



Universidad Científica del Perú - UCP
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA
CIVIL**

TESIS

**“EVALUACION DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN
ENTRE LOS PAVIMENTOS, FLEXIBLE Y SEMIRRÍGIDO, EN
EL JR. RAMÓN CASTILLA, C.P. NUEVE DE ABRIL, DISTRITO
DE TARAPOTO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN
MARTÍN”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M.Sc.

AUTORES:

PAIMA MOSQUEDA, Paul Erikc

BUENDIA CACHIQUE, Héctor

**TARAPOTO – PERÚ
2023**

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A los momentos de la vividos, por darme la sabiduría y para poder alcanzar mis objetivos, a mis Padres: Gabriel Paima Ramírez y Orfith Mosqueda Lopez y a Esposa Betsy Alava Ríos, que incansablemente me motivaron, apoyaron emocional y moralmente, a pesar de todas las peripecias que pase, en todo mi ámbito del estudio y laboral; que me enseñaron a no rendirme nunca. A mis hijos porque son mi motor y motivo en todo momento y a todas aquellas personas que de alguna manera coadyuvaron para lograr mis metas.

PAIMA MOSQUEDA, Paul Erikc

Dedico de todo valor mi tesis a mis padres Héctor Buendía Huachaca y Emérita Cachique Tuanama, que siempre me apoyaron sin restricción alguna en la parte moral y económica. A mis hermanos Alexander y Estéfani que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo, en los momentos malos y buenos. Por haberme dado fortaleza y valor para culminar esta etapa de mi existencia.

BUENDIA CACHIQUE, Héctor

AGRADECIMIENTO

Siempre Agradezco a Dios por ser mi guía, brindarme salud y vida, por darme la sabiduría para tomar las decisiones correctas en mi día a día.

A mis hijos Gean Paul, Bericka Gabriella y a Paolo Amir, por ser mis principales motivos para culminar esta maravillosa y digna carrera de Ingeniería Civil

Al ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. SC, Asesor de Tesis.

A la Facultad de ciencias e ingeniería y a mis docentes que con sus enseñanzas me dieron la oportunidad para poder desarrollarme como profesional y ejercerla con ética y moral ante la sociedad.

PAIMA MOSQUEDA, Paul Erikc

En primero agradecimiento a Papá Dios creador del Universo quien me dio la vida y agradecido por estar bien, pongo mi fe para seguir adelante, a mis padres por su tolerancia y incentivo constante además su apoyo absoluto a lo largo de mis estudios.

AL ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. Sc, asesor de tesis.

A mis profesores quienes me guiaron y instruyeron durante toda mi carrera profesional de la facultad de ingeniería civil.

BUENDIA CACHIQUE, Héctor

“Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo”
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

**FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA**

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 009-2023-UCP-FCEI del 13 de enero del 2023, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- Ing. Caleb Ríos Vargas, Dr. Presidente
- Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo, M. Sc. Miembro
- Ing. Alberto Alva Arévalo, Dr. Miembro

Como Asesor: **Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 19:00 horas del día martes 09 de mayo del 2023, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL JR. RAMÓN CASTILLA, C.P. NUEVE DE ABRIL, DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**.

Presentado por los sustentantes:

PAUL ERIK PAIMA MOSQUEDA y HÉCTOR BUENDÍA CACHIQUÉ

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**.

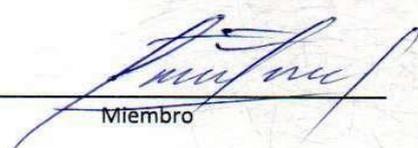
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORÍA CON LA NOTA DE QUINCE (15)**.

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



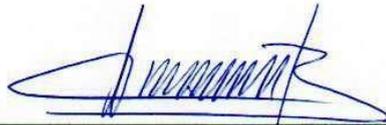
Miembro



Miembro

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día martes 09 de mayo del 2023, a las 07.00 p.m.



Ing. CALEB RÍOS VARGAS, Dr.
PRESIDENTE DEL JURADO



Ing. LUIS ARMANDO CUZCO TRIGOZO, M.Sc.
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. ALBERTO ALVA AREVALO, Dr.
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. ENRIQUE NAPOLEÓN MARTÍNEZ QUIROZ, M.Sc.
ASESOR

“Año de la Unidad, la paz y el desarrollo”

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD
CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP Hace constar que:

La Tesis titulada:

**“EVALUACION DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS,
FLEXIBLE Y SEMIRRÍGIDO, EN EL JR. RAMÓN CASTILLA, C.P. NUEVE DE ABRIL,
DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

De los alumnos: **PAUL ERIK MOSQUEDA Y HÉCTOR BUENDIA CACHIQUE**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **16% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 04 de Abril del 2023.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

CJRA/ri-a129-2023

Document Information

Analyzed document

UCP_INGENIERÍACIVIL_2023_TESIS_PAULPAIMAMOSQUEDA_HECTORBUENDIACA HIQUE_V1.pdf(D163167194)

Submitted 4/4/2023 8:02:00 PM
Submitted by Comisión Antiplagio
Submitter email revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Similarity 16%
Analysis address revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	<p>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2022_TESIS_HARODLDELAGUILA_DANIELMARIÑAS_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2022_TESIS_HARODLDELAGUILA_DANIELMARIÑAS_V1.pdf (D152513819)  24 Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com</p>
W	<p>URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1304/PAREDES%20CHILC%C3%93N%20KEIKO%20TAMAR...  3 Fetched: 11/5/2021 3:56:46 PM</p>
SA	<p>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2023_TESIS_ALINDELCASTILLO_WITLERAMASIFUEN_V1.doc Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2023_TESIS_ALINDELCASTILLO_WITLERAMASIFUEN_V1.doc (D161869450)  8 Submitted by: comsotecasc@gmail.com Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com</p>
W	<p>URL: https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/3100/T037_71427534_T.pdf?sequenc...  4 Fetched: 6/18/2022 5:12:45 PM</p>
W	<p>URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1039/MARTHA_WALTER_ING.CIVIL_TESIS_2020.pdf...  4 Fetched: 11/5/2021 3:57:11 PM</p>
SA	<p>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LÉBINISDIAZ_KENNYTEJADA_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LÉBINISDIAZ_KENNYTEJADA_V1.pdf (D117572588)  27 Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com</p>
SA	<p>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2022_TESIS_JIMYHERNANDEZ_DAMIANSAJAMÍ_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2022_TESIS_JIMYHERNANDEZ_DAMIANSAJAMÍ_V1.pdf (D124075023)  11 Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com</p>
W	<p>URL: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12088/VEGA_PERRIGO_DISE%C3%...  3 Fetched: 6/28/2021 4:52:04 PM</p>
W	<p>URL: https://docplayer.es/68670682-Manual-de-carreteras-suelos-geologia-geotecnia-y-pavimentos-secc...  1 Fetched: 10/18/2022 12:10:15 AM</p>

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
APROBACIÓN	iii
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	9
1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	9
1.1.1. Antecedentes Internacionales.....	9
1.1.2. Antecedentes Nacionales.....	12
1.1.3. Antecedentes Locales.....	16
1.2. BASES TEÓRICAS.....	19
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	51
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	51
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	51
2.2.1. Problema general.....	51
2.2.2. Problemas específicos.....	51
2.3. OBJETIVOS.....	52
2.3.1. Objetivo General.....	52
2.3.2. Objetivos específicos.....	52
2.4. HIPÓTESIS.....	52
2.5. VARIABLES.....	52
2.5.1. Variable Independiente.....	52
2.5.2. Variable Dependiente.....	53
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	53
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	53
3.1.1. Tipo de Investigación.....	53
3.1.2. Diseño de Investigación.....	54
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	54
3.2.1. Población.....	54
3.2.2. Muestra.....	54
3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	54
3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	54
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	55
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.1 CONCLUSIONES.....	104
5.2 RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas - Clasificación AASHTO.....	27
Ilustración 2: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS	28
Ilustración 3: Sección transversal del pavimento flexible.....	37
Ilustración 4: Estructura de un pavimento flexible.....	37
Ilustración 5: Gráfico para determinar Número Estructural requerido por capas asfálticas	43
Ilustración 6: Ciclo de vida de un pavimento.....	44
Ilustración 7: Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación	45
Ilustración 8: Diagrama de flujo del ciclo de vida deseable del pavimento	46
Ilustración 9: Sección de pavimento semirrígido con base estabilizada con concreto.....	48
Ilustración 10: Coeficiente estructural a1 en función del módulo elástico del concreto asfáltico.....	69
Ilustración 11: Coeficiente estructural a2 en función de diferentes parámetros de fuerza de la base	70
Ilustración 12: Coeficiente estructural a3 en función de diferentes parámetros de fuerza de la subbase	71
Ilustración 13: Nomograma para el cálculo del número estructural (SN) en pavimentos flexibles	74
Ilustración 14: Procedimiento de diseño de los espesores de las capas de un pavimento flexible.....	76
Ilustración 15: Sección transversal del pavimento flexible – AASHTO	80
Ilustración 16: catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular período de diseño 15 años	91
Ilustración 17: Sección Pavimento Semirrígido.....	92
Ilustración 18: Características de la vía con Pavimento Flexible	95
Ilustración 19: Presupuesto	97
Ilustración 20: Características de la vía con Pavimento Semirrígido	98
Ilustración 21: Presupuesto	99
Ilustración 22: Programación de Obra Pavimento Flexible	100
Ilustración 23: Programación de Obra Pavimento Semirrígido	101
Ilustración 24: Cuadro Comparativo Técnico – Económico	102
Ilustración 25: Comparación de Costos.....	102
Ilustración 26: Comparación de Plazos de Ejecución.....	103
Ilustración 27: Cuadro Comparativo Financiero.....	104
Ilustración 28: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Numero de ensayos CBR	26
Tabla 2: Calificación de la serviciabilidad de los pavimentos	40
Tabla 3: Condiciones Restrictivas en suelos insitu para aplicación de suelo cemento	50
Tabla 4: IMDA por tipo de vehículo.....	56
Tabla 5: Factores de carga equivalente (EALF) en pavimentos flexibles con índice de serviciabilidad (pt) de 3 y número estructural (SN) de 5	59
Tabla 6: Factores de carga equivalente (EALF) en pavimentos rígidos.....	60
Tabla 7: Pesos reglamentarios y factores de carga equivalente por tipo de vehículo en pavimentos flexibles.....	60
Tabla 8: $\sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_0$ para pavimento flexible	62
Tabla 9: Valores sugeridos de distribución de carril	63
Tabla 10: Porcentaje de vehículos en el carril de diseño	63
Tabla 11: Parámetros de diseño para pavimentos flexibles	64
Tabla 12: Parámetros de diseño para pavimentos semirrígido.....	64
Tabla 13: ESAL para cada tipo de pavimento.....	64
Tabla 14: Valores sugeridos de confiabilidad.....	66
Tabla 15: Valores de desviación estándar normal (ZR) para diferentes valores de confiabilidad.....	67
Tabla 16: Valores recomendados de coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles	72
Tabla 17: Espesores mínimos (pulgadas) de carpeta asfáltica y base	74
Tabla 18: Número estructural (SNi) asociado al módulo de resiliencia (Mr) de la base, subbase y subrasante.....	76
Tabla 19: Alternativas AASHTO de espesores del pavimento flexible (I).....	79
Tabla 20: Alternativas AASHTO de espesores del pavimento flexible (II).....	80
Tabla 21: Límites de diseño del módulo resiliente de la subrasante	83
Tabla 22: Alternativas de espesores de carpeta asfáltica y base	86
Tabla 23: SN asociado a las tres alternativas de diseño	87
Tabla 24: Espesores mínimos requeridos de carpeta asfáltica	87
Tabla 25: Alternativas IA de espesores de capa del pavimento flexible	88
Tabla 26: Sección transversal del pavimento flexible – IA.....	88
Tabla 27: Valores recomendados de Espesores Mínimos	90
Tabla 28: Categorías de Sub Rasante.....	93
Tabla 29: Espesores mínimos de adoquín de concreto y cama de arena	93
Tabla 30: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución	104

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de titulación es el análisis comparativo de pavimentos flexibles y semirrígidos Jirón Ramón Castilla C.P. utilizado como alternativa. Nueve de Abril, distrito de Tarapoto, en la provincia de San Martín y en la provincia, con base en el comportamiento de cada uno, partiendo de que estas dos alternativas son soluciones satisfactorias para el proyecto de pavimentación; por un lado, los factores económicos que componen cada alternativa. y ciclo de vida definido del programa.

Por otro lado, los factores funcionales pondrán a prueba durante la ejecución cuál de las dos superficies de la calzada es más adecuada. El presente estudio tiene como objetivo comparar el costo y tiempo empleado en proyectos de pavimento flexible y semirrígido para lograr un diseño óptimo en el pavimento jirón Ramón Castilla en el distrito de Tarapoto.

A partir del comportamiento de cada una de ellas, sobre la base de que ambas alternativas son soluciones satisfactorias para el diseño de pavimentos, el análisis se enfoca en dos factores principales; por un lado, los factores económicos relevantes para cada alternativa El valor inicial de los esquemas y la protección y renovación de estos esquemas durante un determinado período de operación. Por otro lado, se revelan factores funcionales, con la ayuda de los cuales se puede comprobar cuál de los dos recubrimientos es más adecuado.

A partir de un estudio descriptivo, el proyecto plantea las características de los pavimentos flexibles y semirrígidos, así como su presupuesto de ejecución, vida útil y tiempo de ejecución, ventajas y desventajas.

Palabras claves: Pavimento Flexible y Pavimento Semirrígido.

ABSTRACT

The objective of this degree work is the comparative analysis of flexible and semi-rigid pavements Jirón Ramón Castilla C.P. used as an alternative. Nueve de Abril, district of Tarapoto, in the province of San Martín and in the province, based on the behavior of each one, assuming that these two alternatives are satisfactory solutions for the paving project; On the one hand, the economic factors that make up each alternative. and defined life cycle of the program.

On the other hand, the functional factors will test during the execution which of the two surfaces of the road is more suitable. The objective of this study is to compare the cost and time used in flexible and semi-rigid pavement projects to achieve an optimal design in the Ramón Castilla jirón pavement in the district of Tarapoto.

Based on the behavior of each of them, based on the fact that both alternatives are satisfactory solutions for the design of pavements, the analysis focuses on two main factors; On the one hand, the relevant economic factors for each alternative. The initial value of the schemes and the protection and renewal of these schemes during a certain period of operation. On the other hand, functional factors are revealed, with the help of which it can be checked which of the two coatings is more suitable.

From a descriptive study, the project outlines the characteristics of flexible and semi-rigid pavements, as well as their execution budget, useful life and execution time, advantages and disadvantages.

Keywords: Flexible Pavement and Semi-rigid Pavement.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Se realizó una búsqueda bibliográfica a nivel internacional, nacional y local utilizando Internet y se encontró material relevante relacionado con el tema de investigación, entre los que destacan los más importantes:

1.1.1. Antecedentes Internacionales

❖ Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos una Tesis, del autor: Bruno Milton Burgos Vásquez, titulada **“ELABORACIÓN DE EXPEDIENTE TÉCNICO PROYECTO: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA RUTA S/R: SANTA ELVIRA – EL ARENAL, EN LA COMUNA DE VALDIVIA, 2014”** de la Universidad Austral de Chile, que llegan a las siguientes conclusiones:

- La construcción de aceras, ya sean carreteras, autopistas, carreteras o caminos secundarios, es muy importante para la sociedad porque genera un estímulo económico tanto a nivel regional como nacional. Cabe señalar que a nivel regional, las aceras facilitan la conectividad como facilita grandes actividades comerciales, como las actividades forestales y agrícolas. Esta tesis explora el proceso de construcción de pavimentos flexibles y rígidos, el cual consta de varias fases, tales como: diseño, ejecución y mantenimiento; y sus diversos usos en base a los estándares vigentes y sus normas de diseño.
- El análisis y estudios posteriores realizados en esta etapa de trabajo sobre pavimentos rígidos y flexibles se enfocan en dos aspectos principales, el aspecto funcional, donde el diseño tiene grandes ventajas, y el aspecto económico, el costo inicial de cada alternativa y sus costos de mantenimiento durante la vida.

❖ Tenemos una Tesis, de los autores: Marlon Noel Ruiz Urrutia y Julio Cesar Rodríguez Peralta, titulada “**COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL USO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE EN NICARAGUA**”. Estudio de Caso: Tramo Unikwas - Mulukuku, 2016, de la Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua, que llegan a las siguientes conclusiones:

- En base a los resultados alcanzados y las metas establecidas, se pueden sacar las siguientes conclusiones:
- Usando el método AASHTO 1993 para diseñar pavimentos rígidos y flexibles, ilustrado en el estudio de caso en el Capítulo 8, se puede determinar que los pavimentos flexibles requieren un mayor espesor de subrasante debajo de la superficie rodante, pero tienen costos iniciales de construcción más bajos que los pavimentos rígidos. Recubrimientos Costos necesarios, aunque el espesor de la estructura es menor.
- Cuando se construyen superficies de carreteras rígidas, la base es suficiente y, si el material de soporte es de alta calidad, incluso se puede colocar directamente sobre la superficie de la carretera. La ventaja de los pavimentos rígidos frente a los flexibles es la capacidad de las losas para absorber y desviar las cargas del impacto del tráfico, mientras que los pavimentos flexibles las dividen en capas inferiores.
- Por otro lado, la ventaja de usar el método AASHTO 1993 en el diseño de estructuras de pavimento rígido es que es fácil obtener el espesor de placa requerido para soportar las cargas que ocurren a lo largo de la vida de la estructura y cuando se requiere un pavimento flexible. diseñado., use AASHTO-93 La ecuación resultante es la respuesta a las cargas inducidas por el tráfico que se distribuirán y acomodarán en las capas subyacentes.

- ❖ Fontalba (2015). En la tesis: **“DISEÑO DE UN PAVIMENTO ALTERNATIVO PARA LA AVENIDA CIRCUNVALACIÓN SECTOR GUACAMAYO 1° ETAPA”**, para optar el título de Ingeniero Civil en obras Civiles. Universidad Austral de Chile, facultad de ingeniería, “En este estudio el objetivo general es: en una primera etapa, crear aceras flexibles de acuerdo a las necesidades de tránsito de la Avenida Circunvalación en el distrito de Guacamaya. “El método se aplicará a nivel descriptivo y analizando primero el Estudio de la zona a intervenir, donde la calidad del suelo fue la mejor a lo largo de todo el recorrido, el estudio CBR arrojó la mejor valoración, superior a la CBR diseñada. Para lugares donde exista humedad del suelo tratado, antes de la preparación de la base de la calzada y el inicio de la pavimentación posterior. “El tráfico de vehículos es claramente una industria en la que hay una gran cantidad de vehículos pesados de varias plantas forestales de la zona. Estos vehículos son actualmente la principal causa del deterioro de las carreteras, por lo que evaluamos y consideramos un diseño que cumpla con algunas de las características de calidad de la superficie de la carretera. El diseño en sí tiene varias capas de diferentes propiedades que nos brindan una seguridad óptima en un diseño que puede soportar un tráfico pesado durante su vida útil”.

- ❖ Salamanca y Zuluaga (2014). En la tesis: **“DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MEDIO DE LOS MÉTODOS INVIAS, AASHTO 93 E INSTITUTO DEL ASFALTO PARA LA VÍA LA YE SANTA LUCIA BARRANCA LEBRIJA ENTRE LOS ABSCISAS K19+250 A K25+750 UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR”**, para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia, facultad de ingeniería, escuela profesional de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia. “En este estudio los objetivos generales son: Desarrollo del método AASHTO 93 para densidad vehicular de volumen medio y alto con el método INVIAS, y fue desarrollado por el Instituto del Asfalto en el Distrito de Santa Lucía y Carretera La Ye, la abscisa está entre K19. 250 y 25.750 en la provincia de César”. “Usando el enfoque aplicado, el nivel descriptivo permite concluir que la capacidad portante de la profundidad del suelo en base a la estructura de

cobertura CBR es menor al 3% en dos casos, con alto índice de expansión y secciones de borde 1, 3 y 5, a mayor que En una alta densidad del 6%, el CBR promedio es del 95%, correspondiente a las diferentes zonas 2 y 4. Para la estructura del pavimento, se determinan por cada método de evaluación basado en el diseño del pavimento es de 10 años, o se puede acumular el equivalente a 8,2 toneladas de eje pesado en cantidades similares al diseño adoptado”.

- ❖ Tenemos una Tesis, de los autores: Dra. Ing. Diana Movilla Quesada y Dr. Ing. Aitor Raposeiras Ramos **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA RUTA S/R: SANTA ELVIRA – EL ARENAL, EN LA COMUNA DE VALDIVIA. VALDIVIA - CHILE 2017** Como conclusión final, En base a las investigaciones y análisis realizados, así como a los resultados obtenidos, se puede precisar que para el tramo que conecta Santa Elvira y El Arenal en Valdivia, Región de Los Ríos, se optará por un pavimento flexible, el cual es más económico en términos de inversión inicial y cumple satisfactoriamente las condiciones de diseño que los pavimentos duros, que son más baratos de mantener pero mucho más caros que los pavimentos flexibles.

1.1.2. Antecedentes Nacionales

- ❖ López (2017). En su tesis **“DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LAS CALLES DEL AA. HH NUEVO INDOAMÉRICA, DEL DISTRITO DE LA ESPERANZA – TRUJILLO – LA LIBERTAD”**. “El objetivo principal de este proyecto de investigación fue desarrollar un diseño de pavimento flexible basado en métodos tradicionales, haciendo que el diseño fuera consistente con las realidades de los nuevos asentamientos humanos indio-americanos. Esta investigación culminó en un diseño de pavimento basado en AASTHO en 1993. Tipos de pavimento Se seleccionó Pavimento, base de 62" de espesor, base de 6" de espesor, pista de 2" de espesor, la última es de asfalto caliente. "El estudio también obtuvo datos sobre el crecimiento del tráfico para realizar un estudio completo y realista de sus opciones de diseño. Por lo tanto,

este contexto proporciona datos sobre el diseño de pavimentos flexibles que son tanto económicos como prácticos en el sitio de estudio”.

- ❖ También, tenemos una Tesis, de los autores: Walter David Ramírez Rojas y Roger Zavaleta Alvarado, titulada **“ELABORACIÓN DE EXPEDIENTE TÉCNICO PROYECTO: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO, SEMIRRÍGIDO CON ADOQUINES DE CONCRETO Y FLEXIBLE PARA LAS CALLES DEL SECTOR VI C- EL MILAGRO – TRUJILLO - LA LIBERTAD, 2017”**, de la Universidad Privada Antenor Orrego, que llegan a las siguientes conclusiones:
 - Se concluyó que el pavimento flexible es el pavimento más adecuado para el área de investigación por cuestiones económicas, por lo que el tipo de pavimento a utilizar dependerá de la decisión de las instituciones correspondientes.
 - Durante el estudio de tráfico, se concluyó que la mayoría del flujo de tráfico eran principalmente mototaxis, automóviles y autobuses, por lo que las repeticiones de ejes relevantes se crearon alrededor de 3 millones de veces.
 - Durante el estudio mecánico del suelo se obtuvo $CBR = 49.70$ y se concluyó que el suelo tiene una buena capacidad portante, por lo tanto, el pavimento flexible no necesitará sustrato granular en su diseño.
 - El estudio del sitio confirmó que el terreno es plano, la pendiente vertical es menor al 3%, la necesidad de labranza es mínima y no hay dificultades con el diseño.
- ❖ Gómez (2014). En su tesis **“DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL ANILLO VIAL DEL ÓVALO GRAU – TRUJILLO – LA LIBERTAD”**. El objetivo principal es determinar la estructura del pavimento flexible del circuito Ovalo Grau - Trujillo - La Libertad. “Con base en el sitio de estudio y de acuerdo al método AASTHO-93, se concluyó el estudio tomando en cuenta los parámetros físicos y mecánicos, el nivel de servicio y la

confiabilidad del área de estudio; se planteó un diseño de pavimento flexible con un espesor de 10 cm. capa propuesta, el espesor de la capa base es de 15 cm y el espesor de la subcapa es de 15 cm". "Así, el requisito previo proporciona datos básicos para el diseño de pavimentos, criterios y métodos básicos para tener en cuenta varios parámetros físico-mecánicos en el área de estudio"

- ❖ Además, tenemos una Tesis, del autor: Esteban Javier Abel, titulada "Elaboración de expediente técnico proyecto: **“REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS CON LA APLICACIÓN DE CAPAS DE CONCRETO “WHITETOPPING” – CALLE MOQUEGUA, OMATE-MOQUEGUA, 2017**”, de la Universidad Cesar Vallejo, que llegan a las siguientes conclusiones:
 - Respecto al objetivo 1 “OE1: determinar la deformación vertical óptima que debe tener el pavimento asfáltico existente al aplicar una capa de concreto hidráulico tipo Whitetopping en la calle Moquegua, distrito de Omate - 2017”. Se encontró que el pavimento en dicho camino estaba en una condición de superposición de concreto debido a la evaluación de la viga Benkelman que mostró una relación de banquina de un cuarto, resultando en una lectura por debajo del límite máximo permisible.
 - Respecto al objetivo específico 2 “OE2: Determinación de la aplicación de capa de concreto hidráulico whitetopping para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los pavimentos asfálticos en la calle Moquegua, distrito de Omates – 2017” se logró determinar:
- ❖ También, tenemos una Tesis, del autor para el grado de magister: titulada: **“COMPARACIÓN TÉCNICOECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN FLEXIBLE Y RÍGIDA A NIVEL DE COSTO DE INVERSIÓN**”, Lima, junio del 2017, que llegan a las siguientes conclusiones:

- A medida que aumenta el tráfico y se degrada el suelo, ambos pavimentos se espesarán.
- Sin embargo, es interesante ver cómo AASHTO 93 limita el espesor de los pavimentos flexibles expuestos a una subrasante de bajo CBR. - Los pavimentos duros son menos sensibles a los valores de CBR, pero funcionan bien en condiciones de suelo estables. - En relación al análisis económico, determina una comparación relativa de costos de inversión (construcción inicial) entre alternativas equivalentes de pavimentos flexibles y rígidos, viéndose una diferencia de +/-20% entre ellos.
- En cuanto a la evaluación de los resultados, con base en el análisis realizado en los capítulos anteriores, la comparación de los pavimentos bituminosos y de hormigón lleva a la conclusión de que ambas opciones de pavimento dan buenos resultados, sin embargo, las lagunas en el conocimiento y la tecnología muestran las ventajas de los pavimentos rígidos. Los desafíos del futuro requieren capacitación a largo plazo y esfuerzos de generación de datos.
- Para condiciones de suelo con CBR 3% (pobre), los pavimentos de hormigón son más económicos.
- Los pavimentos de hormigón con un suelo CBR del 10% cuestan lo mismo que el asfalto.
- Para condiciones de suelo con CBR 25% (bueno), los pavimentos asfálticos son más económicos.
- En general, el costo de un pavimento equivalente diseñado de acuerdo con AASHTO 93 y construido utilizando métodos equivalentes variará en aprox. más o menos 20 por ciento dependiendo de las condiciones del suelo y del tráfico.

- ❖ Ramírez (2018). En su tesis **“PROPUESTA DE DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LAS CALLES 4, 5 Y 6 DEL ASENTAMIENTO HUMANO LAS LOMAS SECTOR I, DISTRITO DE HUANCHACO – TRUJILLO – LA LIBERTAD.”** “El objetivo general de esta inversión es desarrollar en 2018 un pavimento flexible para las Calles 4, 5 y 6 del Asentamiento Humano Calle I en la comuna de Huanchaco - Trujillo - La Libertad de Las Lomas. Levantamientos topográficos para conocer el perfil y la sección transversal del área de estudio. , estudios de suelo para comprender las propiedades mecánicas y físicas del sitio de estudio y estudios de tráfico para comprender el volumen de vehículos en el área y el diseño basado en la demanda y las perspectivas futuras; considerando todos estos factores, los investigadores con base en el método AASHTO-1993 concluyeron que el pavimento tenía 5 cm de espesor asfáltico, 15 cm de base y 25 cm de base”, parámetros para lograr diseños socialmente viables”.

1.1.3. Antecedentes Locales

- ❖ Tenemos conocimiento de la Tesis de los autores: Paredes Chilcón, Keiko Tamara y Saldaña Alva, Michael, titulada: **“Evaluación Del Tiempo Y Costo En El Proceso Constructivo, Entre Los Pavimentos: Flexible Y Semirrígido En Vías Urbanas, Del Distrito De La Banda De Shilcayo, Provincia Y Departamento De San Martín”**, de la Universidad Científica del Perú - 2021, presenta las siguientes conclusiones:
 - La construcción de aceras, ya sean vías importantes para la comunidad, carreteras o caminos secundarios, puede contribuir al desarrollo económico. Este artículo explora el proceso de construcción de pavimentos flexibles y semirrígidos, incluidas las múltiples fases de diseño, construcción y mantenimiento, y sus diversos usos de acuerdo con las normas y códigos aplicables. edificio.

- El análisis de los pavimentos flexibles y semirrígidos en este trabajo de investigación y en futuros estudios se enfoca en dos aspectos principales, el aspecto funcional, donde el diseño tiene grandes ventajas, y el aspecto económico, donde el costo inicial y el costo de mantenimiento durante el mismo . vida util. Infraestructura vial de la ciudad para el mejoramiento de las principales calles AA.VV. Dos de Febrero de La Banda de Shilcayo, en la zona de La Banda de Shilcayo - San Martín - San Martín - Etapa nos ofrece mejorar la cimentación en un espesor de 400 mm para asegurar la estabilidad y la estructura del suelo natural, 200 mm El espesor mínimo de la cimentación especificado en el Manual de Carreteras del Subfondo es de 150 mm. Este tipo de superficie de la carretera se caracteriza por una muy buena capacidad de distribución de cargas, ya que la capa asfáltica proporciona la capacidad de soportar las cargas verticales del vehículo. Por otro lado, el firme semiduro nos aporta una mejora del terreno natural de 300 mm para estabilizar el terreno y de 250 mm para la cimentación para cumplir las funciones de impermeabilización y transferencia de cargas especificadas para la colocación de adoquines. Se ha comprobado que ambas variantes cumplen con todos los requisitos para un buen desempeño a lo largo de su vida útil, dado que el desempeño de ambas requiere un estricto control de calidad para garantizar la durabilidad y el buen desempeño.
- El análisis comparativo de costo tiempo de ejecución brinda un óptimo proyecto de mejoramiento de la infraestructura vial de la ciudad en las principales calles de AA.VV. Dos de Febrero de La Banda de Shilcayo, Distrito de La Banda de Shilcayo, San Martín - San Martín - Fase I, es un pavimento semiduro que cuesta 16.82% menos en comparación con el pavimento flexible, dependiendo del tiempo de entrega del pavimento flexible. relación de velocidad de trabajo El pavimento semirrígido es un 13,33 % más rápido, ya que el pavimento flexible tarda 65 días naturales y el pavimento semirrígido tarda 75 días naturales.

- ❖ Tenemos conocimiento de la Tesis de los autores: Fernando Paredes Vela y Jorge Jersson Delgado Mego, titulada: “**Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del centro del Distrito de Tarapoto**”, de la Universidad Nacional de San Martín - 2019, presenta las siguientes conclusiones:

Concluimos que el pavimento flexible es el más económico de acuerdo al presupuesto elaborado por los tesisistas, por lo tanto tiene la mayor probabilidad de recibir propuestas de proyectos de pavimentación vial urbana y es un intento de hacer más en menos tiempo. por falta de recursos públicos.

También concluimos que el tiempo de ejecución del proyecto de contrato de pavimento flexible es menor, teniendo en cuenta las características de los materiales utilizados y el procedimiento de construcción, a diferencia del concreto rígido, necesitamos más tiempo de ejecución, lo cual se puede observar en la descripción detallada de el diagrama de Gantt Para . Estudiante de maestría También se puede concluir que de acuerdo al ciclo de diseño, la superficie dura es la que más dura, lo cual se puede evaluar visualmente en la ciudad de Tarapoto, debido a que nuestras veredas alrededor de la Plaza de Armas tienen un uso de alrededor de 50 años y aún están sirviendo.

También podemos concluir que un pavimento rígido es el que tiene menores costes de mantenimiento durante su vida útil. El estudio mecánico del suelo arrojó CBR = 12,00%, por lo que se concluyó que la capacidad portante del suelo varió de buena a mala, por lo que fue necesario mejorar la cimentación.

De acuerdo con la norma de pavimento urbano E-010, el terreno en el área de estudio es plano y nivelado, lo que constituye la ventaja del diseño geométrico de la vía. Finalmente concluimos que los valores de los

espesores de las diferentes capas obtenidos en el diseño tanto para pavimentos rígidos como flexibles se corresponden con los parámetros que tratamos en el área de proyecto.

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. Definición de Pavimento

Un pavimento es "un elemento estructural multicapa soportado en toda su superficie y diseñado y construido para soportar cargas estáticas y/o dinámicas durante un período de tiempo, durante el cual debe someterse a ciertos tratamientos para prolongar su vida útil. .el pavimento puede definirse como un conjunto de capas, cuya función principal es proporcionar una superficie de rodadura uniforme con un color y textura adecuados, resistir los efectos del tráfico, el clima y otros elementos destructivos, y transferir las cargas causadas por la ruta terrestre y el esfuerzo del transporte.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura vial que permite el tránsito vehicular con el confort, seguridad y economía que ofrece el proyecto. Los materiales utilizados para crear la pista ofrecen varias opciones y, por lo tanto, la estructura puede constar de varias capas.

Las capas pueden ser de materiales seleccionados con diferentes tratamientos, sus superficies de rodadura pueden ser capas asfálticas, losas de hormigón hidráulico o pilotes de roca compactada. Las tecnologías actuales ofrecen una gran selección de diferentes detalles de construcción, que depende en gran medida de las condiciones y requisitos del proyecto, para poder elegir la solución de diseño adecuada.

El concepto de pavimentación puede interpretarse como una actividad que asegura la provisión de superficies adecuadas para el tránsito de vehículos y personas en los espacios (zonas) de circulación de los fraccionamientos (calles y corredores). De hecho, la pavimentación es sólo una parte del proyecto que, como toda obra vial, incluye otras especialidades adicionales que deben ser objeto de investigación, diseño y ejecución, entre las que destacan: la geometría

(alineación geométrica y sección). , obras de infraestructura o cimentación, superestructura (el propio pavimento), obras de drenaje y saneamiento, elementos de control, seguridad, alumbrado y señalización, obras de construcción y protección y finalmente las obras especiales y pavimento, que es una vía estructural construida sobre el subsuelo para soportar y disipar las fuerzas generadas por los vehículos, mejorando las condiciones de seguridad y confort en la circulación vial. Por lo general, consta de las siguientes capas: una capa inferior, una capa base y una capa superficial.

El pavimento es la base de una estructura colocada sobre la superficie del suelo o relieve natural (superficie de la carretera).

El propósito principal del pavimento es ser un medio para transferir las fuerzas y cargas del tráfico y ambientales al subsuelo, de modo que su capacidad de carga no se exceda durante un cierto período de diseño.

Las funciones de un pavimento son las siguientes:

- a) Poseer el suficiente espesor y capacidad estructural para soportar las cargas debidas al tráfico.
- b) Prevenir el acceso o la acumulación interna de humedad.
- c) Proporcionar una superficie de ruedo que sea resistente a agentes ambientales como: deterioro, desgaste, abrasión, humedad, erosión, etc.
- d) Proveer una superficie de ruedo que sea durable, económica, cómoda, segura y confortable.

1.2.2. Exploración de Suelos

Un estudio de suelos y rocas primero requiere mapear la topografía y, por lo tanto, requiere un plan de exploración y trabajo de campo para determinar los diferentes tipos de suelo que pueden estar presentes.

Un estudio del sitio identificará cortes naturales y/o hechos por el hombre, identificará capas clave de suelo, identificará áreas donde los suelos tienen

propiedades similares e identificará áreas peligrosas o inadecuadas para la ubicación de caminos.

De pozos de prueba o pozos exploratorios, se deben tomar muestras de suelo representativas en cantidades suficientes de cada capa de material relevante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de muestra requerida depende de la prueba a realizar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, así como del equipo de prueba a utilizar.

Las muestras obtenidas de la forma descrita se someterán a ensayos de laboratorio y finalmente, una vez obtenidos los datos, pasarán a la fase de gabinete, se registrarán gráfica y por escrito los resultados obtenidos, y el perfil estratigráfico del suelo (eje y lados) se determinará hasta delimitar debidamente un espesor no menor a 1.50 m, siendo la capa superior la línea de terreno del diseño geométrico de la vía, mientras que la capa inferior es el suelo del terraplén y el espesor natural del suelo y tipo de relieve. , indicando sus características o características constructivas del pavimento y parámetros básicos.

Se utilizarán técnicas de levantamiento geofísico para determinar la naturaleza y propiedades del suelo y/o roca madre (de acuerdo con MTC E101) para obtener un perfil estratigráfico en el área donde ocurrirá un corte cerrado.

1.2.3. Elementos que Integran un Pavimento

1.2.3.1 Capas de pavimento

La estructura del pavimento es una combinación de diferentes capas, como la capa de asfalto, la capa de hormigón, la base granular, la base estabilizada y la base granular.

Cada capa toma las funciones de la capa superior y las distribuye a la capa inferior, y las capas se colocan de modo que la carga se distribuya de manera efectiva por todo el vehículo.

En general, la capa superior tiene una capacidad estructural mayor que la capa inferior porque la capa superior está sujeta a una carga mayor, mientras que la

capa inferior está sujeta a una carga menor debido a la distribución de tensiones de la capa superior.

1.2.3.1.1 Sub rasante

La base es el suelo natural in situ sobre el que descansa la estructura del pavimento. Debe estar libre de materia orgánica y vegetación. La función principal de la base es brindar espacio para la construcción del pavimento, además de soportar el pavimento sin deformación excesiva.

Aunque la subrasante no se considera parte del pavimento, su resistencia es importante para soportarlo, por lo que, si el suelo base tiene baja capacidad portante, es muy plástico o sensible a los cambios de volumen, alguna estabilización o mejora de las propiedades mecánicas de la subrasante debe determinarse sustituyéndolo por otro material en mejores condiciones.

Esta capa podrá ser cortada o rellenada y, una vez compactada, tendrá la sección y pendiente especificadas en el diseño final. El espesor del pavimento dependerá en gran medida de la calidad de la base, por lo que se deben cumplir los requisitos de resistencia a la compresión, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción en húmedo, por lo que el diseño del pavimento es básicamente para ajustar la carga de diseño de cada rueda. con la relación de capacidad portante del subsuelo.

1.2.3.1.2 Sub base

Una base es una capa que se coloca encima de la base y debajo de la base. Consiste en material granulado cuya calidad granulométrica es inferior a la del material base. Algunos pavimentos duros no requieren una base en la estructura.

Es la capa estructural del pavimento y se utiliza principalmente para soportar, transferir y distribuir uniformemente la carga sobre la superficie rodante del pavimento.

La calzada puede soportar los cambios inherentes a la absorción del suelo, que pueden afectar al subsuelo. Así, esta capa controlará los cambios de volumen y

flexibilidad que son perjudiciales para el recubrimiento. Además, actúa como una capa de drenaje que controla el ascenso capilar del agua y protege así la estructura del pavimento, por lo que se suelen utilizar materiales granulares.

En los revestimientos flexibles, la función de la base es puramente económica, por lo que el espesor se consigue utilizando el material más económico posible. Este espesor se puede construir utilizando materiales de alta calidad como base, pero normalmente el más delgado se reemplaza parcialmente por una sub-base de menor calidad, lo que resulta en un aumento del espesor total, cuanto menor es la calidad. el material utilizado, más fuerte el transferido Mayor el espesor requerido para la fuerza.

De las funciones antes mencionadas, las funciones constructivas y económicas son las más esperadas en la construcción de pavimentos, el resto depende de la situación y los materiales disponibles para la subcapa. En general, dos propiedades del material de subsuelo son: resistencia a la fricción y drenaje; cada uno tiene su propio sentido del significado, su propio significado preferido. Gracias a un buen sellado, la resistencia a la fricción contribuirá a la resistencia total de la superficie de la carretera y garantizará así un buen comportamiento en términos de deformabilidad.

Igualmente, importante es la necesidad de capacidad de drenaje ya que tiene la doble función de hacer frente a la infiltración de agua desde la superficie, así como la subida de agua por capilaridad. Estos materiales consistirán en material granular con las siguientes características mínimas: muestras saturadas con un valor de arriostamiento (CBR) del 30 % y compactadas al 100 % Proctor modificado u otro grado de compactación especificado por el diseñador; El índice de plasticidad (IP) no es superior a 9, el límite líquido (LL) no es superior a 40.

El material base debe compactarse ligeramente a una densidad máxima especificada. Si contienen grava o piedras, no deben tener más de 2/3 del espesor de la base. Si es difícil compactar la base por falta de finos, se pueden utilizar dos alternativas: agregar finos o, si es costoso en valor y/o mano de obra, buscar otros suministros de material que cumplan con las especificaciones.

Cuando hay múltiples alternativas de banco disponibles, se selecciona el banco con el porcentaje más bajo de material que pasa la malla 200, el CBR más alto y el índice de plasticidad (IP) más bajo, sujeto a restricciones razonables de transporte y/o calidad.

1.2.3.1.3 Base

La base es la capa de cobertura entre la capa base y la capa de pista. La subrasante proporciona gran parte de la capacidad estructural del pavimento y tiene las mismas funciones secundarias que la base.

La capa inferior consiste en materiales granulares caracterizados por agregados duros y duraderos, como piedra triturada, grava, piedra triturada, etc. Además, si la capacidad de los cimientos granulares es insuficiente o la construcción resulta en una base o lámina de espesor muy grande, puede ser necesario estabilizar los cimientos con asfalto, cemento, cal, emulsiones, aditivos o una combinación de estos. Su función principal es proporcionar un elemento de resistencia que transmita las fuerzas generadas por el tráfico a la plataforma y al subsuelo con suficiente fuerza.

También reduce el grosor de las carpetas más caras. Muchas veces la base también debe servir como base en lo que se refiere a la función de doble drenaje mencionada anteriormente. Básicamente, el material que forma la base del pavimento flexible debe ser portante y poroso. Lo primero garantizará una resistencia adecuada y una resistencia continua ante posibles cambios de condiciones como el contenido de agua.

Lógicamente, para garantizar la resistencia necesaria no sólo es suficiente el material de fricción, sino también la suficiente compactación, necesaria para conseguir la compacidad y el bloqueo estructural necesarios para una buena cimentación. Los materiales utilizados para las cimentaciones suelen ser sometidos a rigurosos procesos para su confirmación, como el triturado, lo que tiene un efecto beneficioso sobre la resistencia y capacidad de deformación de la estructura a construir, ya que las partículas se obtienen en forma adecuada

para un reacomodo suficiente; Además, existen otras especificaciones a rellenar, por lo que es necesario comprobar los materiales antes mencionados.

En resumen, la superficie debe proporcionar una superficie de rodadura adecuada, tener una textura y color adecuados y resistir los efectos abrasivos del tráfico. Vale la pena mencionar que esta capa debe evitar en lo posible que el agua ingrese al revestimiento.

1.2.3.1.4 Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento construida con hormigón hidráulico, por lo que, debido a su alta rigidez y módulo de elasticidad, su capacidad portante se basa en la capacidad portante de la losa y no de la base, ya que no se utiliza capa de base.

En general, se puede comprobar que el hormigón hidráulico distribuye mejor las cargas sobre la estructura del pavimento.

El clip de la rueda es la superficie superior que se encuentra con las cargas de tráfico. Es la capa de mayor capacidad portante de la estructura del pavimento.

Las funciones de los tapetes incluyen: resistir las cargas y deformaciones del tráfico, resistir la intemperie, el desgaste y el envejecimiento, proporcionar una superficie lo suficientemente lisa para facilitar la maniobrabilidad del vehículo y lo suficientemente rugosa para evitar resbalones, y actuar como un agente impermeabilizante para proteger las otras capas del revestimiento. de la humedad superficial.

Los bordillos deben construirse con una ligera pendiente lateral (bombeo) para drenar el agua superficial y evitar su acumulación. Hay dos tipos de ligantes: los que están hechos de una mezcla asfáltica y los que están hechos de concreto y acero. En consecuencia, los requisitos para los materiales también son muy estrictos. Es una capa colocada encima de la base.

Su función principal es proteger la estructura del pavimento, impermeabilizar la superficie y evitar que el agua de lluvia penetre por la capa inferior.

Evita que la planta baja se rompa por el tráfico de vehículos. La capa de desgaste también ayuda a aumentar la capacidad portante del pavimento, ya que absorbe cargas si su espesor es apreciable (superior a 4 cm).

1.2.3.1.5 Registro de Excavación

Se tomarán muestras representativas de las formaciones encontradas en cada pozo de prueba, descritas e identificadas con un mapa que muestre la ubicación del pozo de prueba (con coordenadas UTM-WGS84), número de muestra y profundidad, y se colocarán en una bolsa plástica. Polietileno transportado al laboratorio. Asimismo, durante la investigación de campo se realizará un inventario, en el cual se registrará el espesor de cada capa del subsuelo, sus características de granulación y el estado de compactación de cada material.

Tabla 1: Numero de ensayos CBR

Tipo de Carretera	N° M _R y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 1 M_R cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 1 M_R cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 1 M_R cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 1 M_R cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 1 M_R cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 1 M_R cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 M_R cada 3 km y 1 CBR cada 1 km
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> • Cada 1.5 km se realizará un CBR • (*)
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> • Cada 2 km se realizará un CBR • (*)
Carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> • Cada 3 km se realizará un CBR

Fuente: Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, pág. 28.

1.2.3.1.6 Descripción de los suelos

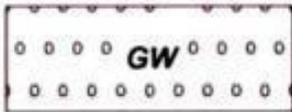
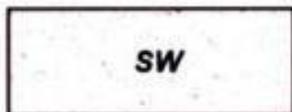
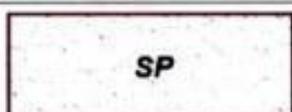
El suelo encontrado será descrito y clasificado de acuerdo al método de construcción de caminos, la clasificación será realizada por AASHTO y SUCS, se utilizará marcaje convencional:

Ilustración 1: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas - Clasificación AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Fuente: Simbología AASHTO

Ilustración 2: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variacion en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa.
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo organico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo organico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcillaarenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variacion en tamaños granulares y cantidades de particulas en tamaños intermedios		Limo organico y arcilla limosa organica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de particulas intermedios		Limo inorganico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico

Fuente: Fuente: Manual de Ensayos y Materiales –Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos

1.2.3.1.7 Condiciones para el adecuado funcionamiento del pavimento

Las condiciones necesarias para un correcto funcionamiento son las siguientes: anchura, líneas horizontales y verticales, suficiente resistencia a la carga para evitar daños y grietas, y suficiente adherencia entre el vehículo y la superficie de la carretera incluso en condiciones de humedad.

Es importante señalar que los aspectos más importantes de la construcción de pavimentos son los relacionados con la resistencia de las capas, la cual debe ser suficiente para reducir los efectos nocivos del tráfico, el clima y el agua.

Dado que las tensiones en el pavimento disminuyen con la profundidad, los materiales con mayor capacidad portante deben colocarse en las capas superiores y aquellos con menor capacidad portante en las capas inferiores. también se encuentran en la naturaleza, por lo que es el más económico.

La resistencia de las diferentes capas depende no solo del material que la conforma, sino que también influye mucho el procedimiento de construcción; la compresión y la humedad son dos factores importantes porque si el material no se contiene adecuadamente, se consolidará por efecto de la carga. En este caso, se produce una deformación permanente.

1.2.4. Tipos de Pavimento

Los diferentes tipos de pavimentos de concreto se pueden enumerar en orden de costo inicial de menor a mayor de la siguiente manera:

Generalmente hay tres tipos de pavimentos:

- a. Pavimento flexible.
- b. Pavimento rígido.
- c. Pavimento semirrígido.

Para el caso de nuestro tema de tesis se verán los pavimentos flexibles y semirrígidos.

1.2.3.1 Pavimento Flexible

Los pavimentos flexibles se caracterizan por una capa rodante de hormigón asfáltico, también llamada mezcla asfáltica en caliente, producida por plantas de asfalto. Además, consta de una base de partículas y una subbase de partículas. En el revestimiento flexible, las capas se colocan de modo que las capas superiores sean más rígidas que las inferiores.

El pavimento resiliente es uno de los pavimentos más utilizados cuando la demanda de tráfico por carretera es baja.

Algunas superficies de carreteras asfaltadas también pueden clasificarse como pavimentos flexibles.

Las ventajas de usar este tipo de piso incluyen:

- Recomendado para vehículos con carga ligera.

- Es la cobertura más económica de las tres.
- se adapta fácilmente a la capa de recubrimiento.
- Permite que las superficies de rodadura se vuelvan completamente impermeables.
- La falla por fatiga ocurre en la plegadora de anillos, por lo que la plegadora puede intervenir fácilmente.
- No es necesario diseñar armaduras ni cuñas.

Las desventajas de los pavimentos flexibles son las siguientes:

- No recomendado para cargas de vehículos pesados.
- Es una superficie de carretera menos duradera.
- Se requiere más mantenimiento o intervención.
- Es un revestimiento de menor capacidad estructural que el revestimiento rígido.

El pavimento resiliente, también conocido como pavimento asfáltico, es una estructura que consta de varias capas, como la superficie de la carretera, la base, la capa base y la capa intermedia asfáltica; cada uno de ellos tiene una función específica y juntos cumplen los siguientes propósitos:

- a) Resistir y distribuir las cargas de tránsito. El pavimento flexible debe diseñarse de forma que las cargas de tráfico no provoquen deformaciones en su estructura, siendo de gran importancia su espesor.
- b) Tener la impermeabilidad necesaria. Este pavimento debe ser lo suficientemente impermeable para impedir la infiltración que puede darse por parte del agua, afectando la capacidad soporte del suelo. De esto se concluye que es de mucha importancia la existencia de un drenaje adecuado.

- c) Atender el comportamiento destructivo del vehículo. Los pavimentos deben ser resistentes al desgaste y al desprendimiento de partículas por el paso de vehículos.
- d) Resistencia a los elementos atmosféricos. Los factores atmosféricos que afectan constantemente al pavimento provocan meteorización y cambios en los materiales que componen el pavimento, reflejando este problema en su economía y vida útil.
- e) Hay suficiente superficie de rodadura para garantizar un tránsito vehicular suave y cómodo. La superficie del pavimento debe proporcionar un aspecto agradable, seguro y agradable para un óptimo deslizamiento del vehículo. Esta superficie, que debe ser lisa, también debe ser antideslizante cuando está mojada.
- f) Adaptación flexible a ciertos errores en bases o subbases. La flexibilidad del recubrimiento es muy importante para el fortalecimiento de cualquier capa y, por lo tanto, puede hacer frente a pequeños errores sin reparaciones costosas.

1.2.3.1.1 Función del pavimento flexible

El firme de la carretera debe presentar un buen firme y dureza, tener la rugosidad necesaria para asegurar un buen rozamiento con los neumáticos del vehículo y tener un color adecuado para evitar deslumbramientos y reflejos. Además, debe tener una resistencia y propiedades mecánicas adecuadas para sujetar la carga durante el transporte sin causar daños o deformaciones permanentes.

Por pavimentos flexibles se entiende los pavimentos formados por capas bituminosas o capas intermedias, es decir, Los pavimentos flexibles usan una mezcla de agregados gruesos o finos (triturado, grava y arena) con material bituminoso derivado de Este híbrido es compacto, pero lo suficientemente plástico para absorber impactos fuertes y soportar tráfico pesado.

La construcción del revestimiento flexible se realiza sobre la base de materiales multicapa. Cada capa recibe cargas por encima de esa capa. Cuando excede la carga que puede soportar, transfiere la carga restante a la capa inferior. De esta forma, el objetivo es poder soportar la carga total en el conjunto de capas. Las capas de revestimiento flexible que componen el suelo están dispuestas en orden descendente de capacidad portante.

El nivel superior es el nivel que tiene la mayor capacidad de carga de todos los pisos disponibles. Por lo tanto, la capa que mejor puede soportar la carga es la inferior. La durabilidad del revestimiento flexible no debe ser inferior a 8 años y la vida útil general es de 20 años.

1.2.3.1.2 Calidad del Pavimento Flexible

Debe cumplir los siguientes requisitos:

- **Función Económica:** El sustrato, generalmente en forma granular, es la capa de cobertura menos costosa porque la cantera está cerca del proyecto y requiere menos procesamiento. Por lo tanto, la descripción lleva a concluir que es un nivel de costo menor, ya que sus requerimientos no son muy altos.
- **Función de Transición:** La capa base actúa como una bisagra entre la capa superior de buena calidad y la capa base de mala calidad.
- **Función Antideformacional:** Si la subrasante está diseñada correctamente, la subrasante puede actuar como amortiguador contra posibles cambios en el volumen de la subrasante; por ejemplo, cuando el suelo se hincha o es susceptible a las heladas, la subrasante absorbe deformaciones y pierde muchos poros.
- **Función de Resistencia:** El sustrato debe poder soportar, eliminar o transferir tensiones de la capa superior.

- **Función de Drenaje:** El sustrato debe permitir que el agua subterránea fluya y se filtre por encima, sin embargo, la presión hidrostática en el material de drenaje puede crear presión intersticial si el agua se retiene durante largos períodos de tiempo.

1.2.3.1.3 Duración de un Pavimento Flexible

Para pavimentos flexibles, la estrategia de diseño elegida tiene una duración mínima inicial de 8 años antes de que se pueda aplicar otra capa. En general, la duración óptima debe diseñarse para 20 años. Cuanto mayor sea el módulo añadido a la capacidad de diseño de la capa de pavimento. distribución de la carga sobre el subsuelo más amplio o el suelo portador.

1.2.3.1.4 Asfaltos Utilizados en la Pavimentación

El asfalto se usa comúnmente para pavimentar caminos. Dado que este proyecto se trata de pavimentación, a continuación se muestran los tipos de asfalto que se usan para pavimentar:

- a) Cementos Asfálticos
- b) Emulsiones Asfálticas:
 - Emulsiones asfálticas aniónicas
 - Emulsiones asfálticas catiónicas
- c) Asfaltos Cortados
 - Asfaltos cortados de curado lento (SC)
 - Asfaltos cortados de curado medio (MC)
 - Asfaltos cortados de curado rápido (RC)

a) Cementos Asfálticos

Los cementos asfálticos se indican con las letras CA y están hechos de una combinación de asfalto refinado de consistencia adecuada.

Es un material especialmente utilizado en trabajos de revestimiento debido a sus propiedades adhesivas e impermeables, pero también tiene propiedades de flexibilidad, fuerza y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y bases.

Es un material reológico termoplástico apto para recubrimientos donde la aplicación debe ser libre de agua y de propiedades uniformes. El cemento asfáltico es el componente básico de las emulsiones asfálticas, que en la mayoría de los casos constituye alrededor del 55% al 70% del asfalto emulsionado. La dureza del cemento asfáltico puede variar según sea necesario, y la mayoría de las emulsiones se formulan con una penetración de betún en el rango de 100 a 250.

A veces, las condiciones climáticas pueden dictar el uso de un cemento asfáltico más duro o resistente. suave. En ambos casos, la compatibilidad del emulsionante con el cemento asfáltico es fundamental para obtener una emulsión estable.

Una recomendación importante en cemento asfáltico es no calentar por encima de los 170°C, la temperatura ideal se logra utilizando la relación entre temperatura y viscosidad. Tampoco se deben utilizar con lluvias peligrosas, cuando la temperatura sea inferior a 10°C, y sobre superficies mojadas, y por último, se debe evitar el sobrecalentamiento y calentamiento local del producto.

b) Emulsiones Asfálticas

Una emulsión bituminosa es una dispersión de pequeñas partículas bituminosas en la fase acuosa. La emulsión contiene de 40% a 70% de betún y su tamaño de partícula oscila entre 0,5 y 30 micras.

El uso de betún emulsionado para pavimentación tiene ventajas sobre otros métodos de procesamiento del asfalto, como la capacidad de usarlo a temperatura ambiente, usar agregados húmedos y no liberar contaminantes ni humos tóxicos a la atmósfera.

1.2.3.1.5 Tipos de Asfalto Según su Utilización

El tipo de asfalto utilizado en el proyecto depende de varias características y condiciones, por ejemplo: clima predominante, tipo de superficie de la carretera a colocar, material pétreo e intensidad del tráfico. En este caso, hablaremos en profundidad de los dos tipos de cobertura más utilizados, que son:

- Riego de Imprimación.
- Riego de Liga

1.2.3.1.5.1 Riego de Imprimación para pavimentos flexibles

El Riego de Imprimación es una aplicación de riego de asfalto que contiene baja viscosidad a una base granular en preparación para la colocación de la mezcla asfáltica. Cuando se aplica una mezcla de agregados de asfalto a una superficie, primero se aplica una pequeña cantidad de material de asfalto líquido para unir las partículas de la superficie y promover la adhesión entre la capa de asfalto aplicada y la superficie de la subrasante.

Cuando este tratamiento se aplica a una superficie relativamente porosa y granular, como grava o piedra triturada, donde se desea una penetración significativa del material asfáltico, la aplicación se conoce como capa de imprimación. Considerando la profundidad de penetración requerida, se puede concluir que se utilizarán productos de curado más lento y menos viscosos.

En general, rara vez se utilizan imprimadores, especialmente cuando el espesor total de la capa de asfalto es de 100 mm (4 pulgadas) o más. Cuanto más grueso sea el asfalto, menos probable es que el agua se filtre en los cimientos y la superficie de la carretera se deslice.

1.2.3.1.5.2 Riego de Liga para Pavimentos Flexibles

Riego de Liga es un riego de betún emulsionado diluido ligero. Se utiliza para unir la superficie del pavimento existente y la capa asfáltica que se aplicará después de esta operación. Para mejorar la adherencia entre el pavimento asfáltico y la capa inferior, la emulsión se diluye añadiendo una cantidad adecuada de agua.

Para estar absolutamente seguro de que el agua utilizada en la dilución es compatible con la emulsión, se recomienda una dilución de prueba. Para evitar roturas prematuras, siempre agregue agua a la loción, no la loción al agua. El riego por franjas solo debe aplicarse en áreas que puedan colocarse el mismo día.

Los mejores resultados se obtienen cuando el riego combinado se realiza sobre superficies secas y la temperatura de estas superficies supera los 25°C. Para asegurar una buena adherencia, la superficie tratada con la capa adhesiva debe estar limpia y libre de material suelto. La aplicación de demasiado pavimento pegajoso puede crear una superficie lisa entre las dos capas de pavimento porque el asfalto actúa como lubricante en lugar de aglutinante.

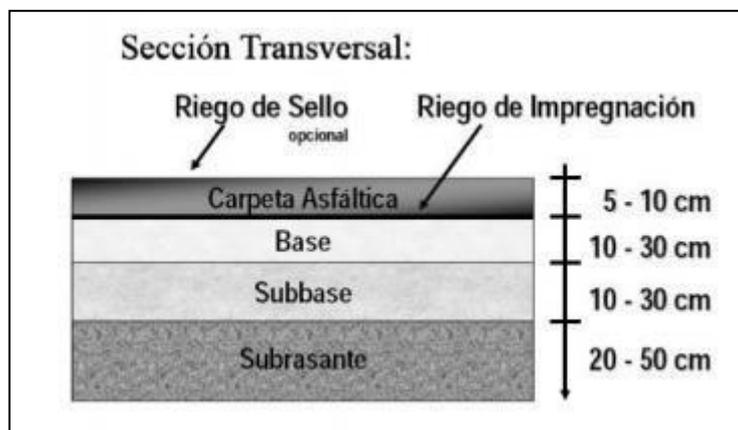
Los equipos necesarios para su ejecución son barredoras en general, barredoras mecánicas y máquinas distribuidoras. Al terminar de verter la cola y antes de aplicar la pintura, se debe pasar un tiempo hasta que la emulsión diluida se rompa por completo, es decir cambia de marrón a negro.

Esto hace que el tráfico se desvíe del área de control ya que la carretera es nueva y, a menudo, demasiado resbaladiza para conducir con seguridad. También se puede solucionar con emulsión pegajosa en caliente para que las llantas del auto no se peguen al asfalto.

1.2.3.1.6 Clasificación de capas de un Pavimento Flexible

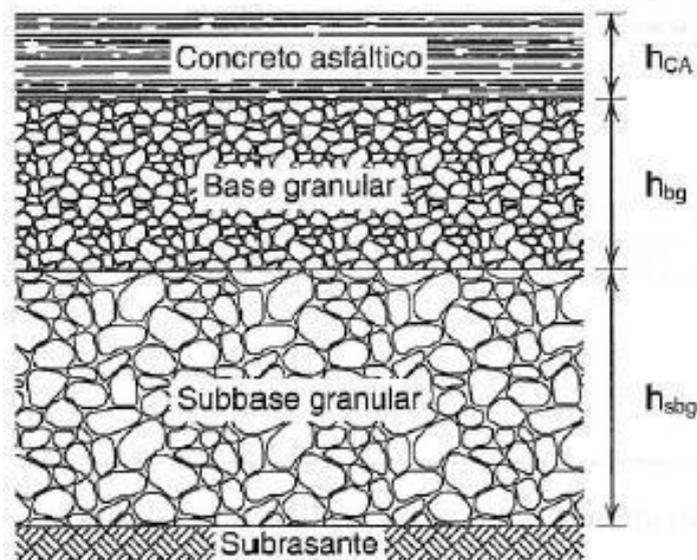
El pavimento flexible o pavimento bituminoso consta de varias capas, entre ellas hay una base, una base, una cimentación y las dos últimas son elementos estructurales que se conectan a la superficie con el objetivo de distribuir las cargas de tráfico al subsuelo, y finalmente encontrar el asfalto. la capa cubierta aquí por el pavimento utiliza una mezcla asfáltica compuesta por grava, arena y aglutinante,

Ilustración 3: Sección transversal del pavimento flexible



Fuente: Manual de Carreteras 2020

Ilustración 4: Estructura de un pavimento flexible



Fuente: "Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras" por Higuera (2011, p.17).

1.2.3.1.7 Método Simplificado de diseño de un Pavimento Flexible

Actualmente, el diseño de estructuras se basa en principios aplicados, los cuales son confirmados por observaciones en ensayos de laboratorio, estudios teóricos y estudios integrales de su comportamiento. Estas pruebas se realizan después de presenciar las muestras necesarias del país donde se planea la pavimentación y luego llevarlas al laboratorio, y si hay complicaciones después de horas o días, te darán un informe correspondiente. Se comprobará la idoneidad del terreno como lugar para el proyecto.

El pavimento flexible se caracteriza por una baja resistencia a los esfuerzos cortantes, que por cierto, dependerá del espesor de su capa constituyente para convertir las cargas del pavimento en las que el suelo pueda soportar.

Cuando se diseñan pavimentos flexibles, siempre se debe recordar que la carga en la superficie se distribuye continuamente sobre un área más grande a medida que se transfiere de cada capa a la inferior, y las tensiones de la carga inicial disminuyen con la profundidad.

1.2.3.1.8 Etapas de Diseño de un Pavimento Flexible

Su función es establecer, a través de un documento oficial llamado Manual de Carreteras, las restricciones de procedimiento y legislativas que cubran todos los aspectos de las carreteras y la topografía vial en las áreas rurales y urbanas bajo su supervisión.

1.2.3.1.9 Diseño Estructura del Pavimento Flexible

a) Coeficiente estructural

Corresponde al factor que caracteriza la contribución estructural de una determinada capa a las propiedades del material del que está hecha. En

todos los casos, se determinó a partir del valor del módulo de elasticidad, es decir para capas de gránulos y asfalto.

b) Diseño de Sub rasante

al igual que el método AASHTO, el valor del módulo de elasticidad es el parámetro definitorio, en estos casos denominado módulo de elasticidad efectivo del subsuelo (M_r). Mide las propiedades elásticas del suelo después de la aplicación de una carga cíclica, similar a cómo se comportaría una estructura bajo las demandas repetidas de una transición de carga de rueda constante.

c) Índice de Serviciabilidad

Esto corresponde a un parámetro que tiene como objetivo medir la calidad funcional de la superficie de la carretera. La planitud, antideslizante, agrietamiento, ranuras e incluso la estética de la superficie de la carretera son factores de evaluación importantes para los usuarios.

Por otro lado, al evaluar el desempeño de una carretera, la pregunta correspondiente a la capacidad estructural es muy importante. Los dos aspectos están relacionados en cierta medida, pero no por sí solos, ya que un revestimiento de mala calidad funcional no tiene necesariamente problemas estructurales, y viceversa.

La idoneidad del recubrimiento en un momento dado viene indicada por el índice de idoneidad actual (P_a). El indicador se deriva inicialmente de una relación matemática basada en un conjunto de calificaciones de los usuarios, luego se buscan alternativas como parámetros que caracterizan los niveles de servicio. En el caso del rendimiento de uso final (P_f), el valor recomendado es 2, que representa el límite establecido en relación con el grado de desgaste de la superficie de la carretera, que no se puede transitar fácilmente y, por lo tanto, llega al final de su vida. y es necesario. después de la rehabilitación.

Tabla 2: Calificación de la serviciabilidad de los pavimentos

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5.0 – 4.0	Muy buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en su categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos.
4.0 – 3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los “Muy buenos”, entregan un manejo de primera clase y muestran un poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamientos y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un nivel de deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
3.0 – 2.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento y pumping.
2.0 – 1.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde puedan afectar la velocidad del tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamientos; y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas de escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1.0 – 0.0	Muy mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Fuente: Armijos (2009)

d) Índice de Confiabilidad

Existe un alto grado de incertidumbre en la determinación y comportamiento de los factores que intervienen en el diseño de pavimentos.

Por lo tanto, los modelos que intentan resolver el problema de determinación del espesor deben incluir un parámetro que dé cuenta de esta incertidumbre.

La idea de usar un factor de seguridad basado en la experiencia del diseñador no es muy convincente porque no refleja verdaderamente la variabilidad de los datos y porque no tiene una base teórica que lo

sustente, esta idea se expresó anteriormente usando el fenómeno de la fiabilidad del diseño.

El concepto de confiabilidad expresa la probabilidad de que no se espere que un diseño falle, es decir, que cumpla con el desempeño esperado, reflejando la variabilidad estadística.

1.2.3.1.10 Procedimiento de Diseño de un Pavimento Flexible

Una vez que todos los datos requeridos para el diseño están disponibles, el primer paso es calcular el número de estructuras requeridas para la base del pavimento utilizando las expresiones de las siguientes ecuaciones. Esta ecuación incluye el coeficiente beta, que también se describe a continuación:

$$EE = (NE + 25.4)^{9.36} \times 10^{-(16.4 + Z_R \times S_o)} \times MR^{2.32} \times \left[\frac{(p_i - p_f)}{(p_i - 1.5)} \right]^{1/\beta}$$
$$\text{Con } \beta = 0.4 + \left[\frac{97.81}{NE + 25.4} \right]^{5.19}$$

Donde:

- EE: Ejes equivalentes de 80 KN acumulados durante la vida de diseño.
- NE: Número Estructural en mm.
- Z_R : Coeficiente estadístico relativo al nivel de confiabilidad adoptado.
- S_o : Desviación estándar del error combinado de todas las variables del modelo.
- MR: Módulo Resiliente del suelo de la sub-rasante en MPa.
- p_i : Índice de serviciabilidad inicial.
- p_f : Índice de serviciabilidad final.

El espesor se determina de modo que la suma de las contribuciones estructurales de las capas correspondientes corresponda al volumen estructural requerido de la base y el sustrato granular. La contribución estructural de cada

capa se obtiene multiplicando el espesor correspondiente por el factor de estructura dependiente del tipo de material.

En el caso de capas granulares (base y subbase) también se tiene en cuenta el coeficiente de drenaje para determinar la capacidad de evacuar el agua acumulada en la estructura. Una expresión que representa la contribución estructural total de todas las capas de pavimento que se comparará con el número total deseado de estructuras a seguir:

$$NE = a_1 \times h_1 + a_2 \times h_2 \times m_3 + a_2 \times h_2 + \times m_3$$

Donde:

- NE: Número Estructural en mm.
- a_i : Coeficiente estructural de cada una de las capas.
- h_i : Espesor de cada una de las capas en mm.
- m_i : Coeficiente de drenaje de las capas no tratadas.

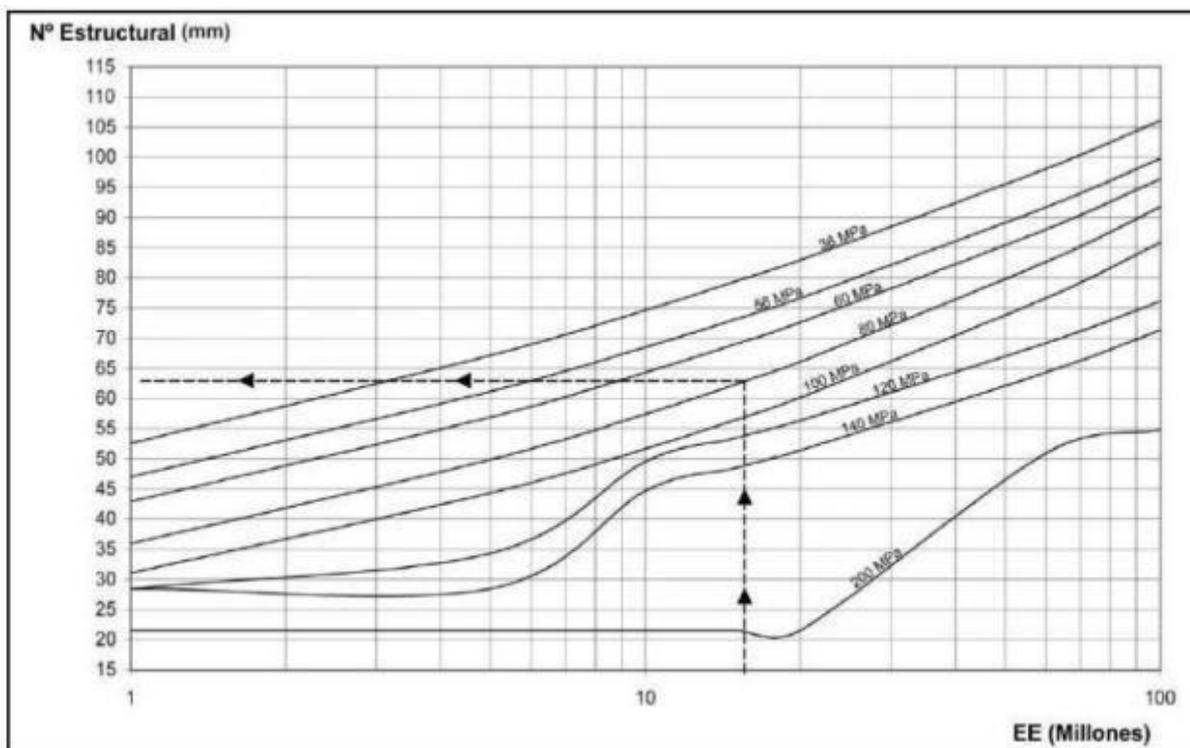
El método para determinar el número mínimo de estructuras que se deben proporcionar para la capa asfáltica comienza con la determinación de los parámetros climáticos del sitio de construcción, teniendo en cuenta el período de diseño y calculando su coeficiente de confiabilidad Fr con un valor de 1 con un 50% de confianza. nivel.

Si se utiliza otro nivel de confianza, se debe realizar el cálculo correspondiente de Fr y multiplicarlo por el número de ejes solicitados para encontrar el parámetro de caudal a utilizar en el proceso. Use la tabla para encontrar el número mínimo de cuadro que necesita

Cuando el cronograma correspondiente al sitio del proyecto en la imagen TMAPA. 5, se selecciona el valor del parámetro del eje requerido (o el valor cambiado si se calcula de esta manera) se puede ingresar a través del eje de

abscisas para encontrar la curva de Magnitud del módulo de rebote del subsuelo y finalmente encontrar el número de estructura requerido según el diagrama.

Ilustración 5: Gráfico para determinar Número Estructural requerido por capas asfálticas

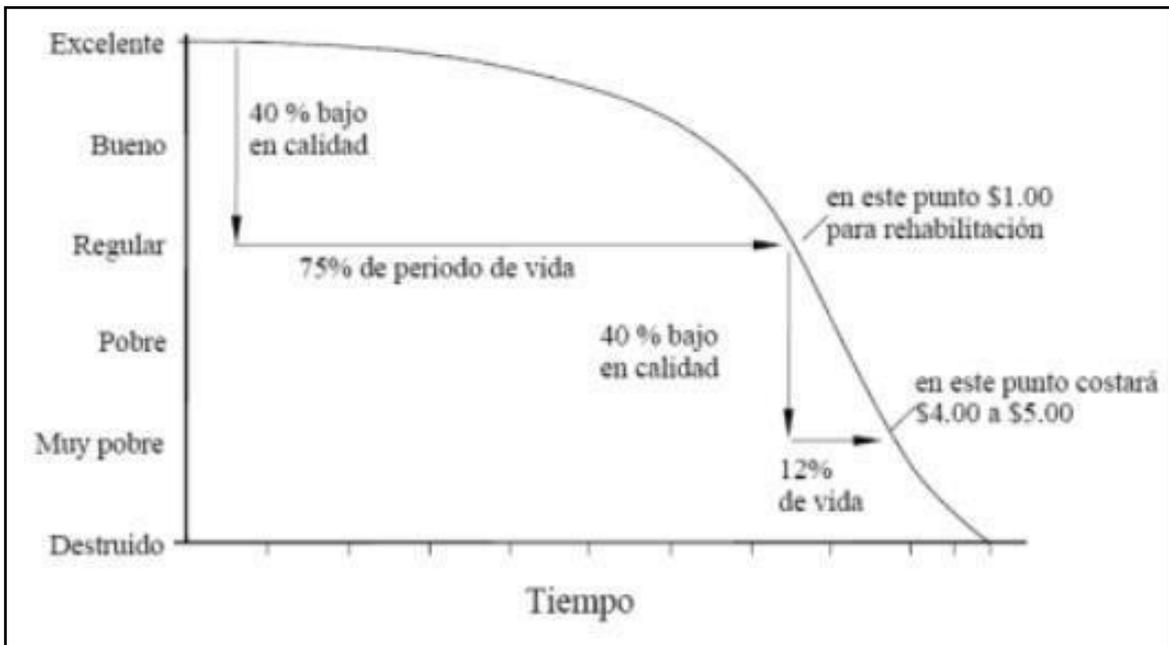


Fuente: Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012

1.2.3.1.11 Ciclo de vida de los pavimentos

Los pisos son una inversión importante que requiere mantenimiento y reparación a lo largo de su ciclo de vida. Hoy en día, existe una mayor necesidad de mantener las carreteras en buen estado para que puedan funcionar. Los pavimentos se desgastan constantemente bajo la influencia de presiones externas (lluvia, tráfico, etc.), estas influencias son permanentes y pueden hacer que el pavimento sea intransitable. El deterioro de la superficie de la carretera comienza desde la etapa inicial, desde un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Por lo tanto, se espera que los pavimentos duren un cierto número de años, lo que se denomina longevidad.

Ilustración 6: Ciclo de vida de un pavimento



Fuente: Gamboa (2009).

El ciclo de vida del pavimento puede clasificarse en cuatro etapas, estas son:

Etapa 1: Construcción. Actualmente, el firme de la vía se encuentra en buen estado y cumple con los estándares de calidad que satisfacen las necesidades de los usuarios. Los costos incurridos hasta esta etapa son la construcción del paquete de estructura.

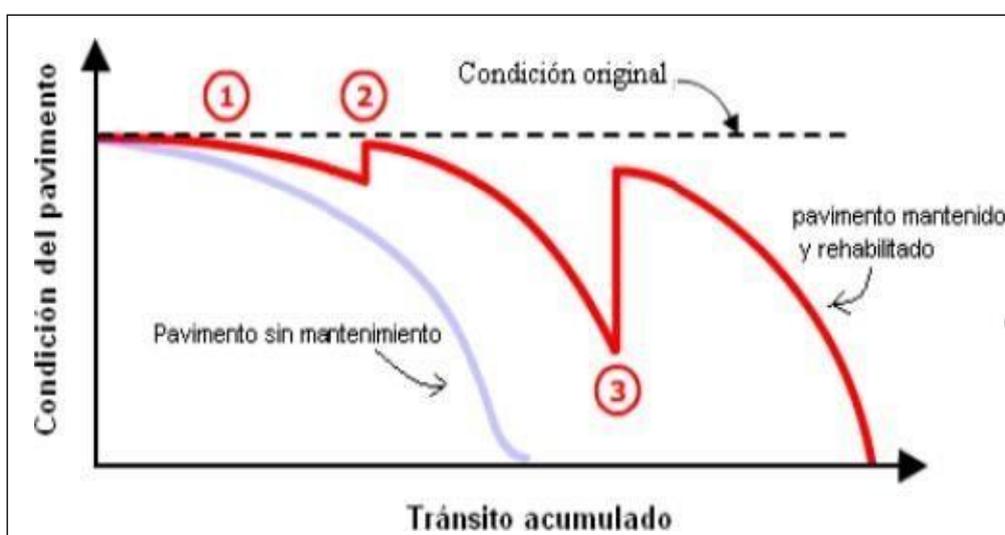
Etapa 2: Deterioro imperceptible. El recubrimiento se desgasta gradualmente con el tiempo, esta etapa de daño ya está ahí, pero apenas es visible y pasa desapercibida para el usuario. Las superficies de las carreteras suelen ser las más dañadas por el tráfico y el clima.

Etapa 3: Deterioro acelerado. Después de algunos años, los elementos del pavimento se deterioran día a día y la resistencia al tránsito disminuye. La estructura básica del revestimiento está dañada, lo que puede confirmarse por defectos visibles en el revestimiento. Esta fase es corta porque la destrucción ocurre bastante rápido.

Etapa 4. Deterioro total. La última etapa puede durar varios años y es el desgaste total del revestimiento. La transitabilidad se reduce significativamente

y los neumáticos y los ejes del vehículo comienzan a fallar. Cabe mencionar que el índice de servicio o índice de estado de la superficie de la carretera se puede utilizar para determinar el estado de la superficie de la carretera. Además del tiempo, existen otras variables como el número de ejes equivalentes y el volumen de tráfico acumulado que permitirán mapear el desgaste del pavimento. Asimismo, los trabajos de mantenimiento y reparación pueden alargar el ciclo de vida del pavimento si se realizan en el momento oportuno.

Ilustración 7: Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación



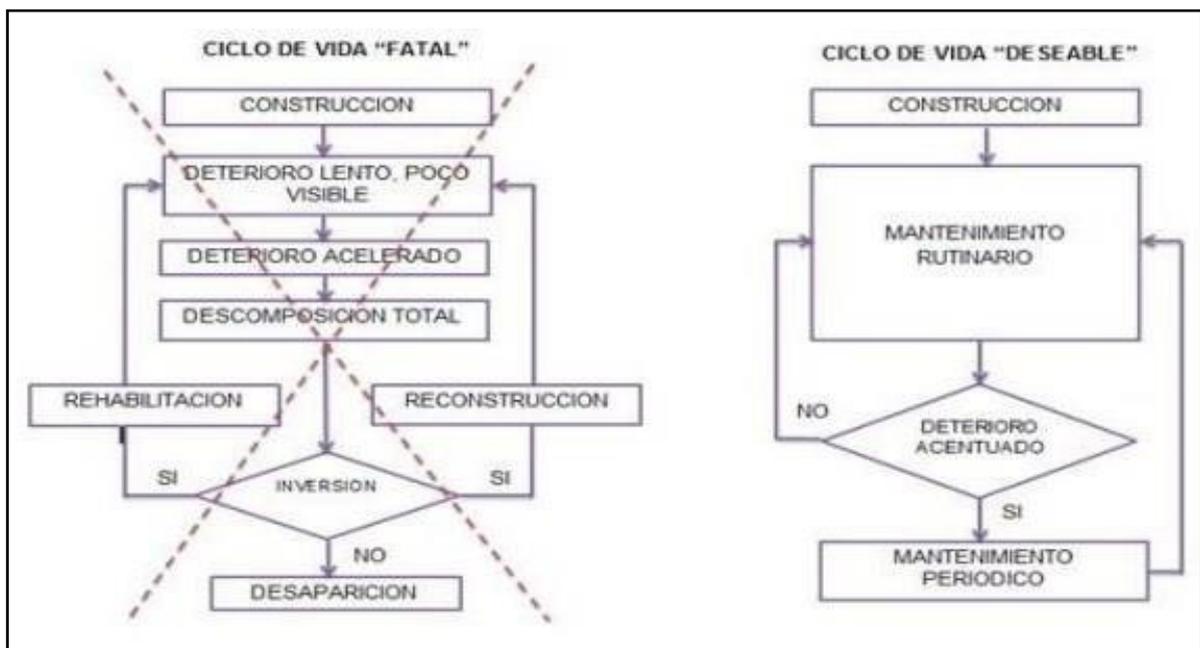
Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación. En la curva roja se identificación tres puntos, los cuales se describen a continuación: **En el punto 1** el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento. **En el punto 2** se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restaura la condición del pavimento. Por último, **en el punto 3** se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento.

1.2.3.1.12 Ciclo de vida deseable del pavimento

El ciclo de vida comienza con una carretera nueva o renovada, y en estos casos el pavimento está en excelentes condiciones. El mantenimiento progresivo ralentizará el desgaste natural de la carretera y, por lo tanto, mantendrá la

superficie de la carretera en muy buenas condiciones. En carreteras sin mantenimiento esta fase dura de dos a tres años, mientras que en carreteras mantenidas esta fase puede durar de cuatro a cinco años. Una vez que la superficie de la carretera está en condiciones normales, se requiere un mantenimiento regular, es decir, la reparación de la superficie de la carretera, para mantener la superficie de la carretera en las mejores condiciones. Los caminos que no se mantienen después de dos años ya tienen problemas con el flujo de vehículos, mientras que los caminos que se mantienen extienden esta etapa a seis años.

Ilustración 8: Diagrama de flujo del ciclo de vida deseable del pavimento



Fuente: Gamboa (2009)

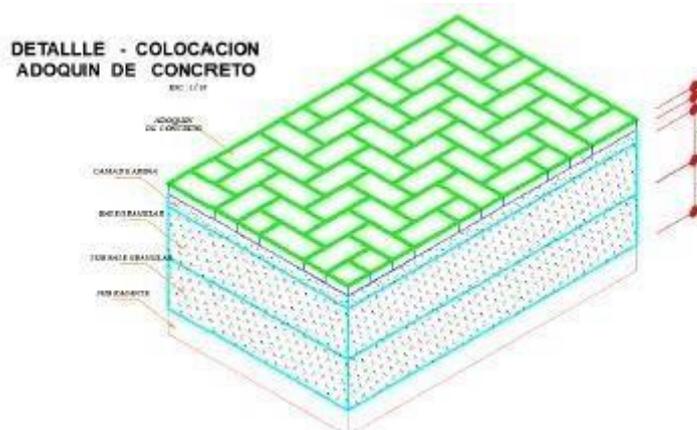
1.2.3.2 Pavimento Semirrígido

Es una estructura de pavimento que consiste básicamente en una capa asfáltica de espesor asfáltico total (capa asfáltica en caliente sobre base bituminosa); las estructuras que consisten en capas de asfalto sobre subrasantes tratados con cemento o subrasantes tratados con cal también se consideran pavimentos semirrígidos. Las carreteras asfaltadas se incluyen en la categoría de superficies semiduras.

A diferencia de los pavimentos flexibles tradicionales, la resistencia al agrietamiento de la capa de desgaste no es la respuesta crítica para los pavimentos semirrígidos, ya que la capa base de cemento proporciona esta capacidad estructural.

Por tanto, para garantizar la resistencia al desgaste del tráfico, la seguridad al rozamiento y la regularidad de la superficie de contacto entre la calzada y el vehículo, la superficie de rodadura está formada por una o varias capas de hormigón asfáltico con propiedades antidesgaste adecuadas.

Usado, rastreado, pulido y construido. Dependiendo de la construcción utilizada, este pavimento consta específicamente de una base granular, una base de arena, adoquines de hormigón dentado, arena de sellado, contención lateral y un sistema de drenaje:



El pavimento semisólido, también conocido como pavimento de adoquines, se caracteriza por sustituir la capa asfáltica por elementos complejos como prismas y hexágonos. Sus componentes deben ser:

- **Sub base:** Esta capa cumple las mismas funciones que la subbase de los pavimentos flexibles.
- **Base Granular:** Esta capa es la capa más importante en este tipo de recubrimiento, por lo que debe cumplir con los requisitos de la capa base de recubrimiento flexible.

- **Arena de asiento:** Es una capa de arena fina a media, homogénea y completamente distribuida, cuya función principal es la de nivelación sobre la que se asientan los adoquines.
- **Adoquines:** Son elementos prismáticos de piedra natural o de hormigón prensado que actúan como soportes de las cargas de tráfico. Los adoquines realizan funciones estructurales a través de un mecanismo que no se comprende bien hasta ahora.
- **Arena de sello:** Este no es un curso de adoquín, sino una etapa en el proceso de construcción, ya que se vierte sobre la superficie del adoquín al final de la construcción para llenar el plano discontinuo creado por los adoquines. Cuando el ambiente esté saturado de arena, retirar el residuo para que la superficie del revestimiento quede completamente limpia. De lo contrario, el grano restante impulsado por la rueda se convierte en un poderoso abrasivo.

El pavimento semirrígido es un tipo de pavimento similar en tipo de capa al pavimento flexible, la principal diferencia entre ambos es que la capa base del pavimento semirrígido está estabilizada por cemento o asfalto, que puede ser más duro que el asfalto.

Ilustración 9: Sección de pavimento semirrígido con base estabilizada con concreto



Fuente: Hoffman, 2009

Este tipo de pavimento es útil cuando el volumen de tráfico no es lo suficientemente alto para usar un pavimento rígido, ni lo suficientemente bajo para usar un pavimento flexible, o no es posible obtener un material base de mayor calidad que la necesaria.

1.2.3.2.1 Ventajas de un pavimento semirrígidos

- a) Crear una plataforma mejorada para las actividades de construcción.
- b) Mejorar la capacidad portante de la estructura y aumentar la vida útil.
- c) Mejora de la resistencia a las condiciones de saturación en comparación con el material no tratado.
- d) Posibilidad de utilizar suelo y sustratos granulares localizados en capas de suelo cementoso.
- e) mejorar el rendimiento de los materiales de mesa no preparados utilizados para ciertas capas de revestimiento.
- f) Mejora de la resistencia a la fatiga (en comparación con el material virgen) de las superficies asfálticas aplicadas por la parte superior.
- g) Mejora la resistencia a la fatiga de superficies bituminosas colocadas encima (comparado con materiales no-tratados).
- h) Excelente relación costo-vida.

1.2.3.2.2 Límites del suelo cemento semirrígidos

a) Uso de Suelo Cemento está limitado a contenidos restrictivos de

Tabla 3: Condiciones Restrictivas en suelos insitu para aplicación de suelo cemento

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">○ Materia Orgánica <2% (por ASTM D2974),○ pH >5.3 (por ASTM D4972 o medidores automáticos certificados de pH) y○ Sulfatos en el suelo <0.9% (por ASTM D1580) a ser estabilizado. |
|--|

b) Los métodos de fabricación o construcción inadecuados pueden afectar significativamente su comportamiento en comparación con otras alternativas, lo que requiere una mayor preparación de la gestión.

c) Reducción del tiempo de "trabajabilidad" (en comparación con la materia prima). La compresión generalmente debe completarse dentro de 1 a 1,5 horas. Este tiempo se puede aumentar si se utilizan en su lugar aditivos puzolánicos como cenizas volantes.

CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La pavimentación de calles es una actividad importante y uno de los proyectos prioritarios del gobierno, y a nivel nacional, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Salud ha implementado el Programa de Mejoramiento Urbano y de Barrios, el Proyecto de Pavimentación de Calles, iniciado por municipios y autoridades regionales.

En nuestro caso de estudio, en el distrito de Tarapoto de Nueve de Abril en el centro de la ciudad, se propone el desarrollo de este proyecto, que será financiado por el gobierno nacional y que sin duda es un aporte importante a la ciudad, aunque si fuera un proyecto parcial, permitiría el desarrollo de gran parte del mismo.

Este estudio comparará pavimentos flexibles y semirrígidos y analizará su tiempo y costo de implementación.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. Problema general

¿Cómo se determinará la evaluación del costo y tiempo de ejecución, entre los pavimentos, flexible y semirrígido en vías urbanas, en el C.P. Nueve de Abril, distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será el costo que varía en el proceso constructivo, entre los pavimentos, flexible y semirrígido en la ejecución de vías urbanas, en el C.P. Nueve de Abril, distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín?
- ¿Cuál sería el tiempo de ejecución del proceso constructivo, entre los pavimentos, flexible y semirrígido en la ejecución de vías urbanas,

en el C.P. Nueve de Abril, distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo General

Determinación de las variaciones de costos y tiempos de construcción entre pavimentos flexibles y semirrígidos durante la construcción de vías urbanas en el C.P. Nueve de Abril, Distrito de Tarapoto, San Martín y Provincia.

2.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el tiempo de ejecución del proceso constructivo, entre los pavimentos, flexible y semirrígido en la ejecución de vías urbanas, en el C.P. Nueve de Abril, distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín
- Determinar la variación del costo en el proceso constructivo, entre los pavimentos, flexible y semirrígido en la ejecución de vías urbanas, en el C.P. Nueve de Abril, distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín.

2.4. HIPÓTESIS

El estudio comparativo de costo - tiempo de ejecución, entre pavimento flexible y semirrígido, permite conocer la mejor alternativa de pavimentación para las futuras pavimentaciones del C.P. Nueve de Abril, distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín.

2.5. VARIABLES

2.5.1. Variable Independiente

Evaluación del costo y tiempo de ejecución.

2.5.2. Variable Dependiente

Tipo de pavimento.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo descriptivo.

3.1.2. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación corresponde a un estudio descriptivo cuyo esquema está dedicado a evaluar el tiempo de ejecución y costo del proceso constructivo de los pavimentos flexibles y semirrígidos.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

El conjunto de todas las calles, jirones, avenidas, etc., que se encuentran en el C.P. Nueve de Abril.

3.2.2. Muestra

Jr. Ramón Castilla.

3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Técnicas

Conocimiento del proceso de construcción de ambos pavimentos.

3.3.2. Instrumentos

Formatos, reglamentos y normas que se utilizan para la construcción de ambos pavimentos.

3.3.3. Procedimientos. - Nos basamos en los enunciados de la Norma Técnica CE. 10 de Pavimentos Urbanos.

3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

El recojo de los datos de campo se hará en forma manual y luego se hará un procedimiento computarizado. El análisis e interpretación de datos se realizará de acuerdo a la Norma técnica CE.10 para pavimentos Urbanos que son parámetros establecidos en nuestro país.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 METODOS DE DISEÑO

4.1.1 Estudio de tráfico

El tráfico es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos. Su correcta determinación depende de muchas variables, lo que puede llevar a su subestimación. El método de cálculo del volumen de tráfico utilizado en este trabajo es equivalente a convertir diferentes tipos de vehículos en un eje estándar equivalente (EALF) para luego calcular el número de iteraciones del eje equivalente según el diseño del pavimento (ESAL).

Se utilizarán valores ESAL en el diseño según el método AASHTO y el instituto de asfalto. Los resultados de las encuestas de tráfico se muestran a continuación. Dado que el conocimiento de la demanda vehicular en la zona de estudio es de suma importancia para obtener información relevante y precisa para la planificación y diseño de las vías investigadas, se realiza semanalmente el inventario de vehículos.

4.1.1.1 Análisis de información y obtención de resultados

Después de combinar la información recopilada estadísticamente y el procesamiento consistente, se obtienen los volúmenes de tráfico vial, por día, el tipo de vehículo en cada dirección y un resumen de ambas direcciones.

4.1.1.2 Índice Medio Diario Anual

El índice promedio diario promedio anual (IMDA) es el valor calculado del tráfico de vehículos en una determinada parte de la red de carreteras en un año. De acuerdo con la información proporcionada por el Ministerio de Transporte²⁹, el IMDA es el resultado de la contabilidad de volumen en sitio y clasificación de vehículos durante la semana, así como factores de

corrección para evaluar el comportamiento anual del transporte de pasajeros y carga. Esto se logra usando la siguiente fórmula:

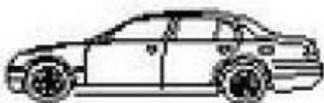
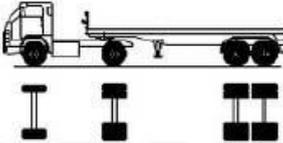
$$\text{IMDA} = \text{IMDS} \times \text{FC}$$

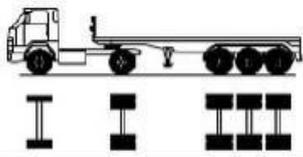
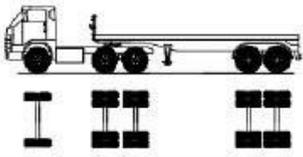
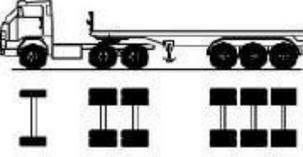
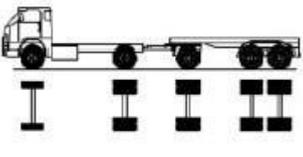
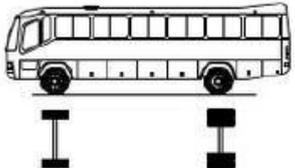
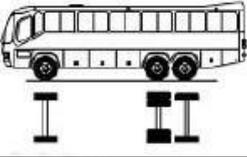
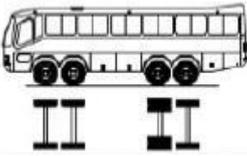
Donde:

- IMDS representa el índice medio diario semanal o promedio de tráfico diario semanal.
- FC representa el factor de corrección estacional.

Se tuvo, como dato de tema de tesis, el IMDA por tipo de vehículo, clasificado de acuerdo al Reglamento Nacional de Tránsito del MTC, como se observa a continuación:

Tabla 4: IMDA por tipo de vehículo

Configuración vehicular	Descripción gráfica	IMDA (vehículos/día)
Automóviles		2,320
C2		796
C3		101
C4		4
T2S2		5

T2S3		3
T3S2		12
T3S3		18
C2R3		10
B2		18
B3-1		14
B4-1		12
TOTAL		3,313

Fuente: Tema de Tesis

4.1.1.3 Tasa de Crecimiento Anual

La tasa de crecimiento es un factor calculado con base en proyecciones de crecimiento poblacional y económico en el área de influencia de la autopista, lo que se verá reflejado tanto en el crecimiento del tráfico como

en los cambios en los tipos de vehículos que transitan por el tramo. La tasa de crecimiento anual se basa en el tipo de vehículo y se determina utilizando la siguiente fórmula:

Vehículos de carga:	$r_{VC} = r_{PBI} \times E_{VC}$
Ómnibus:	$r_O = r_{PBI} \times E_O$
Vehículos ligeros:	$r_{VL} = r_{pob} \times r_{percápita} \times E_{VL}$

De acuerdo al Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos del MTC, la tasa de crecimiento anual normalmente se encuentra entre 2% y 6%. Para el desarrollo del presente trabajo, se tuvo como dato de tema de tesis una tasa de crecimiento anual, para todo tipo de vehículo, de 4.18 %.

4.1.1.4 Factor de carga equivalente por eje

El factor de carga equivalente por eje, EALF, representa el daño relativo producido en el pavimento por el paso de un determinado eje, en comparación al daño que produce un eje estándar de 18 kip (80 KN). Este procedimiento se realiza con la finalidad de homologar el efecto que tendrían los diferentes tipos de vehículos que transitan sobre un pavimento.

A continuación, se presenta las ecuaciones de regresión usadas para el cálculo del EAFL según el AASHTO para pavimentos flexibles:

$$a) \log \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = 4.79 \log (18 + 1) - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$$b) G_t = \log \left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right)$$

$$c) \beta_x = 0.40 + \frac{0.081 (L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}}$$

Donde W_{tx} / W_{t18} es el factor de carga equivalente por eje, L_x es la carga por eje en kips, L_2 es el factor que depende del tipo de eje (1 para ejes simples, 2 para ejes tandem y 3 para ejes tridem), p_t es el índice de serviciabilidad final, SN es el número estructural de diseño, G_t es función de p_t y β_{18} es el valor que toma β_x cuando L_x es igual a 18 y L_2 es igual a 1.

Tomando en cuenta que el periodo de diseño para el pavimento flexible es de 15 años y considerando que el jirón Ramon Castilla es parte del casco urbano del centro poblado Nueve de Abril distrito de Tarapoto.

Debido a que el uso de las fórmulas presentadas anteriormente no es de fácil manejo, para el cálculo del EALF se usarán las tablas proporcionadas por la guía de la AASHTO derivadas de dichas fórmulas.

De esta manera, tanto para pavimentos flexibles como rígidos y teniendo en cuenta los tipos de ejes y pesaje que se presentan en la distribución vehicular descrita anteriormente, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 5: Factores de carga equivalente (EALF) en pavimentos flexibles con índice de serviciabilidad (p_t) de 3 y número estructural (SN) de 5

Eje	Peso máximo (ton)	Peso máximo (kips)	EALF*
Simple	7	15.4	0.573
Simple	11	24.3	2.710
Tándem	16	35.3	1.289
Tándem	18	39.7	1.932
Tridem	23	50.7	1.327
Tridem	25	55.1	1.781

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Tabla 6: Factores de carga equivalente (EALF) en pavimentos rígidos

Eje	Peso máximo (ton)	Peso máximo (kips)	EALF
Simple	7	15.4	
Simple	11	24.3	
Tándem	16		
Tándem	18		
Tridem			
Tridem			

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Una vez que se determina el EALF en función del tipo de eje y el peso, el EALF de cada vehículo se determina sumando el EALF de los ejes que lo componen. De esta forma, obtenemos los siguientes resultados para pavimentos flexibles y semirrígidos:

Tabla 7: Pesos reglamentarios y factores de carga equivalente por tipo de vehículo en pavimentos flexibles

Vehículo	Peso máximo (ton)				EALF				Σ EALF
	Eje delantero (0°)	Ejes posteriores			0°	1°	2°	3°	
		1°	2°	3°					
Automóviles	.9	.9			2E-4	2E-4			4E-4
C2	7	11			0.573	2.710			3.283
C3	7	18			0.573	1.932			2.505
C4	7	23			0.573	1.327			1.900
T2S2	7	11	18		0.573	2.710	1.932		5.215
T2S3	7	11	25		0.573	2.710	1.781		5.064
T3S2	7	18	18		0.573	1.932	1.932		4.437
T3S3	7	18	25		0.573	1.932	1.781		4.286
C2R3	7	11	11	18	0.573	2.710	2.710	1.932	7.925
B2	7	11			0.573	2.710			3.283
B3-1	7	16			0.573	1.289			1.862
B4-1	7+7	16			1.146	1.289			2.435

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.5 Trafico de Diseño

Para diseñar un pavimento, se debe conocer el número de repeticiones para cada conjunto de ejes de carga en el momento del diseño. El volumen de tráfico diario inicial se multiplica por la dirección y los factores de asignación de carril para obtener el volumen de tráfico inicial para el carril designado. Asimismo, los caudales utilizados en el diseño deben multiplicarse por el factor de crecimiento.

Siendo n_i el número total de repeticiones por día para el grupo de carga i , se tiene lo siguiente:

$$n_i = (n_0)_i \times G \times D \times L \times 365 \times Y$$

Donde $(n_0)_i$ es el número inicial de repeticiones por día para el grupo de carga i , G es el factor de crecimiento, D es el factor de distribución direccional, L es el factor de distribución de carril el cual varía con el volumen de tráfico y el número de carriles y Y es el periodo de diseño en años.

Como la presente tesis está basada en cargas equivalentes de eje simple de 18 kip (80 KN), entonces el número inicial de repeticiones por día para un grupo de carga i puede ser calculado mediante:

$$(n_0)_i = p_i \times F_i \times ADT_0$$

Donde p_i es el porcentaje del total de repeticiones para un grupo de carga i , F_i es el factor de carga equivalente ($\Sigma EALF$) para un grupo de carga i y ADT_0 es el tráfico diario promedio al inicio del periodo de diseño.

Una vez obtenidos todos los datos anteriores, se procede a calcular el valor del ESAL, que representa el número de ejes equivalentes al cual estará sometido el pavimento durante el periodo de diseño.

$$ESAL = \sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_0 \times G \times D \times L \times 365 \times Y$$

El valor resultante de $\sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_0$, corresponde a la sumatoria de la multiplicación del número de repeticiones de un vehículo por su respectivo EALF. De acuerdo a ello, se tienen los siguientes resultados tanto para el pavimento flexible y semirrígido.

Tabla 8: $\sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_0$ para pavimento flexible

Tipo de vehículo	IMDA (vehículos/día)	EALF	$p_i F_i \times ADT_0$
Automóviles	2320	0.0004	0.93
C2	796	3.2830	2,613.27
C3	101	2.5050	253.01
C4	4	1.9000	7.60
T2S2	5	5.2150	26.08
T2S3	3	5.0640	15.19
T3S2	12	4.4370	53.24
T3S3	18	4.2860	77.15
C2R3	10	7.9250	79.25
B2	18	3.2830	59.09
B3-1	14	1.8620	26.07
B4-1	12	2.4350	29.22
$\sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_0$			3,240.09

Fuente: Elaboración Propia

El Instituto del Asfalto y el AASHTO recomiendan el uso de un factor total de crecimiento acumulado que es equivalente al factor de crecimiento G por el periodo de diseño y se calcula de la siguiente manera:

$$GY = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual de vehículos en porcentaje e Y es el periodo de diseño, de manera que:

$$GY = \frac{(1 + 0.0418)^{15} - 1}{0.0418} = 20.2935$$

Finalmente, el factor de distribución direccional (D), de acuerdo al AASHTO, será de 0.5 pues el pavimento de la vía a diseñar es de doble sentido y el factor de distribución de carril (L) es de 1.0 para el caso de un carril en cada dirección según la página II-9 de la guía de la AASHTO, como se muestra a continuación:

Tabla 9: Valores sugeridos de distribución de carril

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

En el caso del Instituto del Asfalto, el factor de distribución direccional y el factor de distribución de carril se encuentran combinados en un solo valor (D x L) que determina el porcentaje del total de vehículos en el carril de diseño, y se obtiene de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 10: Porcentaje de vehículos en el carril de diseño

Number of traffic lanes in two directions	Percent of trucks in design lane
2	50
4	45 (35-48)
6 or more	40 (25-48)

Fuente: The Asphalt Institute (1991)

El valor de D x L de acuerdo al Instituto del Asfalto sería de 50%, al tratarse de una carretera de 2 carriles; el mismo valor obtenido por las tablas de la AASHTO.

De esta manera, los parámetros de diseño para el cálculo del ESAL tanto para el pavimento flexible como para el pavimento rígido quedan establecidos de la siguiente manera:

Tabla 11: Parámetros de diseño para pavimentos flexibles

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Parámetros de diseño para pavimentos semirrígido

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, haciendo uso de la fórmula presentada anteriormente, el ESAL para cada tipo de pavimento se muestra en la siguiente tabla y será usado para el diseño de los pavimentos por la metodología de la AASHTO y por la del Instituto del Asfalto.

Tabla 13: ESAL para cada tipo de pavimento

Tipo de pavimento	ESAL
Pavimento Flexible	12.00 E+06
Pavimento Semirrígido	15.19 E+06

Fuente: Elaboración Propia

4.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El desarrollo de la ingeniería de recubrimientos ha dado lugar a diferentes enfoques de diseño, algunos de los cuales se basan en información simple y usan reglas empíricas para determinar el espesor final del recubrimiento, mientras que otros requieren pruebas más complejas y procedimientos de cálculo avanzados³⁵. Durante el desarrollo de este artículo, se utilizarán dos métodos diferentes para diseñar pavimentos flexibles: el método AASHTO 1993 y el método del Instituto de Asfalto.

4.2.1 Método Aashto 1993

El Procedimiento de Diseño Recomendado por AASHTO se basa en los resultados de extensas pruebas en carretera de AASHO realizadas en Ottawa, IL, a fines de la década de 1950 y principios de la de 1960. El Comité de Diseño de AASHTO emitió por primera vez pautas de diseño preliminares en 1961. Las directrices fueron revisadas en 1972 y 1981. Entre 1984 y 1985, el Subcomité de diseño y el Grupo asesor de AASHTO revisaron y ampliaron las pautas y publicaron las pautas actuales en 1986. Las pautas fueron revisadas en 1993 con un ligero cambio en el enfoque de diseño. A continuación se presentará.

4.2.2 Variables de Diseño

4.2.2.1 Tránsito de Diseño

El número de ejes equivalentes (ESAL corresponde al valor de 12.00×10^6 de ejes equivalentes para el caso del pavimento flexible.

4.2.2.2 Confiabilidad

El índice de confiabilidad (R) se elige con base en la clasificación funcional de la carretera y si se encuentra en una zona urbana o rural. La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento dure sin daño estructural durante el período de diseño. Los valores de confiabilidad más altos proporcionarán un mejor rendimiento, pero requerirán un mayor espesor de capa. De acuerdo con la Tabla 14, el nivel de confianza recomendado se encuentra entre 85 y 99.9,

considerando que las vías estudiadas corresponden a áreas urbanas interestatales.

Tabla 14: Valores sugeridos de confiabilidad

Functional classification	Recommended level of reliability	
	Urbana	Rural
Interstate and Other Freeways	85 – 99.9	90 – 99.9
Principal Arterials	80 – 99	75 – 95
Collectors	80 – 95	75 – 95
Local	50 - 80	50 - 80

Fuente: Elaboración Propia

Se opta por elegir un nivel promedio de 90% para este proyecto de tesis. Se debe tomar en cuenta que una vez determinado el nivel de confiabilidad que se requiere alcanzar en el diseño, este valor debe ser transformado en términos de la desviación estándar normal (ZR). De acuerdo a la tabla 15 que se muestra a continuación, y para un nivel de confiabilidad de 90%, la desviación estándar normal es de -1.282.

Tabla 15: Valores de desviación estándar normal (ZR) para diferentes valores de confiabilidad

Reliability, R (percent)	Standard normal deviate, ZR
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials 1993

4.2.2.3 Desviación estándar combinada

La desviación estándar combinada (S_o) es un valor que tiene en cuenta la variabilidad esperada en los pronósticos de tránsito y otros factores que afectan el desempeño del pavimento. De acuerdo con las pautas de AASHTO para pavimentos flexibles, el valor recomendado es 0,44 si el número de vehículos está presente y 0,49 en caso contrario. En este estudio, usaremos un valor de 0.44.

4.2.2.4 Módulo de resiliencia de la subrasante

El módulo de elasticidad de los materiales no consolidados del pavimento comúnmente se caracteriza en términos del módulo de resiliencia. El módulo resiliente es el módulo elástico de los materiales a ser empleados en la

construcción del pavimento. Se conoce que los materiales empleados en la construcción de pavimentos no son elásticos porque presentan una deformación plástica acumulada; sin embargo, después de varios ciclos de repeticiones de cargas, el suelo llega a un estado tal en que toda la deformación es recuperable y es en este momento donde se tiene un comportamiento resiliente.

Se determinó a partir del CBR de la subrasante de 6% a una compactación del 95% de la densidad máxima del ensayo Proctor Estándar y haciendo uso de la siguiente fórmula dada por el AASHTO: $M_r \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR (\%)}^{0.64}$. De acuerdo a ello se obtuvo un valor del módulo de resiliencia de la subrasante de 8,043 psi, lo cual equivalente a aproximadamente 8.0 ksi.

4.2.2.5 Coeficientes estructurales de capa

El coeficiente de estructura de la capa es un indicador de la capacidad relativa de un material dado por unidad de espesor como componente estructural del revestimiento.

Para pavimentos flexibles se utilizarán tres coeficientes de capa estructural (a_1 , a_2 y a_3), que representan la capa asfáltica, la capa base y la base, respectivamente.

Estos coeficientes se pueden determinar mediante correlaciones con las propiedades del material. Para una carretera de mezcla asfáltica, el factor de estructura a_1 es de aprox. 0,44 dado el módulo de elasticidad máximo recomendado por AASHTO de 450.000 psi.

Ilustración 10: Coeficiente estructural a1 en función del módulo elástico del concreto asfáltico

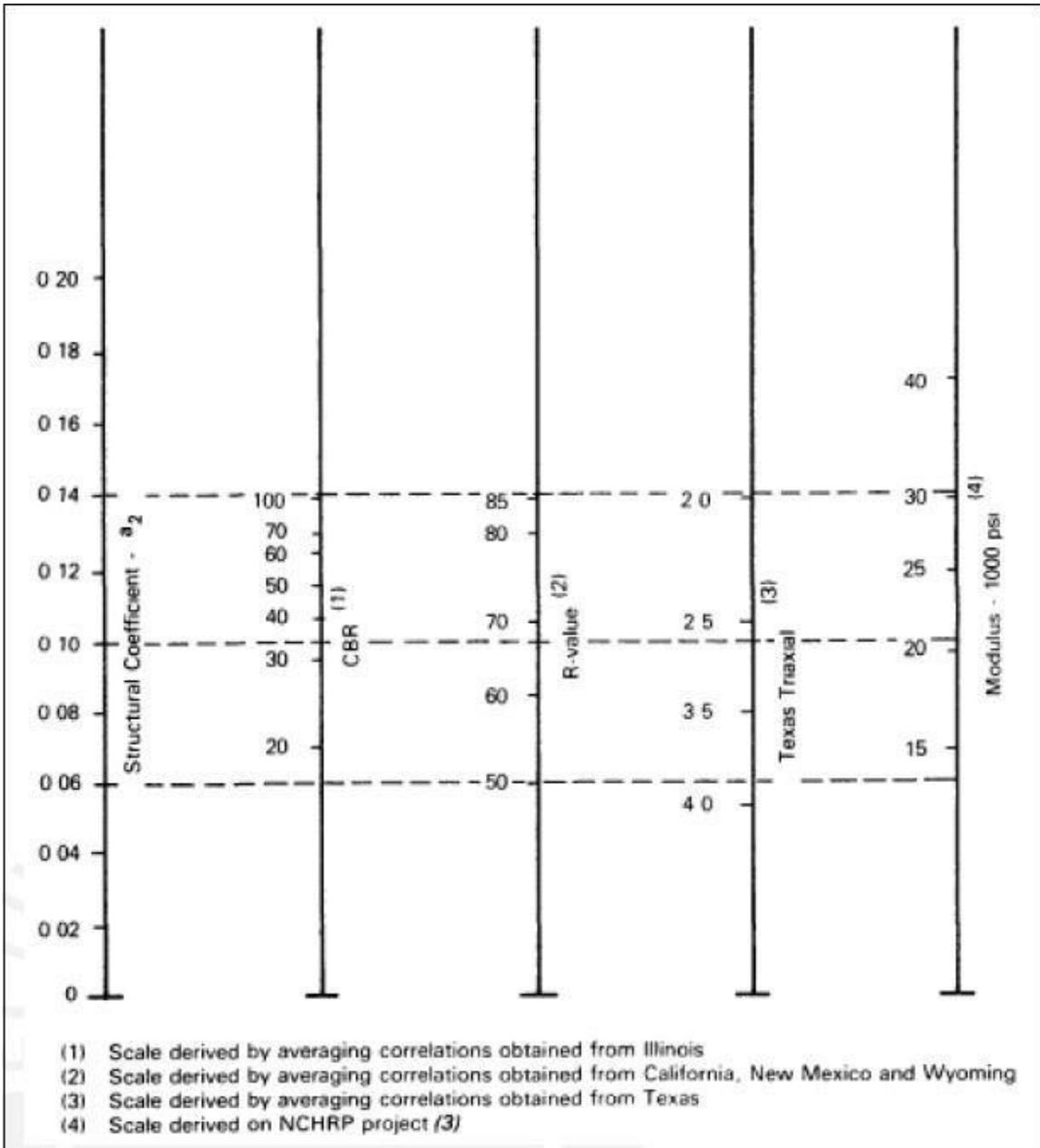
Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Además, como datos de tesis tenemos que el CBR de la base es del 112% a una compactación del 100% de la densidad máxima del ensayo Proctor Modificado y el CBR de la subbase es del 29% a una compactación del 100% de la densidad máxima del ensayo Proctor Modificado.

Se muestran a continuación, se obtienen los coeficientes estructurales a2 y a3 respectivamente los cuales tienen un valor de 0.14 y 0.11.

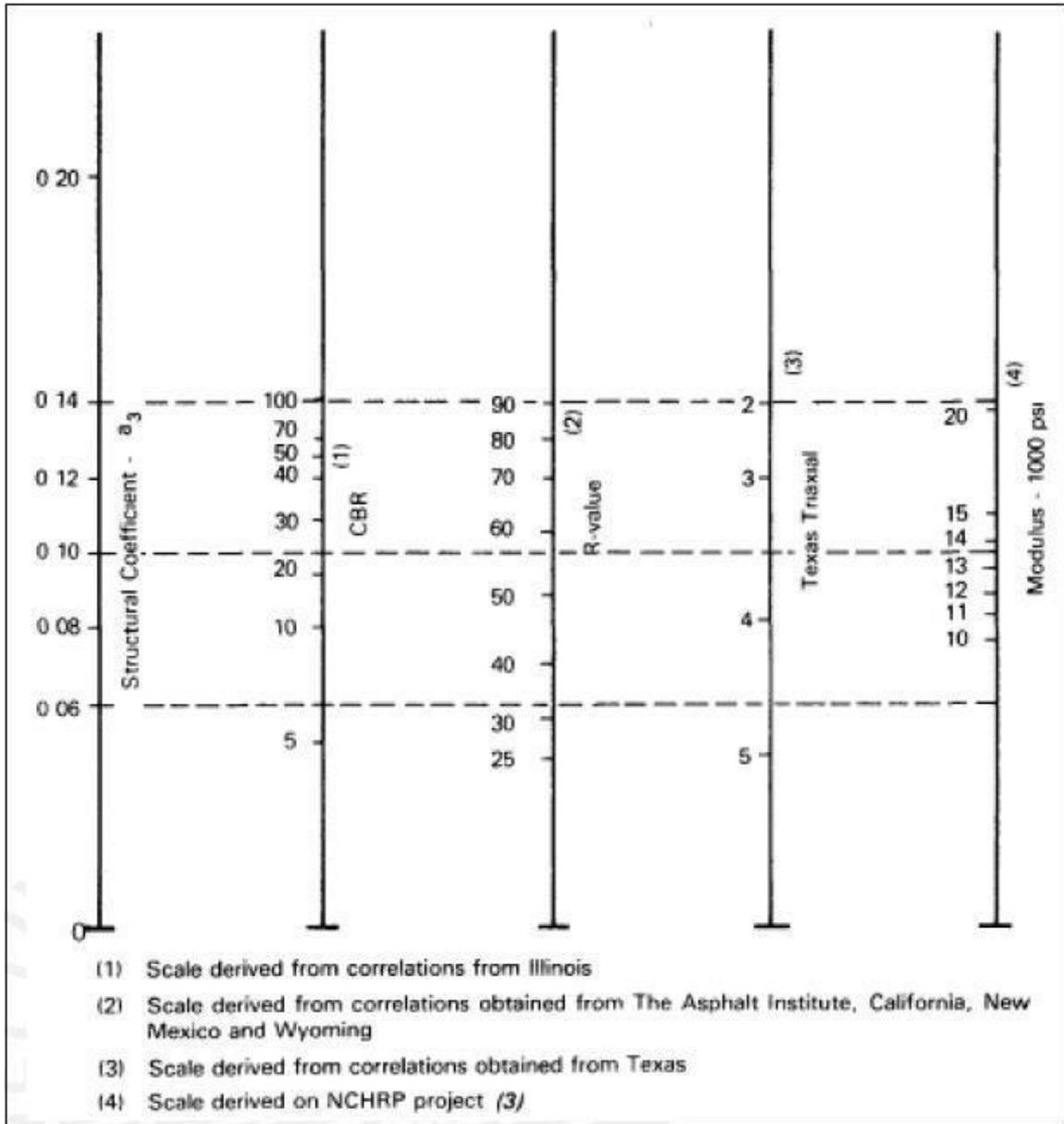
Se debe resaltar que para hallar el coeficiente estructural a2 se ha utilizado el valor de 100% CBR y para hallar el valor de a3 se ha realizado una interpolación en la gráfica respectiva.

Ilustración 11: Coeficiente estructural a_2 en función de diferentes parámetros de fuerza de la base



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Ilustración 12: Coeficiente estructural a_3 en función de diferentes parámetros de fuerza de la subbase



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

4.2.2.6 Pérdida de serviciabilidad

La serviciabilidad representa el confort o comodidad de circulación que la vía ofrece al usuario; su valor se encuentra comprendido entre 0 y 5, donde 5 representa la condición máxima ideal. La pérdida de serviciabilidad se encuentra definida como la diferencia entre la serviciabilidad inicial (p_0) y la serviciabilidad final (p_t).

De acuerdo a la guía de la AASHTO, se recomienda el uso de una serviciabilidad inicial de 4.2 para pavimentos flexibles. La serviciabilidad final es de 3. De esta manera la pérdida de serviciabilidad tiene el valor de 1.2.

4.2.2.7 Coeficiente de Drenaje

Es la relación entre el módulo de elasticidad en condiciones óptimas de humedad y el módulo de elasticidad en condiciones específicas de humedad. Un valor de 1,0 indica condiciones de drenaje similares a las utilizadas en las pruebas de carretera de la AASHTO, mientras que valores superiores a 1,0 indican mejores condiciones que las utilizadas en dichas pruebas.

Para calcular el coeficiente de drenaje, se deben conocer dos parámetros: la calidad de drenaje del material y el porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad casi saturados.

Al diseñar la vía investigada, se tendrá en cuenta el suelo y los materiales base de buena calidad de drenaje (el pavimento debe secarse no más de 1 día) y se determinará el porcentaje de tiempo en que el pavimento estará expuesto a niveles de humedad cercanos a kl. mayor al 25% de saturación. De acuerdo con las pautas de AASHTO, los coeficientes de drenaje m1 y m2 asumirán un valor de 1.0 como se muestra a continuación:

Tabla 16: Valores recomendados de coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles

Quality of drainage	Less than 1%	1-5%	5-25%	Greater than 25%
Excellent	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Good	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Fair	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Poor	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Very poor	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

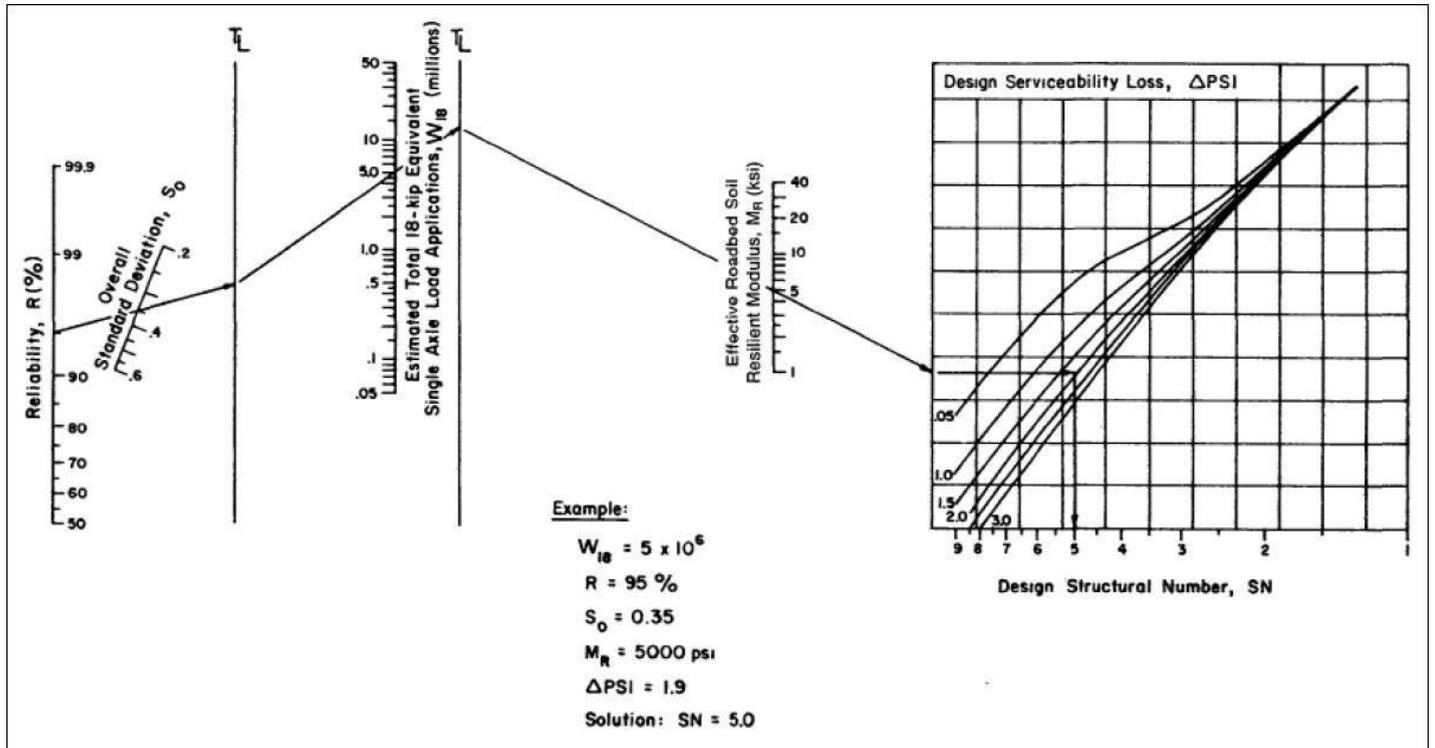
4.2.2.8 Diseño de espesores

Con el objetivo de hallar los espesores de las capas del pavimento flexible, la guía de la AASHTO desarrolló la siguiente ecuación para el cálculo del número estructural (SN):

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

Sin embargo, el uso de la ecuación mostrada resulta tediosa por lo que se utilizará, para el cálculo del número estructural que se muestra a continuación. Una vez obtenido este valor es necesario calcular el espesor de cada una de las capas, para lo cual se debe tomar en cuenta que el número estructural de un pavimento se encuentra definido en relación al espesor de sus capas (D_i), sus coeficientes estructurales (a_i) y sus coeficientes de drenaje (m_i), bajo la siguiente fórmula: $SN = a_1 D_1 \times a_2 m_2 D_2 \times a_3 m_3 D_3$.

Ilustración 13: Nomograma para el cálculo del número estructural (SN) en pavimentos flexibles



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Otro punto a tomar en cuenta son los espesores mínimos recomendados los cuales son mostrados en la siguiente tabla 17 de la guía AASHTO

Tabla 17: Espesores mínimos (pulgadas) de carpeta asfáltica y base

Traffic, ESAL	Asphalt concrete	Aggregate base
Less than 50,000	1.0 (or surface treatment)	4.0
50,001 – 150,000	2.0	4.0
150,001 – 500,000	2.5	4.0
500,001 – 2,000,000	3.0	6.0
2,000,001 – 7,000,000	3.5	6.0
Greater than 7,000,000	4.0	6.0

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Debido a que el ESAL calculado anteriormente fue de 12.00×10^6 , el espesor mínimo correspondiente a la carpeta asfáltica sería de 4 pulgadas mientras que el correspondiente a la capa de base granular sería de 6 pulgadas.

Previo al cálculo de los espesores de capa se debe hallar el número estructural asociado al módulo resiliente de la base, subbase y subrasante. De acuerdo a la guía de la AASHTO para hallar el módulo resiliente de la base y la subbase se puede hacer uso de las mismas gráficas que sirvieron para hallar los coeficientes estructurales a_2 y a_3 (grafico 2 y 3).

Para el cálculo del módulo resiliente de la base:

$$a_2 = 0.249 \log(Mr \text{ base}) - 0.977$$

Como a_2 fue hallado anteriormente y tiene un valor de 0.14, el valor del módulo resiliente de la base sería de 30,616 psi o 30.6 ksi.

Para el cálculo del módulo resiliente de la subbase:

$$a_3 = 0.227 \log(Mr \text{ subbase}) - 0.839$$

Como a_3 fue hallado anteriormente y tiene un valor de 0.11, el valor del módulo resiliente de la subbase sería de 15,157 psi o 15.2 ksi.

Además, conocidos los valores de confiabilidad ($R = 90\%$), desviación estándar combinada ($S_o = 0.44$), número de ejes equivalentes ($ESAL = 12.00 \times 10^6$) y pérdida de serviciabilidad ($\Delta PSI = 1.2$), se tiene la siguiente tabla resumen:

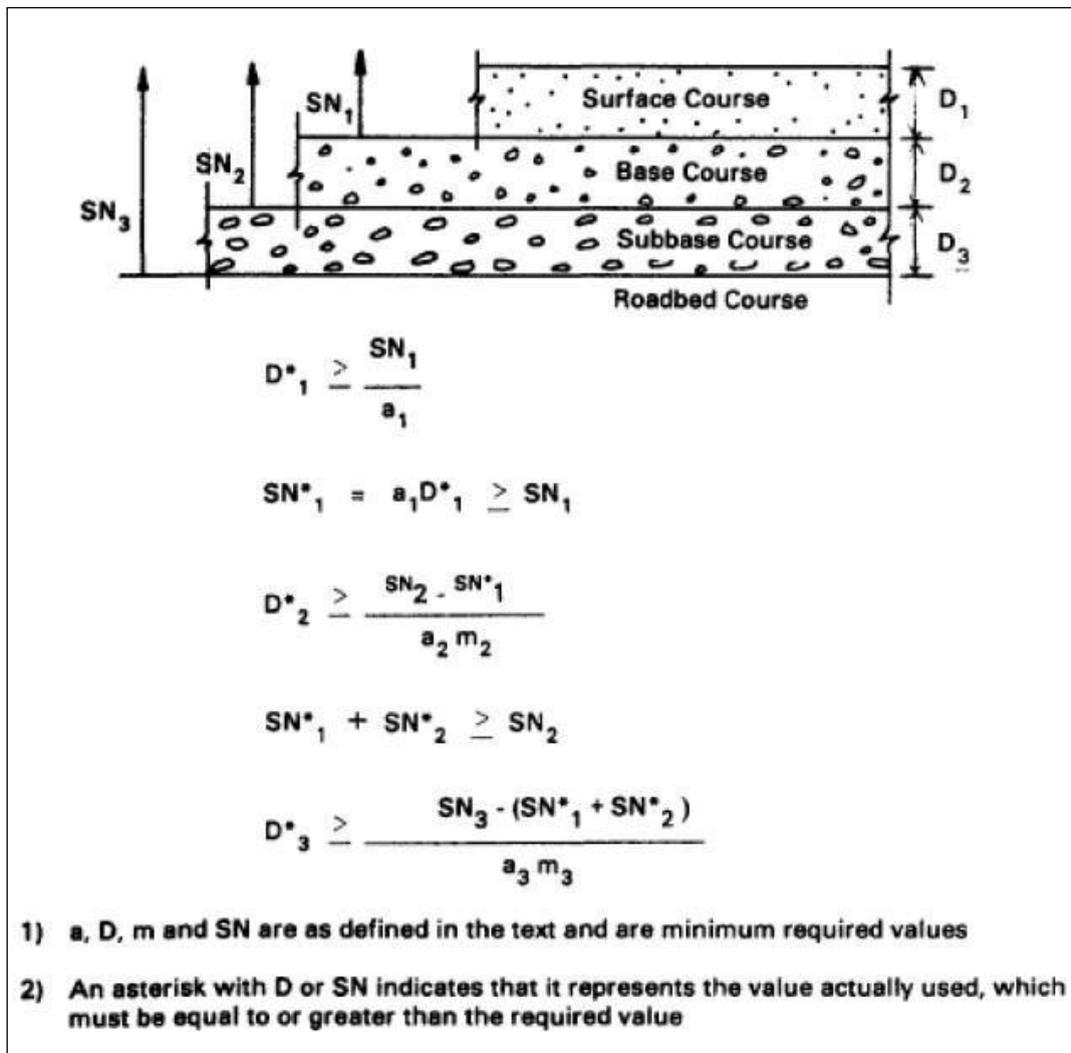
Tabla 18: Número estructural (SNi) asociado al módulo de resiliencia (Mr) de la base, subbase y subrasante

Capa	Módulo de resiliencia (Mr)	Número estructural (SNi)
Base	30.6 ksi	3.2 (SN1)
Subbase	15.2 ksi	4.4 (SN2)
Subrasante	8.0 ksi	5.5 (SN3)

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, para el cálculo de los espesores, se utilizará el procedimiento de la guía AASHTO que se muestra a continuación:

Ilustración 14: Procedimiento de diseño de los espesores de las capas de un pavimento flexible



Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)

Se tienen como datos hallados anteriormente lo siguiente: $a_1=0.4$, $a_2=0.14$, $m_2=1.0$, $a_3=0.11$ y $m_3=1.0$

Primero, para el cálculo del espesor D_1 de la subbase se considera el módulo de resiliencia (M_r) de la subbase y el número estructural SN_1 que se requiere para proteger a la subbase, de donde:

Como el número estructural SN_1 es igual a 3.2, entonces, $D_1 \geq 7.27"$. Usamos el valor de 7.50 pulgadas, lo cual es mayor al espesor mínimo recomendado por la AASHTO de 4 pulgadas.

Posteriormente para determinar el espesor D_2 de la capa base, se considera el módulo de resiliencia (M_r) de la subbase para obtener el número estructural SN_2 que se requiere para proteger a la subbase, de donde:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2}$$

Como el número estructural SN_2 es igual a 4.4, entonces:

$$D_2 \geq \frac{4.4 - 0.44 \times 7.50}{0.14 \times 1.0}$$

$$D_2 \geq 7.86" = 19.96 \text{ cm}$$

Usamos el valor de $D_2 = 20 \text{ cm}$ o 7.87 pulgadas, el cual es mayor al espesor mínimo recomendado por la AASHTO de 6 pulgadas.

Finalmente, para el cálculo del espesor D3 de la capa subbase, se considera el módulo de resiliencia (Mr) de la subrasante para obtener el número estructural SN3 que se requiere para proteger a la subrasante, de donde:

$$D3 \geq \frac{SN3 - a1D1 - a2D2m2}{a3m3}$$

Como el número estructural SN3 es igual

$$D3 \geq \frac{5.5 - 0.4}{a3m3}$$

Usando

Sin embargo, no existe una única solución para determinar los espesores de capas ya que estos pueden variar y aun así cumplir con los requisitos de espesores mínimos y de número estructural mínimo. A continuación, se presentan diferentes configuraciones de posibles espesores para cada una de las capas:

Tabla 19: Alternativas AASHTO de espesores del pavimento flexible (I)

Alternativa	Espesores de capas		
	D1 (pulgadas)	D2 (cm)	D3 (cm)
Alternativa 1	7.50	20.00	30.00
Alternativa 2	7.50	25.00	20.00
Alternativa 3	7.50	30.00	15.00
Alternativa 4	8.00	20.00	25.00
Alternativa 5	8.00	25.00	15.00
Alternativa 6	8.50	15.00	25.00
Alternativa 7	8.50	20.00	20.00
Alternativa 8	8.50	25.00	15.00
Alternativa 9	9.00	15.00	20.00
Alternativa 10	9.00	20.00	15.00

Fuente: Elaboración Propia

La guía de la AASHTO también plantea otra metodología que consiste en considerar los espesores de la carpeta asfáltica y de la base como valores cercanos a los espesores mínimos recomendados para así hallar el valor del espesor de la subbase.

Tenemos como dato que el SN asociado a la subrasante es de 5.5 y los espesores recomendados de la guía para la carpeta asfáltica y la base son de 4 pulgadas y 15 cm respectivamente. De esta manera tenemos que:

$$SN = D1x a_1 + D2x a_2x m_2 + D3x a_3x m_3$$

$$5.5 = 4x0.44 + \left(\frac{15}{2.54}\right)x0.14x1.0 + \left(\frac{D3}{2.54}\right)x0.11x1.0$$

$$D3 = 67.27 \text{ cm}$$

El valor del espesor de la subbase es de aproximadamente 70 cm; sin embargo, al igual que la metodología anterior, no existe una única solución ya que los espesores de la carpeta asfáltica y de la base pueden incrementar. Siendo así, tenemos la siguiente tabla resumen con las alternativas de solución propuestas:

Tabla 20: Alternativas AASHTO de espesores del pavimento flexible (II)

Alternativa	Espesores de capas		
	D1 (pulgadas)	D2 (cm)	D3 (cm)
Alternativa 1	4.00	15.00	70.00
Alternativa 2	4.00	20.00	65.00
Alternativa 3	4.00	25.00	55.00
Alternativa 4	4.00	30.00	50.00
Alternativa 5	4.50	15.00	65.00
Alternativa 6	4.50	20.00	60.00
Alternativa 7	4.50	25.00	50.00
Alternativa 8	4.50	30.00	45.00
Alternativa 9	5.00	15.00	60.00
Alternativa 10	5.00	20.00	55.00
Alternativa 11	5.00	25.00	45.00
Alternativa 12	5.00	30.00	40.00

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 15: Sección transversal del pavimento flexible – AASHTO

Carpeta Asfáltica	Espesor: 4" - 5". Pavimento de concreto asfáltico en caliente
Base Granular	Espesor: 15cm – 30cm. CBR: 112%. Compactación al 100% de la máxima densidad seca del Ensayo Proctor Modificado
Sub Base Granular	Espesor: 40cm – 70cm. CBR: 29%. Compactación al 100% de la máxima densidad seca del Ensayo Proctor Modificado
Sub Rasante	Espesor: 30cm. CBR: 6%. Compactación al 95% de la máxima densidad seca del Ensayo Proctor Estándar

Fuente: Elaboración Propia

De las dos metodologías recomendadas por la guía de la AASHTO, esta última proporciona espesores más bajos en las capas más costosas (carpeta asfáltica y base granular), lo cual se traduce en un menor costo global de construcción; razón por la cual es usada en el diseño de pavimentos flexibles en el Perú.

En el capítulo de análisis económico se averiguará cuál de las alternativas de esta última metodología es la mejor opción para llevar a cabo el diseño final del pavimento flexible por la metodología de la AASHTO.

4.3 Diseño con e Método del Instituto de Asfalto

El instituto del Asfalto (IA) publicó desde 1954 hasta el año 1969 ocho ediciones para el diseño de espesores de pavimentos asfálticos. Los procedimientos de estos manuales eran empíricos, pero la novena edición se publicó en 1981 y, a diferencia de las ediciones anteriores, utilizó la teoría de la mecánica multicapa combinada con la falla empírica. Criterios para determinar el espesor del revestimiento.

Con base en los resultados del programa de computadora DAMA desarrollado por el Instituto de Asfalto, se desarrollaron una serie de diagramas de diseño para tres regímenes de temperatura diferentes.

Incluye un gráfico para un régimen que representa la mayor parte de los EE. UU., pero se actualizó en 1991 para incluir gráficos para tres rangos de temperatura. El enfoque del Instituto del Asfalto se desarrolló para tener en cuenta los dos tipos de deformación más comunes y críticos en el diseño de pavimentos asfáltico.

El diseño por la metodología del Instituto del Asfalto toma en cuenta los dos tipos de deformaciones más frecuentes y más críticos en el diseño de pavimentos asfálticos.

El primero es el daño por fatiga causado por la deformación por tracción horizontal en la parte inferior de la plataforma asfáltica, y el segundo es el daño por deformación permanente causado por la deformación por compresión vertical en la superficie de la subrasante.

El enfoque del Instituto de Asfalto utiliza estos dos tipos de deformación como criterio de falla estructural

El criterio de falla por fatiga se encuentra representado en la siguiente ecuación:

Donde:

- N_f es el número de ejes equivalentes para controlar la falla por fatiga (20% del área total como máximo)
- C es función que depende del porcentaje del volumen de vacíos (V_a %) y del porcentaje del volumen de asfalto (V_b %) de la mezcla asfáltica compactada, ϵ_t es la deformación por tracción horizontal admisible en la base de la carpeta asfáltica.
- E es el módulo dinámico de la mezcla asfáltica (Mpa).

El parámetro C se determina de la siguiente manera:

$$C = 10^{4.84 \times \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69\right)}$$

Por otro lado, el criterio de falla por deformación permanente se encuentra representado por la siguiente ecuación:

$$\epsilon_c = 1.05 \times 10^{-2} \times N_d^{-0.2233}$$

Estas ecuaciones de diseño son usadas por el programa DAMA y del cual se derivan los diagramas de diseño que serán presentados más adelante.

4.3.1 Variable de Diseño

- Tránsito de diseño; el número de ejes equivalentes (ESAL) se halló anteriormente en el capítulo 3 y corresponde al valor de 12.00×10^6 para el caso del pavimento flexible.
- Módulo resiliente de la subrasante; según el manual del Instituto del Asfalto, se deberían realizar entre seis y ocho ensayos para determinar el valor de diseño del módulo de resiliencia de la subrasante. El valor de dicho módulo debe ser menor que el 60, 75 o 87.5% de los otros ensayos. Estos porcentajes son conocidos como valores porcentuales y son relativos al nivel del tráfico tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 21: Límites de diseño del módulo resiliente de la subrasante

Traffic levels, 80 KN ESAL	Design subgrade percentile value
< 10,000	60
10,000 – 1,000,000	75
> 1,000,000	87.5

Fuente: The Asphalt Institute (1991)

De acuerdo a la tabla mostrada, el valor del módulo resiliente de la subrasante deberá ser menor que el 87.5% de los otros ensayos al contar con un tráfico mayor que 1×10^6 ESAL.

Como se mencionó anteriormente, se cuenta con un solo valor del CBR de la subrasante por lo que existirá un único valor del módulo resiliente de la subrasante, el cual se asumirá que cumple la condición mencionada. Siendo el valor del CBR de 6% a una compactación del 95% de la densidad máxima del ensayo Proctor Estándar.

El valor del módulo de resiliencia de la subrasante (M_r) de acuerdo a la fórmula dada por el AASHTO $M_r (\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}(\%)^{0.64}$

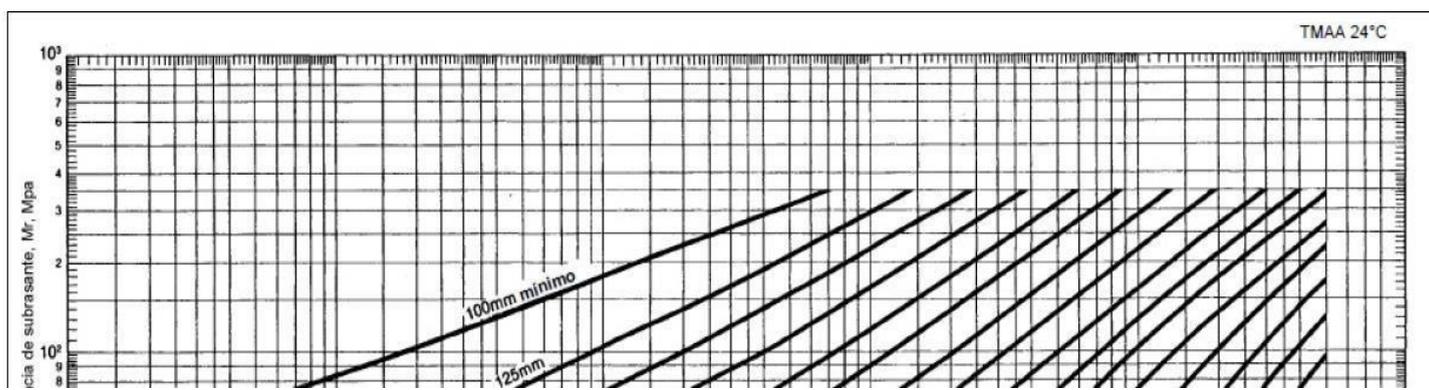
Se obtuvo así un valor del módulo de resiliencia de la subrasante de 8,043 psi, lo cual es equivalente a aproximadamente 55 Mpa.

4.3.2 Diseño de Espesores

Como se mencionó en este capítulo, el Instituto del Asfalto ha desarrollado diagramas de diseño para 3 diferentes temperaturas promedio anual del aire: 7°C, 15.5°C y 24°C. Como la temperatura del tramo a diseñar es de 26.5°C y esta es más cercana a 24°C, se utilizarán las cartas de diseño correspondientes a dicha temperatura.

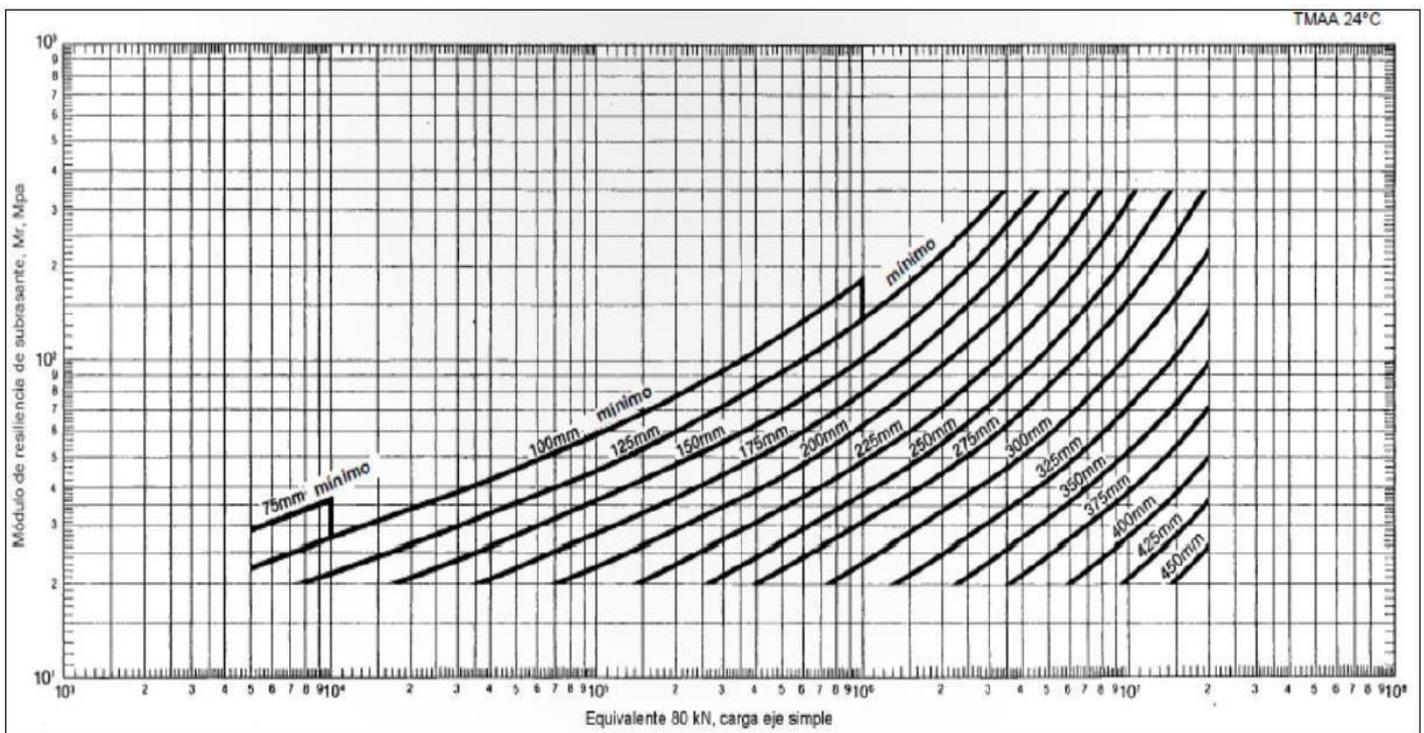
Así mismo, para cada temperatura se cuenta con tres cartas de diseño diferentes en relación al espesor usado de la base; se tiene así cartas de diseño para la carpeta asfáltica en todo su espesor, para una base de 15 cm y para una base de 30 cm. Cabe resaltar que es posible transformar parte del espesor de la carpeta asfáltica y de la base en espesor de subbase mediante la relación de coeficientes estructurales y de drenaje de cada una de las capas, los cuales fueron hallados anteriormente en el diseño por la metodología AASHTO.

Gráfico 1: Carta de diseño para la carpeta asfáltica en todo su espesor



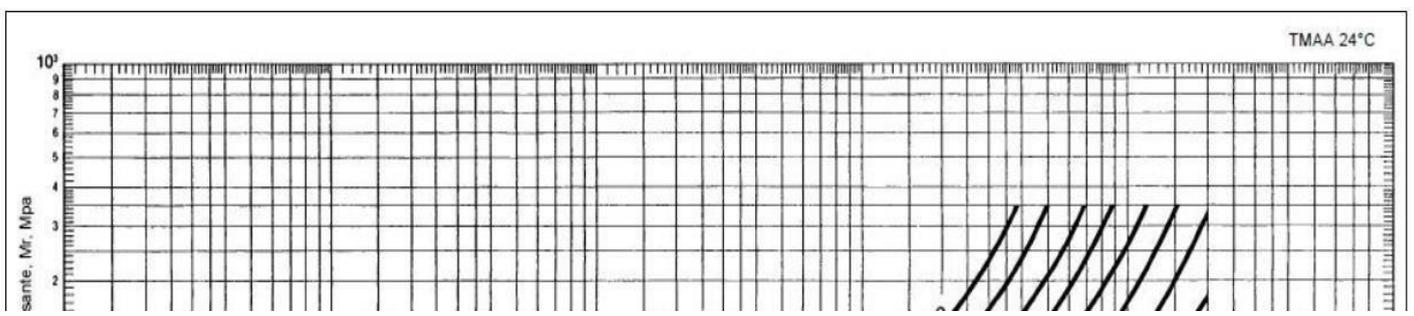
Fuente: The Asphalt Institute (1991)

Grafico 2: Carta de diseño para la carpeta asfáltica y 15 cm de espesor de base



Fuente: The Asphalt Institute (1991)

Grafico 3: Carta de diseño para la carpeta asfáltica y 30 cm de espesor de base



Fuente: The Asphalt Institute (1991)

Entramos a los gráficos con el valor de 55 Mpa y el valor de 1.2×10^7 número de ejes equivalentes (ESAL), con lo cual se obtiene un espesor completo de carpeta asfáltica de aproximadamente 410 mm en el primer gráfico (tabla 22), un espesor de carpeta asfáltica de 360 mm, considerando una base de 15 cm en el segundo gráfico (imagen 18) y un espesor de carpeta asfáltica de 340 mm, considerando una base de 30 cm

Tabla 22: Alternativas de espesores de carpeta asfáltica y base

Alternativa	Carpeta Asfaltca (cm)	Base (cm)
Alternativa 1	41	0
Alternativa 2	36	15
Alternativa 3	34	30

Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionó, una parte de la carpeta asfáltica y/o de la base pueden ser reemplazados por material granular en la subbase, haciendo uso de los coeficientes estructurales y coeficientes de drenaje hallados anteriormente ($a_1=0.44$, $a_2=0.14$, $m_2=1.0$, $a_3=0.11$, $m_3=1.0$). Para ello, hallamos el número estructural asociado a cada una de las tres alternativas propuestas:

Tabla 23: SN asociado a las tres alternativas de diseño

Alternativa	Carpeta Asfáltica (cm)	Base (cm)	SN
Alternativa 1	41	0	7.10
Alternativa 2	36	15	7.06
Alternativa 3	34	30	7.54

Fuente: Elaboración Propia

Nos dimos cuenta de que las tres alternativas tenían números de estructura similares, por lo que elegimos la más baja (SN = 7.06) porque cumplía con los requisitos de rendimiento suficiente y era la que proporcionaría el menor espesor de capa. Este valor se utilizará para evaluar diferentes combinaciones de espesores de capa que den como resultado múltiples estructuras mayores o iguales que el número original de estructuras. Según el Instituto del Asfalto, el espesor mínimo de las capas asfálticas de tráfico es superior a 1×10^6 ESAL 125 mm, como se muestra en la siguiente tabla. Esto puede deberse al factor de seguridad inherente al método, que proporciona una capa de mejor calidad sobre el recubrimiento.

Tabla 24: Espesores mínimos requeridos de carpeta asfáltica

Traffic ESAL	Traffic condition	Minimum thickness
10^4	Light traffic parking lots, driveways, and light traffic rural roads	75 mm (3.0 in)
10^4 to 10^6	Medium truck traffic	100 mm (4.0 in)
10^6	Medium to heavy truck traffic	125 mm (5.0 in) or greater

Fuente: The Asphalt Institute (1991)

De esta manera, tenemos las siguientes alternativas de diseño, considerando un espesor mínimo de carpeta asfáltica de 5 pulgadas o 12.5 cm.

Tabla 25: Alternativas IA de espesores de capa del pavimento flexible

Alternativa	Carpeta asfáltica (pulgadas)	Base (cm)	Subbase (cm)	SN
Alternativa 1	5.00	15.00	95.00	7.14
Alternativa 2	5.00	20.00	90.00	7.20
Alternativa 3	5.00	25.00	85.00	7.26
Alternativa 4	5.00	30.00	75.00	7.10
Alternativa 5	5.50	15.00	90.00	7.14
Alternativa 6	5.50	20.00	85.00	7.20
Alternativa 7	5.50	25.00	80.00	7.26
Alternativa 8	4.50	30.00	70.00	7.11
Alternativa 9	6.00	15.00	85.00	7.15
Alternativa 10	6.00	20.00	80.00	7.21
Alternativa 11	6.00	25.00	75.00	7.27
Alternativa 12	5.00	30.00	65.00	7.11

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26: Sección transversal del pavimento flexible – IA

Carpe ta asfáltica	Espesor: 5” - 6”. Pavimento de concreto asfáltico en caliente
Base granular	Espesor: 15cm – 30cm. CBR: 112%. Compactación al 100% de la máxima densidad seca del Ensayo Proctor Modificado
Subbase granular	Espesor: 65cm – 95cm. CBR: 29%. Compactación al 100% de la máxima densidad seca del Ensayo Proctor Modificado
Subrasante	Espesor: 30cm. CBR: 6%. Compactación al 95% de la máxima densidad seca del Ensayo Proctor Estándar

Fuente: Elaboración Propia

Todas las configuraciones mostradas son válidas al contar con un número estructural mayor o igual a 7.06; sin embargo, al igual que en el diseño por el método AASHTO, la diferencia de espesores origina una diferencia en el costo de construcción.

4.4 Diseño de Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto

Para el diseño de pavimento con adoquines de concreto se propone el método de diseño IPCI (Interlocking Concrete Pavement Institute), este es un proceso simplificado que toma en cuenta las siguientes guías de diseño: Structural Design of Concrete Block Pavement y la Guide for Design of Pavement Structures.

Espesores Mínimos de Adoquines de Concreto y Cama de Arena

**Tabla 27: Valores recomendados de Espesores
Mínimos de Adoquín de Concreto y Cama de Arena**

Ejes equivalentes acumulados		Capa Superficial	Cama de Arena
≤ 150,000		Adoquín de Concreto: 60mm	40 mm
150,001	7,500,000	Adoquín de Concreto: 80mm	40 mm
7,500,001	15'000,000	Adoquín de Concreto: 100mm	40 mm

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos
Sección Suelos y Pavimentos.

El espesor mínimo de construcción es de 100 mm para bases granulares, 90 mm para bases asfálticas y 100 mm para bases cementosas.

De igual forma, en el manual del MTC, el plazo de diseño para el catálogo de construcción de adoquines granulados es de 20 años.

El espesor del adoquín debe ser de 6 cm, la capa de arena de 4 cm y la base granular de 28 cm. Esto se debe a que tenemos un caudal de Tp1 y un CBR de 6,91%.

Ilustración 16: catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular período de diseño 15 años

EE	T_{p0}	T_{p1}	T_{p2}	T_{p3}	T_{p4}	T_{p5}	T_{p6}	T_{p7}
	75,001 – 150,000	150,001 – 300,000	300,001 – 500,000	500,001 – 750,000	750,001 – 1'000,000	1'000,001 – 1'500,000	1'500,001 – 3'000,000	3'000.001 – 5'000,000
CBR < 6%	6 cm 4 cm 22 cm (*)	6 cm 4 cm 28 cm (*)	6 cm 4 cm 20 cm 15 cm (*)	8 cm 4 cm 20 cm 15 cm (*)	8 cm 4 cm 20 cm 15 cm (*)	8 cm 4 cm 25 cm 16 cm (*)	8 cm 4 cm 30 cm 20 cm (*)	8 cm 4 cm 30 cm 27 cm (*)
$\geq 6\%$ CBR < 10%	6 cm 4 cm 22 cm	6 cm 4 cm 28 cm	6 cm 4 cm 20 cm 15 cm	8 cm 4 cm 20 cm 15 cm	8 cm 4 cm 20 cm 15 cm	8 cm 4 cm 25 cm 16 cm	8 cm 4 cm 30 cm 20 cm	8 cm 4 cm 30 cm 27 cm
$\geq 10\%$ CBR < 20%	6 cm 4 cm 17 cm	6 cm 4 cm 22 cm	6 cm 4 cm 26 cm	8 cm 4 cm 26 cm	8 cm 4 cm 26 cm	8 cm 4 cm 20 cm 15 cm	8 cm 4 cm 25 cm 16 cm	8 cm 4 cm 26 cm 15 cm
$\geq 20\%$ CBR < 30%	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 20 cm	8 cm 4 cm 20 cm	8 cm 4 cm 20 cm	8 cm 4 cm 22 cm	8 cm 4 cm 28 cm	8 cm 4 cm 20 cm 15 cm
CBR $\geq 30\%$	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 18 cm	8 cm 4 cm 25 cm	8 cm 4 cm 28 cm

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos
Sección Suelos y Pavimentos



Adoquín de
Concreto



Capa de Arena



Base Granular



Sub Base
Granular

Nota:

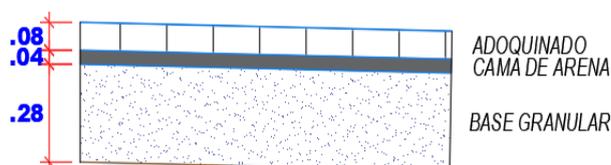
- (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
- EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y período de diseño.
- En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:

- a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.

Por lo tanto, en el presente trabajo utilizaremos adoquines de espesor 8cm por ser el mínimo como indica el manual.

La cama de arena de 4cm y base granular de 28 cm como indica el catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular período de diseño 10 - 15 años

Ilustración 17: Sección Pavimento Semirrígido



Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Trafico

Para este informe de tesis se consideró para el estudio de tráfico tomar como tramo de estudio jirón Ramon Castilla por 7 días.

ESAL= 1 025.445 E. E

Por lo tanto, se tiene un CBR (prom) = $\frac{13.97+16.41}{2} = 15.19\%$

Tabla 28: Categorías de Sub Rasante

En este informe de investigación el CBR que obtuvimos fue 15.19% y verificando en la Tabla 28, está dentro del rango CBR mayor o igual del 10 % y menor e igual del 20%, considerándose como Sub rasante Buena.

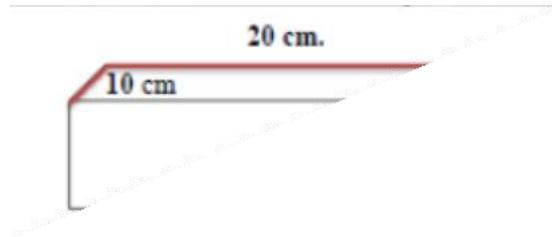
Tabla 29: Espesores mínimos de adoquín de concreto y cama de arena

Ejes equivalentes acumulados		Capa Superficial	Cama de Arena
≤ 150,000		Adoquín de Concreto: 60mm	40 mm
150,001	7,500,000	Adoquín de Concreto: 80mm	40 mm
7,500,001	15'000,000	Adoquín de Concreto: 100mm	40 mm

Fuente: Elaboración Propia, Adaptación del ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute)

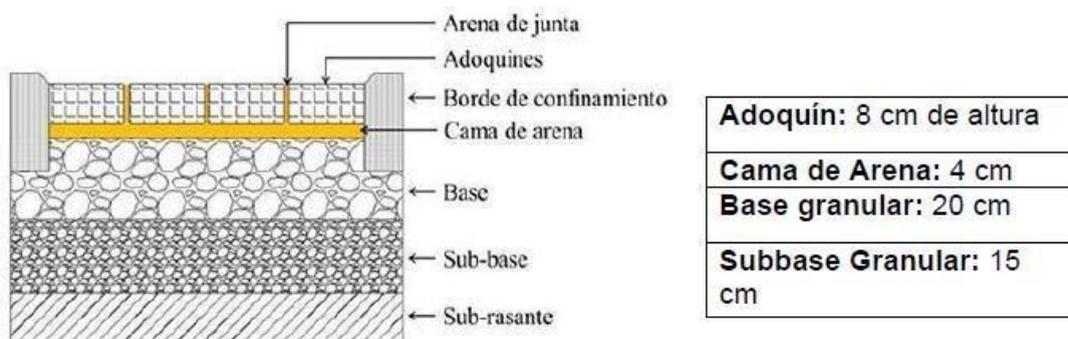
En este informe de tesis el ESAL, que obtuvimos fue 1025.445 E.E, y verificando en la Tabla 29, está dentro del rango de ejes equivalentes acumulados que oscila en 150,001 y 7,500.00, por esto se considera una capa superficial de 80 mm y la cama de arena de 40 mm

Según la Norma Técnica Peruana NTP.399.611 Especificaciones técnicas para expedientes técnicos de adoquines, se empleará el adoquín tipo II con una altura de 08 mm, con un ancho de 10 cm y un largo de 20 cm.



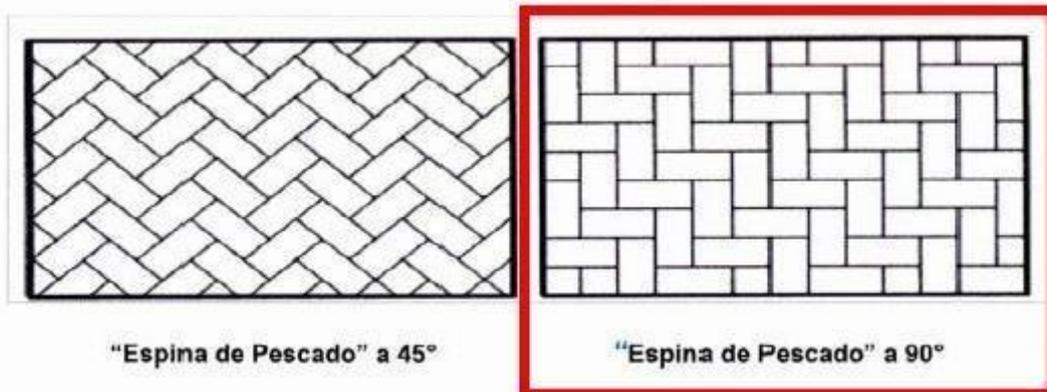
Cabe mencionar que según en el catálogo del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, la sección para pavimento semirrígido de 8 cm de espesor de adoquín, 4 cm de cama de arena, 20 cm de base granular y 15 cm. de Sub - base granular

La sección transversal propuesta sería la siguiente:



Como se muestra en la imagen, la sección transversal está conformada por la subrasante que presenta un CBR de 15.19 % resultado obtenido por los distintos ensayos donde se ubicará una subbase granular de 15 cm y una base granular de 20 cm, la cama de arena de 4 cm y el adoquín de 8 cm de altura.

Cabe resaltar que el proceso constructivo según el catálogo del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” por patrón de colocación y ensamblaje de los adoquines a considerar será de tipo “Espina de pescado” a 90°, el cual tendrá un mayor rendimiento a su vida útil y uso ante las fuerzas de frenado, aceleración y giro que emite el tráfico vehicular.

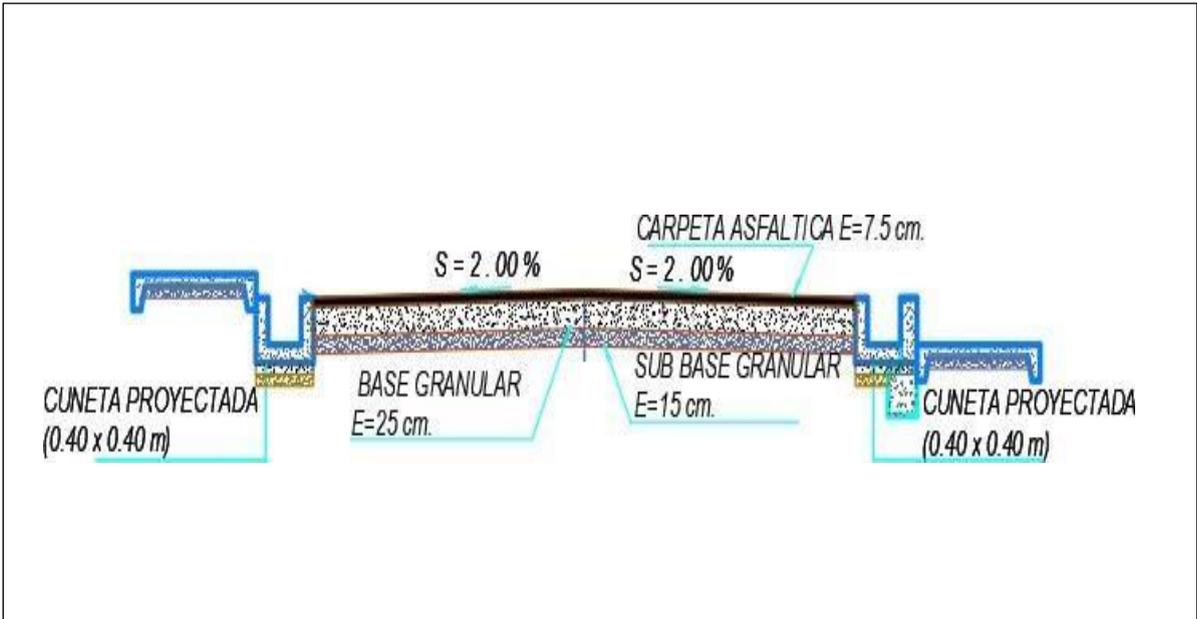


4.5 PRESUPUESTO

4.5.1 Presupuesto Pavimento Flexible

Ilustración 18: Características de la vía con Pavimento Flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE	
Longitud	Cantidad
Jr. Ramon Castilla C01 – C07	7,244.95m ²
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Ramon Castilla C01 – C07	7.00 m
Sección	



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19: Presupuesto

PRESUPUESTO - PAVIMENTO FLEXIBLE

Presupuest 1101006 EVALUACION DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS, FLEXIBLE Y SEMIRRÍGIDO, EN EL JR. RAMÓN CASTILLA, C.P. NUEVE DE ABRIL, DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Subpresup 001 PAVIMENTO FLEXIBLE

Cliente PAIMA MOSQUEDA, Paul Erikc - BUENDIA CACHIQUÉ, Héctor

Costo al 26/01/2023

Lugar SAN MARTIN - TARAPOTO - CP NUEVE DE ABRIL

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	OBRAS PROVISIONALES				1,732.25
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	1,732.25	1,732.25
02	OBRAS PRELIMINARES				135,374.49
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	16,301.51	3.52	57,381.32
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	16,301.51	4.09	66,673.18
02.03	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	glb	1.00	11,320.00	11,320.00
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				634,921.48
03.01	EXCAVACION MASIVA CON MAQUINARIA EN MATERIAL	m3	6,734.53	15.20	102,364.86
03.02	TERRAPLEN CON MATERIAL SELECTO DE PRESTAMO	m3	1,646.91	71.82	118,281.08
03.03	RELLENO Y COMPACTACION DE BASE Y SUB BASE	m3	3,622.48	70.79	256,435.01
03.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	8,418.16	18.75	157,840.55
04	PAVIMENTO FLEXIBLE				1,492,025.00
04.01	SUB BASE GRANULA e=0.20 m	m2	7,244.95	47.32	342,831.03
04.02	BASE GRANULA e=0.15 m	m2	7,244.95	59.32	429,770.43
04.03	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	7,244.95	13.85	100,342.56
04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2"	m2	7,244.95	80.95	586,478.70
04.05	SELLO DE ARENA	m2	7,244.95	4.50	32,602.28
05	OBRAS DE ARTE				459,069.47
04.01	VEREDA LONGITUDINAL DE CONCRETO	m3	316.10	425.50	134,500.55
04.02	MURO DE CONTENCIÓN	m3	64.90	545.65	35,412.69
04.03	CUNETAS DE CONCRETO	m3	541.20	425.50	230,280.60
04.04	ALCANTARILLAS DE CRUCE	m3	107.90	545.65	58,875.64
06	SEÑALIZACION VIAL				188,320.73
6.01	POSTES SEÑAL REGULADORA R-1	und	20.00	730.00	14,600.00
6.02	POSTES SEÑAL REGULADORA R-30	und	7.00	730.00	5,110.00
6.03	PINTADO DE PAVIMENTO (LINEAS DE CARRIL Y BORDE)	m	6,379.71	18.51	118,088.43
6.04	PINTADO DE TRAFICO (SIMBOLOS Y LETRAS)	m2	768.40	65.75	50,522.30
	COSTO DIRECTO				2,911,443.43
	GASTOS GENERALES (10.00%)				291,144.34
	UTILIDAD (10.00%)				291,144.34
				=====	
	SUB TOTAL				3,493,732.12
	IMPUESTO IGV (18.00%)				628,871.78
				=====	
	PRESUPUESTO TOTAL				4,122,603.90

SON : CUATRO MILLONES CIENTO VEINTIDOS MIL SEISCIENTOS TRES Y 90/100 SOLES

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Presupuesto de pavimento Semirrígido

Ilustración 20: Características de la vía con Pavimento Semirrígido

PAVIMENTO SEMIRRIGIDO	
Longitud	Cantidad
Jr. Ramón Castilla C01 – C07	7,244.95m ²
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Ramón Castilla C01 – C07	7.00 m
Sección	
<p>El diagrama muestra la sección transversal de un pavimento semirrígido. La vía tiene una pendiente transversal de $S = 2.00\%$. El pavimento está compuesto por una capa superior de adoquines (ADOQUIN E=08 cm.) y una base granular (BASE GRANULAR E=28 cm.) que descansa sobre una cama de arena (CAMA DE ARENA E=4.0 cm.). A ambos lados de la vía se encuentran cunetas proyectadas con una sección de 0.40 x 0.40 m.</p>	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21: Presupuesto

PRESUPUESTO - PAVIMENTO SEMIRRIGIDO

Presupuesto 1101006 EVALUACION DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS, FLEXIBLE Y SEMIRRÍGIDO, EN EL JR. RAMÓN CASTILLA, C.P. NUEVE DE ABRIL, DISTRITO DE TARAPOT PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Subpresupue 002 PAVIMENTO SEMIRRIGIDO

Cliente PAIMA MOSQUEDA, Paul Erikc - BUENDIA CACHIQUE, Héctor

Costo

Lugar SAN MARTIN - TARAPOTO - CP NUEVE DE ABRIL

Item	Descripción	Und.	Metrado	Pr
01	OBRAS PROVISIONALES			
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.0	
02	OBRAS PRELIMINARES			
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	16	
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2		
02.03	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	glb		
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS			
03.01	EXCAVACION MASIVA CON MAQUINARIA EN MATERIAL COMUN			
03.02	TERRAPLEN CON MATERIAL SELECTO DE PRESTAMO			
03.03	RELLENO Y COMPACTACION DE BASE Y SUB BASE			
03.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE			
04	PAVIMENTO SEMIRRIGIDO			
04.01	CONFORMACION DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA			
04.02	BASE GRANULA e=0.25 m			
04.03	CONFORMACION DE CAMA PARA ASENTADO D			
04.04	PISO DE ADOQUIN DE CONCRETO			
04.05	SELLO DE ARENA			
05	OBRAS DE ARTE			
04.01	VEREDA LONGITUDINAL DE CONCR			
04.02	MURO DE CONTENCIÓN			
04.03	CUNETAS DE CONCRETO			
04.04	ALCANTARILLAS DE CRUC			
06	SEÑALIZACION VIAL			
6.01	POSTES SEÑAL REG			
6.02	POSTES SEÑAL R			
	COSTO DIRE			
	GASTOS G			
	UTILIDA			
	SU			

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23: Programación de Obra Pavimento Semirrígido

TIEMPO DE EJECUCION - PAVIMENTO SEMIRRIGIDO

Presupuesto EVAL. DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS, FLEXIBLE Y SEMIRRÍGIDO, EN EL JR. RAMÓN CASTILLA, C.P. NUEVE DE ABRIL, DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

TIEMPO DE EJECUCIÓN 120 DÍAS

25

Fuente: Elaboración propia

4.7 COSTO DE PRESUPUESTO DE OBRA

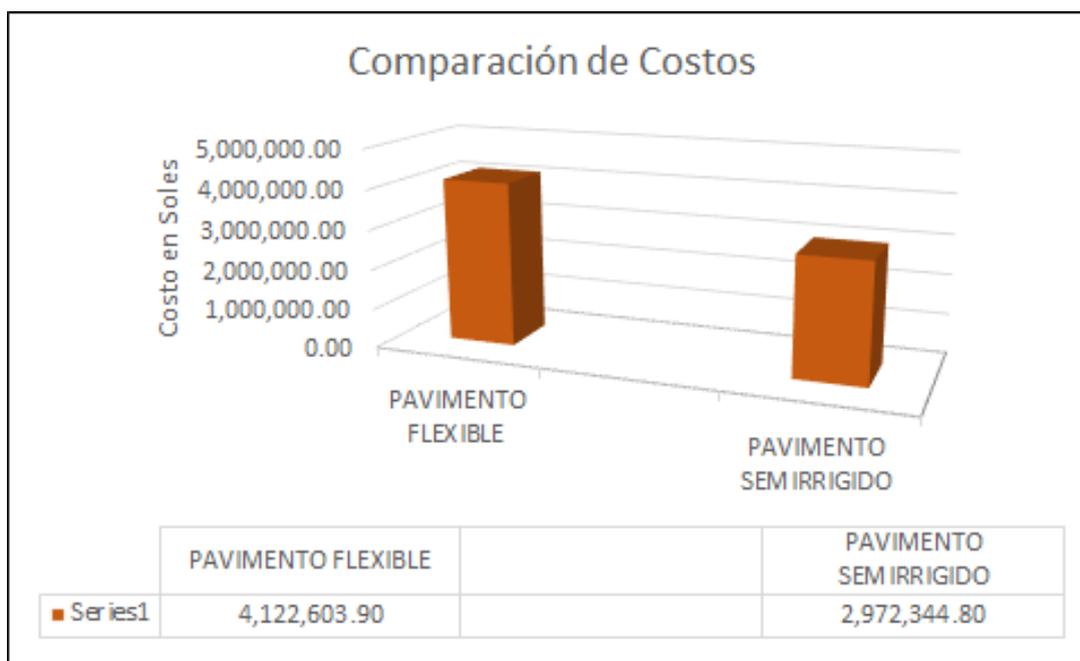
CUADRO COMPARATIVO TÉCNICO- ECONÓMICO

Ilustración 24: Cuadro Comparativo Técnico – Económico

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	4'122,603.90	2'972,344.80
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	401.86	289.73
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	482.23	347.68
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	150	120
MANTENIMIENTO PERIODICO RUTINARIO	AÑOS	5	5
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	10-15

Fuente: Elaboración Propia

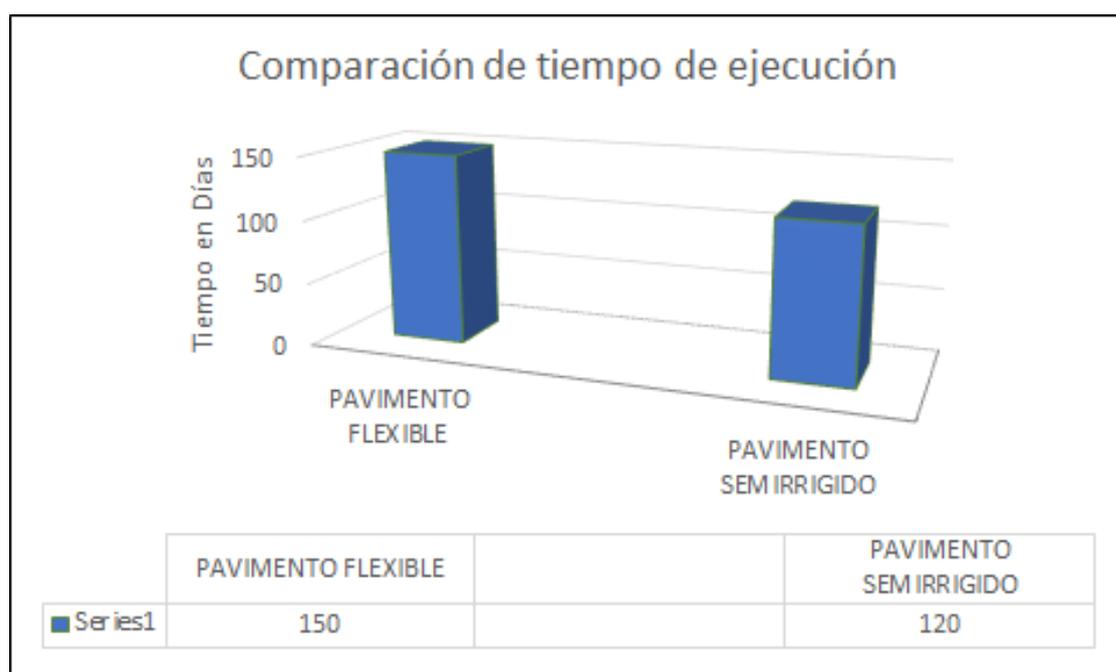
Ilustración 25: Comparación de Costos



Fuente: Elaboración Propia

- En el grafico se puede apreciar que el pavimento flexible es el que tiene un mayor costo con S/ 4'122,603.90 soles, y el pavimento semirrígido con S/ 2'972,344.80 soles.

Ilustración 26: Comparación de Plazos de Ejecución



Fuente: Elaboración Propia

- En el gráfico se aprecia que el pavimento flexible tiene un mayor plazo de ejecución con 150 días y el pavimento semirrígido con 120 días.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Haciendo el análisis comparativo costo y tiempo de ejecución, concluimos que el diseño óptimo para la pavimentación del Jirón Ramón Castilla C01 – C07, **es el Pavimento Semirrígido**.
- Al realizar el presupuesto de los pavimentos flexibles y semirrígido se concluyó que los costos por metro cuadrado son:

Ilustración 27: Cuadro Comparativo Financiero

INDICADOR	UND	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO
COSTO DIRECTO POR M2	S/	401.86	289.73
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/	482.23	347.68

Fuente: Elaboración propia

- Realizando la programación de los trabajos a ejecutarse en el pavimento rígido, pavimento flexible y pavimento semirrígido, se concluyó que los tiempos de ejecución son:

Tabla 30: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	150	120

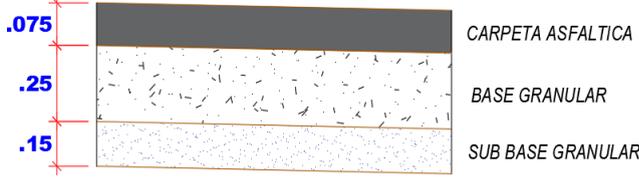
Fuente: Elaboración propia

- De los estudios de tránsito, el número de eje equivalente (ESAL) del pavimento flexible es 12.00E 06, el cual servirá de base para el pavimento semirrígido. Es importante enfatizar que los datos de ESAL solo se usaron

para desarrollar los métodos AASHTO e IA. Cuando se diseña usando el método PCA, la composición de IMDA y eje de cada vehículo se usa para encontrar el número esperado de iteraciones acumuladas para el ciclo de diseño por cada tipo de eje y peso, que es diferente de ESAL, que representa un número. el ciclo de diseño acumulado de iteraciones esperadas hasta 8,2 toneladas de eje equivalente. Los estudios de tráfico son los datos de entrada más importantes en los métodos de diseño de pavimentos, por lo que el diseño de este trabajo propone instalar estaciones de pesaje para ajustar la carga máxima legal permitida para el tipo de vehículo para que no se produzca.

- En conclusión, notamos que en el diseño de pavimentos flexibles, tanto el método AASHTO como el IA brindan más alternativas de diseño. La diferencia entre los dos es el método utilizado. Si bien AASHTO usa los términos confiabilidad, desviación estándar combinada (que tiene en cuenta la variabilidad del tráfico y otros factores que afectan el comportamiento del pavimento) y pérdida de capacidad de servicio; IA proporciona un enfoque más directo mediante la creación de gráficos derivados de los gráficos del programa DAMA para diferentes clasificaciones de temperatura media anual. El diseño con el método IA en este documento logra un SN más alto del recubrimiento, lo que da como resultado un espesor de capa más alto que el diseño con el método AASHTO. Además, el método IA tiene un espesor mínimo de capa de asfalto de 5 pulgadas, a diferencia de AASHTO, que utiliza un espesor mínimo de capa de asfalto de 4 pulgadas.

Ilustración 28: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos

Tipo	Espesores
<p>Pavimento flexible</p>	 <p>.075 .25 .15</p> <p>CARPETA ASFALTICA BASE GRANULAR SUB BASE GRANULAR</p>
<p>Pavimento Semirrígido</p>	 <p>.08 .04 .28</p> <p>ADOQUINADO CAMA DE ARENA BASE GRANULAR</p>

Fuente: Elaboración propia

5.2 RECOMENDACIONES

- Los recubrimientos estudiados tienen diferentes propiedades esenciales que se pueden utilizar, y cada proyecto debe analizarse cuidadosamente para determinar qué solución es la mejor en cada caso, analizando cuidadosa y minuciosamente todos los factores que intervienen en el proyecto.
- El pavimento flexible también es el tipo de pavimento preferido en el área de estudio ya que tiene mayores ventajas sobre el pavimento semirrígido en términos de durabilidad y mantenimiento diario programado.
- Para obtener un análisis completo del estudio de comparación de costes realizado en esta obra, además de los costes de ejecución antes mencionados, también se deben considerar los costes de mantenimiento de ambos pavimentos.
- Hablar de lo económico que es un revestimiento frente a otro es muy relativo, porque teniendo en cuenta el coste total, incluyendo la inversión inicial más los costes de mantenimiento, no se pueden obtener alternativas claras.
- **El pavimento flexible es el tipo de pavimento recomendable para la zona de estudio ya que al hacer una comparativo de durabilidad tiene una mayor ventaja respecto al pavimento semirrígido.**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Norma Técnica CE.10 Pavimentos Urbanos.
- [2] Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.
- [3] Aguilar, A y Salinas, P. (2019). Evaluación De La Vida Útil Del Pavimento Flexible De La Vía Conococha – Yanacancha Ante El Incremento De Los Ejes Equivalentes No Proyectados, Utilizando La Metodología Asshto 93. Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas
- [4] Guzmán, G. (2017). "Gestión Sostenible Del Pavimento Rígido, Flexible Y Articulado Del Centro Urbano Del Cantón Girón". Universidad De Cuenca. Cuenca – Ecuador.
- [5] González, D. (2018). Metodologías De Reparación Para Pavimentos Flexibles De Mediano Y Bajo Tránsito. Universidad Andres Bello – Santiago de Chile.
- [6] Mendoza, E. (2019). Relación Entre Los Métodos De Diseño De Pavimento Flexible Empírico Mecanístico Asshto 93 Y Shell Para Determinar La Vida Útil Del Pavimento. Universidad Ricardo Palma –Perú.
- [7] Paredes, K y Saldaña, M. (2021). "Evaluación Del Tiempo Y Costo En El Proceso Constructivo, Entre Los Pavimentos: Flexible Y Semirrígido En Vías Urbanas, Del Distrito De La Banda De Shilcayo, Provincia Y Departamento De San Martín". Universidad Científica del Perú.
- [8] Paredes, F y Delgado, J. (2019). Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del centro del Distrito de Tarapoto. Universidad Nacional de San Martín.
- [9] Pineda, K. (2015). "Análisis Superficial De Pavimentos Flexibles Para El Mantenimiento De Vías En La Región De Puno". Universidad Andina.
- [10] Reinoso, M y Sanmartín, P. (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, Universidad Del Azuay – Cuenca – Ecuador.

- [11] Ramírez, W y Zavaleta, R. (2017). Estudio Comparativo Del Diseño Del Pavimento Rígido, Semirrigido Con Adoquines De Concreto Y Flexible Para Las Calles Del Sector Vi C- El Milagro- Trujillo- La Libertad. Universidad Privada Antenor Orrego.
- [12] Ruiz, M y Rodríguez, J. (2016). Comparación Técnico - Económica Del Uso De Pavimento Rígido Y Pavimento Flexible En Nicaragua. Estudio De Caso: Tramo Unikwas - Mulukuku. Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua UNAN-Managua.
- [13] Torres, R. (2007). Análisis Comparativo De Costos Entre El Pavimento Flexible Y El Pavimento Rígido. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [14] Torres, M y Abad, W. (2020). "Evaluación Del Costo Y Tiempo De Ejecución Entre Los Pavimentos: Rígidos, Flexibles Y Semirrigidos En El Distrito De Shapaja, Provincia Y Departamento De San Martín". Universidad Científica del Perú.