante de la Corporación Nacional del Cemento señaló que es más factible usar cemento porque su duración sin mantenimiento es mayor que el asfalto. Enfatizó que todos los insumos para la producción de cemento se encuentran en Paraguay, por lo que su costo de uso no será muy alto.

A Nivel Nacional

- Aceleran obras de reconstrucción en diversas provincias de Áncash (Redacción Andina, Agencia Peruana de Noticias, 2019): La Autoridad para la Reconstrucción con Cambios (ARCC) indicó que la reconstrucción de la infraestructura dañada por el fenómeno costero El Niño (FEN) en las provincias de la región Ancash ha entrado en una fase acelerada, varias de las cuales se completarán en las próximas semanas. Estas calles se ven afectadas por las lluvias y serán reconstruidas con pavimentos rígidos y alcantarillas de hormigón armado.

- Pistas de Chosica serán reconstruidas con sistema de evacuación de aguas (Redacción Andina, Agencia Peruana de Noticias, 2018): El desborde y las lluvias del río Huaycoloro han afectado severamente las pistas y aceras de las principales vías de la Chosica, las cuales serán reconstruidas con sistemas de bombeo adecuados y materiales más resistentes para evitar su deterioro informó la Autoridad para la Reconstrucción con Cambios (ARCC). Las carreteras adoptarán métodos de gestión de riesgos para ingeniería civil, como pavimentos rígidos y pequeñas pendientes para evacuar el agua superficial. La pista será de hormigón, que es un material más resistente al agua que el asfalto.

- El uso de pavimento significa un ahorro del 35% que el uso del asfaltado (Hanco, 2018): Recomiendan usarlo en proyectos públicos y privados, además de garantizar su durabilidad. Humberto Vergara, gerente general de Yura SA y Concretos Supermix SA, dijo

que en comparación con el primer semestre de 2017, el mercado del cemento creció un 5%, tres puntos porcentuales menos de lo esperado este año. En cuanto a la inversión en proyectos viales, cabe destacar que, en pavimentos rígidos, en comparación con el uso de asfalto, el ahorro económico es un 35% menor que el uso de asfalto. A pesar de ello, este último sigue siendo la primera opción en los gobiernos locales y regionales del país. El pavimento rígido está compuesto por losas de hormigón hidráulico, mientras que el asfalto es de color negro, compuesto principalmente por asfalto, resina y aceite, estos elementos aportan consistencia y propiedades gelificantes.

Además, tiene mejor visibilidad reflectante, porque el vehículo es menos deformable que el asfalto, por lo que puede ahorrarle al transportador hasta un 20% de combustible, lo que se atribuye a la fuerza utilizada al frenar, arrancar y pasar objetos pesados.

A Nivel Local

- Vía Canal Chiclayo de S/58 millones agoniza y sin responsables (Vega, 2019): Deterioro. El gobernador regional Anselmo Lozano y el alcalde de José Leonardo Ortiz exigieron a la Contraloría actuar para que se sancione. Las fisuras y grietas en el pavimento son más evidentes.

El contratista mencionó en estos comentarios que el expediente técnico no proporcionó un informe de investigación de tránsito, por lo que no hay razón para predecir que habrá 1.500 vehículos por día. En esta línea, enfatizó que el espesor recomendado para pavimentos flexibles indicado en el documento técnico corresponde a caminos calificados como de bajo caudal, con una vida útil de cinco años, lo que significa que el cálculo del espesor de cada capa que constituye el pavimento flexible sustentado en el expediente técnico no sigue las recomendaciones de la guía AASHTO, aunque sea un método muy utilizado en el diseño de pavimentos. A través del análisis del pavimento rígido, el contratista enfatizó que el camino del canal se considera como una carga de tráfico media, pero de hecho debe usarse para tráfico pesado.

- Lluvias dañaron 360 mil metros cuadrados de pavimento en Chiclayo (Urpeque, 2017): Aproximadamente 10 millones de soles requerirá la municipalidad para reparar las pistas afectadas por las fuertes lluvias.

No cabe duda de que el problema local actual es que las calles están llenas de baches, y muchos ciudadanos la clasifican como pobre y catastrófica. El deterioro de calles y avenidas es la señal más evidente que las redes de alcantarillado que atraviesan estas vías están en mal estado. El hormigón de algunas calles se remonta a décadas atrás y también se ha derrumbado provocando fugas, lo que ha provocado miles de baches y depresiones.

Teniendo en cuenta la función y la estructura, la tecnología actual está dirigida al rendimiento general de la vía. En resumen, los pavimentos de hormigón rígido son más duraderos, tienen más usos, son más baratos y, por tanto, más convenientes.

1.2. Formulación del Problema

¿La propuesta de optimización de losa en pavimento rígido Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9) mejorará su durabilidad en la ciudad de Chiclayo?

1.3. Hipótesis

Hipótesis general

La propuesta de optimización de losa en pavimento rígido Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9) mejora la durabilidad en la ciudad de Chiclayo 2020.

Hipótesis específicas

- Se obtienen valores de los parámetros y se determina el espesor del pavimento rígido, basado en el método AASHTO 1998.
- Se valida la propuesta en el programa de elementos finitos EverFE para verificar que el esfuerzo máximo no excede el 50% del módulo de ruptura del concreto.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Desarrollar una propuesta de optimización de losa en pavimento rígido Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9) y mejorar su durabilidad, Chiclayo 2020.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener los valores de los parámetros y determinar el espesor del pavimento rígido, basado en el método AASHTO 1998.

- Validar la propuesta en el programa de elementos finitos EverFE para verificar que el esfuerzo máximo no exceda el 50% del módulo de ruptura del concreto.

II. BASES TEÓRICAS

2.1. Antecedentes

A Nivel Internacional

(Szasdi Bardales, 2015) en su tesis de pregrado titulada “***Optimización del desempeño de pavimentos rígidos mediante la utilización de soporte lateral***” de la Universidad Rafael Landívar, en Guatemala de la Asunción, cuyo objetivo principal fue determinar las ventajas estructurales y funcionales que se obtienen al utilizar apoyos laterales sobre pavimentos rígidos. Se realizó un análisis comparativo para determinar los parámetros y la magnitud del impacto positivo que tendría el uso de apoyos laterales.

Para ello, se crearon 180 modelos de pavimentos rígidos, que combinan diferentes espesores, cargas y situaciones de apoyo lateral. Se utilizó el software EverFE 2.25 para analizar la estructura de estos modelos utilizando elementos finitos. El propósito de este análisis es obtener el valor máximo de tensión y la deflexión causada por diferentes condiciones de carga.

Los resultados del estudio muestran que, al analizar las tensiones provocadas por la carga de tráfico de borde en diferentes modelos de pavimento, comparando el modelo con apoyo lateral y el modelo sin apoyo lateral, se puede determinar que su tensión es reducida.

En conclusión, se puede mencionar que el uso de apoyos laterales en losas de pavimento rígido puede reducir el esfuerzo máximo debido a la carga de tráfico impuesta en el borde de la carretera. En el modelo analizado, la carga de trabajo observada en la losa apoyada lateralmente se reduce en un 36,5% en comparación con la losa apoyada lateralmente.

Se recomienda considerar el uso de soportes laterales para reducir la tensión, deflexión y deterioro de la losa rígida de la vía, con el fin de mejorar la eficiencia del diseño, reducir costos o alargar su vida útil.

(Bryan Uribe, 2015) en su tesis de pregrado titulada “***Análisis de los criterios de diseño de pavimento rígido bajo la óptica de las condiciones especiales de la isla de San Andrés y***

especificaciones técnicas de la secretaria de infraestructura de la gobernación departamental” de la Universidad Católica de Colombia, en Bogotá, cuyo propósito fue analizar los estándares de diseño de pavimento rígido desde la perspectiva de las condiciones especiales de la Isla de San Andrés y sus especificaciones técnicas, teniendo en cuenta las condiciones especiales del tráfico, las características del lecho de la vía y los materiales de soporte del hormigón rígido.

La estructura de pavimento rígido ideal para las condiciones especiales de la isla de San Andrés es utilizar cemento de 15 cm de espesor para estabilizar la cimentación, concreto MR-39 de 20 cm de espesor, sin necesidad de bordes y restringir el manejo de bordillos mediante el enclavamiento de agregados.

(Sánchez Campos, 2015) en su tesis de pregrado titulada “***Método de diseño de losas de dimensiones superficiales optimizadas, en pavimentos de concreto hidráulico***” de la Universidad de El Salvador, en El Salvador, cuyo objetivo principal fue desarrollar un método de diseño de losas para optimizar el tamaño de la superficie del pavimento de hormigón hidráulico. Antes de determinar los pasos para implementar el método, se resumirá la información existente para establecer la base teórica necesaria para comprender este método.

La conclusión es que, en comparación con las losas de tamaño convencional, con las mejores dimensiones superficiales producen una tensión menor bajo la acción de la fuerza axial y son menos susceptibles al aumento de la tensión provocada por los cambios. Se recomienda utilizar una losa plana con un tamaño de superficie optimizado superior a 1,5 x 1,5 m, e inferior a 1,8 x 1,8 m para obtener siempre un mejor rendimiento de este tipo de pavimento.

A Nivel Nacional

(Díaz Zamora & Hoyos Fernández, 2019) en su tesis de pregrado titulada “***Comparación técnico y económico de pavimentos optimizados (TCP) y pavimentos rígidos (AASHTO 93), de acuerdo con las condiciones locales de Jaén***” de la Universidad de Jaén, en Cajamarca, señala que los pavimentos de Jaén presentan problemas de grietas, asentamientos y baches, que agravan el deterioro de las vías y reducen la vida útil relacionadas con un mal diseño. La

hipótesis propuesta es que, considerando las condiciones locales en Jaén, el método TCP presenta mejores ventajas técnicas y económicas para la construcción de pavimentos rígidos en comparación con el método AASHTO93.

La investigación se llevó a cabo en la calle Unión Cuadra 04, 05 y 06 del distrito de Miraflores de Jaén. De los expedientes técnicos de esta vía se obtuvieron CBR y eje equivalente (EE), y fueron confirmados por ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos e investigación de tránsito. Con estos datos se realizó el diseño del pavimento rígido AASHTO93 en Excel 2017 y el diseño de TCP en el software Optipave 2.0.2, se calculó el esfuerzo máximo en el software EverFE 2.25 y se utilizó el programa S10 para comparar cada diseño. Se analizó el costo correspondiente. Desde el punto de vista del análisis técnico, los daños de AASHTO93 y TCP son 0,7442 y 0,0205 respectivamente. El análisis económico muestra que el costo del pavimento TCP es diferente al de AASHTO93 en S/.24.50, lo que equivale a ahorrar un 15.04% del costo de implementación del proyecto.

(Pari Mamani, 2019) en su tesis de pregrado titulada “***Aplicación de la metodología de losa con geometría optimizada en diseño de pavimento rígido en el centro poblado de Jayllihuaya – Puno***” de la Universidad Nacional del Altiplano, en Puno, manifiesta que el objetivo general de esta investigación es aplicar el método de placa plana con geometría optimizada al diseño de pavimento rígido de la ciudad de Jayllihuaya-Puno y comparar los resultados con los obtenidos mediante el método AASHTO 93. La población y la muestra consisten en vías urbanas tipo, dentro del área de estudio.

Se realizaron investigaciones de ingeniería básica relacionadas con el suelo, el hormigón y el transporte para calcular los parámetros de diseño como el módulo de ruptura, la resistencia de la subrasante, ESAL, etc. El diseño del pavimento de losas con geometría optimizada se cargó en el programa informático OptiPave 2.0. Se utilizó el método AASHTO 93 para calcular una losa de hormigón de 12 cm de espesor y una placa base de 20 cm de espesor. La longitud de la losa es de 1,5 m y un ancho de 1,8 5 m. Las dimensiones geométricas de la losa de hormigón de 15 cm de espesor y la placa de base de 20 cm están determinadas por el método AASHTO 93 como 3,0 m largo x 3,70 m ancho.

De acuerdo con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), se analiza el porcentaje de placas agrietadas y el grado promedio de escalonamiento, se analiza el comportamiento de la estructura de pavimento de placas rígidas con vida útil optimizada, y los valores son 2,74%, 6% y 0,32 respectivamente dentro del rango aceptable.

Finalmente, se estimó el costo directo del pavimento rígido diseñado por los dos métodos, se estimó el precio del recurso, cantidad y producción unitaria, y se determinó el costo del pavimento geométrico optimizado 13.04% menor que AASHTO.93

(Chahua Sotomayor & Huayta Orrego, 2018) en su tesis de pregrado titulada “***Fibra sintética estructural para la optimización del diseño de un pavimento rígido en la nueva planta Farmagro – Huachipa – Lima***” de la Universidad de San Martín de Porres, en Lima, manifiesta que la presente investigación tiene como objetivo determinar las propiedades físicas obtenidas del hormigón en el diseño de pavimentos rígidos mediante la adición de fibra sintética estructural Barchip MQ58 a la planta industrial de Farmagro en el área de San Antonio de Huachipa. Con el fin de optimizar el costo y el tiempo de ejecución de la superficie de la carretera para mantener y mejorar el rendimiento del diseño de la superficie original.

Primero, se prueba el agregado para determinar el hormigón estándar de 280 kg/cm², y luego se añaden fibras sintéticas estructurales. La conclusión es que, sobre la base de la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión, la dosis de 4 kg/m³ puede mejorar significativamente las propiedades mecánicas del hormigón.

A Nivel Local

(Ortiz Medina & Tocto Román, 2019) en su tesis de pregrado titulada “***Diseño de infraestructura vial con pavimento rígido para transitabilidad del barrio Señor de los Milagros, distrito Canoas de Punta Sal, provincia Contralmirante Villar de la región de Tumbes - 2018***” de la Universidad César Vallejo, en Chiclayo, manifiesta que la investigación se enfoca en métodos no experimentales-mixtos, descriptivos; incluye un objetivo general: Diseñar la infraestructura vial con pavimento rígido para la transitabilidad en el barrio Señor de

los Milagros, distrito Canoas de Punta Sal, provincia Contralmirante Villar de la región de Tumbes – 2018.

El espesor de la losa de hormigón diseñada según el método AASHTO 93 es de 15 cm. La losa de hormigón se utiliza con mayor frecuencia en pavimentos rígidos y su orientación se basa en la trabajabilidad y el coeficiente de drenaje. La aplicación de pavimento rígido (hormigón hidráulico) se considera la mejor opción técnica y económica. El enfoque del diseño de pavimentos rígidos es el diseño del método AASHTO 93 (mantenibilidad), que no es adecuado para el método PCA (más conservador).

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Variable Dependiente: Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es la capacidad para seguir siendo funcional (es decir, para ser segura y proporcionar suficiente comodidad y una apariencia agradable) durante mucho tiempo y a bajo costo.

La durabilidad del concreto empleado para la construcción de pavimentos debe estudiarse en función de la influencia que en ella ejercen:

- Los materiales constituyentes del concreto.
- Los procesos de construcción a los que se somete el concreto.
- Las propiedades químicas y físicas del concreto.
- Los tipos de carga.

En el proceso de deterioro gradual del pavimento rígido, el daño o falla típica se puede dividir en tres categorías según su impacto en la integridad de las losas y juntas de estos pavimentos: Defectos de superficie, estructurales y de juntas.

Estos daños afectan el estado y el comportamiento de la superficie de la carretera de diferentes formas. Además, el mismo daño puede variar según el mecanismo específico que lo provocó.

Una vez analizada la influencia de cada factor, es posible determinar los estándares de diseño y construcción del pavimento de concreto para lograr una mayor durabilidad, dureza y construcción, al reducir la sensibilidad al agrietamiento y aumentar su impermeabilidad y resistencia a la compresión.

Dentro de las fallas relacionadas con la durabilidad del pavimento rígido se tiene:

- Defecto de superficie: Desprendimientos (m²)
- Defecto estructural: Hundimientos (cm)
- Defecto de juntas: Fisuras (m)

A. Desprendimiento

Debido a la pérdida de materiales finos, la superficie del pavimento se desintegra gradualmente y se desprende de la matriz de hormigón, lo que provoca la rugosidad de la superficie de apoyo y la formación de pequeñas cavidades.

Son causados por los efectos abrasivos del tráfico sobre el hormigón de baja calidad, poco duradero y cualquiera de las siguientes razones:

- Dosificación incorrecta (bajo contenido de cemento, exceso de agua y agregado de grado incorrecto).
- Defectos durante la ejecución (separación de mezcla, densificación insuficiente, mal curado).

Ciertos factores externos pueden contribuir al deterioro de la superficie, como la erosión del agua queratinosa esparcida en la pista, que incrementará la abrasividad del tráfico.

B. Hundimientos

Es una depresión o caída de la superficie original de la vía en la misma área local. La amplitud y rango de extensión son variables, en el caso de depresiones de longitud de onda corta (sedimentación diferencial), generalmente hay fisuras obvias.

Suele ser una falla puntual, causada por una causa local. Cuando se conduce por la pista a cierta velocidad, se puede detectar por su impacto en la comodidad de conducción.

Las siguientes razones pueden provocar una deformación permanente:

- Asentamiento o consolidación de terraplén sobre cimentación de suelo compresible.
- Mala compactación de la cimentación o material de relleno adyacente a la estructura de drenaje o muro de contención.
- Pérdida de soporte de la subrasante.
- Defectos en la construcción de la losa o substrato.

C. Fisuras

Conjunto de fisuras inestables, paralelas o tortuosas ubicadas no lejos de la junta (hasta 25 cm) debido a una mala ejecución y funcionamiento de la junta.

Son muchas las razones de estos daños, todas ellas relacionadas con defectos en la estructura o diseño de la junta y sus elementos de transferencia de carga:

- Falsas juntas causadas por falta de verticalidad o profundidad del corte.
- Inserción insuficiente del dispositivo utilizado para causar el cizallamiento articular de la junta.
- Interferencia excesiva durante la ejecución de las juntas.
- La colocación de pines desalineados (horizontal o vertical).
- Utilización de pasadores de diámetro o longitud insuficientes o de acero corrugado.
- Debido a la corrección del pasador de posicionamiento, el movimiento libre de la articulación está restringido.

2.2.2. Variable Independiente: Losa de pavimento rígido

A. Pavimentos rígidos

Son losas de concreto compuestas básicamente por concreto hidráulico que, debido a su alta rigidez, se apoyan en la sub rasante o en una capa de material seleccionado, que se denomina cimentación o sub base del pavimento.

B. Elementos de un pavimento rígido

Subrasante

Es un soporte natural preparado y compactado, sobre el que se puede pavimentar una carretera. Su función más importante es proporcionar un soporte estable para tener una alta capacidad de carga.

Sub base

Forma parte de la estructura de pavimento rígido, ubicado entre la sub rasante y la losa rígida. Consiste en una o más capas de materiales compactos granulares o estabilizados, y su función principal es evitar el bombeo del suelo granular. Otras funciones que debe completar incluyen proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme, e incrementar el módulo de reacción del lecho de la carretera (K).

Losa rígida

Es la capa superior y última construida sobre un pavimento rígido. Pueden ejecutarse con concreto simple o reforzado, lo que ayuda a reducir la tensión en la capa inferior.

Juntas

Su función es mantener la tensión de la losa causada por la contracción y expansión de la superficie de la vía dentro del valor permisible del hormigón; o eliminar la tensión causada por grietas en la misma losa.

C. Parámetros de diseño AASHTO-98

El método utilizado para diseñar pavimentos rígidos se basa en el método AASHTO. Desde que se publicó la primera "Guía de diseño AASHTO" en 1961, la guía ha sido revisada y actualizada. En 1993, la "Guía de diseño de estructuras de pavimentos de AASHTO" presentó el concepto de proceso de diseño de sobre capas; en 1998, se complementó la "Guía de diseño de estructuras de pavimentos de AASHTO" de 1993, centrándose en el diseño de pavimentos rígidos.

Tráfico

En el método AASHTO, la vía debe diseñarse para soportar una cierta cantidad de carga durante su vida útil. El tráfico está formado por vehículos con diferentes pesos y números de eje, que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo que suele provocar fallas en el mismo (Garnica, Gómez, & Sesma, 2002). Teniendo en cuenta esta diferencia, el tráfico se convierte en la cantidad de carga de cada eje, lo que equivale a 18 kips (80 kN) o ESAL (carga equivalente a un solo eje), de modo que el efecto de daño de cualquier eje se puede expresar como un número de cargas por eje simple.

Módulo de reacción de la sub rasante (K)

Este factor nos da una idea de cuánto se asentará el lecho de la carretera cuando se aplique un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada dividida por la deflexión de esa carga en pulgadas. El valor de k se expresa en libras por pulgada cuadrada (Minaya & Ordóñez, 2006). El valor k generalmente se estima por correlación con otras pruebas simples (como la prueba del valor CBR o R). El resultado es válido porque no es necesario determinar con precisión el valor k; los cambios normales en el valor estimado no afectarán significativamente los requisitos de espesor de la carretera.

Módulo de rotura del concreto

Para el diseño de caminos rígidos, es una variable de entrada muy importante porque controlará las grietas por fatiga del pavimento causadas por cargas repetidas de camiones.

También se le llama resistencia a la flexión del hormigón (PCA, 1984). El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor promedio después de 28 días usando 2/3 de la prueba de carga. De esta forma se obtiene una zona que experimenta un momento flector constante igual a $PL/3$ en el tercio medio, y se producirá fractura en cualquier punto, siendo la única condición que exista una debilidad allí.

Módulo de elasticidad del concreto

Este parámetro indica la rigidez de la losa y la capacidad de distribuir cargas. Ésta es la relación entre deformación y tensión. La deflexión, la curvatura y la tensión están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto (AASHTO, 1993). En un pavimento continuo de hormigón armado, el módulo de elasticidad y el coeficiente de expansión y contracción térmica determinan el estado de tensión en el acero.

Ecuación General AASHTO 93

Fórmula para el cálculo del espesor del pavimento rígido:

$$\log(W_{18}) = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log\left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}}\right]}\right]$$

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Serviciabilidad final.

S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C_d = Coeficiente de drenaje

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro)
(psi/pulg).

Confiabilidad (R)

Es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil que tiene lugar en ese lapso (López, 2015). La confiabilidad (R) de un pavimento puede definirse en términos de ESAL como:

$$R(\%) = 100 * P(N_t > N_T)$$

N_t = Número ESAL de 80 kN en su serviciabilidad final.

N_T = Número ESAL de 80 kN previstos en su período de diseño

Serviciabilidad

Es una medida del desempeño de la vía, que es igual al comportamiento funcional que se puede brindar a los usuarios cuando se circula por la calzada. Esto también está relacionado con las características físicas que pueden aparecer en la superficie de la carretera (como grietas, fallas, peladuras, etc.), que pueden afectar la capacidad de soporte de la estructura o comportamiento estructural (Morales, 2005)

- **Índice de serviciabilidad inicial (Po):** Se determina como el estado original de la superficie de la carretera inmediatamente después de la construcción o renovación. AASHTO determinó que el valor inicial ideal para pavimento rígido es 4.5.
- **Índice de serviciabilidad final (Pt):** Sucede cuando la superficie de la acera ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad requeridas por el usuario. Las normas NTE CE 0.10 Pavimentos Urbanos determina valores para vías locales (2), colectoras (2.3), arteriales (2.5) y expresas (3).

- **Pérdida de serviciabilidad:** Se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal. $\Delta PSI = P_o - P_t$.

Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

El Banco Mundial propuso el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en 1986, como un estándar estadístico para la rugosidad y un parámetro de referencia para medir la calidad de la rodadura de la carretera. El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable (Arriaga, Garnica, & Rico, 1998)

D. Metodología de diseño losa optimizada

- Se obtienen los valores de los parámetros para el desarrollo del método AASHTO 1998 y se predetermina el espesor del pavimento.
- En el programa de elementos finitos EverFE 2.24, se realiza el análisis estructural del pavimento para verificar que el esfuerzo máximo no exceda el 50% del módulo de ruptura del concreto.

2.3. Definición de términos

AASHTO: Asociación Estadounidense de Oficiales de Transporte de Carreteras Estatales. Establece estándares y publica especificaciones, protocolos de prueba y pautas que se utilizan en el diseño y construcción de carreteras en los Estados Unidos.

Agregados: materiales como arena, grava, roca o piedra triturada. Se usa agregado de diferentes tamaños y composición con un agente aglutinante para producir concreto asfáltico o concreto de cemento Portland.

Asfalto: un material obtenido a través del procesamiento del petróleo que es un término genérico para el hormigón asfáltico.

ASTM: Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales. Desarrolla métodos y estándares uniformes para la calidad del producto.

Baches: agujeros en forma de cuenco causados por daños por agua que pueden extenderse hasta la base.

Base agregada: una capa de material, generalmente roca de cantera o concreto asfáltico reciclado que se coloca sobre suelo nativo o una subbase agregada. Proporciona una base para soportar la capa superficial de concreto asfáltico o concreto de cemento Portland.

Base: una capa de materiales, generalmente agregados, colocada justo debajo de la capa de superficie de concreto asfáltico y sobre la subbase que proporciona una distribución de carga adicional y ayuda con el drenaje.

Capa de sellado: una mezcla de aproximadamente 85% de emulsión y 15% de agregado que se usa para sellar pavimento rugoso o deshilachado en áreas con velocidades de tráfico inferiores a 15 mph. Una capa de sellado rellena las grietas menores y proporciona un acabado suave que lo protege.

ESAL: Carga equivalente por eje único. Un ESAL equivale a un eje de 18.000 libras. Un ESAL determina el impacto de las cargas pesadas de las ruedas que se cuantifican como un índice de tráfico, que ayuda a determinar cuánta carga soportará un pavimento antes de que comience a fallar.

Fatiga: deterioro del pavimento causado por cargas pesadas repetitivas de las ruedas que resulta en grietas desde la parte inferior de la estructura del pavimento hacia arriba. Suele aparecer como un caimán.

Hormigón asfáltico: una mezcla compuesta de agregado y aglutinante de asfalto que es el material de superficie más utilizado para la construcción de carreteras y estacionamientos.

Índice de tráfico (TI): determina cuánta carga soportará un pavimento antes de que comience a fallar. Es una medida de la cantidad de cargas equivalentes de eje único (ESAL)

esperadas en el carril de tránsito durante la vida útil del pavimento. Un ESAL equivale a un eje de 18,000 libras.

Pavimento flexible: una sección estructural de la carretera compuesta de hormigón asfáltico y una o más capas de agregado que está diseñado para distribuir la carga a la subrasante subyacente. Si está diseñado adecuadamente, el pavimento flexible puede expandirse o estirarse para absorber cargas pesadas.

Pavimento rígido: una sección estructural de la carretera construida con hormigón de cemento Portland rígido que está diseñada para distribuir cargas por eje en un área relativamente amplia.

Pavimento: la capa superficial de una sección estructural de la carretera que transporta tráfico. Está compuesto de hormigón asfáltico o de cemento Portland.

PCC: Concreto de cemento Portland. El PCC es rígido y más duradero que el pavimento asfáltico flexible y, como tal, es una alternativa de pavimento para áreas afectadas por cargas pesadas de ruedas de autobuses, camiones de basura y vehículos de servicio.

Prueba de deflexión: un método no destructivo para determinar la capacidad estructural general y las propiedades del pavimento existente. La prueba mide la resiliencia de la subrasante, la base y las capas superficiales, determina qué tan flexible es la estructura del pavimento y cómo se ha visto afectada por el tipo y volumen de tráfico y otros factores como la temperatura y la humedad.

Sección estructural: las capas diseñadas de materiales colocadas sobre la subrasante nativa para soportar cargas de tráfico estimadas durante un período de tiempo específico. Generalmente, la sección estructural normalmente consta de una subbase, base y superficie de pavimento.

Subbase agregada: una capa de piedra triturada compactada y distribuida uniformemente colocada sobre una base de suelo nativo que proporciona la capa principal de carga de un

pavimento, ayuda al drenaje y evita el asentamiento que conduce a defectos en la superficie como surcos.

Subbase: una capa de agregado diseñado en espesor y calidad colocada sobre el suelo nativo o subrasante que sirve como base para la capa base.

Subrasante: el suelo nativo o la parte del lecho de la carretera sobre la que se coloca una superficie, subbase, base o capa de otro material del pavimento.

Valor R: Valor de resistencia. El valor R es una medida de la resistencia a la deformación bajo carga de suelo saturado.

Vida útil: la vida útil aproximada del pavimento recién construido antes de que se requiera una rehabilitación o reconstrucción importante. Debido al tráfico, la vida útil puede ser considerablemente más corta o más larga que aquella para la que fue diseñada.

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Variable Dependiente: Durabilidad

La durabilidad de las estructuras de concreto reforzado, es uno de los aspectos más importantes que actualmente se considera como prioridad en la estimación de la vida útil de las edificaciones. Tan es así que existen tres estados límites: Estado Límite Último, Estado Límite de Servicio, Estado Límite de Durabilidad, que se consideran para comprobar la funcionalidad estructural de las edificaciones. El Estado Límite de Durabilidad, se encarga de corroborar la capacidad que tienen las estructuras de soportar durante su vida útil, las condiciones físicas y químicas a las que están expuestas (Muñoz & Mendoza, 2013)

Variable Independiente: Losa de pavimento rígido

Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto (Giordani & Leone, 2017)

3.2. Operacionalización de Variables

Cuadro 1: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Dependiente: Durabilidad	La durabilidad de las estructuras de concreto reforzado, es uno de los aspectos más importantes que actualmente el Eurocódigo considera como prioridad en la estimación de la vida útil de las edificaciones (Muñoz & Mendoza, 2013)	Para determinar la durabilidad de las estructuras se realizan fichas donde se registran las diversas fallas superficiales o estructurales que presentan los pavimentos rígidos en un determinado período de serviciabilidad.	Desprendimientos	m ²
			Fisuras	m
			Hundimientos	cm
Independiente: Losa de pavimento rígido	Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante (Giordani & Leone, 2017)	Se realizan diseños de losas de concreto por diversas metodologías para determinar espesores, cantidad de materiales y resistencia a la compresión.	Espesor	cm
			Resistencia	f _c

Fuente: Elaboración propia

3.3. Metodología

Tamayo y Tamayo (2003) definió el marco metodológico como “El proceso de buscar obtener información relevante a través de métodos científicos con el fin de comprender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento, la adquisición de este conocimiento consiste en relacionarlo con la hipótesis propuesta antes de formular la pregunta”. El método utilizado en este estudio es un método deductivo hipotético, según Bisquerra (2004): El problema es que depende de la situación específica. A través del proceso de inducción, esta pregunta se refiere a la teoría. Bajo el nuevo marco teórico, se propuso una hipótesis a través del razonamiento deductivo, y luego se probó la prueba empírica.

3.4. Tipo de Estudio

Cuantitativa: Porque utiliza la recopilación de datos para probar hipótesis basadas en mediciones numéricas y análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. La investigación cuantitativa brinda la posibilidad de generalizar los resultados de manera más amplia, controlando el fenómeno y la mirada en función del conteo y el tamaño. Además de facilitar las comparaciones entre estudios similares, también brinda una gran posibilidad de repetición y se enfoca en puntos específicos de tales fenómenos. (Baptista, Fernández, & Hernández, 2018).

Exploratorio: Se utilizan para preparar la base y suelen ser descriptivos, relevantes o explicativos antes de la investigación. La investigación descriptiva suele ser la base de la investigación de correlación, y la investigación de correlación a su vez proporciona información para la investigación interpretativa, que produce un sentido de comprensión y está altamente estructurada. La investigación realizada en un campo particular del conocimiento puede incluir diferentes alcances en diferentes etapas de su desarrollo. Nos ayuda a familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de una investigación más completa de situaciones específicas, investigar nuevos temas, identificar conceptos o variables prometedores, determinar el foco de investigaciones futuras o formular afirmaciones e hipótesis. (Baptista, Fernández, & Hernández, 2018).

3.5. Diseño

No Experimental: Se puede hacer sin manipulación deliberada de variables. En otras palabras, en estos estudios, no se cambia deliberadamente la variable independiente para ver su impacto en otras variables. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos que ocurren en el medio natural y analizarlos porque se enfoca en la recolección de datos en un momento determinado. (Baptista, Fernández, & Hernández, 2018).

Corte Transversal: Recopila datos en una sola vez. Su propósito es describir variables y analizar la incidencia e interrelaciones en un momento dado. (Baptista, Fernández, & Hernández, 2018).

3.6. Población, Muestra y Muestreo

Población

(Baptista, Fernández, & Hernández, 2018) Se define "población" o "universo" como el conjunto de todas las situaciones que cumplen con una especificación.

Muestra

En muestras no probabilísticas, la elección de elementos no depende de la probabilidad, sino de razones relacionadas con las características de la investigación o el propósito del investigador. (Baptista, Fernández, & Hernández, 2018).

Muestreo

El muestreo no probabilístico es una técnica de muestreo donde el proceso de recolección de muestras no brinda las mismas oportunidades de selección para todos los individuos de la población. Las técnicas de muestreo fueron no probabilísticas ya que dependieron del interés de la investigación (Otzen & Manterola, 2017).

En la presente investigación la población comprende los pavimentos rígidos del cercado de la ciudad de Chiclayo, y la muestra lo conforma las cuadras 6, 7, 8 y 9 de la Av. Pedro Ruiz.

3.7. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Conjunto de reglas y procedimientos que permiten al investigador establecer la relación con el objeto o sujeto de la investigación (Arias, 2012)

Instrumentos

Mecanismo que usa el investigador para recolectar y registrar la información: formularios, pruebas, test, escalas de opinión y listas de chequeo (Arias, 2012)

La técnica a emplear será la observación directa, no participante, estructurada, e individual usando como instrumento las herramientas computacionales.

3.8. Método de Análisis de Datos

Para los efectos de la presente investigación se considerará la estadística probabilística pues se analizará el comportamiento probabilístico de los resultados obtenidos en la recopilación de datos, con la finalidad de proyectar y encontrar, mediante estimaciones estadísticas, las relaciones entre esos datos y los grados de probabilidad, incertidumbre o certeza en el manejo de la información. El objetivo de estas proyecciones es analizar e inducir el posible comportamiento de los datos (Muñoz, 2011)

Según (Baptista, Fernández, & Hernández, 2018) “En la actualidad, el análisis cuantitativo de los datos se lleva a cabo por computadora u ordenador”.

El análisis de datos se efectuará luego de recopilar toda la información, utilizando para el procesamiento de la información el programa Microsoft Excel.

3.9. Aspectos Éticos

La ética es hoy uno de los mayores retos sobre los cuales la educación debe orientar sus esfuerzos, dada la confusión de valores que existe en la sociedad. El propósito es formar conciencia en las personas sobre su responsabilidad, y compromiso con la sociedad; mientras que la responsabilidad de la educación y de la investigación es con el bienestar de la sociedad y con el respeto de su entorno (Bernal, 2015)

Honestidad

La honestidad es una de las conductas que deben y deberían tener los investigadores tanto en su plan de trabajo y como se relaciona con los demás. En relación con su plan de trabajo, la honestidad es necesaria para conservar la verdad del conocimiento sin ella, la ciencia y la tecnología tendrían pocas posibilidades. El investigador debe de mantenerse al margen con la valuación de los resultados, por lo que se debe de eliminar el subjetivismo a pesar que los resultados vallan en contra de la hipótesis de la propia investigación (De la Cruz, 2016)

Lealtad

La lealtad conducta importante hacia la institución para la cual se investiga, la confidencialidad es necesaria tanto la relación autor como institución para mantener una buena prosperidad de la institución, por lo que no hay que dar a conocer aquello que puede afectar su propia integridad moral (De la Cruz, 2016)

Humildad

La humildad por su naturaleza de investigación, la búsqueda de la verdad está difícil de alcanzar muchas veces, el investigador debe ser humilde lo cual habla del tipo de personalidad que este posee, esto no implica que no defienda la importancia de su trabajo que desarrolla y el estar orgulloso de ello (De la Cruz, 2016)

IV. RESULTADOS

En concordancia con las variables investigadas, se expone los resultados obtenidos en la identificación de fallas relacionadas con la durabilidad del pavimento rígido en la Av. Pedro Ruiz:

- Defecto de superficie: Desprendimiento
- Defecto de juntas: Fisuras
- Defecto estructural: Hundimiento

De acuerdo a las dimensiones de la variable dependiente durabilidad y el trabajo de campo realizado, el estado actual del pavimento rígido de la Av. Pedro Ruiz es el siguiente:

Cuadro 2: Dimensiones de la durabilidad del pavimento de la Av. Pedro Ruiz (c-6 a c-9)

Descripción	Desprendimiento (m ²)	Fisura (m)	Hundimiento (cm)
Av. Pedro Ruiz c-6	0.24	17.6	0.6
Av. Pedro Ruiz c-7	0.76	9.4	2.2
Av. Pedro Ruiz c-8	0.48	11.2	1.4
Av. Pedro Ruiz c-9	0.15	7.6	0.4

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 2 se puede observar que, en todas las cuadras intervenidas, de la Av. Pedro Ruiz, se presentan deterioros por desprendimientos, fisuras en juntas y hundimientos, los que causan malas condiciones de transitabilidad vehicular.

Estos daños afectan el estado y el comportamiento de la superficie de la vía local de diferentes formas.

Obtenidos los parámetros de diseño para la Av. Pedro Ruiz, cuadras 6 a 9, se obtuvieron los siguientes resultados para una losa óptima:

Cuadro 3: Espesor de losas rígidas Av. Pedro Ruiz (c-6 a c-9)

Descripción	Espesor losa (cm)	Resistencia Compresión (kg/cm²)
Av. Pedro Ruiz	26	280

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 3 se puede observar que el espesor de losa promedio optimizado es de 26 cm, empleando una resistencia a la compresión de 280 kg/cm²

V. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se puede apreciar que se ha empleado un módulo de rotura del concreto (280 kg/cm^2) más alto que el presentado y ejecutado para la Av. Pedro Ruiz (210 kg/cm^2), para producir un esfuerzo equivalente menor, lo que nos permite diseñar el espesor de losa más pequeño. Los paños actuales poseen dimensiones de 3, 3.5, 4 y hasta 4.5 m, con un espesor de 20 cm, sin refuerzo ni pasadores, y muchos tramos están “recapeados” con mezcla asfáltica en caliente que empieza a desprenderse, por las zonas de fisuras en las juntas, hundimientos y otras áreas, debido a que no se reparó la superficie del concreto sobre la que se ejecutó el sellado con asfalto, para crear una superficie homogénea y de mejor tránsito, con la posterior consecuencia observable en campo.

Al tratarse de una vía con características urbanas, es necesario construir un sistema de drenaje superficial o pluvial conectado al sistema de alcantarillado para asegurar el drenaje oportuno de las aguas superficiales y determinar la pendiente horizontal y vertical durante la construcción. Este aspecto mejora el diseño y garantiza una mayor vida útil del pavimento.

Para asegurar una superficie de revestimiento uniforme, el control de la topografía debe llevarse a cabo durante todo el proceso de estratificación, ya que si no se cumplen las condiciones anteriores, puede generar acumulación de humedad que eventualmente penetrará en la infraestructura, afectando la durabilidad de la losa. Es un aspecto más inherente a la ejecución de la obra que al diseño del pavimento, pero que influye en su vida útil.

Se recomienda que cuando llueva, se debe cubrir el concreto para evitar que la superficie se lave, lo que dañaría la durabilidad del concreto en el futuro. Este aspecto se ha tenido en cuenta en el diseño de la losa, por lo que debe verificarse celosamente su buena ejecución.

En conclusión, el diseño propuesto para la losa del pavimento rígido de la Av. Pedro Ruiz c-6 a c-9 pasa por el empleo de losas cortas, de forma tal que las mismas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir las tensiones en dicha losa.

Es decir, es posible optimizar el espesor mediante pavimentos de placas planas de pequeña longitud y anchura. Estos pavimentos soportan poca tensión, simplemente porque no existe la posibilidad de tener un mismo eje en ambos lados del eje del vehículo o incluso en el eje. Se apoya sobre la misma losa de hormigón, reduciendo así el tamaño del esfuerzo de carga y reduciendo la necesidad de soportar el espesor.

El uso de un tamaño de una losa más pequeña puede reducir el agrietamiento de los mismos y mejorar la capacidad de soportar cargas por eje de camiones. A su vez, debido a la reducción del tamaño de la losa, debido al calor, la humedad o los gradientes inducidos por la construcción, el efecto causado por la deformación es menor que el efecto que se produciría con dimensiones normales o tradicionales.

La losa óptima comprende paños nervados perimetralmente de 1.80 x 1.80 m, de un espesor de 26 cm, con una calidad de concreto $f'_c=280$ kg/cm² y empleo de dowels de 1/2" de 0.50 m a cada lado del eje, y cada 30 cm, entubados con PVC 5/8".

VI. CONCLUSIONES

- Para el objetivo principal: Desarrollar una propuesta de optimización de losa en pavimento rígido Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9) y mejorar su durabilidad, Chiclayo 2020, se puede concluir que el diseño del modelo óptimo de losa rígida resultó ser mejor que el empleado comúnmente, pues cumple con el parámetro mínimo de deflexión en losas que establece la norma.

- Para el objetivo específico: Obtener los valores de los parámetros y determinar el espesor del pavimento rígido, basado en el método AASHTO 1998, se concluye que para losas de pavimentos rígidos de gran luz o grandes dimensiones, no se recomiendan usar losas macizas planas, siendo mejor emplear un sistema de losas nervadas, que permite proporcionar rigidez y ligereza a la estructura.

- Para el objetivo específico: Validar la propuesta en el programa de elementos finitos EverFE para verificar que el esfuerzo máximo no exceda el 50% del módulo de ruptura del concreto, se concluye que el aumento de la resistencia del hormigón o concreto aumenta la resistencia de todas las losas en forma conjunta, asimismo, se determina que es casi imposible realizar un diseño de calidad sin utilizar programas de diseño asistido por computadora, lo que demuestra la importancia del modelado numérico para el desarrollo de la ingeniería moderna.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar tamaños de placas, paños o losas geoméricamente optimizados para pavimentos rígidlos, para minimizar la tensión en los tableros de concreto, lo que significa mejorar la durabilidad del pavimento y la deflexión de las losas.

- Se recomienda utilizar una losa maciza optimizada o un sistema de placas nervadas perimetralmente, en lugar de las losas sólidas planas apoyadas horizontalmente que se utilizan actualmente.

- Se recomienda incrementar la resistencia a compresión del hormigón en el diseño para obtener una mayor durabilidad conjunta e integral en el pavimento y disminuir el esfuerzo máximo en la losa de concreto, asimismo, se recomienda utilizar un programa de diseño asistido por computadora (como EverFE) para un diseño de calidad, que puede acelerar el tiempo y la precisión del cálculo correspondiente.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) AASHTO. (1993). *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos*. USA: AASHTO.
- 2) Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación* (6ta ed.). Caracas, Venezuela: Episteme.
- 3) Arriaga, M., Garnica, P., & Rico, A. (1998). Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México. *Publicación Técnica*(108), 9-12.
- 4) Baptista, M., Fernández, C., & Hernández, R. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México, México: McGRAW-HILL.
- 5) Bernal, C. (2015). *Metodología de la Investigación* (4ta ed.). Colombia: Pearson Educación.
- 6) Bryan Uribe, C. (2015). *Análisis de los criterios de diseño de pavimento rígido bajo la óptica de las condiciones especiales de la isla de San Andrés y especificaciones técnicas de la secretaria de infraestructura de la gobernación departamental*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- 7) De la Cruz, C. (2016). Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería. *Revista Ingenium*, 43-46.
- 8) Diario La Nación. (25 de 07 de 2017). *Ahorrarán US\$ 17 millones con el pavimento rígido*. Obtenido de Diario La Nación:
https://www.lanacion.com.py/negocios_edicion_impresa/2017/07/25/ahorran-us-17-millones-con-el-pavimento-rigido/
- 9) Garnica, P., Gómez, J., & Sesma, J. (2002). *Mecánica de materiales para pavimentos*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- 10) Giordani, C., & Leone, D. (2017). *Pavimentos*. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional .
- 11) Hanco, N. (05 de 07 de 2018). *Diario El Correo*. Obtenido de El uso de pavimento significa un ahorro del 35% que el uso del asfaltado:
<https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/el-uso-de-pavimento-significa-un-ahorro-del-35-que-el-uso-del-asfaltado-828419/?ref=dcr>

12) López, H. (2015). Análisis comparativo entre diferentes metodologías de diseño para estructuras de pavimento empleando los parámetros de diseño requeridos para el corredor Mulaló-Loboguerrero. *Universidad Militar Nueva Granada*, 1-13.

Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13950/ARTICULO%20HANS.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

13) Martínez, M. (15 de 11 de 2020). *Actualidad: Avances “concretos” para vías más resistentes*. Obtenido de El Espectador:

<https://www.elespectador.com/noticias/actualidad/avances-concretos-para-vias-mas-resistentes/>

14) Minaya, S., & Ordóñez, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

15) Morales, J. (2005). *Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo*. Piura: Universidad de Piura.

16) Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. (2da ed.). México: Pearson Educación de México.

17) Muñoz, F., & Mendoza, C. (2013). La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la norma española para estructuras de concreto. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 63-86.

18) NCYT. (03 de 03 de 2020). *Ingeniería: Nueva tecnología para evaluar pavimentos rígidos*. Obtenido de Noticias de la Ciencia y la Tecnología: <https://noticiasdelaciencia.com/art/36972/nueva-tecnologia-para-evaluar-pavimentos-rigidos>

19) Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol*, 227-232.

20) PCA. (1984). *Thickness Design for concrete Highway and Street Pavements (Diseño de espesores para pavimentos de hormigón para carreteras y calles)*. USA: Portland Cement Association.

21) Redacción Andina. (08 de 11 de 2018). *Agencia Peruana de Noticias*. Obtenido de Pistas de Chosica serán reconstruidas con sistema de evacuación de aguas: <https://andina.pe/agencia/noticia-pistas-chosica-seran-reconstruidas-sistema-evacuacion-aguas-732098.aspx>

22) Redacción Andina. (19 de 09 de 2019). *Agencia Peruana de Noticias*.
Obtenido de Aceleran obras de reconstrucción en diversas provincias de Áncash:
<https://andina.pe/agencia/noticia-aceleran-obras-reconstruccion-diversas-provincias-ancash-767089.aspx>

23) Sánchez Campos, P. (2015). *Método de diseño de losas de dimensiones superficiales optimizadas, en pavimentos de concreto hidráulico*. San Salvador: Universidad de El Salvador.

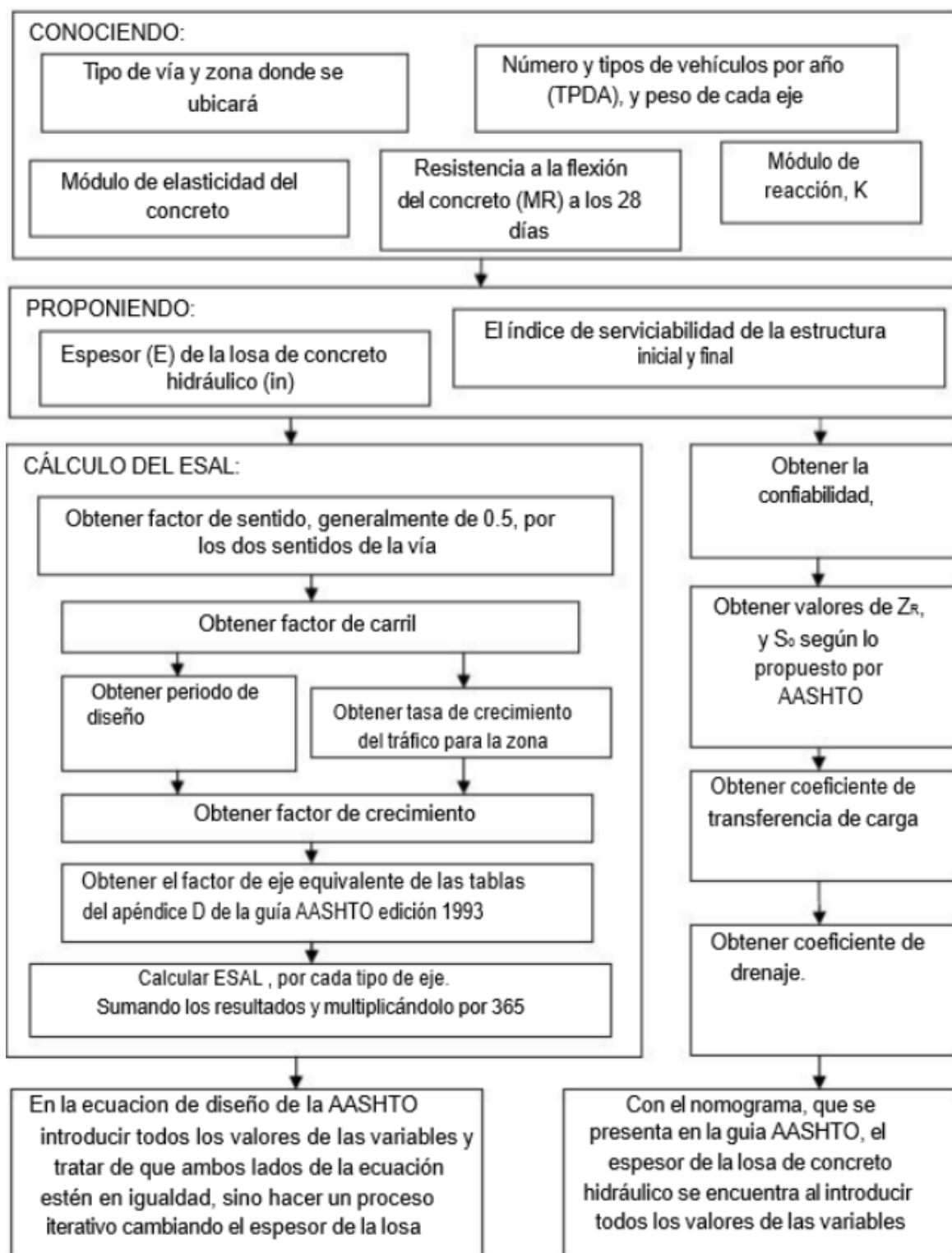
24) Szasdi Bardales, F. (2015). *Optimización del desempeño de pavimentos rígidos mediante la utilización de soporte lateral*. Guatemala de la Asunción: Universidad Rafael Landívar.

25) Urpeque, H. (10 de 03 de 2017). Lluvias dañaron 360 mil metros cuadrados de pavimento en Chiclayo. *RPP Noticias*.

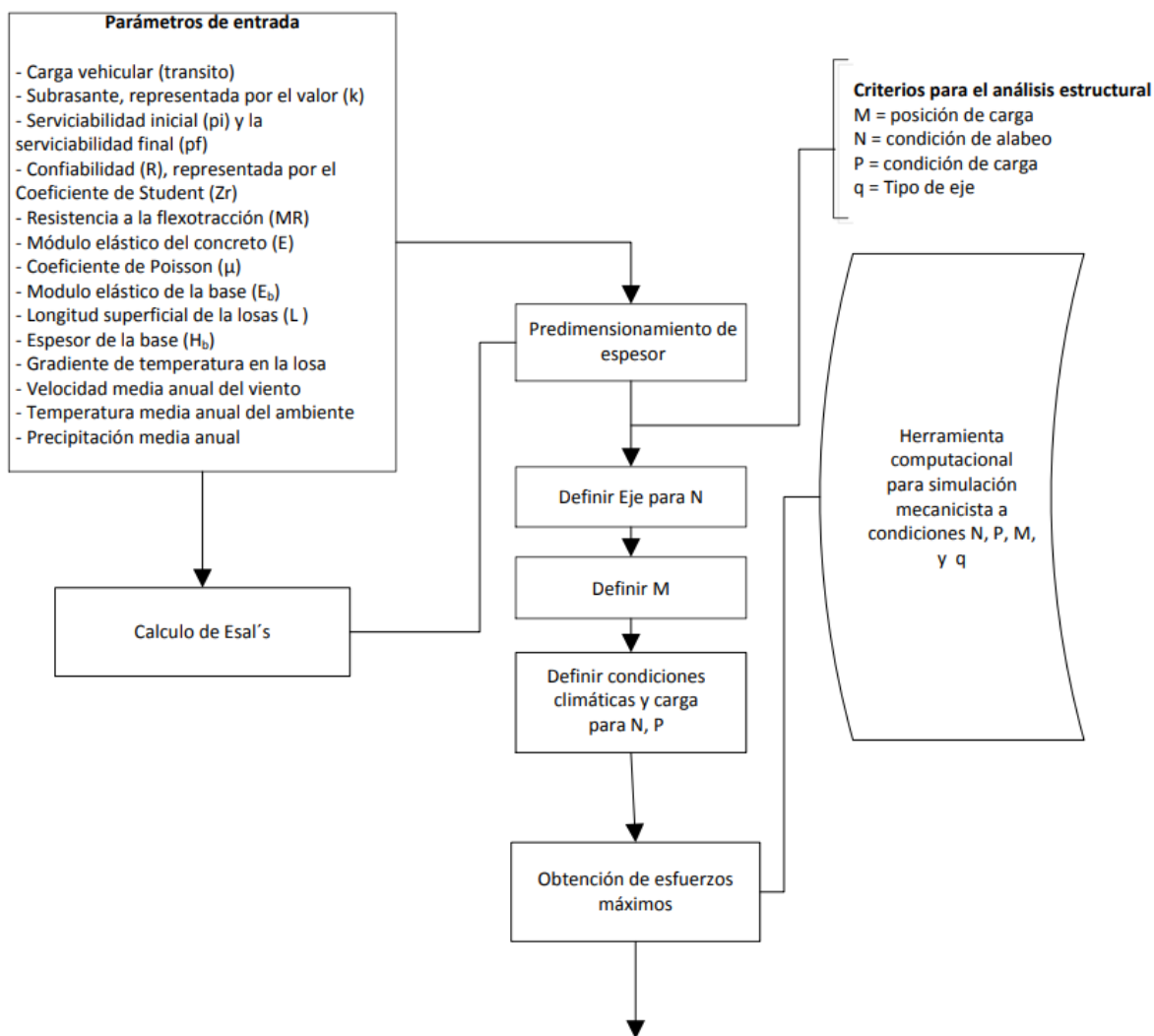
26) Vega, Y. (12 de 05 de 2019). *Diario La República*. Obtenido de Vía Canal Chiclayo de S/58 mllns. agoniza y sin responsables:
<https://larepublica.pe/sociedad/1467030-via-canal-chiclayo-s58-mllns-agoniza-responsables/>

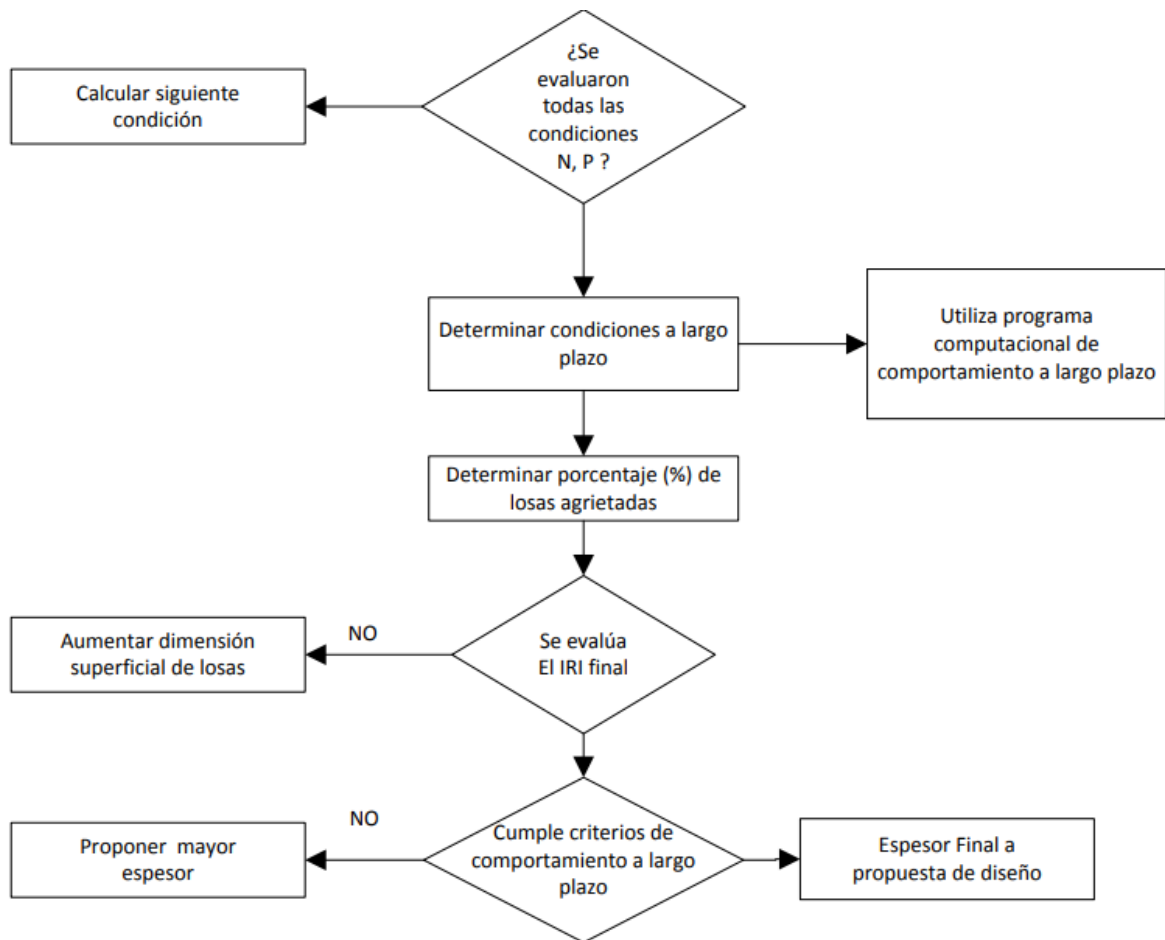
IX. ANEXOS

ANEXO 01: Flujograma de diseño pavimento rígido AASHTO-93



ANEXO 02: Diseño geométrico de losa optimizada de concreto





ANEXO 03: Memoria de cálculo de losa rígida optimizada

Parámetros de entrada para el diseño del pavimento

Losa de concreto	Símbolo	Valor
Módulo de Elasticidad del Concreto	E_c	28,000 MPa
Coeficiente de Poisson	μ	0.15
Coeficiente de expansión térmica	α	1.1×10^{-5}
Módulo de Ruptura	MR	4.8 MPa
Coeficiente de fricción (losa-base)	f	34
Espaciamiento de juntas	L	1.8 m
Densidad de la losa	ρ	2,400 kg/m ³
Gradiente de temperatura	ΔT	14°C

Base granular	Símbolo	Valor
Módulo de Elasticidad de la base granular	E_b	5,516 MPa
Espesor de la base	H_b	10"
Módulo elástico efectivo de soporte de la sub-base	k	13.6 MPa/m
Coeficiente de Poisson de la base	ν	0.35
Coeficiente de expansión térmica	α	1.1×10^{-5}

Barras de amarre	Símbolo	Valor
Módulo de Elasticidad del acero	E_s	200,000 MPa
Coeficiente de Poisson de la base	ν	0.3

Condiciones climáticas	Símbolo	Valor
Velocidad anual del viento	Wind	5 Mph
Temperatura anual	Temp	80°F
Precipitación anual	Precip	75"

Comportamiento	Símbolo	Valor
Índice de serviciabilidad inicial	P1	4.5
Índice de serviciabilidad final	P2	2
Confiabilidad	R	80%
Desviación estándar del sistema	So	0.35
IRI inicial		2 m/km

Resumen de conteo y clasificación vehicular

SENTIDO	VEHICULOS LIGEROS				BUS	CAMIÓN	TOTAL	%
	Autos	Pick up	C. Rural	Micros	2E	2E		
Oeste	2,847	342	84	0	76	127	3,476	100.00%
	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTAL	2,847	342	84	0	76	127	3,476	
%	81.90%	9.84%	2.42%	0.00%	2.19%	3.65%	100.00%	
IMD	406.71	48.86	12.00	0.00	10.86	18.14	496.57	
K	1	1	1	1	1	1		
IMD	407	49	12	0	11	18	497	
IMD	407	49	12	0	11	18	497	

1) PERIODO DE DISEÑO

T = 20 años

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30 - 50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20 - 50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15 - 25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10 - 20 años

2) ESPESOR DE PAVIMENTO

esp = 200 mm asumido

3) INDICES DE SERVICIABILIDAD

Pt = 2 seviciabilidad final

 $\Delta PSI = P_o - P_t$ 2.5

INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL
Po = 4.5 para pavimentos rígidos
Po = 4.2 para pavimentos flexibles

INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL
Pt = 2.5 o más para caminos muy importantes
Pt = 2.0 para caminos de transito menor

4) FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION

D = 0.5

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	LD 10
2	0.50
4	0.45
6 o más	0.40

factor de direccion ida y vuelta

5) FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL

L = 1 un carril en cada senti => W18 = 100%

Nº DE CARRIL EN CADA SENTIDO	PORCENTAJE DE W18 EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o más	50 - 75

6) CODIGO DE EJE CARGADO

L2 = tipo de eje en contacto con el pavimento

L2 = 1	eje simple
L2 = 2	eje tandem
L2 = 3	eje tridem

Cálculo del ESAL

TIPO DE VEHÍCULO	VEHICULOS LIGEROS					
	Autos		Pick up		C. Rural	
	delant.	post.	delant.	post.	delant.	post.
CARGA	1.0	0.8	1.2	1.5	1.5	2.0
Lx (kips)	2.206	1.765	2.647	3.309	3.309	4.412
N°	407	407	49	49	12	12
r%	0.045	0.045	0.040	0.040	0.030	0.030
Gt	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079
L2	1	1	1	1	1	1
B18	1	1	1	1	1	1
Bx	1	1	1	1	1	1
log(Wtx/Wt)	3.570	3.867	3.312	2.977	2.977	2.520
G = Wt/Wtx	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003
G Y	31.371	31.371	29.778	29.778	26.870	26.870
ESAL	626.67	316.21	129.93	280.71	62.03	177.79
PARCIAL	1,593.35					

TIPO DE VEHÍCULO	BUS		CAMIÓN	
	2E		2E	
	delant.	post.	delant.	post.
CARGA	7.0	11.0	7.0	11.0
Lx (kips)	15.441	24.265	15.441	24.265
N°	11	11	18	18
r%	0.030	0.030	0.030	0.030
Gt	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079
L2	1	1	1	1
B18	1	1	1	1
Bx	1	1	1	1
log(Wtx/Wt)	0.290	-0.572	0.290	-0.572
G = Wt/Wtx	0.513	3.731	0.513	3.731
G Y	26.870	26.870	26.870	26.870
ESAL	27,651.12	201,242.12	45,247.28	329,305.28
PARCIAL	228,893.23		374,552.56	
TOTAL	605,039.14			

7) CONFIABILIDAD

TIPO DE CARRETERA	NIVELES DE CONFIABILIDAD R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80

R = 80 %

8) DESVIACION ESTANDAR NORMAL

DESMACION ESTANDAR NORMAL (VALORES CORRESPONDEN A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE CONFIABILIDAD)		
CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)	(So)
50	0.000	0.35
60	-0.253	0.35
70	-0.524	0.34
75	-0.647	0.34
80	-0.841	0.32
85	-1.037	0.32
90	-1.282	0.31
91	-1.340	0.31
92	-1.405	0.30
93	-1.476	0.30
94	-1.555	0.30
95	-1.645	0.30
96	-1.751	0.29
97	-1.881	0.29
98	-2.054	0.29
99	-2.327	0.29
99.9	-3.090	0.29
99.99	-3.750	0.29

ZR = -0.841

9) ERROR ESTANDAR COMBINADO So

TIPO	(So)
Pavimentos Rígidos	0.30 - 0.40
Construcción Nueva	0.35
En Sobre Capas	0.40

So = 0.32

1) METODO EMPIRICO O MECANISTICO

DATOS DE LA SUBBASE : CBR = **20.00** %

Ecuación Guia Mecanica Empirica NCHRP (2002)

$$MR = 2555 (CBR)^{0.64}$$

$$MR = 17,380.01 \quad \text{psi} = 119.92 \quad \text{Mpa}$$

Ecuación de Kentucky

(regresión exponencial)

$$MR = 1910 (CBR)^{0.68}$$

$$MR = 14,646.50 \quad \text{psi} = 101.06 \quad \text{Mpa}$$

(regresión polinómica 2°) Solo para CBR < 55 %

$$MR = -7.5 CBR^2 + 800 CBR + 1820$$

$$MR = 15,220.00 \quad \text{psi} = 105.02 \quad \text{Mpa}$$

$$\text{Mínimo: ME} = 101.06 \quad \text{Mpa}$$

DATOS DEL SUELO DE FUNDACION: CBR = **5.00** %

Ecuación Guia Mecanica Empirica NCHRP (2002)

$$MR = 2555 (CBR)^{0.64}$$

$$MR = 7,157.01 \quad \text{psi} = 49.38 \quad \text{Mpa}$$

Ecuación de After Van Til et al

(regresión exponencial)

$$MR = 5490 (CBR)^{0.30}$$

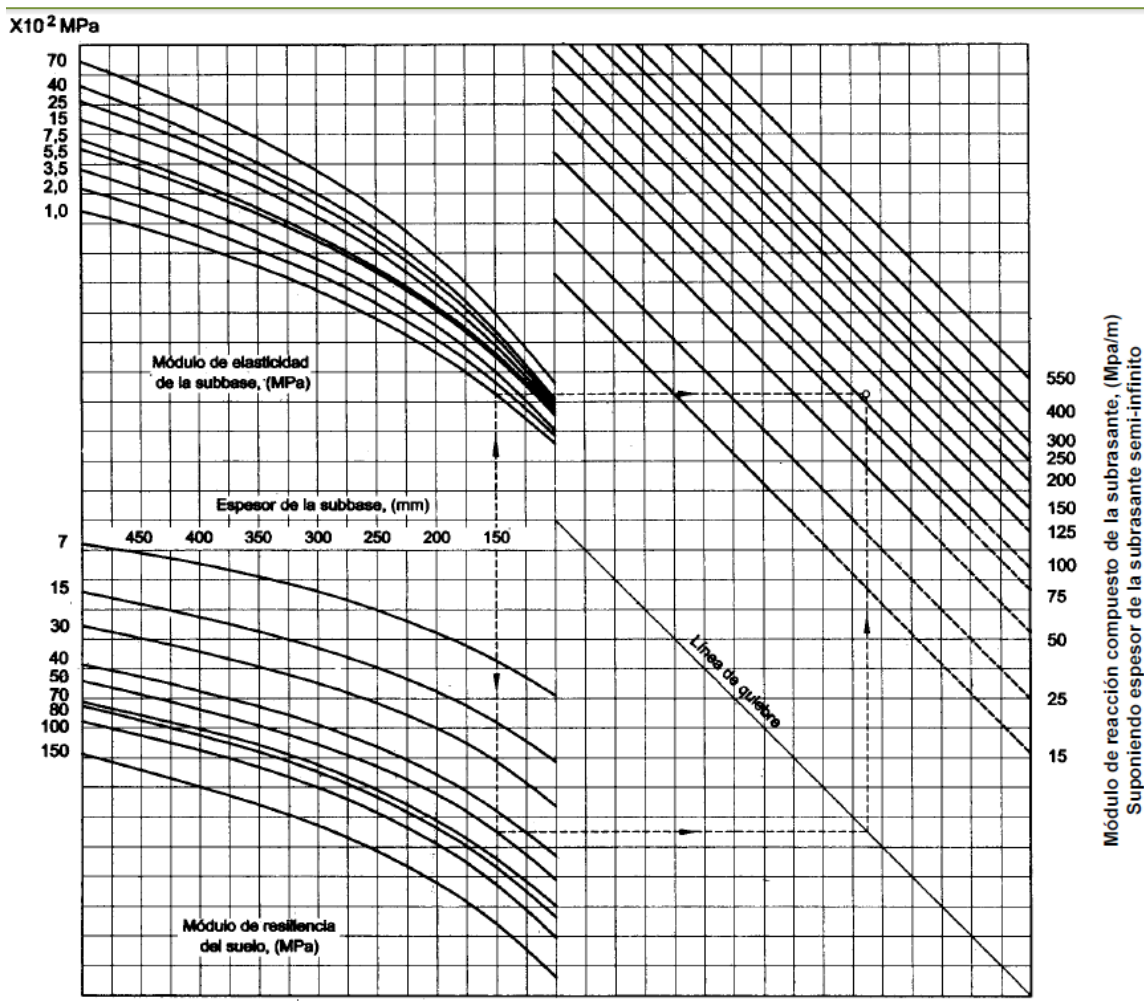
$$MR = 8,897.40 \quad \text{psi} = 61.39 \quad \text{Mpa}$$

$$\text{Mínimo: MR} = 49.38 \quad \text{Mpa}$$

En el monograma

1. Estimar el espesor de la sub base como dato preliminar
2. Obtener el módulo resiliente y módulo de lasticidad del suelo de fundación y sub base
3. Proyectar con las flechas y obtener el módulo de reacción compuesto

MONOGRAMA PARA DETERMINAR EL MODULO DE REACCION COMPUESTO DE LA SUBRASANTE, SUPONIENDO UNA PROFUNDIDAD INFINITA



MODULO DE REACCION COMPUESTO DE LA SUBRASANTE (K) = 100.00 Mpa/m

2) METODO AASHTO

DATOS DE LA SUB BASE: CBR = 20.00 % Espesor 15.00 cm

Si CBR $\leq$ 10

$$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG (CBR)}$$

Si CBR > 10

$$K = 46 + 9.08 (\text{LOG (CBR)})^{4.34}$$

$$K = 74.45 \text{ Mpa/m}$$

DATOS DEL SUELO DE FUNDACION: CBR = 5.00 %

Si CBR $\leq$ 10

$$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG (CBR)}$$

Si CBR > 10

$$K = 46 + 9.08 (\text{LOG (CBR)})^{4.34}$$

$$K = 39.25 \text{ Mpa/m}$$

MODULO DE REACCION COMPUESTO DE LA SUBRASANTE (K) = 43.68 Mpa/m

1) PERDIDA DE SERVICIABILIDAD

Pt = 2 seveciabilidad final

INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL
Po = 4.5 para pavimentos rigidos
Po = 4.2 para pavimentos flexibles

$$\Delta PSI = Po - Pt = 2.5$$

INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL
Pt = 2.5 o más para caminos muy importantes
Pt = 2.0 para caminos de transito menor

2) DRENAJE

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Exelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no evacua

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos de 1%	1 % - 5 %	5 % - 25 %	más del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Malo	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70
Cd = 0.90				

3) COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CARGA

Valores de coeficiente de transmisión de carga

Tipo de Pavimento	Hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	C° Asfáltico		C° Hidráulico	
	SI	NO	SI	NO
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.08-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
Reforzado continuo	2.9-3.2	---	2.3-2.9	---
J = 3.00				

4) MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

Concreto $f_c = 280.00$ kg/cm²

$$E_c = 57000 (f_c)^{0.5}$$

$$E_c = 4E+06 \text{ psi} = 2.48E+04 \text{ Mpa}$$

5) MODULO DE ROTURA DEL CONCRETO

Concreto $f_c = 280.00$ kg/cm²

$$S'_c = 8 - 10 (f_c)^{0.5}$$

$$S'_c = 631.07 \text{ psi} = 4.35 \text{ Mpa}$$

Los cálculos de ESAL se realizaron en una avenida en un sentido y dos carriles oficiales, y se obtuvo un valor de ESAL de 605.039 en el primer año. Teniendo en cuenta el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos - R.D. N ° 10-2014-MTC/14, la tasa de crecimiento del tráfico suele variar entre 2% y 6%, por lo que el incremento lineal asumido es de 4%.

$$ADT_t = ADT_1[1 + r(t - 1)]$$

ADT_t: Carga del año a calcular

ADT₁: Carga del primer año

r: Tasa de crecimiento

t: Año

Año	ESAL anual	ESAL acumulado
1	605,039	605,039
2	629,241	1,234,280
3	653,442	1,887,722
4	677,644	2,565,366
5	701,845	3,267,211
6	726,047	3,993,258
7	750,249	4,743,507
8	774,450	5,517,957
9	798,652	6,316,609
10	822,853	7,139,462
11	847,055	7,986,517
12	871,256	8,857,773
13	895,458	9,753,231
14	919,659	10,672,890
15	943,861	11,616,752
16	968,063	12,584,814
17	992,264	13,577,078
18	1,016,466	14,593,544

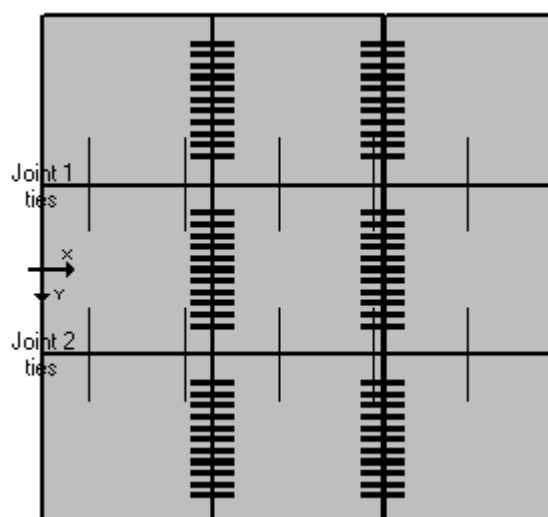
Año	ESAL anual	ESAL acumulado
19	1,040,667	15,634,211
20	1,064,869	16,699,080

Se realiza el presente análisis para 20 años y un total de ESAL de 16,699,080

ESPEJOR DEL PAVIMENTO POR LA FÓRMULA AASHTO

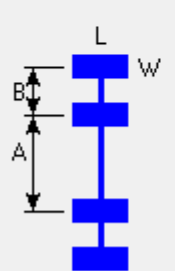
K =	43.681	Mpa/m	So =	0.32
Ec =	24,819.907	Mpa	R =	80 % => ZR = -0.841
S'c = Mr =	4.354	Mpa	Pt =	2
J =	3.00		Δ PSI =	2.5
Cd =	0.90		W80 =	1.67E+07
			D =	260 mm

Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing
Slab Layout					
☐ 1 row; 1 column ☐ 2 rows; 1 column ☐ 3 rows; 1 column ☐ 1 row; 2 columns ☐ 2 rows; 2 columns ☐ 3 rows; 2 columns ☐ 1 row; 3 columns ☐ 2 rows; 3 columns ☒ 3 rows; 3 columns		Column 1 Length (X mm) 1800 Column 2 Length (X mm) 1800 Column 3 Length (X mm) 1800 Row 1 Width (Y mm) 1800 Row 2 Width (Y mm) 1800 Row 3 Width (Y mm) 1800 Slab Thickness (Z mm) 260 First Skew Angle (deg) 0 Second Skew Angle (deg) 0 Third Skew Angle (deg) 0 Fourth Skew Angle (deg) 0			
Base and Subgrade					
☐ No Layer ☒ 1 Layer ☐ 2 Layer ☐ 3 Layer		Layer 1 Depth (Z mm) 150			



Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing
Slab:		E (MPa) 28000 nu 0.15 alpha (per deg C) 1.1 e-005 density (kg/m ³) 2400			
Dowels and Ties:		E (MPa) 200000 nu 0.3			
Base:		E (MPa) 5516 nu 0.35 density (kg/m ³) 0			
Slab/Base Interface:		☐ Bonded Base Initial Stiffness (MPa/mm) 0.1 Slip Displacement (mm) 0.1			
Dense Liquid Subgrade:		☐ Tensionless K (MPa/mm) 0.03			

Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing
Single Wheel	Single Wheel Axle	Dual Wheel Axle	Single Wheel Tandem	Dual Wheel Tandem	Multi-Wheel Axle



Load (kN) 80

x (mm) 0

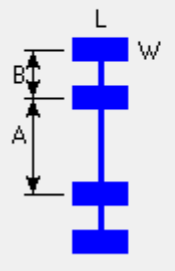
y (mm) 0

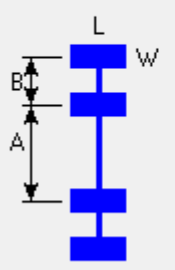
L (mm) 200

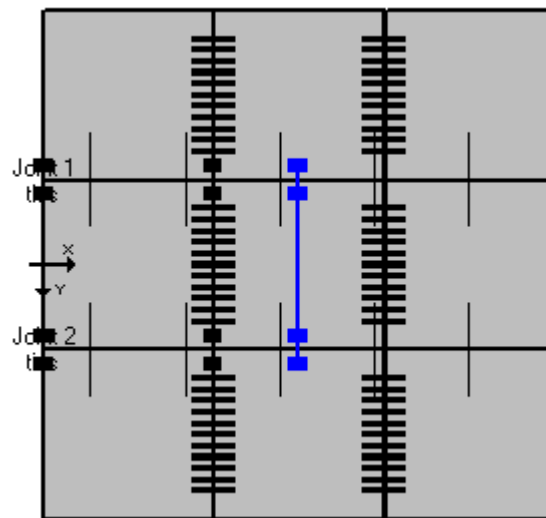
W (mm) 150

A (mm) 1500

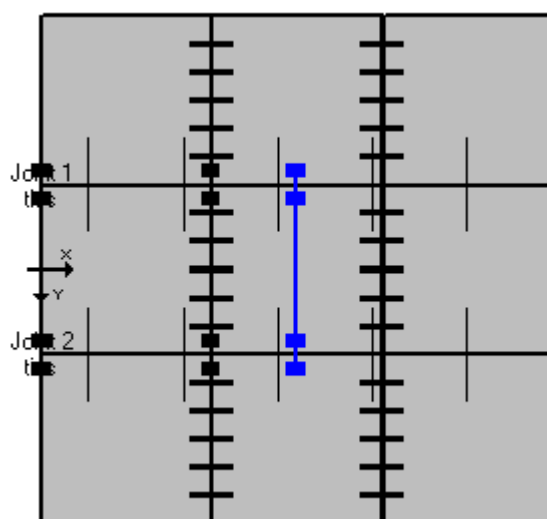
B (mm) 300

Single Wheel	Single Wheel Axle	Dual Wheel Axle	Single Wheel Tandem	Dual Wheel Tandem	Multi-Wheel Axle
 Load (kN) 80 x (mm) 1800 y (mm) 0 L (mm) 200 W (mm) 150 A (mm) 1500 B (mm) 300					

Single Wheel	Single Wheel Axle	Dual Wheel Axle	Single Wheel Tandem	Dual Wheel Tandem	Multi-Wheel Axle
 Load (kN) 80 x (mm) 2700 y (mm) 0 L (mm) 200 W (mm) 150 A (mm) 1500 B (mm) 300					

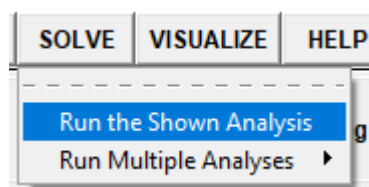
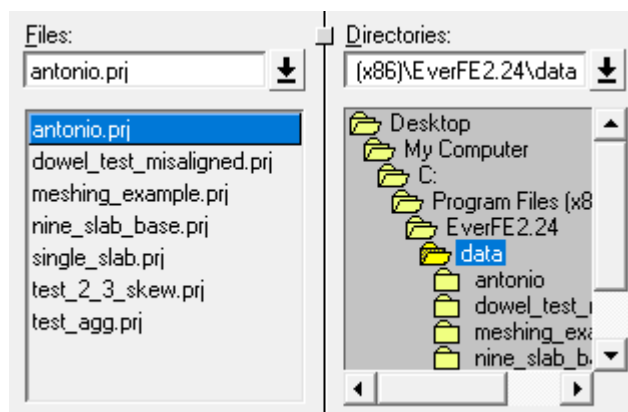
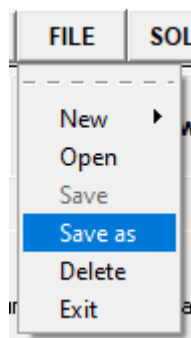
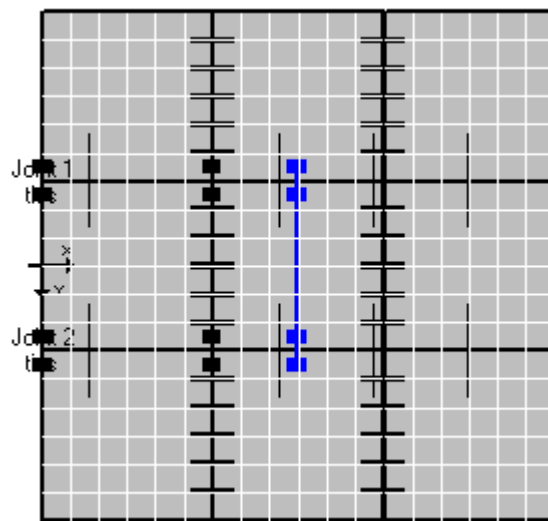


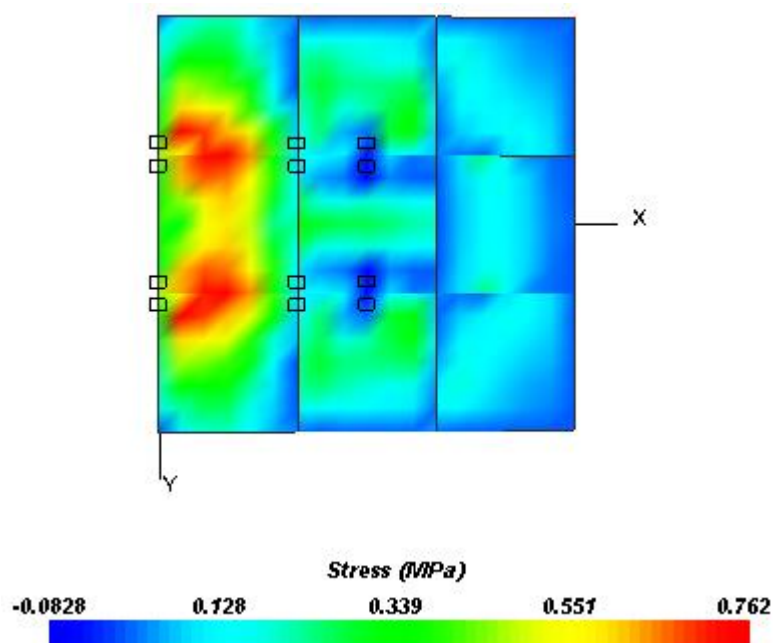
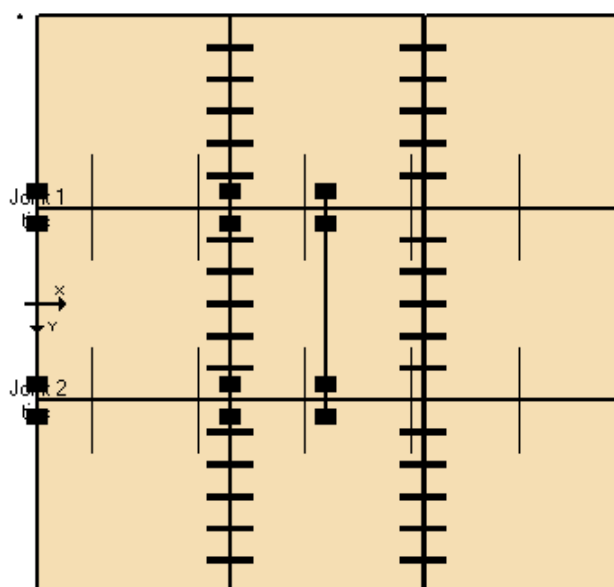
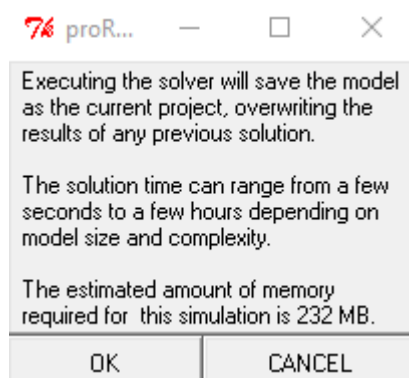
Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing
☐ Looseness Emb (mm) 225 Diameter (mm) 32					
First Row Dowels Second Row Dowels Third Row Dowels			☒ Even Number 5 ☐ Wheelpath Edge 1 (mm) 300 ☐ Manual Entry Dowel-slab support modulus (MPa) 1000 Dowel-slab restraint modulus (MPa) 0		
Even Wheelpath Manual Entry					
☒ Tie Joint 1		Tie-slab support modulus (MPa) 1000 Tie-slab restraint modulus (MPa) 10000 Emb (mm) 500 Spacing (mm) 1000 Diameter (mm) 13			
☒ Tie Joint 2		Tie-slab support modulus (MPa) 1000 Tie-slab restraint modulus (MPa) 10000 Emb (mm) 500 Spacing (mm) 1000 Diameter (mm) 13			



Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing
☒ Linear Model ☐ Nonlinear Model Opening between Column 1 and Column 2 (mm) 0.5 Opening between Column 2 and Column 3 (mm) 0.5 Joint stiffness (MPa/mm) 0.0					

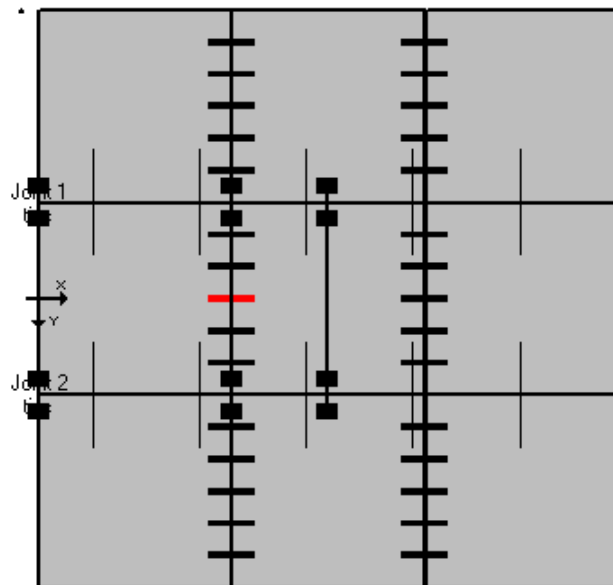
Geometry	Material	Loading	Dowel	Interlock	Meshing
Number of Elements along X in Column 1 6 Number of Elements along X in Column 2 6 Number of Elements along X in Column 3 6 Number of Elements along Y in Row 1 6 Number of Elements along Y in Row 2 6 Number of Elements along Y in Row 3 6 Number of Elements along Z in Slab 2 Number of Elements along Z in Subgrade 1 1					





Plane to View:☐ Y-Z☐ X-Z☒ X-YHorizontal (Slab) **Stress to View:**☒ Max Principal☐ Min Principal☐ Sxx☐ Syy☐ Szz☐ Sxy☐ Syz☐ Sxz**Scaling:**☐ Global☒ Local**Color Map or Contour:**☒ Color Map☐ Contour**Max/min Principal Stress Values per Slab:**

MAX: 0.754704MPa X: 300.033mm Y: -1200.03mm Z: -259.99mm MIN: -1.20228MPa X: 0.05mm Y: -900.05mm Z: -259.99mm	MAX: 0.672416MPa X: 2712.7mm Y: -1200.03mm Z: -0.01mm MIN: -0.849726MPa X: 3612.65mm Y: -900.05mm Z: -0.01mm	MAX: 0.181083MPa X: 4525.4mm Y: -1200.03mm Z: -0.01mm MIN: -0.219001MPa X: 4525.4mm Y: -900.05mm Z: -129.99mm
MAX: 0.761684MPa X: 900.0mm Y: 899.95mm Z: -259.99mm MIN: -1.19789MPa X: 0.05mm Y: -899.95mm Z: -259.99mm	MAX: 0.543733MPa X: 2712.7mm Y: -899.95mm Z: -0.01mm MIN: -0.669649MPa X: 2712.7mm Y: -899.95mm Z: -259.99mm	MAX: 0.236864MPa X: 4225.42mm Y: 899.95mm Z: -259.99mm MIN: -0.23137MPa X: 4225.42mm Y: 899.95mm Z: -0.01mm
MAX: 0.754801MPa X: 300.033mm Y: 1200.03mm Z: -259.99mm MIN: -1.2023MPa X: 0.05mm Y: 900.05mm Z: -259.99mm	MAX: 0.672319MPa X: 2712.7mm Y: 1200.03mm Z: -0.01mm MIN: -0.848857MPa X: 3612.65mm Y: 900.05mm Z: -0.01mm	MAX: 0.18105MPa X: 4525.4mm Y: 1200.03mm Z: -0.01mm MIN: -0.219118MPa X: 4525.4mm Y: 900.05mm Z: -129.99mm

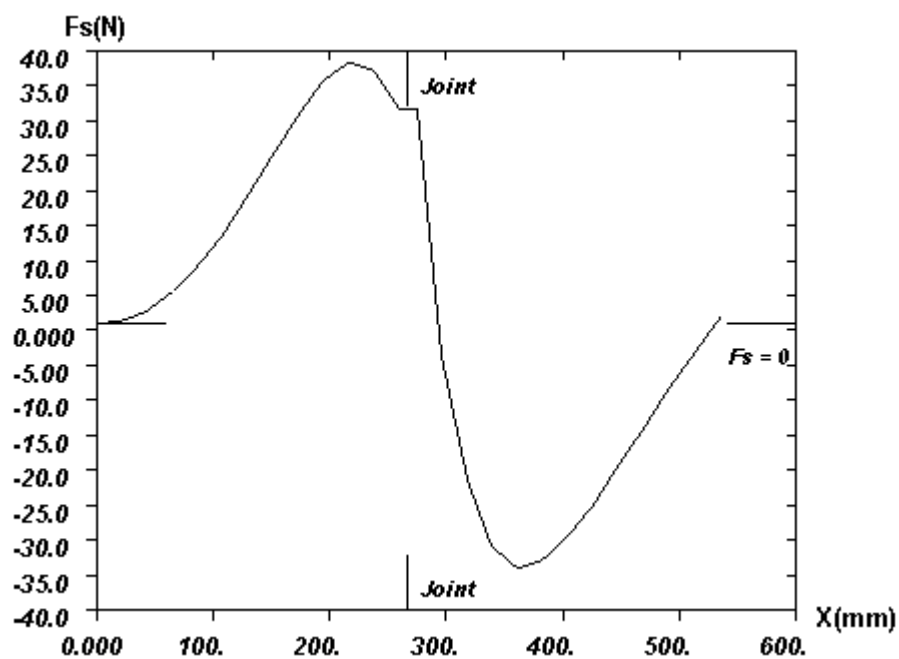


Response to select (local):

- ☐ Nq (Axial) ☐ Fr (Shear) ☒ Fs (Shear)
☐ Mr (Moment) ☐ Ms (Moment)

NOTE: If the dowels are not misaligned, (q,r,s) dowel coordinate axes correspond to (x,y,z) model coordinate axes.

Dowel #: 13
 Max moment: 4248.140 N-mm
 Max shear: 36.306 N



ANEXO 04: Panel fotográfico de campo



Conteo de tráfico Av. Pedro Ruiz c-9, intersección con Av. Luis Gonzales



Conteo de tráfico Av. Pedro Ruiz c-7, intersección con calle Juan Cuglievan



Tipos de vehículos Av. Pedro Ruiz c-9



Tipos de vehículos Av. Pedro Ruiz c-7



Tipos de vehículos Av. Pedro Ruiz c-8



Falla por desprendimiento, fisura en junta y hundimiento Av. Pedro Ruiz c-7



Falla por desprendimiento Av. Pedro Ruiz c-8



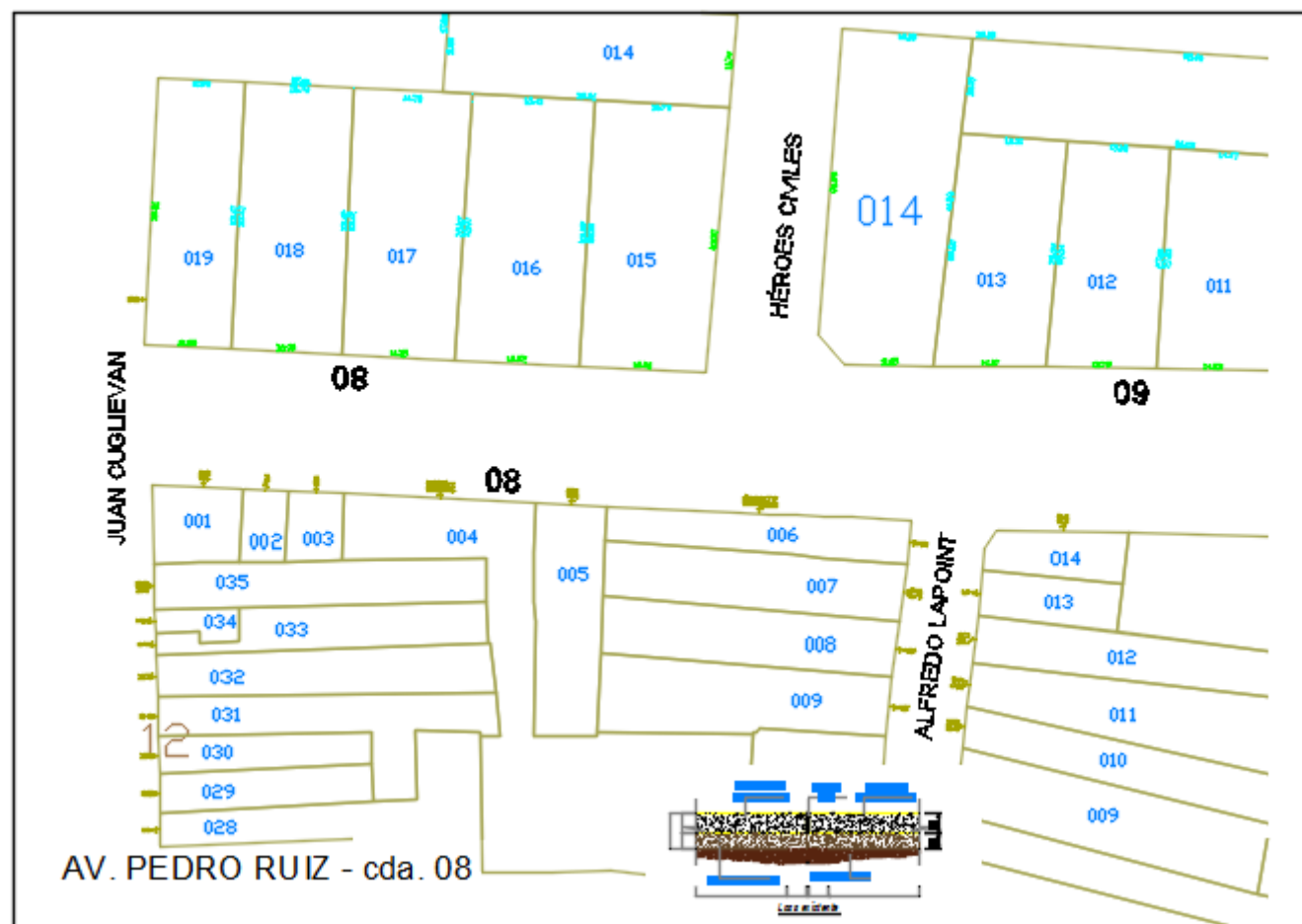
Fisura en juntas Av. Pedro Ruiz c-7

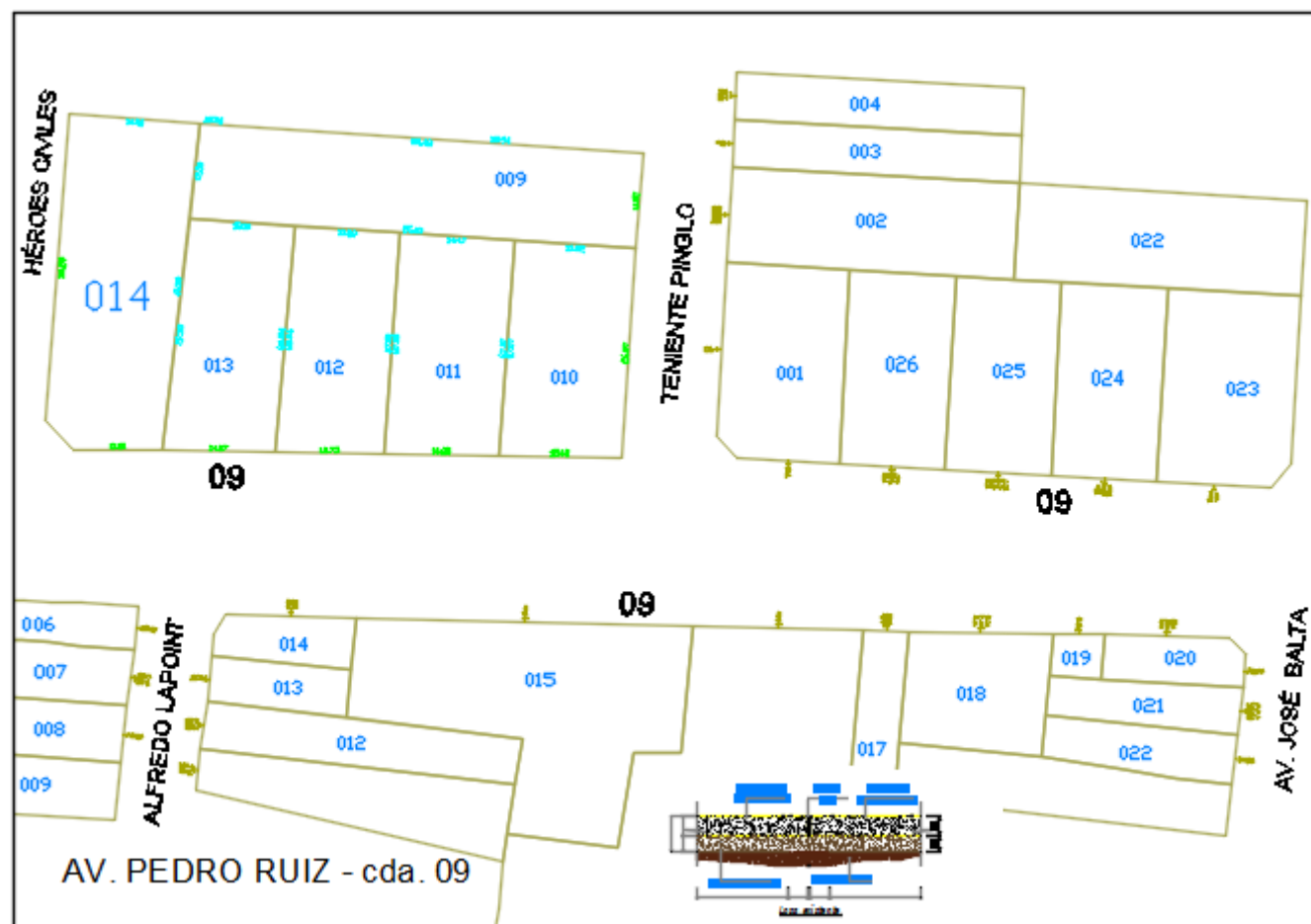


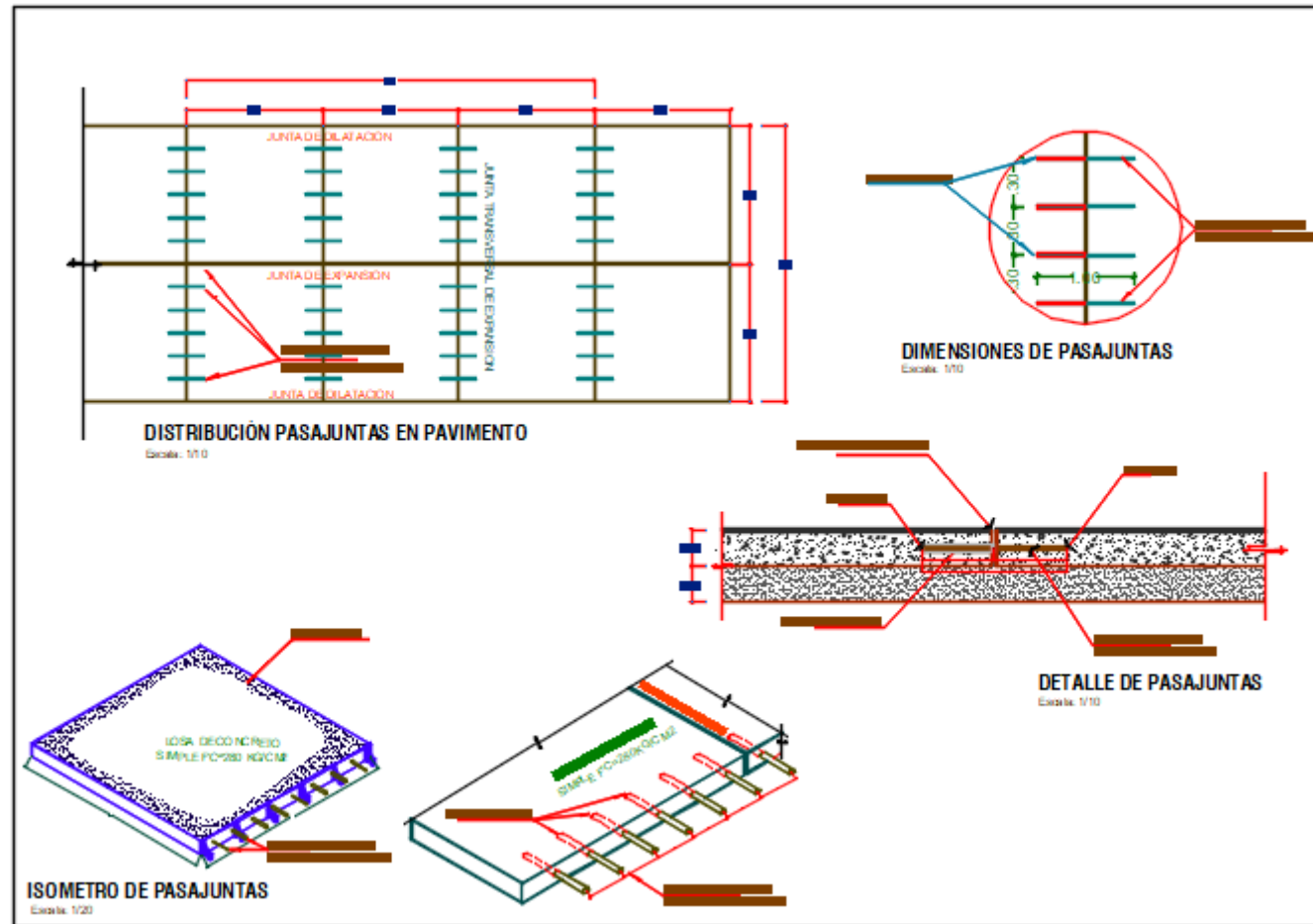
Falla por desprendimiento y fisura en juntas Av. Pedro Ruiz c-8



Falla por desprendimiento y fisura en juntas Av. Pedro Ruiz c-6







ANEXO 06: Matriz de consistencia

TITULO	REALIDAD PROBLEMÁTICA	OBJETIVOS	POBLACIÓN Y MUESTRA
“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LOSA EN PAVIMENTO RÍGIDO AV. PEDRO RUIZ (CUADRAS 6-9), PARA MEJORAR SU DURABILIDAD, CHICLAYO, 2020”	No hay duda de que el problema local actual es que las calles llenas de baches y huecos producirán desniveles. Esta es una característica común de casi todas las vías en Chiclayo y muchos ciudadanos la clasifican como deficiente y catastrófico. El crecimiento urbano significa construir más caminos y obstaculizar el mantenimiento de calles y avenidas porque el presupuesto para estos proyectos se ha mantenido igual durante muchos años. El deterioro de las calles y avenidas es la señal más obvia de que las alcantarillas que cruzan estas rutas están en malas condiciones. El concreto en algunas carreteras se remonta a décadas y también se derrumbó y causó fugas, lo que resultó en miles de baches y pendientes. El pavimento debe estar diseñado para las características del lecho de la carretera y las condiciones del tráfico que experimentará durante su vida útil. Teniendo en cuenta los aspectos funcionales y estructurales, la tecnología actual apunta al rendimiento general de la vía.	a) Desarrollar una propuesta metodológica para la optimización de losa en pavimento rígido Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9) y mejorar su durabilidad en la ciudad de Chiclayo, desde el punto de vista analítico. b) Obtener los valores de los parámetros y determinar el espesor del pavimento rígido, basado en el método AASHTO 1998. c) Validar la propuesta en el programa de elementos finitos EverFE para verificar que el esfuerzo máximo no exceda el 50% del módulo de ruptura del concreto.	Según Baptista, Fernández, & Hernández (2018) “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolecta datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión, este deberá ser representativo de dicha población” En la presente investigación la población comprende los pavimentos rígidos del cercado de la ciudad de Chiclayo, y la muestra lo conforma las cuadras 5 y 6 de la Av. Pedro Ruiz. La Unidad de análisis la conforma la pavimentación rígida de la Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9), entre la Av. José Balta y Av. Luis Gonzáles, en la ciudad de Chiclayo.
		DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

En resumen, los pavimentos de concreto rígido son más duraderos, tienen más usos, son más baratos y, por lo tanto, son más convenientes.

La Investigación será de tipo Cuantitativa, porque usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. La investigación cuantitativa ofrece la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, otorga control sobre los fenómenos, así como un punto de vista basado en conteos y magnitudes. También, brinda una gran posibilidad de repetición y se centra en puntos específicos de tales fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares (Baptista, Fernández, & Hernández, 2018).

Según Baptista, Fernández, & Hernández (2018) “En la investigación disponemos de diversos tipos de instrumentos para medir las variables de interés y en algunos casos llegan a combinarse varias técnicas de recolección de los datos.”

La técnica a emplear será la observación directa, no participante, estructurada, e individual usando como instrumento las herramientas computacionales.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La propuesta de optimización de losa en pavimento rígido Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9) mejorará su durabilidad en la ciudad de Chiclayo?

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Teórica: En investigación hay una justificación teórica cuando el propósito del estudio es generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría, contrastar resultados o hacer epistemología del conocimiento existente (Bernal, 2016)

El diseño será No Experimental, de tipo Descriptivo, Transversal, ya que se recolectarán datos sobre la base de una teoría, se sistematizará y resumirá la información de manera cuidadosa y luego se analizarán minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento de la aplicación de esta filosofía. En un estudio No Experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación No Experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos (Baptista, Fernández, & Hernández, 2018).

“Los instrumentos de recolección de datos son los materiales que el investigador vea conveniente hacer uso, para la recopilación y almacenamiento de la información. Las técnicas son las distintas maneras o formas de aplicar los procedimientos e instrumentos para obtener información”. (Calduch, 2014)

Metodológica: En investigación científica, la justificación metodológica del estudio se da cuando el proyecto que se va a realizar propone un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento válido y confiable (Bernal, 2016)

Cuando la investigación se centra en analizar cual es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo, se utiliza el diseño transeccional. En este tipo de diseño se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Es de tipo descriptivo porque recolecta datos sobre cada una de las categorías, conceptos, variables, contextos y reportan los datos que obtienen.

Práctica: Se considera que una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo (Bernal, 2016).

VARIABLES	ASPECTOS ÉTICOS
Variable Dependiente: Durabilidad	La ética es hoy uno de los mayores retos sobre los cuales la educación debe orientar sus esfuerzos, dada la confusión de valores que existe en la sociedad. El propósito es formar conciencia en las personas sobre su responsabilidad, y compromiso con la sociedad; mientras que la responsabilidad de la educación y de la investigación es con el bienestar de la sociedad y con el respeto de su entorno (Bernal Torres, 2016).
Variable Independiente: Losa de pavimento rígido	
HIPÓTESIS	
La propuesta de optimización de losa en pavimento rígido Av. Pedro Ruiz (cuadras 6-9) mejora la durabilidad en la ciudad de Chiclayo.	