



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL PARA DISEÑO
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LAS
METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

BEDOYA VERA JOSSUE ALDAIR

TUTOR:

Ing. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE MSc.

La Libertad - Ecuador

2023



UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL PARA DISEÑO
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LAS
METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

BEDOYA VERA JOSUÉ ALDAIR

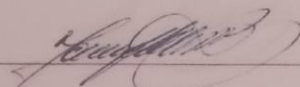
TUTOR:

Ing. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE MSc.

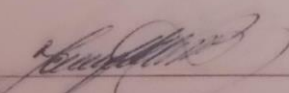
La Libertad - Ecuador

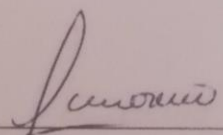
2023

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Jonny Villao Borbor MSc.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 
Ing. Daniel Campoverde, Mg.
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Jonny Villao Borbor MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcivar, PhD.
DOCENTE UIC

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, BEDOYA VERA JOSSUE ALDAIR declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LAS METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, Carrera de INGENIERÍA CIVIL, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

f 

Bedoya Vera Jossue Aldair

C.I. 0804180867

AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Daniel Campoverde MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LAS METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por el Sr. BEDOYA VERA JOSSUE ALDAIR, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

f. _____

Ing. Daniel Campoverde MSc

C.I. 0913176541

DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Certificación de Gramatólogo


Lic. MARIANA MEDINA SUÁREZ
*Magister En Diseño Y Evaluación
De Modelos Educativos*

La Libertad, noviembre 27 del 2023.

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de **INGENIERO CIVIL** de: **BEDOYA VERA JOSSUE ALDAIR**, cuyo tema es: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LAS METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA”**, me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.


Lic. Mariana Medina Suárez, MSc.
Docente de Español: Literatura
Cel: 0986380800
e-mail: marianoemf@hotmail.com

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LAS METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA”**, elaborado por **BEDOYA VERA JOSSUE ALDAIR** estudiante egresado de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 8% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:

f.  _____

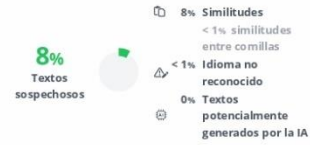
Ing. Daniel Campoverde MSc

C.I. 0913176541

DOCENTE TUTOR



TESIS BEDOYA ALDAIR REV PARA COMPILATIO CORREGIDA



Nombre del documento: TESIS BEDOYA ALDAIR REV PARA
COMPILATIO CORREGIDA.docx
ID del documento: 7da213ba69f7c0548fa14803c97fde70032d9ebb
Tamaño del documento original: 184,01 kB

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE
CAMPOVERDE
Fecha de depósito: 5/12/2023
Tipo de carga: Interface
fecha de fin de análisis: 5/12/2023

Número de palabras: 12.140
Número de caracteres: 79.612

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec http://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8445/1/UPSE-TIC-2022-0034.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (181 palabras)
2	bibliotecavirtual.dgb.umich.mx Análisis comparativo entre el Método Aashto y el... http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx/8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6965 20 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (168 palabras)
3	www.biblioteca.udep.edu.pe http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bivirudpe/hesis/pdf/1_102_181_62_936.pdf 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (123 palabras)
4	hdl.handle.net Propuesta de rehabilitación de pavimento de concreto utilizando ... http://hdl.handle.net/20.500.14074/2541 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (115 palabras)
5	132.248.9.195 Comparativa económica y constructiva de la repavimentación de la... http://132.248.9.195/pd/2008/julio/0629825/index.html 14 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (98 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #632948 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	dspace.uazuay.edu.ec http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12266/1/17793.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elen... https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8445?locale-es	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
4	132.248.9.195 Criterios de elección de pavimento rígido y/o flexible en la autopist... http://132.248.9.195/pd/2008/06/25024/index.html	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
5	repositorio.unicartagena.edu.co https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/5759/DOCUMENTO_FINAL_(metodo...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a cada una de las personas que me acompañaron en esta dura tarea, a quienes me guiaron, y a ustedes, queridos maestros de mi nueva casa, la UPSE, donde compartí muchas experiencias con mis compañeros dentro y fuera del aula; muchos recuerdos.

A mi madre, por ese apoyo a la distancia que, con pocas palabras, me ha guiado por el camino correcto. Saber llegar es tener logros en nuestro caminar. Gracias a ti, querida madre. A ti, de manera especial, te dedico este importante logro, como hijo y como estudiante.

BEDOYA VERA JOSSUE ALDAIR

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, fuente inagotable de sabiduría y fortaleza, por guiarme a lo largo de este arduo camino académico y por ser mi inspiración constante.

Agradezco a mis padres Ismenia Vera y Luis Bedoya por su amor incondicional y constante estímulo para alcanzar mis metas. Su sacrificio y dedicación han sido la base de mi éxito.

A mis maestros, quienes han compartido su conocimiento conmigo, agradezco por su paciencia y dedicación. En especial, quiero destacar a mi docente tutor ING DANIEL CAMPOVERDE, cuya orientación y consejo han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Su compromiso con mi aprendizaje ha dejado una huella imborrable en mi formación académica.

A mis amigos Fulton, Nine, Gabriel, Jesica, Pepo, Luis Cedeño Brayner, Kelvin, verdaderos pilares en este viaje, les agradezco por su apoyo inquebrantable, comprensión y momentos de alegría que han aligerado las cargas del estudio.

A todos aquellos colaboradores que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo, les doy las gracias. Su aporte ha enriquecido enormemente mi investigación.

Este logro no solo es mío, sino de cada persona que ha formado parte de mi vida académica y personal. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

BEDOYA VERA JOSSUE ALDAIR

INDICE GENERAL

1.	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	17
1.3.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.	ANTECEDENTES.....	19
1.5.	HIPÓTESIS.....	25
1.5.3.	Hipótesis General.....	25
1.5.4.	Hipótesis específicas.....	25
1.6.	OBJETIVOS.....	25
1.6.3.	Objetivo General.....	26
1.6.4.	Objetivos específicos.....	26
1.7.	ALCANCE.....	26
1.8.	VARIABLES.....	27
1.8.3.	Variables independientes.....	27
1.8.4.	Variables Dependientes.....	27
2.	CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	28
2.1.	PAVIMENTOS.....	28
2.2.	TIPO DE PAVIMENTOS.....	28
2.2.3.	PAVIMENTO RIGIDO.....	28
2.2.4.	PAVIMENTO FLEXIBLE.....	29
2.3.	COMPONENTES DE PAVIMENTOS.....	30
2.3.3.	SUBRASANTE.....	31
2.3.4.	SUBBASE.....	31
2.3.5.	CARPETA DE RODADURA.....	32
2.4.	CONCEPTOS GENERALES.....	32

2.4.3.	JUNTAS.....	32
2.4.4.	CBR.....	33
2.4.5.	IMD a ADT	33
2.4.6.	ADTT	34
2.4.7.	MR	34
2.4.8.	MODULO DE LA SUBRASANTE	34
2.5.	DISEÑO DE PAVIMENTOS CON METODOLOGÍA AASHTO 93. .	35
2.5.3.	Acción de la carga de los vehículos en el pavimento rígido	36
2.5.4.	Diseño de un Pavimento rígido	36
2.5.5.	Características de un Pavimento:	36
2.5.6.	Funciones de las capas de un Pavimento Rígido.	37
2.5.7.	Método AASHTO	38
2.5.8.	VARIABLES DE ENTRADA.....	39
2.6.	DISEÑO DE PAVIMENTOS CON METODOLOGÍA PCA - 84)	52
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	45
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	45
3.1.3.	Tipo de investigación.	45
3.1.4.	Nivel de Investigación.....	45
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO.....	46
3.2.3.	Método.	46
3.2.4.	Enfoque.	46
3.2.5.	Diseño de la investigación.	47
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	47
3.3.3.	Población.....	47
3.3.4.	Muestra.....	48

3.3.5. Muestreo.....	48
3.4. DELIMITACIÓN DE ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.	48
3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.1.: DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BASADO EN TRES NIVELES DE TRÁFICO DIFERENTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA AASHTO 93 PARA DETERMINAR ESPESORES DE PAVIMENTO RESULTANTE.....	49
3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.2.: DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BASADO EN TRES NIVELES DE TRÁFICO DIFERENTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA PCA ESPESORES DE PAVIMENTO RESULTANTE.	52
3.7. METODOLOGÍA DEL O.E.3.: EFECTUAR EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO DE LOS ESPESORES DE PAVIMENTOS RESULTANTES PARA LOS TRES NIVELES DE TRÁFICO CONSIDERADOS.	53
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS	57
4.1. RESULTADOS PREELIMINARES: DISEÑO TÍPICO DE LA VÍA.	58
4.2. RESULTADOS DEL O.E.1.: DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BASADO EN TRES NIVELES DE TRÁFICO DIFERENTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA AASHTO 93 PARA DETERMINAR ESPESORES DE PAVIMENTO RESULTANTE.....	57
4.2.3. DISEÑO CON TRÁFICO BAJO.....	62
4.2.4. DISEÑO CON TRÁFICO MEDIO	63
4.2.5. DISEÑO CON TRÁFICO ALTO.....	64
4.3. RESULTADOS DEL O.E.2.: DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BASADO EN TRES NIVELES DE TRÁFICO DIFERENTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA PCA ESPESORES DE PAVIMENTO RESULTANTE.	65

4.3.3.	DISEÑO CON TRÁFICO BAJO.....	68
4.3.1.	DISEÑO CON TRÁFICO MEDIO	70
4.3.2.	DISEÑO CON TRÁFICO ALTO.....	72
4.4.	RESULTADOS DEL O.E.3.: EFECTUAR EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO DE LOS ESPESORES DE PAVIMENTOS RESULTANTES PARA LOS TRES NIVELES DE TRÁFICO CONSIDERADOS.....	73
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
5.1.	CONCLUSIONES.....	76
5.2.	RECOMENDACIONES.....	77
6.	BIBLIOGRAFÍA	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de pavimentos.....	28
Figura 2. Distribución de esfuerzos en pavimento rígido	29
Figura 3. Distribución de esfuerzos en pavimento flexible.	30
Figura 4.	41
Figura 5. Sección típica de vía a evaluar	48
Figura 6.	49
Figura 7	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de Transferencia de cargas.....	42
Tabla 2.....	54
Tabla 3.....	55
Tabla 4. Parámetros de diseño.....	57
Tabla 5. Criterios de Serviciabilidad para pavimentos rígidos.	58
Tabla . Parámetros de la subrasante	59
Tabla 7. Propiedades del concreto.....	59
Tabla	65

“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LAS METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA”

Autor: Bedoya Vera Jossue Aldair

Tutor: MSc. Daniel Campoverde

RESUMEN

El proyecto de tesis de ingeniería civil pretende evaluar y comparar las metodologías de diseño de pavimentos rígidos propuestas por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) en su manual de diseño del año 1993 y la metodología planteada por el PCA (Portland Cement Association), una asociación dedicada a la promoción y desarrollo de la industria del cemento Portland en 1984. La metodología selecciona un conjunto de casos de estudio representativos que contemplen diferentes condiciones de tráfico y mediante la revisión de los métodos respectivos, se calcular y determina los espesores de pavimento necesarios, la capacidad de carga estimada, la vida útil prevista y los costos de construcción asociados.

Este análisis permite identificar las similitudes y diferencias entre las dos metodologías, determinar sus fortalezas y limitaciones en relación con el diseño de pavimentos rígidos y como esta variación de parámetros puede repercutir en los costos constructivos en campo.

Palabras clave: Concreto, estructura de hormigón, diseño de pavimentos rígidos.

"COMPARATIVE STRUCTURAL ANALYSIS FOR THE DESIGN OF CONCRETE PAVEMENT USING AASHTO 93 AND PCA 84 METHODOLOGIES"

Author: Bedoya Vera Jossue Aldair

Faculty: MSc. Daniel Campoverde

ABSTRACT

The civil engineering thesis project aims to evaluate and compare the rigid pavement design methodologies proposed by AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) in its 1993 design manual and the methodology put forth by PCA (Portland Cement Association), an association dedicated to the promotion and development of the Portland cement industry in 1984. The methodology selects a set of representative case studies that consider different traffic conditions, and through the review of their respective methods, pavement thickness, estimated load capacity, expected service life, and associated construction costs are calculated and determined.

This analysis allows for the identification of similarities and differences between the two methodologies, determining their strengths and limitations concerning rigid pavement design, and understanding how variations in parameters can impact field construction costs.

Keywords: Concrete, concrete structure, concrete pavement design.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La construcción de carreteras y caminos se consideran componentes vitales de los sistemas integrados de países y regiones un aspecto importante de la infraestructura pública (Lukpanov et al., 2022; Mohammadi et al., 2022), donde la eficiencia de la red de tráfico es determinante para propender el desarrollo social y económico de áreas urbanas y rurales (Castañeda et al., 2022; Lee & Yoon, 2021).

Los pavimentos más utilizados a nivel mundial son de cemento y asfalto (Dan et al., 2014), aquellos cuya materia prima es el cemento portland, considerado pavimento rígido, siendo el cemento uno de los materiales de construcción más utilizados en la tierra (Pacheco-Torgal & Labrincha, 2013) y debido a la abundancia natural de las materias primas, convierten al hormigón en un material de excelencia para la construcción de carreteras duraderas.

La eficaz gestión y mantenimiento de las infraestructuras viales es esencial para garantizar la seguridad y la durabilidad de las carreteras. En este contexto, la determinación de los espesores adecuados del pavimento rígido desempeña un papel crucial (Loprencipe et al., 2017). Las metodologías de diseño, como las propuestas por la “Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte” (AASHTO) y el “The Portland Cement Association” (PCA), ofrecen enfoques distintos para calcular estos espesores (Bulusu et al., 2020). Este estudio se enfoca en comparar los resultados obtenidos a través de ambas metodologías con el objetivo de evaluar su efectividad y establecer cuál de ellas proporciona una guía más precisa y eficiente en la toma de decisiones en la construcción y el mantenimiento de pavimentos rígidos.

El conocimiento resultante de esta comparación tiene el potencial de mejorar significativamente la gestión de la infraestructura vial y, en última instancia, contribuir a carreteras más seguras y duraderas. El estudio se enfoca en realizar un análisis comparativo estructural para el diseño de pavimentos rígidos utilizando las metodologías AASHTO 93 y PCA. Los objetivos específicos incluyen el diseño de estructuras de pavimentos para tres niveles de tráfico distintos utilizando ambas metodologías para determinar los espesores de pavimento resultantes. Además, se

llevará a cabo un análisis estructural y comparativo de los espesores de pavimento resultantes para los tres niveles de tráfico considerados. Este enfoque permitirá evaluar la eficacia y la idoneidad de las dos metodologías en diferentes contextos de tráfico y, en última instancia, contribuirá a mejorar las prácticas de diseño de pavimentos rígidos.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Existe una clara necesidad de búsqueda y mejora constante en los diseños de pavimentos. A medida que aumenta el volumen de tráfico y se introducen vehículos más pesados en las carreteras, se generan mayores demandas en la infraestructura vial. Además, los cambios en las condiciones climáticas y los patrones de uso del suelo también plantean desafíos adicionales para los pavimentos. Con el objetivo de garantizar la seguridad, la durabilidad y la eficiencia de las carreteras, es fundamental buscar constantemente nuevas técnicas y enfoques de diseño que mejoren la capacidad estructural, la resistencia a la fatiga y la vida útil de los pavimentos. Además, considerando las particularidades locales y regionales, es importante adaptar los diseños a las condiciones específicas del suelo, el clima y el tráfico de cada área. Mediante la investigación y la implementación de mejores prácticas en el diseño de pavimentos, es posible lograr una infraestructura vial más sólida y sostenible que beneficie a la comunidad en general.

El diseño de pavimentos en Ecuador, y específicamente en la provincia de Santa Elena, presenta desafíos significativos. El clima y las condiciones geotécnicas de la región influyen en la durabilidad y el rendimiento de los pavimentos. Los altos niveles de precipitación, combinados con la presencia de suelos expansivos y la cercanía al mar, pueden afectar la estabilidad y la resistencia del pavimento. Además, el tráfico vehicular, incluido el transporte pesado, plantea demandas adicionales en términos de capacidad estructural y resistencia a la fatiga del pavimento. Estas consideraciones resaltan la importancia de adoptar enfoques de diseño adecuados y adaptados a las condiciones locales para garantizar pavimentos duraderos y seguros en Ecuador, especialmente en la provincia de Santa Elena.

La investigación se desarrolla acorde al decimoprimer objetivo de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” donde lista como meta el numeral 11.2: proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público y 11.b aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión y el uso eficiente de los recursos. El problema de investigación puede enmarcarse en la siguiente pregunta: **P.G.** ¿Qué resultados se obtendrán de un análisis comparativo estructural para diseño de pavimentos rígidos entre las metodologías AASHTO 93 y PCA? de la cual se derivan tres preguntas específicas: **P.E.1:** ¿Qué espesores de pavimento rígido se obtiene utilizando la metodología AASHTO 93 para tres niveles de tráfico? **P.E.2:** ¿Qué espesores de pavimento rígido se obtiene utilizando la metodología PCA para tres niveles de tráfico? Y **P.E.3:** ¿Qué diferencias en la estructura de pavimento se obtienen de los resultados del diseño en ambos análisis?

1.2. ANTECEDENTES

El estado del arte o antecedentes se refiere a la revisión y análisis exhaustivo de los conocimientos actuales, avances, investigaciones y desarrollos en un campo específico de estudio en un momento determinado. La inclusión de antecedentes en una investigación es esencial para que los lectores comprendan el contexto y la relevancia del estudio actual (García Ramírez, 2021). Ayuda a mostrar cómo la investigación actual se relaciona con el cuerpo existente de conocimientos y cómo contribuye a llenar lagunas o avanzar en la comprensión de un tema específico (Molina Montoya, 2005).

En el ámbito internacional, el autor Minchán Lezcano (2019), en su trabajo de titulación “ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE MÉTODOS DE DISEÑO AASHTO Y PCA APLICADO EN UNA VÍA PÚBLICA, CAJAMARCA – 2019” En este análisis comparativo de las metodologías AASHTO y PCA aplicado al pavimento rígido en el barrio Mollepampa de la ciudad de Cajamarca, específicamente en San Mateo,

se llevaron a cabo diversas etapas para evaluar la idoneidad de ambas metodologías. En una primera fase, se realizó una calicata y se obtuvieron muestras de suelo para determinar las propiedades físicas y mecánicas, resultando en un índice CBR del 13%. Posteriormente, se llevó a cabo un levantamiento topográfico de la vía, que tuvo una longitud total de 249.55 metros.

En el estudio de tráfico vehicular, se destacó que los vehículos ligeros representan el 93% de los vehículos totales, mientras que los vehículos pesados conforman el restante 7%, con clasificaciones específicas para los vehículos ligeros (A) y vehículos pesados (B”, C2, C3, T2S3). Basándose en esta información, se procedió al diseño de pavimento rígido utilizando las metodologías AASHTO y PCA. Los resultados de los diseños indicaron que, según la metodología AASHTO, se determinó un espesor de pavimento de 19 cm, mientras que la metodología PCA arrojó un espesor de 23 cm. El análisis comparativo reveló que el espesor de pavimento según la metodología AASHTO es menor en comparación con el diseño según la metodología PCA. A pesar de que la vía presenta un bajo volumen de tráfico vehicular, se concluyó que el espesor de 23 cm, derivado del método PCA, cumple con los análisis de fatiga y erosión, mientras que el espesor de 19 cm, asociado al método AASHTO, no cumpliría con estos análisis. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar la metodología de diseño adecuada, considerando tanto las características del suelo como las condiciones específicas del tráfico vehicular, para garantizar la durabilidad y la resistencia adecuada del pavimento rígido en el tiempo.

Siguiendo el mismo ámbito, para Reynaldo Herrera (2021), con su tesis “ESTUDIO COMPARATIVO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO APLICANDO LOS MÉTODOS AASHTO 93 Y PCA, COMAS, LIMA – 2021”, El propósito principal de esta investigación fue evaluar un pavimento rígido empleando dos enfoques distintos: AASHTO 93 y PCA. El desarrollo de la investigación se dividió en cinco etapas claves. En primer lugar, se llevó a cabo un estudio detallado del tráfico vehicular; en segundo lugar, se realizó un análisis de la mecánica de suelos; como tercer paso, se procedió al diseño del pavimento utilizando la metodología AASHTO 93; en cuarto lugar, se implementó el diseño del pavimento utilizando la

metodología PCA; y finalmente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los costos asociados.

Los resultados obtenidos revelaron que, en relación con el espesor de la losa de concreto, el método AASHTO 93 indicó un espesor de 17.27 centímetros, en contraste con el método PCA que resultó en un espesor de 20 centímetros. En términos de costos, el método AASHTO 93 generó un costo total de \$902,849.14, mientras que el método PCA resultó en un costo superior de \$1,051,479.98. Estos hallazgos resaltan las diferencias significativas en términos de espesor y costos entre los dos métodos evaluados. El método AASHTO 93 mostró una ventaja en cuanto a eficiencia en el uso de material con un menor espesor de losa, así como en términos de costos totales, siendo más económico en comparación con el método PCA. Estos resultados proporcionan información valiosa para la toma de decisiones en la selección y diseño de pavimentos rígidos, destacando la importancia de la elección de la metodología adecuada en función de consideraciones económicas y de rendimiento estructural.

La tesis titulada “DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE, EMPLEANDO MÉTODO AASHTO 93 PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VIAL EN LA CALLE SAN DONATO, MOQUEGUA, 2022”, de Colana Arias & Torres Colana (2023), el objetivo de este estudio se centró en la prolongación de la Calle San Donato en la provincia de Mariscal Nieto, la metodología de esta investigación es de enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y alcance descriptivo, así como, Estudio topográfico, CBR, SUCS y los resultados obtenidos son los siguientes: según el estudio realizado en campo, siguiendo las normativas y el manual de diseño de carreteras, se registró un IMD (Intensidad Media Diaria) de 0 a 350 vehículos por día, con una tasa de crecimiento anual del 1.35%, clasificándose la carretera como de bajo volumen de tránsito y se proyectó el tráfico para un período de 10 años, en cuanto a los estudios de mecánica de suelos, se identificó que el suelo presente en la zona es de tipo granular, específicamente arena bien graduada con presencia de limo y arcilla (SW-SC-SM), basándose en esta información, el diseño de la carretera propuesto consiste en una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor, una base granular de 15 cm y una subbase granular de 15 cm, estos resultados se obtuvieron siguiendo las normas vigentes del Ministerio de

Transportes y Comunicaciones (MTC) y utilizando el método AASHTO 93 para el diseño.

En el campo nacional, de acuerdo al estudio de Morán Fernández & Solís Mendoza (2019), titulado “Rediseño de la estructura del pavimento de la Av Piedrahita mediante los métodos AASHTO-93 y PCA del cantón Daule, provincia del Guayas” Este proyecto se enfoca en llevar a cabo una comparación entre dos enfoques de diseño de pavimento para la reestructuración de la Avenida Piedrahita, ubicada en el cantón Daule de la provincia del Guayas, los métodos de diseño evaluados son el enfoque AASHTO 93 y el enfoque PCA. El método AASHTO 93 se basa en parámetros empíricos, mientras que el método de diseño PCA emplea medidas de naturaleza empírico-mecanicista, un factor significativo en este análisis es el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de la carretera, ya que se utiliza para determinar tanto las cargas estáticas como las cargas repetitivas admisibles de los vehículos que transitarán por el tramo de carretera sujeto a rediseño, esto, a su vez, nos permitirá definir los Equivalentes de Cargas de Ejes (ESAL) y seleccionar los diversos ábacos correspondientes a cada método de diseño, además del análisis estructural, se ha realizado una evaluación presupuestaria para determinar cómo la reducción en el espesor del concreto hidráulico puede influir en la disminución de los costos totales del proyecto.

En la tesis de Carvallo Corral et al. (2022), titulado “DESARROLLO DE UN CATÁLOGO DE SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS ENFOCADO EN LAS CARRETERAS DE LA RED VIAL DE LA PROVINCIA DEL AZUAY, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE DISEÑO AASHTO-93”, resalta la falta de una guía de referencia específica en la provincia de Azuay para la selección rápida y eficiente de estructuras de pavimentos motivó la creación de un catálogo integral. Este catálogo abarca diversas secciones estructurales destinadas a pavimentos tanto flexibles como rígidos, teniendo en cuenta el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (W8.2) y el índice California Bearing Ratio (CBR) de la subrasante.

El enfoque se centra específicamente en las carreteras de la provincia de Azuay, y se adoptaron rangos de tráfico, propiedades de la subrasante y parámetros de diseño

de acuerdo con la metodología AASHTO-93. Como resultado de este esfuerzo, se generó un conjunto compuesto por ocho cartillas, las cuales contienen un total de 210 secciones estructurales diferentes para el diseño de pavimentos. Este conjunto abarca variaciones en términos de espesores y materiales, proporcionando así una gama completa de opciones para adaptarse a diversas condiciones y requisitos de diseño.

Además, se llevó a cabo una comparación exhaustiva del catálogo con estudios de pavimentos previamente realizados en la provincia de Azuay. Esta comparación reveló que el catálogo exhibe una similitud significativa del 86.9% en el caso de pavimentos flexibles y un 81.36% en el caso de pavimentos rígidos en relación con los estudios existentes. Estos hallazgos respaldan la utilidad y aplicabilidad del catálogo, demostrando su capacidad para proporcionar soluciones de diseño coherentes y acordes con las condiciones específicas de la provincia. La alta concordancia con estudios anteriores valida la relevancia y precisión de las secciones estructurales propuestas, consolidando así la importancia del catálogo como una herramienta valiosa en la toma de decisiones para proyectos de pavimentación en la región.

La investigación de Aldás Sánchez & Amán Chicaiza (2023), titulada “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS DE LA PARROQUIA ALAQUEZ Y JOSEGUANGO BAJO DEL CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”, El propósito principal de este proyecto es establecer ecuaciones empíricas que se basan en correlaciones entre el CBR (Índice de Soporte California), el DCP (Penetrómetro Dinámico Cónico) y las propiedades índice y mecánicas de muestras de suelo representativas de diversas parroquias en los diferentes cantones de la provincia de Cotopaxi. La investigación experimental se desarrolló en varias fases. En la fase inicial del proyecto, se llevó a cabo la identificación del área de estudio y la selección de puntos de muestreo en las parroquias de Alaquez y Joséguango Bajo. Durante esta etapa, se establecieron correlaciones entre diversas propiedades del suelo, generando coeficientes de determinación que variaron entre el 50 y el 100 por ciento. Estas correlaciones proporcionaron una base fundamental para comprender las relaciones entre el CBR, el DCP y otras características del suelo.

Posteriormente, se empleó el CBR obtenido a través de estas correlaciones, junto con el CBR obtenido en el laboratorio. Este enfoque integrado permitió una evaluación más completa de las propiedades del suelo en estudio. Finalmente, las muestras de suelo analizadas fueron clasificadas en diversas zonas, utilizando los resultados de ensayos como granulometría, límites de Atterberg, y cumpliendo con las normativas SUCS y AASHTO como criterios fundamentales para dicha clasificación. La inclusión de múltiples parámetros y métodos de evaluación proporciona una visión más integral de las características del suelo, permitiendo una clasificación más precisa y detallada de las muestras estudiadas. Este enfoque metodológico contribuye a mejorar la comprensión de las propiedades del suelo en la región y ofrece herramientas valiosas para futuros proyectos de ingeniería que involucren la selección y diseño de materiales geotécnicos.

En el ámbito local, en un trabajo de investigación titulado "ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE LOS SOFTWARES IMT-PAVE Y WINDEPAV 2.6 DEL MÉTODO MECANICISTA EMPÍRICO, CON EL MÉTODO AASHTO 93", de la autora Lainez Orrala (2022), En este estudio, se llevó a cabo un análisis estructural y comparativo de los diseños de pavimentos flexibles mediante el uso de los softwares IMT-PAVE y WinDEPAV 2.6, aplicando el método AASHTO 93. Se establecieron tres niveles de tráfico, clasificados como bajo, medio y alto, expresados en equivalentes de carga de tráfico (ESALs). El objetivo fue desarrollar diseños de pavimento utilizando el método tradicional de carácter empírico y evaluar alternativas propuestas por el método mecanicista-empírico. Además, se formularon propuestas de diseños que cumplieran con los criterios de deterioro establecidos por cada alternativa.

Los resultados obtenidos a través del software IMT-PAVE revelaron que los diseños basados en la metodología AASHTO no cumplían con la vida útil establecida en términos de fatiga y ahuellamiento durante el periodo de diseño. Contrariamente, los diseños generados con el software WinDEPAV, utilizando la metodología AASHTO, mostraron un factor de daño inferior a 1 en ambos modelos

de deterioro, indicando la necesidad de aumentar la capacidad estructural de los pavimentos.

En comparación con los resultados de las propuestas de diseño, se llegó a la conclusión de que los diseños de pavimento basados en conceptos mecanicistas-empíricos son más funcionales y presentan un mejor desempeño en términos de vida útil. Esto sugiere la importancia de considerar enfoques mecanicistas-empíricos para mejorar la eficacia y durabilidad de los pavimentos flexibles, especialmente cuando se enfrentan a diferentes niveles de tráfico. Estos hallazgos resaltan la necesidad de ajustar y optimizar los diseños de pavimento para garantizar su resistencia y rendimiento a lo largo del tiempo.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General.

El diseño de pavimentos rígidos utilizando las metodologías AASHTO 93 y PCA determinara diferentes espesores de pavimento en todos los niveles de tráfico evaluado.

1.3.2. Hipótesis específicas.

H.E.1.: El diseño de la estructura de pavimento pavimentos rígidos basado en tres niveles de tráfico diferentes mediante la metodología AASHTO - 93 permitirá determinar sus espesores requeridos.

H.E.2.: El diseño de la estructura de pavimento pavimentos rígidos basado en tres niveles de tráfico diferentes mediante la metodología PCA permitirá determinar sus espesores requeridos.

H.E.3: El análisis comparativo de los espesores de pavimentos resultantes para los tres niveles de tráfico considerados permitirá evaluar condiciones que permitan elegir la mejor alternativa para los diseños de pavimentos actuales.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Realizar un análisis comparativo estructural para diseño de pavimentos rígidos utilizando las metodologías AASHTO 93 y PCA.

1.4.2. Objetivos específicos.

O.E.1.: Diseñar estructuras de pavimentos basado en tres niveles de tráfico diferentes mediante la metodología AASHTO 93 para determinar espesores de pavimento resultante.

O.E.2.: Diseñar estructuras de pavimentos basado en tres niveles de tráfico diferentes mediante la metodología PCA espesores de pavimento resultante.

O.E.3.: Efectuar el análisis estructural y comparativo de los espesores de pavimentos resultantes para los tres niveles de tráfico considerados.

1.5. ALCANCE

Los resultados obtenidos de este estudio comparativo entre las metodologías AASHTO 93 y PCA para el diseño de pavimentos rígidos permitirán comparar criterios de diseño, identificar las ventajas y limitaciones de cada metodología en términos de capacidad estructural, resistencia a la fatiga y vida útil de los pavimentos rígidos (González-Gómez et al., 2021). Además, se obtendrán datos cuantitativos y cualitativos sobre los espesores recomendados, la distribución de cargas, la respuesta estructural y la durabilidad de los pavimentos diseñados con cada metodología. Estos resultados proporcionarán información valiosa para los ingenieros y profesionales encargados del diseño de pavimentos, así como para las autoridades viales, en la toma de decisiones informadas sobre la selección de la metodología más apropiada para el diseño de pavimentos rígidos en una determinada ubicación geográfica (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena, 2023). En última instancia, los resultados de este estudio contribuirán al avance y mejora de las prácticas de diseño de pavimentos rígidos,

promoviendo la construcción de infraestructuras viales más seguras, duraderas y eficientes.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables independientes.

Espesores de pavimentos.

1.6.2. Variables Dependientes

Las variables independientes son las metodologías de diseño: método PCA-84 y método AASHTO-93.

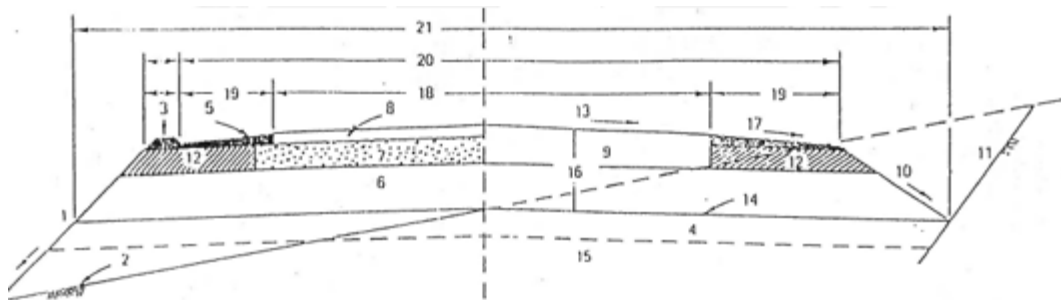
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. PAVIMENTOS

Un pavimento es una construcción que se coloca sobre el suelo de un terreno con el propósito de permitir el tránsito de vehículos, el objetivo principal de un diseño adecuado de pavimentos es garantizar una circulación segura y cómoda para los usuarios de las vías, de manera eficiente en términos de tiempo, además, ayuda a distribuir la carga generada por el tráfico, lo cual contribuye a mantener la estructura del pavimento en buen estado a lo largo del tiempo previsto en su planificación (Solano Cahuaya et al., 2021).

Figura 1.

Estructura de pavimentos.



2.2. TIPO DE PAVIMENTOS

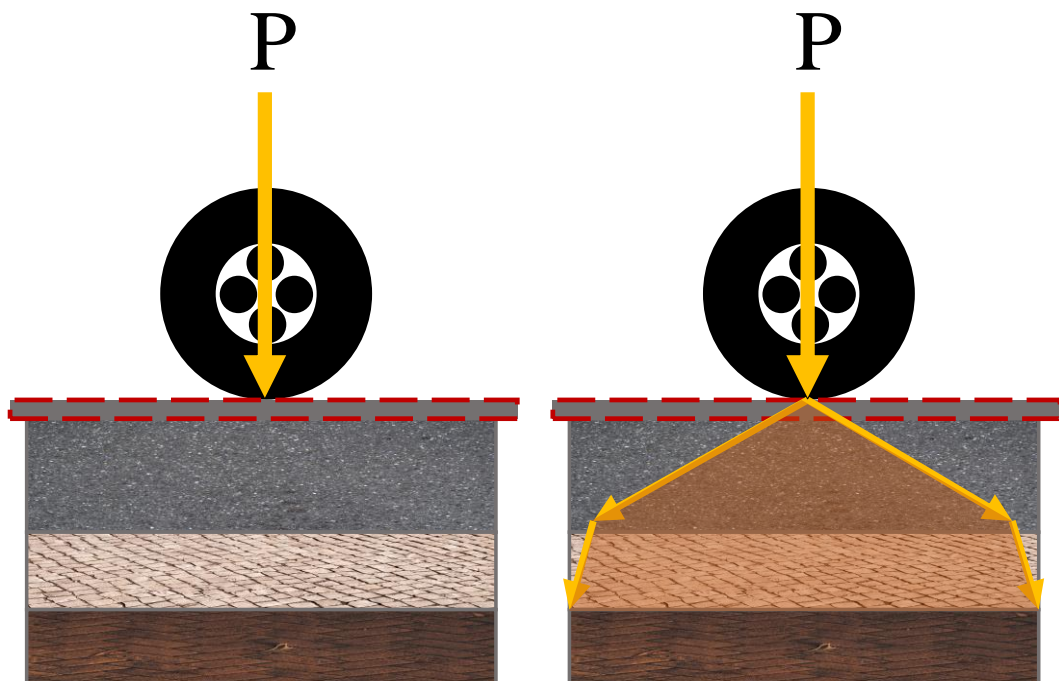
Los pavimentos pueden ser categorizados según los materiales que los conforman, y a su vez, estos pueden ser subclasificados en base a la presencia o ausencia de refuerzo, (Solano Cahuaya et al., 2021). A continuación, se describirán los dos tipos de pavimentos más frecuentes, con un enfoque especial en los pavimentos rígidos.

2.2.1. PAVIMENTO RIGIDO

El pavimento rígido se caracteriza por ser una estructura compuesta por una o dos capas de materiales que se apoyan directamente sobre la base del suelo, la capa principal está constituida por una losa de concreto, que puede ser simple o armada, la cual puede descansar directamente sobre el suelo o sobre una sub-base,

que es una segunda capa compuesta por material granular con aglomerantes, en el diseño del pavimento, es fundamental considerar la presencia de una sub-base cuando existan cargas pesadas que puedan ocasionar daños en las juntas de las losas o cuando la subrasante contenga un alto porcentaje de finos que puedan entrar en suspensión, la sub-base de un pavimento rígido cumple una doble función: garantizar la estabilidad de la capa de concreto y brindar resistencia a la erosión, (Solano Cahuaya et al., 2021).

Figura 2.
Distribución de esfuerzos en pavimento rígido.



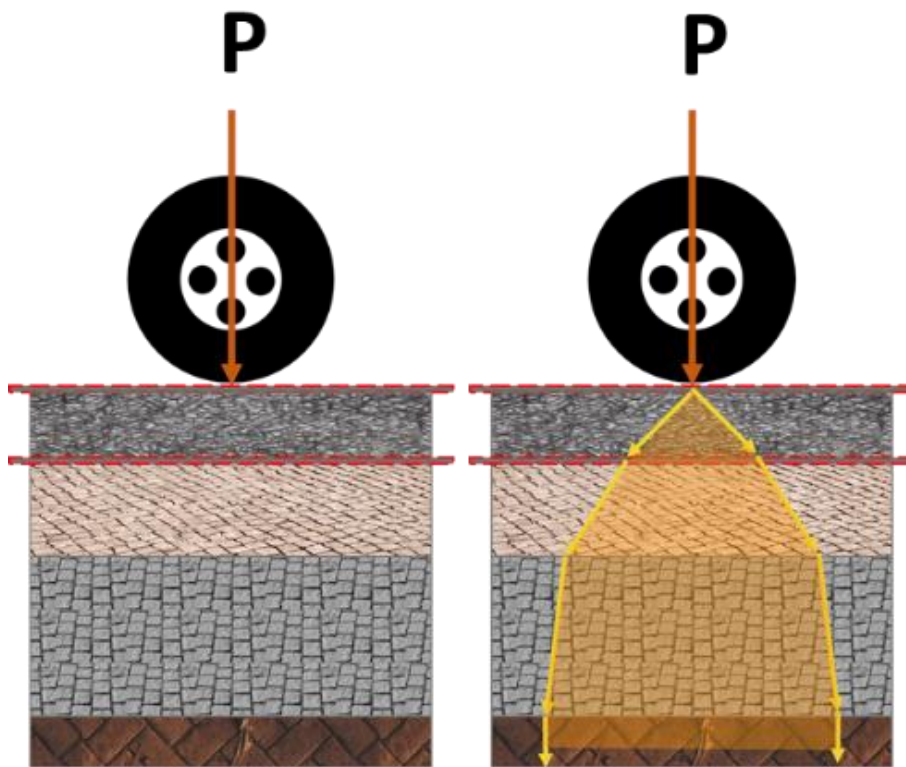
2.2.2. PAVIMENTO FLEXIBLE

Su definición se basa en la conformación de múltiples capas, cada una de las cuales posee propiedades específicas destinadas a cumplir funciones particulares en la estructura, estas capas, en conjunto, disminuyen progresivamente su rigidez desde la superficie hasta alcanzar la subrasante, logrando así una distribución adecuada de las cargas que soporta, un pavimento flexible típico consta de una capa asfáltica superior, seguida de capas de materiales granulares, que incluyen la base, sub-base y afirmado, y en ocasiones, material de conformación, (Solano Cahuaya et al., 2021).

Una de las diferencias fundamentales entre los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos radica en la forma en que distribuyen las cargas vehiculares, en un pavimento rígido, la losa de concreto actúa como una estructura monolítica que distribuye las cargas sobre una zona amplia, aprovechando su rigidez inherente, en contraste, en un pavimento flexible, la capa de asfalto superior no posee la misma capacidad para dispersar las cargas, lo que conlleva a la necesidad de utilizar múltiples capas granulares para disminuir y extender los esfuerzos en el suelo de manera efectiva, (Solano Cahuaya et al., 2021).

Figura 3.

Distribución de esfuerzos en pavimento flexible.



2.3. COMPONENTES DE PAVIMENTOS.

El diseño de un pavimento engloba un conjunto de estratos que descansan sobre el terreno natural, y en el caso de pavimentos rígidos, se caracteriza por la presencia de una subbase y una capa de concreto, confiriendo al conjunto una elevada rigidez inherente, la clasificación de los pavimentos rígidos varía en función de la presencia o ausencia de refuerzo, y se divide en cuatro categorías: sin refuerzo, con refuerzo

en las juntas, continuamente reforzado y continuamente reforzado con una capa de asfalto en la superficie, no obstante, independientemente de la variante del pavimento rígido seleccionada, la distribución de sus capas permanece constante (Solano Cahuaya et al., 2021).

2.3.1. SUBRASANTE.

La subrasante constituye la capa de terreno natural sobre la cual se edificará el pavimento a diseñar, cumpliendo una función esencial como plataforma uniforme y sólida que soportará la estructura del pavimento, por tanto, es imperativo que se realice un tratamiento adecuado del suelo para prevenir alteraciones significativas en su comportamiento, como las provocadas por cambios abruptos, por ejemplo, debido a fenómenos de expansión y contracción (Das, 2012), el suelo natural puede ser sometido a técnicas de estabilización y compactación mecánica, o bien, puede consistir en un material de relleno con las propiedades específicas requeridas, con el propósito de servir como la base sobre la cual se asentará el resto de la estructura del pavimento, la capacidad de carga de la subrasante puede cuantificarse mediante parámetros tales como el CBR (California Bearing Ratio) o el MR (Módulo Resiliente), (Solano Cahuaya et al., 2021).

Los factores primordiales que influyen en la capacidad de carga de la subrasante abarcan las condiciones de humedad y las variaciones de temperatura, particularmente en lo que concierne a los ciclos de congelamiento y deshielo, en caso de que la subrasante sea susceptible a los efectos del congelamiento, resulta esencial asegurarse de que las capas superiores, como la subbase y la capa de concreto, tengan un espesor que supere la profundidad de penetración de la helada, además, para evitar inconvenientes relacionados con la humedad, es fundamental mantener el nivel freático al menos 300 mm por debajo del nivel de la formación de la subrasante, (Solano Cahuaya et al., 2021).

2.3.2. SUBBASE

La subbase es la capa que se sitúa directamente encima de la subrasante y justo debajo de la capa de concreto en una estructura de pavimento, puede estar

compuesta por materiales granulares o materiales ligados hidráulicamente (HBM) y su función principal es proporcionar una superficie uniforme que sirva de base para la capa de concreto superior (Braja Das, 2001), un aspecto crucial de la subbase es que debe permitir un drenaje eficiente del agua que pueda infiltrarse a través de juntas o grietas en la capa de concreto superior, esta agua debe ser canalizada hacia sistemas de drenaje subterráneo o zanjas de drenaje para evitar la acumulación y el deterioro del pavimento, (Solano Cahuaya et al., 2021).

2.3.3. CARPETA DE RODADURA

Se encuentra en contacto directo tanto con el tráfico vehicular como con las inclemencias climáticas, cumple la función primordial de ser el componente estructural principal que absorbe y distribuye las cargas generadas por el tráfico vehicular hacia las capas inferiores del pavimento, al tiempo que proporciona una superficie uniforme y segura para la circulación de los vehículos, (Nikolaides, 2015).

Es importante destacar que la carpeta de rodadura de concreto está expuesta a diversos esfuerzos, incluyendo aquellos derivados de cambios en la humedad, fricción con la subbase y variaciones de temperatura. En función del diseño específico del pavimento rígido, esta losa de concreto puede presentar diferentes configuraciones, que van desde la ausencia de refuerzo (con juntas menos separadas), la inclusión de refuerzos de acero solo en las juntas (con el propósito de homogeneizar las cargas y deformaciones entre secciones continuas) hasta la presencia de refuerzos continuos a lo largo de toda la losa, (Solano Cahuaya et al., 2021).

2.4. CONCEPTOS GENERALES

2.4.1. JUNTAS

A lo largo de su vida útil, el concreto está sujeto a procesos de contracción y expansión que pueden afectar su rendimiento, la contracción se produce durante

la fase de endurecimiento y secado del concreto, como resultado de la pérdida de humedad en la capa de concreto, principalmente debido a una evaporación excesiva del agua de la mezcla, por otro lado, la expansión volumétrica ocurre debido al aumento de la temperatura ambiental, lo que genera esfuerzos de compresión en el concreto, ambos procesos pueden dar lugar a la formación de grietas no deseadas en la superficie de rodadura, si estos procesos no se controlan adecuadamente, los pavimentos de concreto pueden experimentar daños significativos, por lo tanto, es esencial implementar medidas de control y diseño adecuadas para mitigar los efectos de la contracción y expansión en el pavimento rígido y mantener su integridad a lo largo del tiempo, (Nikolaides, 2015).

2.4.2. CBR

El CBR (California Bearing Ratio) es un parámetro que mide la resistencia de un suelo en condiciones específicas, y se determina mediante ensayos realizados en el sitio y bajo condiciones de humedad controlada, siguiendo las normas establecidas en la NTP 339.175 de 2002. El ensayo de CBR, también conocido como "Ensayo de Soporte de California" en su traducción, se basa en las normas ASTM D1883 y AASHTO T193, (Solano Cahuaya et al., 2021).

2.4.3. IMD a ADT

Las siglas IMD hacen referencia a la "Intensidad Media Diaria" de una carretera, que es un parámetro fundamental para el análisis del tráfico y el estudio de las características del flujo vehicular en una vía, este valor se obtiene a partir de un estudio que abarca varios años y tiene en cuenta las variaciones cíclicas a lo largo del tiempo, el IMD es un indicador dinámico que experimenta cambios continuos, ya que su magnitud depende de diversos factores, como el crecimiento de la población en una región, las condiciones económicas y sociales, entre otros. Puede aumentar en áreas con un incremento en la población o disminuir en zonas rurales o en momentos de crisis económica, en el contexto internacional, este parámetro también es conocido como ADT, que son las siglas en inglés de "Average Daily Traffic", el IMD o ADT es esencial para comprender y planificar

adecuadamente las necesidades de tráfico en carreteras y vías de transporte (Belda Esplugues, 2011).

2.4.4. ADTT

La cantidad de vehículos pesados que transitan en ambas direcciones, excluyendo los vehículos de 4 ruedas y dos ejes, se obtiene a partir de un conteo de clasificación de camiones, este conteo de clasificación de camiones es un proceso de recopilación de datos en el que se registran y clasifican los vehículos que circulan por una vía en función de sus características, como el número de ejes, el peso, el tipo de carga, etc, (Solano Cahuaya et al., 2021).

2.4.5. MR

En el contexto del diseño de pavimentos y considerando el criterio de fatiga, se utilizan la resistencia y los esfuerzos a flexión del concreto como parámetros clave para determinar los espesores adecuados de la estructura del pavimento, estos parámetros son fundamentales para controlar la formación de agrietamientos debido a las cargas repetitivas generadas por los vehículos que circulan sobre el pavimento, la Asociación de Cemento Portland (PCA) proporciona guías y tablas de diseño que tienen en cuenta la variabilidad de la resistencia del concreto de un punto a otro en la estructura del pavimento, así como la ganancia de resistencia con el tiempo a medida que el concreto madura, sin embargo, en la práctica de diseño, el ingeniero no aplica directamente estos efectos, en su lugar, se elige un valor promedio de resistencia a la flexión del concreto a los 28 días para simplificar el proceso de diseño, (Solano Cahuaya et al., 2021).

2.4.6. MODULO DE LA SUBRASANTE

La resistencia de la subrasante desempeña un papel crucial en el método de diseño de la Asociación de funcionarios de Carreteras Estatales de EE. UU. (AASHTO), esta resistencia se define como la capacidad de carga que puede soportar el terreno natural sobre el cual se asentará toda la estructura del pavimento, para medir esta resistencia, se utiliza el módulo de reacción del suelo "k" (expresado

en Kg/cm³) a través de la prueba de placa, que está estandarizada según las normativas ASTM D-1195 y D-1196.

En ocasiones, para evitar llevar a cabo la prueba de las placas, se estima el valor de "k" mediante correlaciones con pruebas más simples, como la “Relación de Soporte de California”, el CBR es una prueba más comúnmente utilizada para determinar la resistencia de los suelos y está normalizada por AASHTO T193, esta relación proporciona información esencial sobre la capacidad portante del suelo y ayuda en el diseño adecuado de pavimentos y carreteras, asegurando que la estructura pueda soportar las cargas de tráfico de manera segura y duradera (Morán Fernández & Solís Mendoza, 2019).

2.5. DISEÑO DE PAVIMENTOS CON METODOLOGÍA AASHTO 93.

Un pavimento se configura como un sistema de capas superpuestas, dispuestas de manera relativamente horizontal, que se planifican y construyen con precisión utilizando materiales apropiados y compactándolos de manera adecuada (Silva-Balaguera et al., 2018). Estas estructuras estratificadas descansan sobre la subrasante de una vía, la cual se obtiene a través del movimiento de tierras durante el proceso de exploración. Es esencial que estas capas sean capaces de resistir eficientemente los esfuerzos generados por las cargas repetidas del tráfico a lo largo del período de vida útil para el cual se diseñó la estructura del pavimento (Otero Restrepo & Restrepo Yepes, 1999).

En el caso específico de un pavimento rígido, este se compone de losas de concreto, a veces reforzadas con armaduras de acero, las cuales están unidas mediante juntas. La presencia de armaduras de acero puede proporcionar mayor resistencia y durabilidad a la estructura, contribuyendo a su capacidad para soportar las tensiones y cargas impuestas por el tránsito a lo largo del tiempo. Es crucial que estas losas y sus uniones sean diseñadas y construidas con precisión para garantizar un rendimiento efectivo y una vida útil prolongada del pavimento rígido.

2.5.1. Acción de la carga de los vehículos en el pavimento rígido

Los pavimentos de concreto asumen la carga vehicular y la distribuyen sobre un área específica de la subrasante o la base. Debido a su elevada rigidez y alto módulo elástico, la losa presenta un comportamiento análogo al de un elemento estructural tipo viga, siendo capaz de absorber prácticamente la totalidad de la carga transmitida sobre ella (Kici et al., 2018).

2.5.2. Diseño de un Pavimento rígido

El diseño estructural de pavimentos de concreto se caracteriza por ser eminentemente racional, en marcado contraste con los pavimentos flexibles, cuyo enfoque es predominantemente empírico (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1993). En el caso de pavimentos de concreto, se implementa la teoría de elasticidad. Desde un punto de vista técnico, estos pavimentos deben ser diseñados y supervisados con respecto a la resistencia a la flexión del concreto empleado.

2.5.3. Características de un Pavimento:

Un pavimento, con el propósito de cumplir de manera idónea con sus funciones, debe satisfacer los siguientes requisitos fundamentales: en primer lugar, debe demostrar resistencia frente a las cargas ejercidas por el tráfico vehicular; asimismo, ha de ser capaz de resistir los efectos adversos de los agentes atmosféricos. Es crucial que presente una textura superficial que se ajuste a las velocidades de diseño de la vía, ya que esta variable ejerce una influencia determinante en la seguridad vial. Adicionalmente, Es crucial que el pavimento muestre una notable resistencia al desgaste causado por la acción abrasiva de los vehículos. Debe mantener una regularidad superficial tanto en sentido transversal como longitudinal, facilitando así una comodidad apropiada para los usuarios, considerando las longitudes de onda de las deformaciones y la velocidad de circulación (Martinez Martinez & Trejo Pastrana, 2003).

La durabilidad, condiciones adecuadas de drenaje, control del ruido de rodadura tanto en el interior de los vehículos (afectando al usuario) como en el entorno circundante, un nivel de rugosidad debidamente moderado, y un color apropiado para prevenir reflejos y deslumbramientos son igualmente requisitos esenciales para garantizar la seguridad en el tránsito (INVIAS, 2009), siendo lo más importante en el diseño las juntas que se tienen que diseñar y construir para controlar los cambios de volumen, inevitables, que se producen en ellos por cambios temperatura (Armas Soto, 2018).

2.5.4. Funciones de las capas de un Pavimento Rígido.

Las capas de un pavimento rígido desempeñan funciones específicas para garantizar su durabilidad y resistencia. La losa de concreto, capa superior, actúa como la superficie de rodadura, proporcionando resistencia y soporte directo a las cargas del tráfico. La capa de base, colocada debajo de la losa, distribuye las cargas y contribuye a la estabilidad estructural del pavimento. Por último, la subbase, ubicada bajo la capa de base, sirve para mejorar la capacidad de carga y disminuir la posibilidad de asentamientos. Estas capas trabajan en conjunto para resistir las fuerzas aplicadas por el tráfico, garantizando así un pavimento rígido robusto y duradero.

2.5.4.1. *La Sub-Base*

Un pavimento debe cumplir con diversos requisitos para desempeñar de manera óptima sus funciones. En primer lugar, se requiere que sea resistente tanto a las cargas vehiculares como a los efectos adversos de los agentes atmosféricos. Además, debe presentar una textura superficial adaptada a las velocidades de diseño de la vía, siendo esta un factor crítico para la seguridad vial. Es crucial, asimismo, que el pavimento evite el fenómeno de bombeo en las juntas, grietas y extremos, impidiendo que material fino viaje fuera de la estructura del pavimento por acción del agua (Aranda et al., 2021). La capa de pavimento también cumple funciones significativas como capa de transición, proporcionando un apoyo uniforme, estable y permanente al pavimento, facilitando los trabajos de pavimentación y

mejorando el drenaje para minimizar la acumulación de agua bajo la superficie. Además, contribuye a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y a mejorar parcialmente la capacidad de soporte del suelo de esta (Montejo Fonseca, 2002).

2.5.4.2. *Losa de Concreto*

Las funciones de la losa en un pavimento rígido comparten similitudes con las de la carpeta en un pavimento flexible, y además, desempeñan una función estructural crítica al soportar y transmitir de manera adecuada los esfuerzos que se le apliquen (Lukpanov et al., 2022). La losa de concreto tiene la responsabilidad de proporcionar una superficie uniforme y estable para el tránsito, con una textura y color apropiados, y debe resistir los efectos abrasivos generados por el tráfico vehicular. En la medida de lo posible, se espera que impida la infiltración de agua hacia el interior del pavimento. La resistencia a la tensión de la losa complementa significativamente la capacidad estructural general del pavimento (García-Troncoso et al., 2023). Estos atributos no solo contribuyen a la durabilidad del pavimento rígido, sino que también aseguran su funcionalidad y rendimiento a lo largo del tiempo.

2.5.5. Método AASHTO

De acuerdo con The American Association Of State Highway And Transportation Officials (2001), organización que establece normas y lineamientos para el diseño y la construcción de carreteras y puentes en los Estados Unidos, los pavimentos deberán ser diseñados de acuerdo a la información que proporciona varias guías y especificaciones, como la Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, que incluye pautas para el diseño de pavimentos rígidos. El diseño de pavimentos rígidos generalmente sigue principios de mecánica de suelos y estructurales. Se consideran factores como la resistencia del concreto, las características del suelo subyacente y la carga del tráfico (Castro Vazquez et al., 2020).

Ecuación 1.

Ecuación para el cálculo de espesor de losa de un pavimento rígido.

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \cdot \lg (D + 1) - 0,06 + \frac{\lg \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5}}{1 + \frac{1,625 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 P_t) \cdot \log_{10} \frac{S'_0 C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J \left(D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{K} \right)^{0,25}} \right)}$$

W_{18} = Numero de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80kN) calculadas conforme el tránsito vehicular.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución)

S_0 = Desviación estándar de todas las variables

ΔPSI = Pérdida de la serviciabilidad.

MR = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número estructural.

2.5.6. VARIABLES DE ENTRADA.

Se describen a continuación las variables para tener en cuenta en el diseño de un pavimento rígido por el método AASHTO (González Sosa & Vanegas Gómez, 2016).

2.5.6.1. Variables de Tiempo.

Son ellas la vida útil del pavimento y el período de análisis. Los pavimentos rígidos se diseñan con un mínimo de 10 y un máximo de 50 años.

2.5.6.2. Transito.

El tránsito es reducido a un número de veces que un eje tipo de 18 kips (80 KN) pasa sobre la vía traducido a través de los factores equivalentes de carga.

2.5.6.3. Confiabilidad y Desviación estándar.

Se trata del nivel de certeza de que un diseño específico pueda mantenerse en condiciones favorables hasta el final de su período de análisis. En relación con la desviación estándar de las variables, S_0 , se sugiere un valor de 0.34 para pavimentos rígidos cuando se tiene en cuenta la variabilidad del tránsito futuro, y $S_0 = 0.39$ en el caso de no considerar dicha variabilidad.

2.5.6.4. Subrasantes

Con este método se puede prever la pérdida de serviciabilidad por estas causas, las que se suman a las de tránsito. Se hace el mismo análisis que para pavimentos flexibles.

2.5.6.5. Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad.

La serviciabilidad es una medida de la condición y el rendimiento de un pavimento, y se evalúa a lo largo del tiempo. Se distinguen dos conceptos importantes: la "serviciabilidad inicial" y la "serviciabilidad final".

a. Serviciabilidad Inicial:

La serviciabilidad inicial se refiere al estado del pavimento cuando es recién construido o rehabilitado. En este momento, se espera que el pavimento tenga un nivel óptimo de rendimiento y condiciones de servicio. La evaluación de la serviciabilidad inicial ayuda a establecer una línea base para futuras evaluaciones y monitoreo.

b. Serviciabilidad Final:

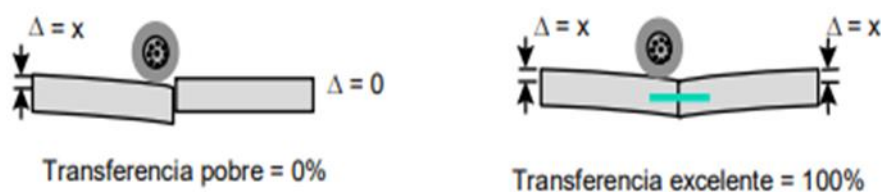
La serviciabilidad final, por otro lado, es la medida de la condición del pavimento al final de su vida útil o de un ciclo de diseño. A lo largo del tiempo, el pavimento está expuesto a factores como el tráfico, las condiciones climáticas y el envejecimiento, lo que puede afectar su serviciabilidad. La serviciabilidad final se utiliza para evaluar cómo ha evolucionado el pavimento y si ha cumplido con las expectativas de durabilidad y rendimiento establecidas durante el diseño.

2.5.6.6. *Transferencia de Carga.*

El término transferencia de cargas en las juntas transversales hace referencia a la capacidad de una losa para compartir parte de su carga con la losa adyacente. En este contexto, una junta con una transferencia de carga del 100% sería aquella que transfiere la mitad de su carga a la losa vecina, resultando en una disminución de las tensiones en los bordes, como se ilustra en la Figura 5.

Figura 4.

Transferencia de carga para losas de concreto



Como se evidencia en la imagen, para lograr una transferencia efectiva de cargas en sentido longitudinal, especialmente en carreteras con tráfico pesado, es esencial emplear barras pasajuntas en todas las juntas transversales correspondientes. En situaciones comunes, como en pavimentos urbanos con tráfico liviano, la práctica de verter todas las losas en una franja única y cortar las juntas aproximadamente a 1/3 del espesor de la losa permite el desarrollo de fricción entre los agregados gruesos en la zona de contacto de las juntas. Se sugiere mantener espaciamientos de juntas moderados para reducir la apertura entre ellas, mejorando así la transferencia de cargas al maximizar el contacto entre los agregados.

La transferencia de cargas en dirección transversal desempeña un papel crucial en el proceso de diseño. En este contexto, la implementación de bermas de hormigón conectadas o sobreeanchos, que incorporan parte de la berma en la losa, tiene un impacto positivo al reducir los esfuerzos en las losas. De acuerdo con estudios de deflexión llevados a cabo por la American Concrete Pavement Association (ACPA), cargar una losa en una esquina sin

barras de transferencia produce una deflexión cinco veces mayor que si la carga se aplicara en el centro de la losa. Esta deflexión se reduciría a tres veces si la esquina estuviera conectada a la losa adyacente mediante barras de transferencia.

Este estudio destaca la relevancia de la aplicación de sobrecargos y barras pasa juntas para áreas de tráfico intenso, ya que permite una notable reducción de los esfuerzos de tensión en los bordes y esquinas del pavimento. Este enfoque no solo optimiza el diseño, sino que también puede resultar en una posible reducción de los espesores de diseño. La mejora del rendimiento del pavimento se logra mediante la incorporación de barras pasa juntas y sobrecargos, elementos que se consideran en el diseño a través del "coeficiente de transferencia de carga (J)". Este coeficiente toma en cuenta el soporte lateral en las esquinas de la losa, dispositivos de transferencia de cargas, la interacción de los agregados y la presencia de bermas de hormigón vinculadas. Se ha observado que coeficientes de transferencia de carga más elevados se asocian con una menor necesidad de soporte, lo que resalta la eficacia de estos elementos en la mejora del desempeño del pavimento.

Como regla general, al considerar el rango de coeficientes de carga, se sugiere utilizar valores más altos cuando los valores de k son bajos, los coeficientes térmicos son elevados y hay mayores variaciones de temperatura. La tabla siguiente ofrece recomendaciones específicas para la selección de coeficientes de transferencia de carga.

Tabla 1.

Coeficiente de Transferencia de cargas

Tipo de Pavimento	Berma de Asfalto		Berma de Ho. Vinculada	
	Disp. De transferencia		Disp. De transferencia	
	Si	No	Si	No
Junta Sencilla y Junta Reforzada	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
Continuamente Reforzada	2.9-3.2	N/D	2.3-2.9	N/D

El diseño de pavimentos rígidos se ve fuertemente influenciado por la variable mencionada, y es crucial tenerla en cuenta según las condiciones climáticas, las características del suelo y el soporte general, a fin de seleccionar un valor dentro de los rangos establecidos. Los valores inferiores de "J" son aplicables únicamente cuando se trata de suelos duros y condiciones climáticas adecuadas. Las columnas que hacen referencia a la "Berma de asfalto" indican la ausencia de soporte lateral, siendo aplicable, por lo tanto, a berma de tierra, losa suelta y separada de un cordón en calles, entre otros. En contraste, la "Berma de Hormigón" implica un sobreancho sólido de al menos 50 cm con acceso restringido; cunetas atadas; cordones vinculados a la losa o una berma de hormigón vinculada de manera adecuada.

2.5.6.7. *Construcción por etapas.*

Un pavimento rígido normalmente se debe diseñar para soportar el período de análisis completo mediante un espesor adecuado de losa, este aspecto es muy importante al momento de tomar decisiones, puesto que, al incrementar 2 a 3 cm el espesor de losa prácticamente se puede duplicar la capacidad estructural del pavimento, por este motivo, desde el punto de vista del costo, es mucho mejor diseñar un pavimento rígido para períodos de vida de 25 a 30 años, siendo común que las carreteras de alto tráfico de países industrializados consideren períodos de vida de hasta 40 años, por este motivo no es recomendable diseñar un pavimento rígido en etapas.

2.5.6.8. *Consideraciones de pérdida de serviciabilidad por condiciones ambientales.*

El diseño de un pavimento rígido debe considerar la capacidad estructural necesaria para el período completo de análisis, determinando un espesor adecuado de la losa. Este aspecto es de vital importancia al tomar decisiones, ya que un incremento de 2 a 3 cm en el espesor de la losa puede prácticamente duplicar la capacidad estructural del pavimento. Desde una

perspectiva de costos, resulta más eficiente diseñar un pavimento rígido para períodos de vida de 25 a 30 años. En carreteras de alto tráfico en países industrializados, es común contemplar períodos de vida de hasta 40 años. Por este motivo, no se recomienda diseñar un pavimento rígido en etapas, ya que podría resultar menos eficaz desde el punto de vista económico y estructural.

2.5.6.9. *Diseño de armaduras.*

Se aplica para pavimentos reforzados con juntas, técnica que poco a poco está perdiendo vigencia. El objetivo de la armadura en una losa de pavimento que el pavimento se comporte como una unidad estructural. Para las armaduras se pueden usar barras o mallas soldadas.

2.5.6.10. *Armadura longitudinal para un pavimento con juntas.*

En un pavimento de hormigón armado con juntas, las armaduras se calculan con la teoría de la fuerza de roce. Los datos de entrada son:

- Longitud de losa, L
- Tensión de trabajo del acero, f_s .
- Factor de fricción, F.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Las primeras consideraciones que debe tomar en cuenta el investigador son el tipo y nivel de investigación para el diseño metodológico de las variables de estudio, este proceso metodológico orienta al investigador en los procesos sistemáticos que debe desarrollar durante el proyecto ejecutado, creando un plan de acción donde se encuentran implícitas las líneas de donde se obtendrán los resultados esperados (García Ramírez, 2019).

3.1.1. Tipo de investigación.

El análisis se emplea en un enfoque de investigación de carácter aplicado, también conocido como enfoque práctico o empírico, que se caracteriza por su objetivo de aplicar los conocimientos previamente adquiridos en conjunto con la obtención de nuevas percepciones (Vargas Cordero, 2009). Esto implica una atención integral a los esfuerzos organizados diseñados para abordar problemas o intervenir en situaciones (Ñaupas Paitán, 2014). Bajo esta perspectiva, la investigación aplicada abarca tanto la innovación en campos técnicos, artesanales e industriales como la investigación científica en su sentido más estricto.

En este estudio actual, se emplea la investigación de tipo aplicada, haciendo uso de teorías científicas previamente validadas con el propósito de abordar problemas prácticos y gestionar situaciones cotidianas. En este proceso, se aplican conceptos relacionados con pavimentación y espesores, además de comparar distintas metodologías de diseño que son pertinentes en situaciones reales.

3.1.2. Nivel de Investigación.

Siguiendo la perspectiva de Ramos-Galarza (2020), el estudio se enmarca en el ámbito cualitativo, donde se emplean modelos explicativos basados en ecuaciones estructurales con el fin de desarrollar una teoría que permita una comprensión más profunda de un fenómeno específico. Al tratarse de una

investigación de carácter experimental, se habilita la verificación de hipótesis que buscan explicar el comportamiento de dicho fenómeno, identificando los elementos causales que establecen relaciones entre las variables dependientes considerada el espesor del pavimento resultante de la utilización de la variable independientes como son las metodologías de diseño: método PCA-84 y método AASHTO-93. Estas relaciones estrechas se traducen en los resultados y conclusiones fundamentales de esta investigación.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO

3.2.1. Método.

Con el propósito de obtener resultados, según lo indicado por (Rodríguez Jiménez & Pérez Jacinto, 2017) se emplea el método deductivo indirecto, el cual se utiliza basado en la lógica del silogismo, comparación de dos premisas iniciales para obtención de una conclusión. Este enfoque se fundamenta en la comparación de los espesores de pavimento utilizando dos metodologías.

3.2.2. Enfoque.

La investigación que se centra en comparar espesores de pavimento rígido obtenidos mediante las metodologías de diseño AASHTO y PCA está utilizando un enfoque de investigación principalmente cuantitativo. Este enfoque se basa en la recopilación de datos numéricos (es decir, los espesores de pavimento) y se apoya en métodos cuantitativos para analizar y comparar estas mediciones. La investigación busca establecer diferencias cuantitativas y relaciones numéricas entre los resultados de las dos metodologías de diseño (Cauas, 2013).

Sin embargo, dado que el estudio puede involucrar la recopilación de información cualitativa, como observaciones sobre las condiciones del pavimento o la percepción de su desempeño, podría tener un componente cualitativo en menor medida, lo que podría clasificarse como un enfoque mixto (Nieto, 2018). La parte cualitativa podría utilizarse para proporcionar contexto o explicación a las diferencias cuantitativas observadas en los espesores de pavimento.

3.2.3. Diseño de la investigación.

La investigación se ajusta a un diseño de investigación experimental. En este tipo de diseño, se manipulan deliberadamente una o más variables independientes en este caso, las metodologías de diseño para observar su efecto en una variable dependiente: los espesores de pavimento. El objetivo principal es determinar si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos con las dos metodologías y, posiblemente, identificar cuál de ellas produce los espesores más apropiados (Sanchez Carlessi & Reyes Meza, 2015).

El enfoque experimental es útil cuando se busca establecer relaciones de causa y efecto y realizar comparaciones controladas entre diferentes condiciones o tratamientos. En este caso, se está experimentando con las dos metodologías de diseño para evaluar su impacto en los espesores del pavimento rígido.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

Estos conceptos se refieren a la delimitación de las características a estudiar, la población es el grupo completo de elementos bajo estudio, la muestra es una parte representativa de esa población y el muestreo es el proceso de selección de esa muestra de manera que sea representativa y permita obtener conclusiones sobre la población en su conjunto.

3.3.1. Población.

La población de estudio se define como un conjunto de casos específico, claramente delimitado y accesible, que servirá como base para seleccionar la muestra, y que cumple con criterios preestablecidos, estos casos específicos pueden ser individuos o elementos que comparten una característica común y que son el foco de atención en una investigación (Lind et al., 2012). En la investigación la población corresponde a los pavimentos rígidos diseñados bajo la metodología PCA y AASHTO 93.

3.3.2. Muestra

Una muestra es un subconjunto seleccionado de la población total, los investigadores eligen cuidadosamente una muestra más pequeña y representativa que les permita obtener información y hacer inferencias sobre la población completa (Arias-Gómez et al., 2016). En este caso serán los pavimentos estudiados bajo tres niveles de tráfico, bajo, medio y alto.

3.3.3. Muestreo

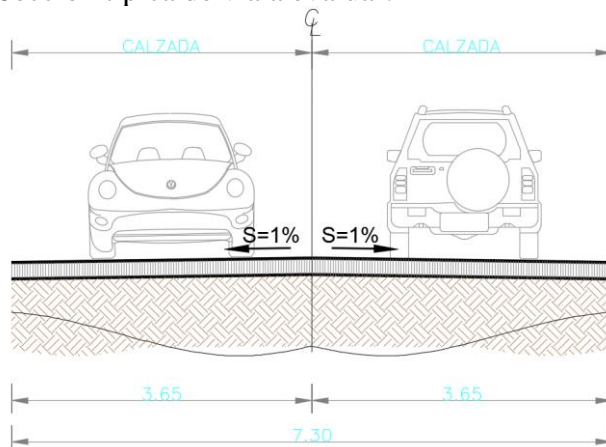
El muestreo se refiere al proceso de seleccionar y recoger una muestra representativa de un conjunto más amplio o población con el propósito de realizar análisis, evaluaciones o investigaciones (Casal & Mateu, 2003). Para el estudio se utilizan tres niveles de tráfico donde se detallan los espesores obtenidos con ambas metodologías. De manera que se pueda caracterizar secciones típicas de las vías a diseñarse y evaluar su costo.

3.4. DELIMITACIÓN DE ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.

Para la evaluación del presente trabajo de investigación se utiliza una vía típica con una calzada de 7,30 metros producto de dos carriles de doble circulación con un ancho de carril de 3,65 metros construida en pavimento rígido.

Figura 5.

Sección típica de vía a evaluar.



Para realizar cálculos relacionados con el diseño y la capacidad de una vía típica de dos carriles, uno en cada dirección, se trabajará con varias medidas y parámetros clave, tal como se describen en la tabla. Las variables del periodo de diseño y el CBR del 3%, así mismo presenta una limitación ya que en la metodología PCA para pavimentos rígidos, los años de diseño no pueden ser menores a 20 años.

Figura 6.

Consideraciones de diseño para pavimentos

Parámetro	Magnitud
CBR Subrasante:	3%
Periodo de Diseño	20 años
Módulo de Rotura	4.5 MPa
Juntas con dovelas	Si
Juntas con Berma	Si
Modulo Elástico del Concreto	3823676 psi
Coefficiente de Poisson	15 %
Coefficientes de variación	15 %

3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.1.: DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BASADO EN TRES NIVELES DE TRÁFICO DIFERENTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA AASHTO 93 PARA DETERMINAR ESPESORES DE PAVIMENTO.

El primer objetivo será desarrollado mediante el diseño de los espesores de pavimento de acuerdo con la metodología AASHTO 93, la cual proporciona una guía detallada para llevar a cabo estos pasos y determinar los espesores de pavimento necesarios para garantizar un rendimiento adecuado del pavimento en condiciones específicas de tráfico. El resultado es un diseño de pavimento que es capaz de soportar el tráfico previsto y mantener su integridad a lo largo del tiempo. Para el desarrollo de la primera metodología se utilizó para el diseño de pavimentos de acuerdo con esta metodología en el programa de cálculo 3G DIS PAV en la versión 14, un software para el diseño de pavimentos rígido y flexible que se basa, para realizar los cálculos, en la metodología AASHTO 93 y PCA 84. Debido al

tratamiento diferente de las cargas de tráfico, este software solo podrá ser utilizado para calcular la metodología AASHTO, en el cual se aplican ecuaciones y procedimientos específicos para calcular los espesores requeridos del pavimento en función de las cargas de diseño y las propiedades de los materiales. El software 3G DIS PAV es una herramienta avanzada para el diseño de pavimentos tanto rígidos como flexibles. Se fundamenta en la metodología AASHTO 93 y PCA 84 para llevar a cabo los cálculos necesarios funcionando con tablas de cálculo. Además, se integra con AutoCAD para la creación de los planos de diseño correspondientes.

3.5.1. Procesamiento de información en software:

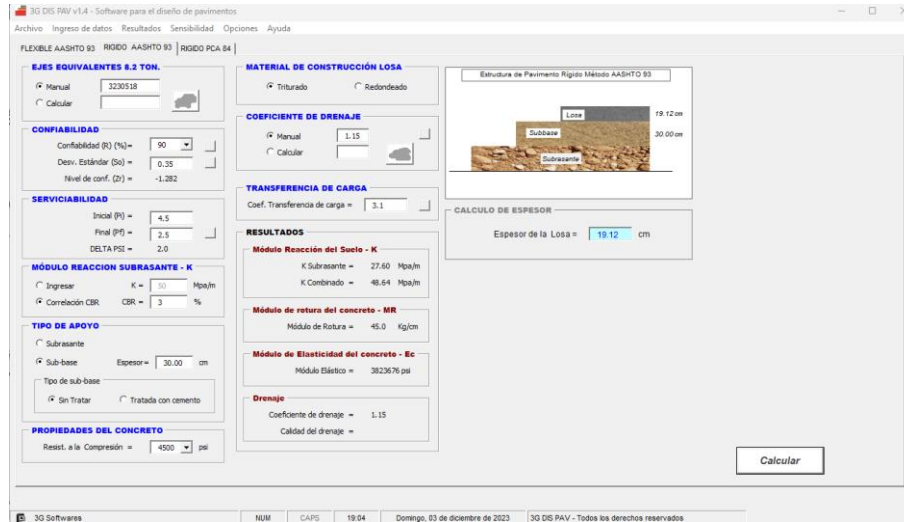
Para el cumplimiento de la metodología AASHTO 93, al ingresar datos en el software 3G DIS PAV, el enfoque principal se centra en la variación de la información relacionada con el tráfico. Dicho proceso implica la introducción específica de parámetros técnicos que caracterizan la carga vehicular esperada en la infraestructura de pavimento en cuestión.

Es relevante señalar que este proceso de variación de información de tráfico en el software implica una evaluación pormenorizada de cómo estas variaciones impactan en los resultados del diseño del pavimento según las directrices establecidas por el método AASHTO 93. En consecuencia, se generan cálculos y análisis estructurales que permiten determinar las especificaciones óptimas para el pavimento, ajustadas a las demandas específicas del tráfico proyectado. Este enfoque metodológico garantiza la adecuada consideración de las cargas vehiculares en el diseño del pavimento de acuerdo con los estándares AASHTO 93.

3.5.1.1. Datos de entrada para tráfico BAJO.

Figura 7

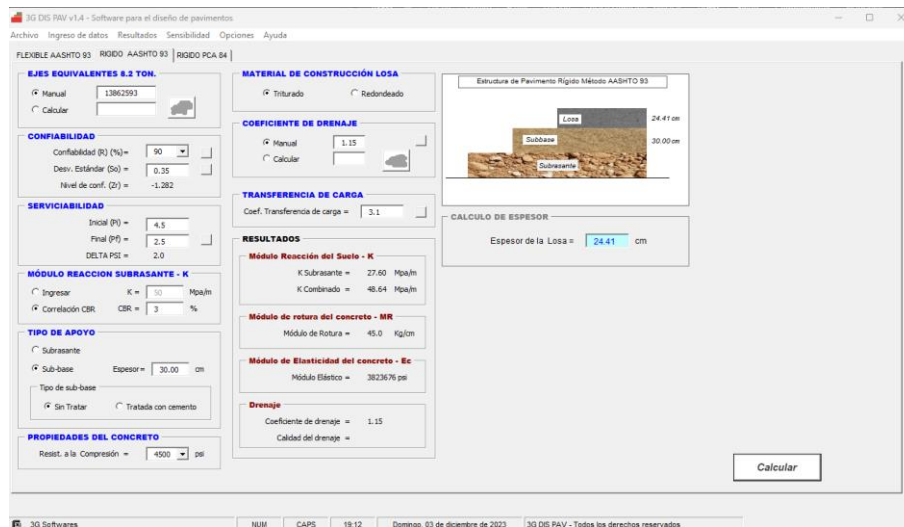
Software 3G DIS PAV “Procesamiento método AASHTO 93”



3.5.1.1. Datos de entrada tráfico MEDIO.

Figura 8

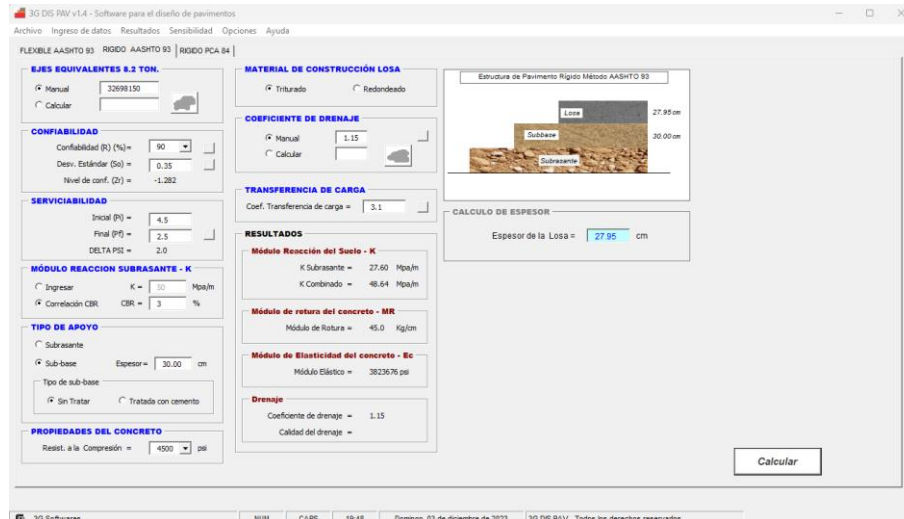
Software 3G DIS PAV “Procesamiento método AASHTO 93”



3.5.1.1. Datos de entrada tráfico ALTO.

Figura 11.

Software 3G DIS PAV “Procesamiento método AASHTO 93”



3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.2.: DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BASADO EN TRES NIVELES DE TRÁFICO DIFERENTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA PCA ESPESORES DE PAVIMENTO.

La metodología del Objetivo Específico 2 se centra en el diseño de estructuras de pavimentos para tres niveles de tráfico diferentes utilizando la metodología PCA con el propósito de determinar los espesores de pavimento resultantes. El proceso implica evaluar los resultados aplicando tres distintas cargas de tráfico con los datos de la vía típica que evaluamos anteriormente. La metodología PCA proporciona un marco estructurado para llevar a cabo estos pasos y determinar los espesores de pavimento necesarios para garantizar un rendimiento adecuado del pavimento en condiciones específicas de tráfico. El resultado final es un diseño de pavimento que es capaz de resistir las condiciones de tráfico previstas y mantener su integridad a lo largo del tiempo. Para el cálculo de la estructura de pavimento se utiliza el programa de cálculo denominado BSPCA, desarrollado en Visual Basic, requiere la entrada de diversos parámetros. Al realizar análisis de fatiga y erosión, posibilita

la obtención de las dimensiones necesarias para la estructura del pavimento. Una vez completado el proceso de dimensionamiento, se puede llevar a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar cómo afecta la variación de los parámetros respectivos en los criterios de diseño de fatiga y erosión contemplados por el método. Esta herramienta se valora como sumamente útil para los ingenieros de pavimentos, ya que simplifica la tarea de diseño y permite evaluar con facilidad las modificaciones que pueden surgir durante el proceso constructivo cuando alguna de las variables difiere de las consideraciones inicialmente establecidas en el diseño.

3.7. METODOLOGÍA DEL O.E.3.: EFECTUAR EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO DE LOS ESPESORES DE PAVIMENTOS RESULTANTES PARA LOS TRES NIVELES DE TRÁFICO.

Para el cumplimiento del objetivo se realiza un análisis estructural y comparativo de los espesores de pavimento resultantes para los tres niveles de tráfico considerados, utilizando tanto la metodología PCA como la AASHTO. Para lograrlo, se realizarán los siguientes pasos: primero, se obtendrán los espesores de pavimento calculados previamente para cada nivel de tráfico mediante ambas metodologías. Luego, se procederá a evaluar la capacidad de resistencia y durabilidad de los pavimentos diseñados bajo cada metodología, teniendo en cuenta las cargas de tráfico simuladas. Este análisis estructural permitirá determinar la idoneidad de los espesores calculados para cumplir con los requisitos de resistencia y seguridad. Finalmente, se compararán los resultados de ambos métodos, lo que proporcionará información valiosa sobre cuál de las metodologías ofrece un diseño más eficiente y adecuado para cada nivel de tráfico.

3.7.1. Procesamiento de información en software:

Tabla 2.

Cuadro de operacionalización de la variable independiente.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	
Variable Independiente:	<i>Diseño de pavimento rígidos.</i>	Diseño de estructuras de pavimento de acuerdo con las metodologías descritas.	Diseño de acuerdo con el Manual para diseño de pavimentos Rígidos de las AASHTO	Diseño estructural mediante metodología AASHTO - 93	W18	kN
					Zr	%
					So	Adimensiona l
					D	In
					Δ PSI	PSI
					Pt	Adimensiona l
					S'c	PSI
					J	Adimensiona l
					Cd	%
					Ec	PSI
					K	PCI
					MR	%
					K	PSI
					Re	Adimensiona l
E	PSI					
	<i>Metodología PCA</i>	Diseño de estructuras de pavimento de acuerdo con las metodologías descritas.	Diseño de acuerdo con el Manual para diseño de pavimentos Rígidos de la PCA	Diseño estructural mediante metodología PCA - 84		

Tabla 3.

Cuadro de operacionalización de la variable dependiente.

Variables		Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Variable Dependiente:	<i>Análisis comparativo espesores</i>	Obtener y realizar un análisis comparativo estructural y de costos de los espesores de pavimentos.	Comparar los espesores de pavimento obtenidos de cada metodología	Trafico Alto	Espesor obtenido metodología AASHTO -93	in
					Espesor obtenido metodología PCA 84	in
				Trafico Medio	Espesor obtenido metodología AASHTO -93	in
					Espesor obtenido metodología PCA 84	in
				Trafico Bajo	Espesor obtenido metodología AASHTO -93	in
					Espesor obtenido	in

metodología
PCA 84

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Los resultados de una tesis se refieren a las conclusiones y hallazgos específicos obtenidos a través de la investigación realizada como parte del trabajo académico. Estos resultados son el producto de analizar y evaluar los datos recopilados en el estudio, así como de aplicar las metodologías y enfoques utilizados para abordar la pregunta de investigación o los objetivos planteados (García Ramírez, 2021).

4.1. RESULTADOS DEL O.E.1.: DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BASADO EN TRES NIVELES DE TRÁFICO DIFERENTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA AASHTO 93 PARA DETERMINAR ESPESORES DE PAVIMENTO.

4.1.1. Parámetros bases para diseño

El diseño de pavimentos rígidos se basa en varios parámetros y consideraciones para garantizar la durabilidad, seguridad y eficiencia del pavimento. Algunos de los parámetros base incluyen:

4.1.1.1. *Confiabilidad.*

Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño-comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño.

Tabla 4.

Parámetros de diseño

Parámetro	Datos:
Confiabilidad (R)	90
Desviación Estándar (So)	0.35
Nivel de confianza (Zr)	-1.282

4.1.1.2. *Serviciabilidad*

Se define como la capacidad del pavimento de desempeñarse adecuadamente ante todo tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala del 0 al 5, en donde 0 (cero) significa pavimento intransitable y 5.0 (cinco) significa pavimento en excelentes condiciones. Para pavimentos rígidos siempre la serviciabilidad inicial será igual a 4.50, mientras que la final tomando en cuenta que es no es una vía de tipo autopista será de 2.00

Tabla 5.

Criterios de Serviciabilidad para pavimentos rígidos.

Serviciabilidad		Datos:
Serviciabilidad Inicial (Pi)		4.5
Serviciabilidad Final (Pt)		2.0
Δ PSI		2.5

4.1.1.3. Módulo de reacción de la subrasante (K)

Este factor establece cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de K son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci) o Megapascal por metro (Mpa/m).

De acuerdo con:

Ecuación 2.

Ecuación para calcular coeficiente K para CBR menores a 10%

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

Donde:

K= Módulo de reacción de la subrasante.

Ecuación 3.

Ecuación para calcular coeficiente K para CBR mayores a 10%

$$K = 2.55 + 52.2(\log CBR) \text{ Para CBR mayores o iguales a 10\%}$$

Donde:

K= Módulo de reacción de la subrasante.

El CBR obtenido es del 3%, donde aplicando la **Ecuación 2**, obtenemos los parámetros que se listan en la **Tabla 5**.

Tabla 6.

Parámetros de la subrasante

Módulo de reacción de la Subrasante (K)	Datos:
K Subrasante	27.60 Mpa/m
K Combinado	43.88 Mpa/m
CBR Subrasante	3.0 %
Tipo de Apoyo	Sub-base
Tipo de subbase	Sin Tratar

4.1.1.4. Propiedades del concreto

Tabla 7.

Propiedades del concreto

Propiedades del concreto	Datos:
Resistencia a la compresión	4500 psi 31.02 Mpa

4.1.1.5. Módulo de rotura

Dado que los pavimentos de concreto principalmente experimentan fuerzas de flexión, se aconseja que la especificación de su resistencia esté en

consonancia con este comportamiento. Por esta razón, el diseño toma en cuenta la resistencia del concreto bajo carga de flexión, conocida como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR), típicamente especificada a los 28 días. Este parámetro es fundamental en la evaluación de la capacidad del concreto para resistir tensiones de flexión, contribuyendo así a la durabilidad y el rendimiento adecuado del pavimento de concreto a lo largo de su vida útil.

$$MR = Kt\sqrt{f'c}$$

Donde:

Kt = 0.7 (si el material de construcción es redondeado)

Kt = 0.8 (si el material de construcción es triturado)

Módulo de rotura	Datos:
Material de Const. De la losa	Triturado
Coefficiente del material - Kt	0.8
Módulo de rotura	45.0 kg/cm ²

4.1.1.6. Módulo de elasticidad del concreto (Ec)

El Módulo de Elasticidad del concreto se relaciona íntimamente con su Módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad. Se puede establecer con la siguiente fórmula:

Ecuación 4

$$E_c = 57000\sqrt{f'c}$$

Donde:

Módulo de Elasticidad del Concreto = 3823676 psi

f'c = resistencia del concreto.

4.1.1.7. Coeficiente de drenaje (cd)

El parámetro de diseño al que haces referencia está vinculado a la calidad del drenaje y se manifiesta a través del porcentaje de tiempo durante el cual la estructura del pavimento se encuentra expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación. Este porcentaje se calcula dividiendo el número promedio de días de lluvia en la región donde se llevará a cabo la construcción de la estructura del pavimento entre los 365 días del año. Este cálculo proporciona una indicación cuantitativa de la susceptibilidad del pavimento a condiciones húmedas y resalta la importancia de una adecuada gestión del drenaje en el diseño para garantizar la durabilidad y el rendimiento del pavimento en diversas condiciones climáticas.

Parámetro	Datos:
Coeficiente de drenaje	1.15
Calidad de drenaje	Excelente
Días promedio de lluvia	60
Remoción de agua	2 horas
% tiempo próx. a saturación	16.44

4.1.1.8. Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

Es un parámetro adimensional que tiene en cuenta la capacidad que una estructura de pavimento rígido pueda transferir o distribuir cargas en la zona más propensa a fallar (juntas). Este parámetro adicionalmente tiene en cuenta el efecto que genera sobre las juntas y sobre la transferencia de carga el confinamiento lateral de las losas.

Parámetro	Datos:
Coeficiente de transferencia de carga	3.1

El diseño de estructuras de pavimentos basados en los tres niveles de tráfico, utilizando la metodología ASSHTO 93 utilizó estos parámetros de entrada y conjugó la utilización de tres niveles de tráfico traducido en ESAL.

Tipo de Tráfico:	ESAL
Bajo	3230518
Medio	13862593
Alto	32698150

4.1.2. Diseño con tráfico bajo.

4.1.2.1. *Trafico de diseño:*

Se utiliza un tráfico de diseño con un número ejes equivalentes (8.2 Ton.) de **3.230.518 ESAL**

4.1.2.2. *Cálculo del espesor de la estructura de pavimento*

El espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido se determina con la **Ecuación 1** Ecuación para el cálculo de espesor de losa de un pavimento rígido (p.39).

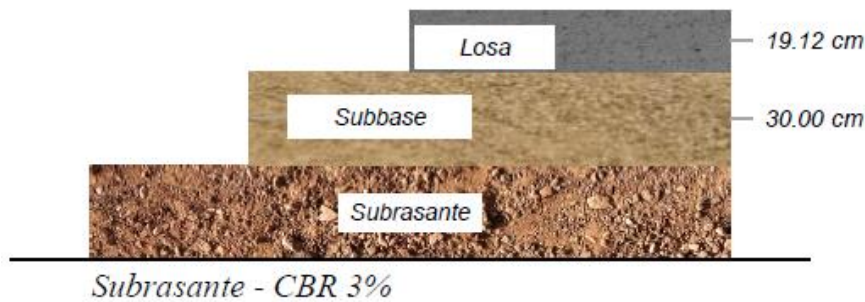
$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \cdot \lg(D + 1) - 0,06 + \frac{\lg \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5}}{1 + \frac{1,625 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 P_t) \cdot \log_{10} \frac{S'_0 C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J \left(D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0,25}} \right)}$$

Parámetro	Datos:
Espesor de losa	19.12 cm
Espesor de sub-base	30.00 cm

4.1.2.3. *Esquema de estructura de pavimento*

Figura 7

Esquema de espesores



4.1.3. Diseño con tráfico medio

4.1.3.1. *Trafico de diseño*

Se utiliza un tráfico de diseño con un número ejes equivalentes (8.2 Ton.) de **13.862.593 ESAL**

4.1.3.2. *Cálculo del espesor de la estructura de pavimento*

El espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido se determina con la **Ecuación 1** Ecuación para el cálculo de espesor de losa de un pavimento rígido (p.39).

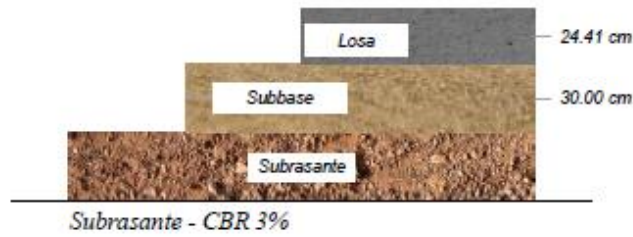
$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \cdot \lg(D + 1) - 0,06 + \frac{\lg \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5}}{1 + \frac{1,625 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 P_t) \cdot \log_{10} \frac{S'_0 C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J \left(D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{K} \right)^{0,25}} \right)}$$

Parámetro	Datos:
Espesor de losa	24.41 cm
Espesor de sub-base	30.00 cm

4.1.3.3. *Esquema de estructura de pavimento*

Figura 8

Esquema de espesores



4.1.4. DISEÑO CON TRÁFICO ALTO

4.1.4.1. *Trafico de diseño*

Se utiliza un tráfico de diseño con un número ejes equivalentes (8.2 Ton.) de **32.698.150 ESAL**

4.1.4.2. *Cálculo del espesor de la estructura de pavimento*

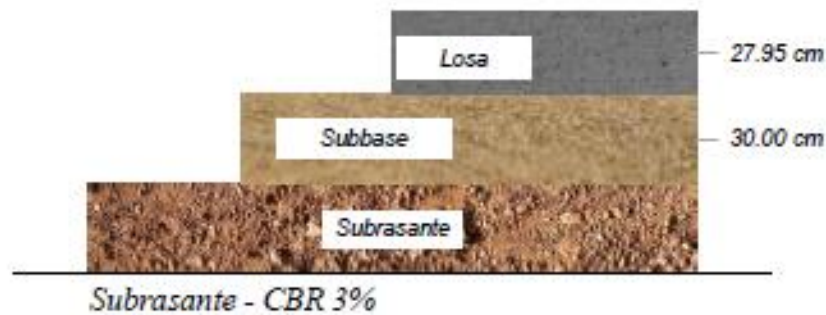
El espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido se determina con la siguiente ecuación:

Parámetro	Datos:
Espesor de losa	27.95 cm
Espesor de sub-base	30.00 cm

4.1.4.3. *Esquema de estructura de pavimento*

Figura 10

Esquema de espesores



4.2. RESULTADOS DEL O.E.2.: DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BASADO EN TRES NIVELES DE TRÁFICO DIFERENTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA PCA E PARA DETERMINAR ESPESORES DE PAVIMENTO.

En 1966 se publica la primera versión del método de la PCA, posteriormente modificada y siendo la versión actual la de 1984. En esta versión se ha estudiado la influencia de una serie de factores que no pudieron ser considerados de forma adecuada en la primera versión, tales como pavimentos con pasadores en las juntas, bases de concreto pobre, bermas de concreto, deterioro del pavimento debidos a la erosión de la base, vehículos pesados con ejes trídems.

4.2.1. Parámetros de diseño para pavimentos con metodología PCA.

4.2.1.1. *Módulo de reacción de la subrasante*

Este factor establece cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci) o Megapascal por metro (Mpa/m).

Tabla 8.

Parámetros de CBR Subrasante.

Parámetro	Datos:
CBR Subrasante	3.00 %
K Subrasante	27.60 MPa/m
K Combinado	48.64 MPa/m

4.2.1.2. Módulo de Rotura (MR)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días

Parámetro	Datos:
MR	4.5 MPa

4.2.1.3. PERIODO DE DISEÑO

La duración de una estructura inicial de pavimento antes de que necesite rehabilitación se conoce como vida útil del pavimento. La vida útil del pavimento se refiere al periodo durante el cual la estructura del pavimento es capaz de cumplir con los requisitos funcionales y de rendimiento sin necesidad de intervenciones mayores, como reparaciones o reconstrucciones. Para este método, se recomienda un periodo de diseño entre 20 y 40 años

Parámetro	Datos:
Per. Diseño	20 años

4.2.1.4. Formulas empleadas para el cálculo de la fatiga

Para el análisis de fatiga, se utilizó la siguiente fórmula recomendada por la PCA 84:

Ecuación 95.

Ecuaciones para cálculo de fatiga.

$$\text{Log}N_f = 11.73 - 12.077 \left(\frac{\sigma}{S_c} \right)$$

$$P = 268.7 \frac{p^2}{hk^{0.73}}$$

$$\text{Porcentaje de daño por erosión} = 100 \sum_{i=1}^m \frac{C_2 n_i}{N_i}$$

4.2.2. DISEÑO CON TRÁFICO BAJO

4.2.2.1. Cálculo de Trafico Bajo

Figura 12

Ingreso de datos de tránsito ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente :

Factor de Esfuerzo : Factor de Erosión :

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	8.2	3250518
7		
8		
9		
10		
11		

Figura 13

Ingreso de datos de tránsito ejes Tandem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente :

Factor de Esfuerzo : Factor de Erosión :

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	22	0
2	26.4	0
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

4.2.2.2. Esquema de estructura de pavimento

El espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido se determina y se obtienen los siguientes resultados

Parámetro	Datos:
Espesor de losa	20.5 cm
Espesor de sub-base	30.00 cm
Fatiga	52.18 %
Erosión	0.26 %

Figura 14

Esquema de espesores



4.2.2.3. Procesamiento de información en software

Figura 15

Software BS - PCA "Procesamiento método PCA 83

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 30 PCI (lb/pulg3)

Espesor de la Losa: 205 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO: Tn

Factor de Seguridad Carga: 1.1

Factor de Mayoración de Repeticiones: 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Calcular Imprimir

Total Consumo Esfuerzo (%): 52.1847

Total Consumo Erosión (%): 0.264

Salir

4.2.1. DISEÑO CON TRÁFICO MEDIO

4.2.1.1. Cálculo de Trafico medio

Figura 16

Ingreso de datos de tránsito ejes simples

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	8.2	13862593
7		
8		
9		
10		
11		

4.2.1.2. Procesamiento de información en software

Figura 17

Software BS - PCA "Procesamiento método PCA 83

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 30 PCI (lb/pulg3)

Espesor de la Losa: 215 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Factor de Seguridad Carga: 1.1

Factor de Mayoración de Repeticiones: 1

TRANSITO: Tn

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 0

Total Consumo Erosión (%): 0

4.2.1.3. *Esquema de la estructura del pavimento.*

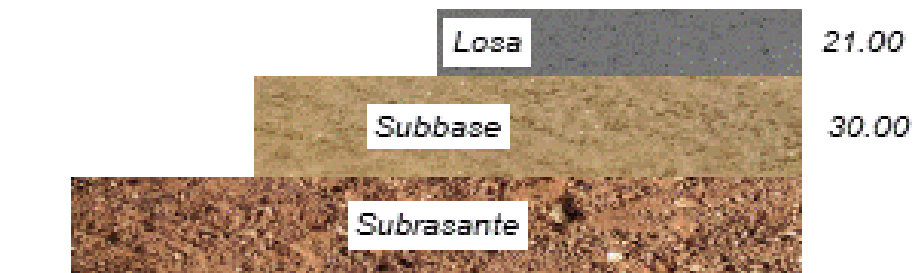
El espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido se determina y se obtienen los siguientes resultados

Parámetro	Datos:
Espesor de losa	21.50 cm
Espesor de sub-base	30.00 cm

Parámetro	Datos:
Fatiga	0.00 %
Erosión	0.00 %

Figura 18

Esquema de espesores



4.2.2. DISEÑO CON TRÁFICO ALTO

4.2.2.1. Cálculo de Trafico alto

Figura 19

Ingreso de datos de tránsito ejes simples

The screenshot shows a software window titled "TRANSITO EJES SIMPLES" with a pink border. It contains the following fields and table:

Esfuerzo Equivalente : 1.37
Factor de Esfuerzo : 0.3044 Factor de Erosión : 2.315

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	8.2	32698650
7		
8		
9		
10		
11		

Buttons: **Aceptar** and **Salir**

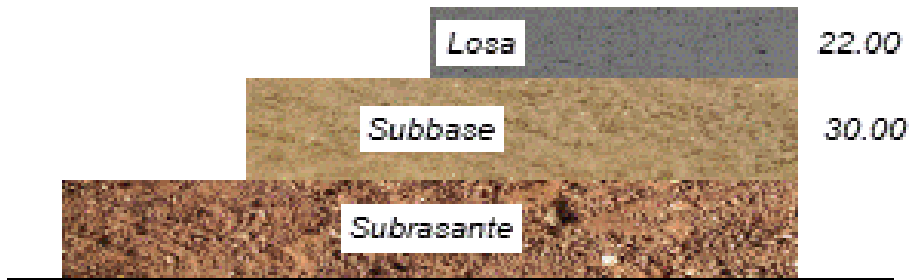
4.2.2.2. Esquema de estructura de pavimento

El espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido se determina y se obtienen los siguientes resultados

Parámetro	Datos:
Espesor de losa	22.00 cm
Espesor de sub-base	30.00 cm
Fatiga	0.00 %
Erosión	0.00 %

Figura 20

Esquema de espesores



4.2.2.3. *Procesamiento de información en software*

Figura 21

Software BS - PCA "Procesamiento método PCA 83"

La imagen muestra la interfaz de usuario del software 'BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA'. El menú superior incluye 'Opciones', 'Sensibilidad' y 'Terminar'. Los campos de entrada principales son: Resistencia K del Apoyo (30, unidad PCI (lb/pulg3)), Espesor de la Losa (220, unidad mm) y Módulo de Rotura Losa (4.5, unidad Mpa). Hay dos casillas de verificación activadas: 'Con Bermas' y 'Con Pasadores'. En la sección 'TRANSITO', se muestra un menú desplegable con 'Tn' seleccionado, y campos para 'Factor de Seguridad Carga' (1.1) y 'Factor de Mayoración de Repeticiones' (1). Hay tres botones de selección de configuración: 'Ejes Sencillos', 'Ejes Tandem' y 'Ejes Tridem'. A la derecha hay botones para 'Cargar', 'Guardar', 'Calcular', 'Imprimir' y 'Salir'. En la parte inferior izquierda, se muestran los resultados: 'Total Consumo Esfuerzo (%)' y 'Total Consumo Erosión (%)', ambos con el valor 0.

4.3. RESULTADOS DEL O.E.3.: REALIZAR LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y COMPARATIVA DE LOS ESPESORES DE PAVIMENTO OBTENIDOS PARA LOS TRES NIVELES DE TRÁFICO.

Implica examinar y contrastar los espesores resultantes de los pavimentos diseñados para los tres niveles de tráfico considerados. Los espesores son dimensiones críticas del pavimento y varían en función de la carga de tráfico prevista. La comparación permitirá identificar patrones, diferencias o tendencias en los requisitos de espesor para diferentes niveles de tráfico. De acuerdo con los resultados obtenidos del O.E.1 y OE2. los espesores de losa resultantes se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9.

Resultados de espesor de la losa de hormigón obtenidos de OE.1 y OE.2

Trafico Ajustado	Espesor de Losa (cm)	
	Metodología AASHTO	Metodología PCA
Bajo	19.12	20.5
Medio	24.41	21.5
Alto	27.95	22

4.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En el primer caso con un tráfico bajo, a partir del presente análisis con respecto al nivel de tráfico evaluado, se observa que los espesores de losa prácticamente coinciden en 20.5 centímetros. En este contexto, el consumo de esfuerzo por fatiga del hormigón de la losa es del 52%, cifra que se sitúa por debajo del 100% establecido en el método PCA.

En el segundo caso, evaluando un tráfico medio, en la modelación del tráfico realizada en el software de la PCA, se ha considerado un factor de seguridad del 10% de la carga. Con los mismos parámetros anteriores, variando únicamente el tráfico, se evidencia que, según la metodología AASHTO, se requieren 10 pulgadas, es decir, aproximadamente 25.0 centímetros. En contraste, la metodología PCA presenta dos soluciones: la primera con 21 centímetros, mostrando un consumo por fatiga de losa del 36%, inferior al 100%. Si el espesor aumenta a 21.5 centímetros, los consumos por fatiga y erosión son nulos. Se sugiere el uso de 21 centímetros para optimizar el rendimiento de la inversión.

En un tercer escenario, con los mismos parámetros anteriores y variando solo el tráfico, se observa que, según la metodología AASHTO, se requieren 11.3 pulgadas, es decir, aproximadamente 28.7 centímetros. Mientras tanto, la metodología PCA presenta dos soluciones: la primera con 21 centímetros, con un consumo por fatiga de losa del 85%, inferior al 100%. Si el espesor aumenta a 22 centímetros, los consumos por fatiga y erosión son nulos. Se sugiere el uso de 22 centímetros para optimizar el rendimiento de la inversión.

La tendencia observada indica que a medida que aumenta el tráfico de diseño, la metodología AASHTO arroja espesores significativamente inferiores, entre 4 a 7 centímetros menos, en comparación con los calculados mediante la metodología de la PCA.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

En relación con el Objetivo 1, busca diseñar estructuras de pavimentos utilizando la metodología AASHTO 93, tomando en cuenta tres niveles distintos de tráfico. La aplicación de esta metodología permite determinar los espesores óptimos de pavimento necesarios para soportar las cargas asociadas a cada nivel de tráfico considerado, la utilización del software 3G Dis Pav, mostró resultados que denotan que conforme el tráfico aumenta los cambios de espesor en el pavimento rígido aumenta en una magnitud pequeña.

De acuerdo con el Objetivo 2, se centra en el diseño de estructuras de pavimentos, pero utilizando la metodología PCA, la variación en las metodologías ofreció diferente enfoque y resultados en términos de los espesores de pavimento resultantes con relativa similitud, aunque tomando en cuenta los parámetros de fatiga y erosión nos permiten plantear escenarios donde podemos optimizar las inversiones asegurando parámetros de fatiga casi nulos que garantizan que el pavimento perdurará a través del tiempo, una limitante fue el diferente tratamiento de cargas de tráfico asociadas a la variación de metodologías, en este caso los espesores conforme aumenta el tráfico aumentan de manera significativa, lo que presenta que utilizando esta metodología nos darán mayores cantidades de material a invertir.

La finalidad del Objetivo 3, es realizar una comparación entre los espesores de pavimento resultantes para los tres niveles de tráfico considerados, este análisis comparativo nos ofreció variaciones significativas entre ambos casos, concluyendo en una tendencia observada que indica que a medida que aumenta el tráfico de diseño, la metodología AASHTO arroja espesores significativamente inferiores, entre 4 a 7 centímetros menos en comparación con los calculados mediante la metodología de la PCA.

5.2. RECOMENDACIONES.

Dado que la metodología PCA ofreció resultados con relativa similitud en términos de espesores de pavimento, se sugiere profundizar en los aspectos específicos que llevaron a estas similitudes. Esto puede incluir un análisis detallado de los parámetros de fatiga y erosión, así como del enfoque en el cálculo de los ESAL de diseño. Identificar las fortalezas y debilidades de cada metodología ayudará a fundamentar la elección de una sobre la otra en futuros proyectos.

Considerando las variaciones mínimas en los espesores de la losa de concreto del pavimento rígido entre AASHTO 93 y PCA, se recomienda evaluar las posibles implicaciones de estas diferencias en términos de desempeño a largo plazo y costos asociados. Además, se sugiere investigar más a fondo las razones detrás de las diferencias observadas en la capa de subbase, especialmente el aumento de 5 cm con la metodología PCA, para comprender su impacto en la estabilidad y durabilidad del pavimento.

En futuras investigaciones y diseños de pavimentos, se sugiere considerar otros factores como la durabilidad, sostenibilidad y costos a lo largo del ciclo de vida del pavimento. Además, la inclusión de análisis económicos y ambientales podría proporcionar una perspectiva más completa al seleccionar la metodología y determinar los espesores de pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldás Sánchez, M. R., & Amán Chicaiza, K. L. (2023). *Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de la parroquia Alaquez y Joseguango bajo del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/39215>
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *Diseño de Pavimentos* (Tercera).
- Aranda, J. Á., Beneyto, C., Sánchez-Juny, M., & Bladé, E. (2021). Efficient Design of Road Drainage Systems. *Water*, 13(12), 1661. <https://doi.org/10.3390/w13121661>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia Mexico*, 63(2), 201–206. <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Armas Soto, J. (2018). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto para obtener el índice de integridad estructural del pavimento y condición operacional de la superficie de la pista en el jr. 7 de junio, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, region* [Universidad Católica los Ángeles de Chimbote]. <https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/3303>
- Belda Esplugues, E. (2011). Parámetros fundamentales del tráfico: densidad, intensidad y velocidad. *Temario General de La ESTT - OEP 2011*. <https://www.dgt.es/es/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/2011/temario-parte-general-convocatoria-2011.shtml>
- Braja Das. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Pedro de la Garza Rosales (ed.)).
- Bulusu, V. J., Kusam, S. R., & Muppireddy, A. R. (2020). A critical review of the PCA and IRC methods of thin white topping pavement design. *Transportation Research Procedia*, 48, 3764–3769. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.043>
- Carvallo Corral, P. A., Sanmartín Morales, P. E., & Reinoso Maldonado, M. D. L. Á. (2022). *Desarrollo de un catálogo de secciones estructurales de*

- pavimentos flexibles y rígidos enfocado en las carreteras de la red vial de la provincia del Azuay, aplicando la metodología de diseño AASHTO-93* [Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12266>
- Casal, J., & Mateu, E. (2003). TIPOS DE MUESTREO. In *Rev. Epidem. Med. Prev* (Vol. 1).
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., & Mejía, G. (2022). Highway Planning Trends: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 14(9), 5544. <https://doi.org/10.3390/su14095544>
- Castro Vazquez, M. G., Castro Vazquez, L. A., & Castro Vazquez, P. G. (2020). Aplicación práctica del método AASHTO-93 para el diseño de pavimento rígido. *Polo de Conocimiento*, 5(0), 640–663. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/1717/3308>
- Cauas, D. (2013). *Definición de las variables, enfoque y tipo de Investigación*. Investigación I. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36805674/1-Variables-libre.pdf?1425133381=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Dvariables_de_Daniel_Cauas.pdf&Expires=1698203440&Signature=T85BGdSugc2HlyRU2rMPO5hv0j3WHAam6y8od47IsDnLbaZ7xR2eetOEGRZOiFnVDjDtmPAdDixJTsaXfvoNylQDE3SFj35E4ox9Y38vib15HtspbL5~6mILwx~SJS~MoMmA0XLfB8FO1iKebJ9KRcMwe7n8OI7p9o85hALCYPy1kIH6Kmh7EfKco6WoblancbOjaVCZmLDC6qCtvm1DVqyKOILBWXs8U-CShmQctqNNFrvtvOC922djfMvNIXcyTBJNo-uklLJ9uuVaSn7CPfPsStvN9BWzFKnRGuigJnvLJCSpJaU2bgw01DtqjKZ018GDAGFzlpCtBAEcGYhWg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Colana Arias, R. Y., & Torres Colana, Y. S. (2023). *Diseño de pavimento flexible, empleando método AASHTO 93 para mejorar la transitabilidad vial en la calle San Donato, Moquegua, 2022* [Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/113008>
- Dan, H.-C., He, L.-H., Zou, J.-F., Zhao, L.-H., & Bai, S.-Y. (2014). Laboratory study on the adhesive properties of ice to the asphalt pavement of highway. *Cold Regions Science and Technology*, 104–105, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2014.04.002>

- Das, B. (2012). *FUNDAMENTOS DE LA INGENIERIA EN CIMENTACIONES* (SERGIO R. CERVANTES GONZALEZ & OMAR A. RAMIREZ ROSAS (eds.); SEPTIMA).
- García-Troncoso, N., Hidalgo-Astudillo, S., Tello-Ayala, K., Vanegas-Alman, N., & Bompa, D. V. (2023). Preparation and performance of sugarcane bagasse ash pavement repair mortars. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02563. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02563>
- García Ramírez, Y. (2019). *Cómo redactar una tesis en Ingeniería Civil* (Primera Ed).
- García Ramírez, Y. (2021). *Guía para la elaboración de planes de tesis en Ingeniería Civil* (UTPL (ed.); Primera).
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincia de Santa Elena*. <https://drive.google.com/drive/folders/1Q26Zk4wf8o8KNVFPueGQXumiz2mPrZEB>
- González-Gómez, K., Rollins, D. K., & Castro, M. (2021). Modeling Urban Road Scenarios to Evaluate Intersection Visibility. *Sustainability*, 14(1), 354. <https://doi.org/10.3390/su14010354>
- González Sosa, G. P., & Vanegas Gómez, E. F. (2016). *Comparación de las metodologías AASHTO y PCA para el diseño de pavimento rígido*. [Universidad de Cartagena]. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.57799/11227/640>
- INVIAS. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras* (J. H. Flórez Gálvez & A. Bolaños Mora (eds.)). <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentostecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>
- Kici, A., TİĞDEMİR, M., & KALYONCUOĞLU, Ş. F. (2018). Parametric Study of The Parameters Affecting Concrete Pavement Thickness. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(3), 145–152. <https://doi.org/10.21597/jist.458614>
- Lainez Orrala, D. V. (2022). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPARATIVO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE LOS SOFTWARES*

*IMT-PAVE Y WINDEPAV 2.6 DEL MÉTODO MECANICISTA EMPÍRICO,
CON EL MÉTODO AASHTO 93.*

- Lee, J., & Yoon, Y. (2021). Indicators development to support intelligent road infrastructure in urban cities. *Transport Policy*, 114, 252–265. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.10.009>
- Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2012). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. The McGraw-Hill.
- Loprencipe, G., Pantuso, A., & Di Mascio, P. (2017). Sustainable Pavement Management System in Urban Areas Considering the Vehicle Operating Costs. *Sustainability*, 9(3), 453. <https://doi.org/10.3390/su9030453>
- Lukpanov, R., Dyusembinov, D., Shakhmov, Z., Tsygulov, D., Aibuldinov, Y., & Vatin, N. I. (2022). Impregnating Compound for Cement-Concrete Road Pavement. *Crystals*, 12(2), 161. <https://doi.org/10.3390/cryst12020161>
- Martinez Martinez, C., & Trejo Pastrana, J. A. (2003). *Análisis Comparativo entre pavimentos flexibles y rígidos* [Universidad Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ppt2002/0319888/Index.html>
- Minchán Lezcano, C. K. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE MÉTODOS DE DISEÑO AASHTO Y PCA APLICADO EN UNA VÍA PÚBLICA, CAJAMARCA -2019*. <https://hdl.handle.net/11537/22273>
- Mohammadi, A., Igwe, C., Amador-Jimenez, L., & Nasiri, F. (2022). Applying lean construction principles in road maintenance planning and scheduling. *International Journal of Construction Management*, 22(12), 2364–2374. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1788758>
- Molina Montoya, N. P. (2005). ¿Qué es el estado del arte? *Universidad de La Salle*, 5, 73–75. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5599263>
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Editorial Universidad Católica de Colombia.
- Morán Fernández, B. A., & Solís Mendoza, E. A. (2019). *REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DE LA AV PIEDRAHITA MEDIANTE LOS METODOS AASHTO-93 Y PCA DEL CANTON DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS*. [Universidad de Guayaquil].

- <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/45150/1/BMAT-V110-2019-Ing.CIVIL - MORAN FERNANDEZ BRYAN ANDRES- SOLIS MENDOZA EDWIN ANTONIO.pdf>
- Ñaupas Paitán, H. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (Cuarta). <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0028.pdf>
- Nieto, N. E. (2018). Tipos de Investigación. *Universidad Santo Domingo de Guzmán, 1*(1), 1–4. <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>
- Otero Restrepo, L. M., & Restrepo Yepes, C. (1999). *Revisión crítica sobre el ensayo de C.B.R. como medida de la resistencia de subrasantes en corte*. Universidad EIA. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5396>
- Pacheco-Torgal, F., & Labrincha, J. A. (2013). Biotech cementitious materials: Some aspects of an innovative approach for concrete with enhanced durability. *Construction and Building Materials, 40*, 1136–1141. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.080>
- Ramos-Galarza, C. A. (2020). Alcances de una investigación. *CienciAmérica, 9*(3), 1–6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Reynaldo Herrera, J. W. (2021). *Estudio comparativo de un pavimento rígido aplicando los métodos AASHTO 93 y PCA, Comas, Lima – 2021* [Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/101654>
- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios, 82*, 175–195. <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Sanchez Carlessi, H., & Reyes Meza, C. (2015). *Metodología y diseños en la investigación científica*. Biblioteca Nacional del Peru.
- Silva-Balaguera, A., Leguizamón, O. D., & Valiente, L. L. (2018). Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): una revisión. *Ingeniería Solidaria, 14*(26). <https://doi.org/10.16925/in.v14i26.2417>
- Solano Cahuaya, L. D., Espinoza Nieto, L. F., Zapata Chávez, R. S., Zevillanos Begazo, F. J., & Mogollón Rivera, J. E. (2021). *ANÁLISIS COMPARATIVO*

DEL DISEÑO DE ESPESOR DE LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTOS RÍGIDOS SEGÚN LAS METODOLOGÍAS AASHTO 93 Y PCA 84 [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ].
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/20303/SOLANO_ESPINOZA_ZAPATA_ZEVILLANOS_MOGOLLON_ANALISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

The American Association Of State Highway And Transportation Officials. (2001).
AASHTO Guide for desing of pavement structures (The Association (ed.)).

Vargas Cordero, Z. R. (2009). LA INVESTIGACIÓN APLICADA: UNA FORMA DE CONOCER LAS REALIDADES CON EVIDENCIA CIENTÍFICA.
Revista Educación, 33(1), 155–165.
<https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

ANEXOS.

INDICE DE ANEXOS:

ANEXO A. Cálculos de espesores con tráfico bajo.

ANEXO B. Cálculos de espesores con tráfico medio.

ANEXO B. Cálculos de espesores con tráfico alto.

ANEXO A.

Metodología: AASHTO 93

Software utilizado: 3G DIS PAV v.14

Trafico tipo: BAJO

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASHTO 93	
Diseño:	Matrícula:
Localización:	Fecha:

1. TRANSITO DE DISEÑO

Número Ejes Equiv. (8.2 Ton.) = 3230518

2. CONFIABILIDAD

Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño-comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño.

Confiabilidad (R) (%) = 90
 Desv. Estándar (So) = 0.35
 Nivel de confianza (Zr) = -1.282

3. SERVICIABILIDAD

Se define como la capacidad del pavimento de desempeñarse adecuadamente ante todo tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala del 0 al 5, en donde 0 (cero) significa pavimento intransitable y 5.0 (cinco) significa pavimento en excelentes condiciones.

Serviciabilidad Inicial (Pi) = 4.5
 Servicios Final (Pf) = 2.5
 ΔPSI = 2.0

4. MÓDULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE (K)

Este factor establece cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci) o Megapascal por metro (Mpa/m).

K Subrasante = 27.60 Mpa/m = 99.84 pci
 K Combinado = 48.64 Mpa/m = 175.95 pci
 CBR Subrasante = 3.0 %
 Tipo de Apoyo = Sub-base
 Tipo de subbase = Sin Tratar

$K = 46 + 9.08 [\text{Log}(\text{CBR})]^4.34$ para CBR > 10%
 $K = 2.55 + 52.5 \text{Log}(\text{CBR})$, para CBR ≤ 10%

5. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Resist. a la Compresión (f'c) = 4500 psi = 31.026 Mpa

6. MÓDULO DE ROTURA (MR)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

$MR = Kt \sqrt{f'c}$

$Kt = 0.7$ (si el material de construcción es redondeado)
 $Kt = 0.8$ (si el material de construcción es triturado)

Material de Const. de la losa = Triturado
 Coeficiente del material - Kt = 0.8
 Módulo de rotura = 45.0 Kg/cm² = 640.05 psi

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASHTO 93

Diseño:
Localización:

Matrícula:
Fecha:

7. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (Ec)

El Módulo de Elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su Módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad. Se puede establecer con la siguiente fórmula:

$$E_c = 57000 \sqrt{f'_c}$$

Módulo Elástico del Concreto = 3823676 psi

8. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)

Este parámetro de diseño hace referencia a la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próxima a la saturación. Este porcentaje de tiempo se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona donde se construirá la estructura de pavimento y los 365 días del año.

TIEMPO REMOCIÓN AGUA	CALIDAD DE DRENAJE	<1%	1-5%	5-25%	>25%
2 HORAS	EXCELENTE	1.25	1.20	1.15	1.10
1 DÍA	BUENO	1.20	1.15	1.10	1.00
1 SEM.	ACEPT.	1.15	1.10	1.00	0.90
1 MES	POBRE	1.10	1.00	0.90	0.80
(NO DRENA)	MUY POBRE	1.00	0.90	0.80	0.70

Coefficiente de drenaje = 1.15

9. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)

Es un parámetro adimensional que tiene en cuenta la capacidad que una estructura de pavimento rígido pueda transferir o distribuir cargas en la zona más propensa a fallar (juntas). Este parámetro adicionalmente tiene en cuenta el efecto que genera sobre las juntas y sobre la transferencia de carga el confinamiento lateral de las losas.

Coef. Transferencia de Carga = 3.1

10. CALCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

El espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido se determina con la siguiente ecuación:

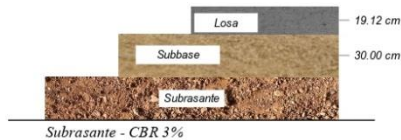
$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^{-4}}{(D+1)^{0.45}}} + (4.22 - 0.32 \times P_f) \times \log\left(\frac{MR \times Cd \times (D^{0.75} \times 1.132)}{215.63 \times J \times \left(\frac{18.42}{E_c}\right)^{0.25}}\right)$$

ESPESOR LOSA = 19.12 cm
ESPESOR SUB-BASE = 30.00 cm

11. ESQUEMA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO

Losa: Concreto Hidráulico - M.R 45 Kg/cm

Sub-Base: Mód. Elástico Mínimo 14500 psi



ANEXO A.

Metodología: PCA 84

Software utilizado: BS - PCA

Trafico tipo: BAJO

**DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA**

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 30 PCI (lb/pulg³)
Espesor Losa : 205 mm
Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
Bermas : SI
Pasadores : SI
Factor de Seguridad Cargas : 1.1
Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga Tn	Carga FS kN	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi	Consumo Erosion %
-------------	-------------------	---------------------------	-------------------------	------------------------	------------------------	-------------------------

EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente: 1.50 Factor Esfuerzo: 0.3556 Factor Erosion: 2.395
8.20 88.40 3250518 6228867 52.18 1231205413 0.26

EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente: 1.33 Factor Esfuerzo: 0.296 Factor Erosion: 2.547
22.00 237.16 0 41689 0.00 191095 0.00
26.40 284.59 0 2091 0.00 63574 0.00

EJES TRIDEM

Esfuerzo Equivalente: 1.1 Factor Esfuerzo: 0.2411 Factor Erosion: 2.7350

Total : -----
52.18 -----
0.26

ANEXO B.

Metodología: AASHTO 93

Software utilizado: 3G DIS PAV v.14

Trafico tipo: MEDIO

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASHTO 93	
Diseño:	Matrícula:
Localización:	Fecha:

1. TRANSITO DE DISEÑO

Número Ejes Equiv. (8.2 Ton.) = 13862593

2. CONFIABILIDAD

Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño-comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño.

Confiabilidad(R) (%) = 90
 Desv. Estándar (So) = 0.35
 Nivel de confianza(Zr) = -1.282

3. SERVICIABILIDAD

Se define como la capacidad del pavimento de desempeñarse adecuadamente ante todo tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala del 0 al 5, en donde 0 (cero) significa pavimento intransitable y 5.0 (cinco) significa pavimento en excelentes condiciones.

Serviciabilidad Inicial (Pi) = 4.5
 Serviciosabilidad Final (Pf) = 2.5
 Δ PSI = 2.0

4. MÓDULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE (K)

Este factor establece cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci) o Megapascal por metro (Mpa/m).

K Subrasante = 27.60 Mpa/m = 99.84 pci
 K Combinado = 48.64 Mpa/m = 175.95 pci
 CBR Subrasante = 3.0 %
 Tipo de Apoyo = Sub-base
 Tipo de subbase = Sin Tratar

$K = 46 + 9.08 [\text{Log}(\text{CBR})]^4 \cdot 34$ para CBR > 10%
 $K = 2.55 + 52.5 \text{Log}(\text{CBR})$, para CBR ≤ 10%

5. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Resist. a la Compresión (f'c) = 4500 psi = 31.026 Mpa

6. MÓDULO DE ROTURA (MR)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

$MR = Kt \sqrt{f'c}$

$Kt = 0.7$ (si el material de construcción es redondeado)
 $Kt = 0.8$ (si el material de construcción es triturado)

Material de Const. de la losa = Triturado
 Coeficiente del material - Kt = 0.8
 Módulo de rotura = 45.0 Kg/cm2 = 640.05 psi

ANEXO B.

Metodología: PCA 84

Software utilizado: BS - PCA

Trafico tipo: MEDIO

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 30 PCI (lb/pulg3)
Espesor Losa : 215 mm
Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
Bermas : SI
Pasadores : SI
Factor de Seguridad Cargas : 1.1
Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga Tn	Carga FS kN	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
EJES SIMPLES						
Esfuerzo Equivalente: 1.55 Factor Esfuerzo: 0.3456 Factor Erosion: 2.425						
8.20	88.40	13862593	Inf	0.00	Inf	0.00
EJES TANDEM						
Esfuerzo Equivalente: 1.4 Factor Esfuerzo: 0.3022 Factor Erosion: 2.5600						
22.00	237.16	0	99169	0.00	262428	0.00
26.40	284.59	0	5826	0.00	85176	0.00
EJES TRIDEM						
Esfuerzo Equivalente: 1.0 Factor Esfuerzo: 0.2267 Factor Erosion: 2.7000						

Total :				0.00	-----	0.00

ANEXO C.

Metodología: AASHTO 93

Software utilizado: 3G DIS PAV v.14

Trafico tipo: ALTO

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASHTO 93	
Diseño:	Matrícula:
Localización:	Fecha:

1. TRANSITO DE DISEÑO

Número Ejes Equiv. (8.2 Ton.) = 32698150

2. CONFIABILIDAD

Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño-comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño.

Confiabilidad (R) (%) = 90
 Desv. Estándar (So) = 0.35
 Nivel de confianza (Zr) = -1.282

3. SERVICIABILIDAD

Se define como la capacidad del pavimento de desempeñarse adecuadamente ante todo tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala del 0 al 5, en donde 0 (cero) significa pavimento intransitable y 5.0 (cinco) significa pavimento en excelentes condiciones.

Serviciabilidad Inicial (Pi) = 4.5
 Servicios Final (Pf) = 2.5
 ΔPSI = 2.0

4. MÓDULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE (K)

Este factor establece cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci) o Megapascal por metro (Mpa/m).

K Subrasante = 27.60 Mpa/m = 99.84 pci
 K Combinado = 48.64 Mpa/m = 175.95 pci
 CBR Subrasante = 3.0 %
 Tipo de Apoyo = Sub-base
 Tipo de subbase = Sin Tratar

$K = 46 + 9.08 [\text{Log}(\text{CBR})]^{4.34}$ para CBR > 10%
 $K = 2.55 + 52.5 \text{Log}(\text{CBR})$, para CBR ≤ 10%

5. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Resist. a la Compresión (f'c) = 4500 psi = 31.026 Mpa

6. MÓDULO DE ROTURA (MR)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

$MR = Kt \sqrt{f'c}$

$Kt = 0.7$ (si el material de construcción es redondeado)
 $Kt = 0.8$ (si el material de construcción es triturado)

Material de Const. de la losa = Triturado
 Coeficiente del material - Kt = 0.8
 Módulo de rotura = 45.0 Kg/cm² = 640.05 psi

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASHTO 93

Diseño:
Localización:

Matrícula:
Fecha:

7. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (Ec)

El Módulo de Elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su Módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad. Se puede establecer con la siguiente fórmula:

$$E_c = 57000 \sqrt{f'_c}$$

Módulo Elástico del Concreto = 3823676 psi

8. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)

Este parámetro de diseño hace referencia a la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próxima a la saturación. Este porcentaje de tiempo se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona donde se construirá la estructura de pavimento y los 365 días del año.

TIEMPO REMOCION AGUA	CALIDAD DE DRENAJE	<1%	1-5%	5-25%	>25%
2 HORAS	EXCELENTE	1.25	1.20	1.15	1.10
1 DÍA	BUENO	1.20	1.15	1.10	1.00
1 SEM.	ACEPT	1.15	1.10	1.00	0.90
1 MES	POBRE	1.10	1.00	0.90	0.80
(NO DRENA)	MUY POBRE	1.00	0.90	0.80	0.70

Coefficiente de drenaje = 1.15

9. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)

Es un parámetro adimensional que tiene en cuenta la capacidad que una estructura de pavimento rígido pueda transferir o distribuir cargas en la zona más propensa a fallar (juntas). Este parámetro adicionalmente tiene en cuenta el efecto que genera sobre las juntas y sobre la transferencia de carga el confinamiento lateral de las losas.

Coef. Transferencia de Carga = 3.1

10. CALCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

El espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido se determina con la siguiente ecuación:

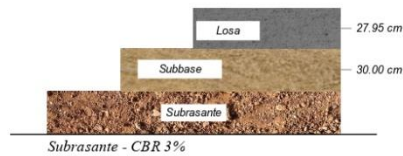
$$\text{Log}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \text{Log}(D+1) - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^{-7}}{(D+1)^{4.45}}} + (4.22 - 0.32 \times F) \times \text{Log}\left(\frac{MR \times Cd \times (D^{0.75} \times 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} \times \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

ESPESOR LOSA = 27.95 cm
ESPESOR SUB-BASE = 30.00 cm

11. ESQUEMA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO

Losa: Concreto Hidráulico - M.R 45 Kg/cm

Sub-Base: Mód. Elástico Mínimo 14500 psi



ANEXO C.

Metodología: PCA 84

Software utilizado: BS - PCA

Trafico tipo: ALTO

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 30 PCI (lb/pulg3)
 Espesor Losa : 220 mm
 Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
 Bermas : SI
 Pasadores : SI
 Factor de Seguridad Cargas : 1.1
 Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga Tn	Carga FS kN	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
EJES SIMPLES						
Esfuerzo Equivalente: 1.37 Factor Esfuerzo: 0.3044 Factor Erosion: 2.315						
8.20	88.40	32698650	Inf	0.00	Inf	0.00
EJES TANDEM						
Esfuerzo Equivalente: 1.3 Factor Esfuerzo: 0.2933 Factor Erosion: 2.5400						
22.00	237.16	0	149196	0.00	307150	0.00
26.40	284.59	0	9373	0.00	98297	0.00
EJES TRIDEM						
Esfuerzo Equivalente: 1.0 Factor Esfuerzo: 0.2200 Factor Erosion: 2.6800						

Total :				0.00	-----	0.00