



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 INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE
INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS
PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL
DISTRITO DE MOYOBAMBA, PROVINCIA MOYOBAMBA Y
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

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

AUTORES: BACH. ALEX JIMENEZ GRANDA

BACH. ALISTER DIAZ PISCO

ASESOR : M.Sc. ING. JUAN JESUS OCAÑA APONTE

Tarapoto – San Martín -

Perú 2025

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Con Resolución Decanal N° 1053-2024-UCP-FCEI, del 13 de noviembre del 2024, se designó jurado.

Con Resolución Decanal N° 702-2025-UCP-FCEI, del 14 de julio del 2025, se autorizó la sustentación.

Siendo las 11:00 a.m. del día 22 de julio del 2025, se constituyó de modo presencial el Jurado para escuchar la presentación y defensa de la Tesis: **"EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL DISTRITO DE MOYOBAMBA, PROVINCIA MOYOBAMBA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN"**.

Presentado por:

ALEX JIMENEZ GRANDA

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

ALISTER DIAZ PISCO

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

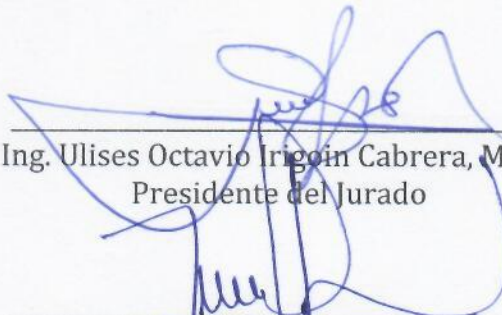
Asesor: Ing. JUAN JESUS OCAÑA APONTE, M. Sc.

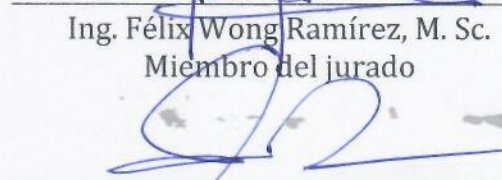
Luego de escuchar la sustentación y defensa ante las preguntas, el Jurado pasó a la deliberación en forma reservada, llegando a la siguiente conclusión:

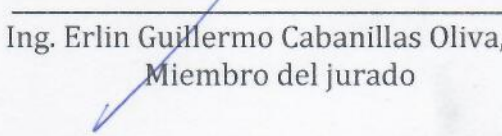
La sustentación es: APROBADA POR UNANIMIDAD

A las 12:35 horas culminó el acto público.

En fe de los cual los miembros del jurado firman el Acta y comunican en acto público.


Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.
Presidente del Jurado


Ing. Félix Wong Ramírez, M. Sc.
Miembro del jurado


Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, Dr.
Miembro del jurado

“Año de la recuperación y consolidación de la económica peruana”

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

El presidente del Comité de Ética e Integridad Científica

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**“EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS
PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL
DISTRITO DE MOYOBAMBA, PROVINCIA MOYOBAMBA Y
DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN”**

De los alumnos: **ALEX JIMENEZ GRANDA Y ALISTER DIAZ PISCO**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **8% de similitud**.

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

San Juan, 10 de junio del 2025.



**Presidente del Comité de Ética e
Integridad Científica
Mgr. Arq. Jorge L. Tapullima Flores**



UCP_ING.CIVIL_2025_ALEX_JIMENEZ_V1_RESUMEN

8%
Textos
sospechosos



- 4% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
- 1% Idiomas no reconocidos
- 3% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: UCP_ING.CIVIL_2025_ALEX_JIMENEZ_V1_RESUMEN.pdf	Depositante: Chris Angela Ramirez Flores	Número de palabras: 16.620
ID del documento: 3671909d558c980981569cba8733de22c929dd22	Fecha de depósito: 10/6/2025	Número de caracteres: 113.349
Tamaño del documento original: 3,48 MB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 10/6/2025	

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucp.edu.pe Evaluación del costo y tiempo de ejecución entre los pa... http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1795 9 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (376 palabras)
2	hdl.handle.net Evaluación del costo y tiempo de ejecución entre los pavimentos... http://hdl.handle.net/20.500.14503/1648 9 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (317 palabras)
3	hdl.handle.net Evaluación del tiempo y costo en el proceso constructivo, entre l... http://hdl.handle.net/20.500.14503/1645 9 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (314 palabras)
4	repositorio.upla.edu.pe https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/6720/T037_46832890_T.pdf?s... 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (92 palabras)
5	1library.co EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO EXISTENTE - ESTUDIO DE TRÁFICO https://1library.co/article/evaluación-del-tránsito-existente-estudio-de-tráfico.yr3n0poy 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (49 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #8ee59d El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
2	hdl.handle.net Diseño estructural del pavimento mediante la metodología AAS... https://hdl.handle.net/20.500.12759/9901	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
3	hdl.handle.net Método Aashto y Método Shell en el Diseño de Espesores para P... https://hdl.handle.net/20.500.12848/3419	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
4	dspace.uazuay.edu.ec https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12266/1/17793.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
5	hdl.handle.net Estudio comparativo del diseño del pavimento flexible y semirr... https://hdl.handle.net/20.500.12759/5502	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

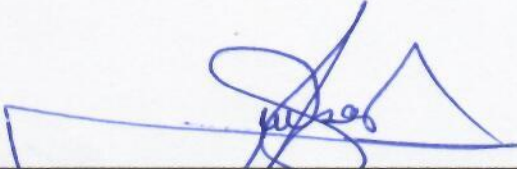
 Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	http://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de
2	https://es.slideshare.net/Yoelbin/pavimento-37600329
3	https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTec
4	https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt507.pdf

HOJA DE APROBACIÓN PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL

BACHILLERES: ALEX JIMENEZ GRANDA Y ALISTER DIAZ PISCO

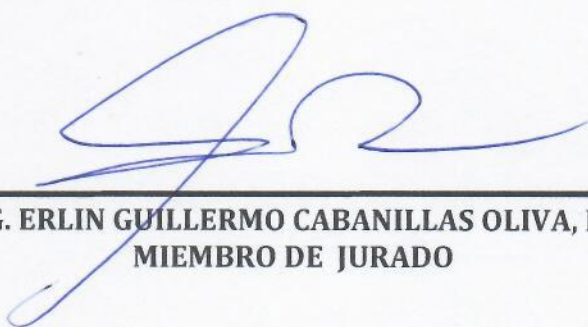
La Tesis sustentada en acto público el día 22 de julio del 2025, a las 11:00 a.m.,
en las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.



ING. ULISES OCTAVIO IRIGOIN CABRERA, M. SC.
PRESIDENTE DE JURADO



ING. FÉLIX WONG RAMÍREZ, M. SC.
MIEMBRO DE JURADO



ING. ERLIN GUILLERMO CABANILLAS OLIVA, DR.
MIEMBRO DE JURADO



ING. JUAN JESUS OCAÑA APONTE, M. SC.
ASESOR

DEDICATORIA

Dedicamos este esfuerzo académico a nuestros padres, quienes, con su amor incondicional, valores y enseñanzas nos han guiado en cada paso de nuestras vidas; su apoyo constante ha sido el pilar fundamental para alcanzar este logro; también dedicamos este trabajo a nuestros hermanos y seres queridos, quienes siempre creyeron en nuestra capacidad y motivaron a superar cada desafío; finalmente, a todos los maestros que, con su conocimiento y paciencia, han dejado una huella invaluable en mi formación profesional.

Los Autores

AGRADECIMIENTO

Primero, agradecemos profundamente a Dios por darnos la fortaleza, la sabiduría y las oportunidades para culminar este trabajo; a nuestros padres, por ser la fuente inagotable de inspiración, por su apoyo constante y por los sacrificios realizados para que yo pudiera alcanzar mis metas.

Agradecemos también a los docentes, especialmente a nuestro asesor al MSc. Ing. Jesús Ocaña Aponte, por su guía, dedicación y valiosos consejos a lo largo de este proceso de investigación; su experiencia y compromiso han sido esenciales para la realización de esta tesis.

No podemos dejar de mencionar a los amigos y compañeros de estudio, quienes estuvieron presentes en cada etapa del camino, compartiendo experiencias, aprendizajes y motivaciones; gracias por ser una red de apoyo en los momentos más desafiantes.

Los Autores

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
HOJA DE APROBACIÓN.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	11
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
CAPITULO I: MARCO TEORICO	15
1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	15
1.1.1. Ámbito Internacional.....	15
1.1.2. Ámbito Nacional.....	16
1.1.3. Ámbito Local.....	18
1.2. BASES TEÓRICAS	19
1.2.1. Pavimentos.....	19
1.2.2. Elementos que integran un pavimento rígido	19
1.2.3. Tipos de Pavimentos	21
1.2.5. Etapas del proceso constructivo del pavimento urbano.....	26
1.2.6. Teoría de Tiempos y Programación de obras Civiles.....	27
1.2.7. Teoría de Resistencia de Materiales	28
1.2.8. Conceptos de sostenibilidad en pavimentos	28
1.2.9. Normativa y estándares técnico en pavimentación	28
1.2.10. Teoría de capacidad portante del suelo (CBR)	29
1.2.11. Evaluación Comparativa de Alternativas	29
1.2.12. Criterios de mantenimiento y rehabilitación de pavimentación.....	30
1.2.13. Teoría de la planeación y control de proyectos	30
1.2.14. Propiedades Mecánicas de las Mezclas Asfálticas y Concreto Hidráulico	31

1.2.15. Metodología de diseño de pavimento AASHTO 1993.....	32
1.2.16. Análisis de impacto económico en infraestructura vial.....	33
1.2.17. Teoría del comportamiento dinámico de pavimentos.....	33
1.2.18. Optimización de recursos en la construcción de pavimentos	34
1.2.19. Modelos de predicción del desempeño de pavimento	35
1.2.20. Impacto del Clima y la Geografía en la Selección de Pavimentos.....	35
1.2.21. Evaluación de la Huella de Carbono en Pavimentos	36
1.2.22. Teoría de fatiga de materiales en pavimentos.....	37
1.2.23. Integración de tecnologías de pavimentación inteligente	38
1.2.24. Teoría de estructuras multicapa.....	39
1.2.25. Costo de ciclo de vida de pavimentos.....	39
1.3. DEFINICIONES DE TERMINOS BÁSICOS.....	40
1.3.1. Pavimento.....	40
1.3.2. Pavimento Rígido.....	40
1.3.3. Pavimento Flexible.....	40
1.3.4. Pavimento semirrígido	40
1.3.5. Costo de Ciclo de Vida (LCCA).....	40
1.3.6. Resistencia de Materiales	41
1.3.7. Capacidad Portante del Suelo (CBR).....	41
1.3.8. Teoría de Fatiga de Materiales	41
1.3.9. Mantenimiento de Pavimentos	41
1.3.10. Diseño Basado en Desempeño (PBD)	41
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	42
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	42
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	43
2.2.1. Problema General	43
2.2.2. Problemas Específicos.....	43
2.3. OBJETIVOS.....	43

2.3.1.	Objetivo General	43
2.3.2.	Objetivos Específicos.....	44
2.4.	HIPÓTESIS.....	44
2.4.1.	Hipótesis General.....	44
2.4.2.	Hipótesis Específicas	44
2.5.	VARIABLES.....	45
2.5.1.	Identificación de Variables.....	45
2.5.2.	Definición Conceptual y Operacional de las Variables	45
2.5.3.	Operacionalización de las Variables.....	47
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		49
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	49
3.1.1.	Tipo de Investigación	49
3.1.1.	Diseño de Investigación	49
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	49
3.2.1.	Población	49
3.2.2.	Muestra.....	49
3.3.	MÉTODOS, HERRAMIENTAS Y PROCESOS DE OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN	49
3.3.1.	Técnicas de Recolección de Datos.....	49
3.3.2.	Instrumentos de Recolección de Datos.....	50
3.3.3.	Procedimientos de Recolección de Datos.....	50
3.4.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	51
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		52
4.1.	Estudio de tráfico	52
4.2.	Planificación de la investigación de campo	52
4.3.	El método para calcular el volumen de negociación diario promedio	52
4.3.1.	análisis de geotecnia.....	55
4.3.3	Yacimientos de recursos hídricos.....	63

4.3.4. Diseño de pavimentos.....	71
4.2. ANALISIS DE RESULTADOS	84
4.2.1. Diseño de pavimento flexible – método de AASHTO 93.....	86
4.2.2. Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93.....	106
4.2.3. Diseño de Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto.....	112
4.3. PRESUPUESTO	114
4.3.1. PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIÓN	114
4.3.2. PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO	117
4.3.3. Presupuesto de pavimento Semirrígido.....	120
4.4. RESULTADOS	123
CAPÍTULO V: DISCSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	128
5.1.1. Pavimentos rígidos.....	128
5.1.2. Pavimentos flexibles	129
5.1.3. Pavimentos semirrígidos	130
5.2. CONCLUSIONES.....	131
5.3. RECOMENDACIONES.....	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXOS.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición Conceptual y Operacional de Variables	44
Tabla 2: Operacionalización de Variable.....	46
Tabla 3: Clasificación vehicular de IMD.....	52
Tabla 4: Composición vehicular del IMD.....	52
Tabla 5: Resultados de pruebas de laboratorio de mecánica de suelos – calicata C-1 a C-2.....	55
Tabla 6: Propiedades del terreno de cimentación Jr. Libertad C-8.....	57
Tabla 7: Agresividad del suelo Jr. Libertad C-10.....	57
Tabla 8: Propiedades de suelo base en el Jr. Iquitos C- 4.....	59
Tabla 9: Agresividad del suelo en el Jr. Iquitos C- 4.....	60
Tabla 10: CBR de la subrasante.....	61
Tabla 11: Ensayos de laboratorio de canteras.....	62
Tabla 12: Característica cantera la florida.....	67
Tabla 13: Diseño de mezcla para subbase y base granular.....	67
Tabla 14: Granulometría y clasificación de material de cantera.....	72
Tabla 15: Características del agua que se va a utilizar.....	76
Tabla 16: Conteo vehicular.....	77
Tabla 17: Composición vehicular del IMD.....	78
Tabla 18: Factores de crecimiento acumulado (Fca) para el cálculo de números de repeticiones de EE.....	79
Tabla 19: Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño.....	80
Tabla 20: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos.....	82
Tabla 21: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para pavimentos rígidos.....	83
Tabla 22: Factor de ajuste por presión de neumáticos (Fp) para ejes equivalentes (EE).....	86

Tabla 23: EE día-carril para pavimentos flexible y semirrígido.....	87
Tabla 24: EE día-carril para pavimentos Rígidos.....	88
Tabla 25: Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño para pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos.....	89
Tabla 26: Nivel de confiabilidad, según ASHTO.....	92
Tabla 27: Niveles recomendados de fiabilidad para un único periodo de diseño (10 o 20 años) según la Intensidad del Tráfico.....	93
Tabla 28: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (ZR) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico.....	97
Tabla 29: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico.....	102
Tabla 30: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico.....	103
Tabla 31: Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico....	104
Tabla 32: Valores Recomendados de Resistencia del Concreto.....	120
Tabla 33: Valores sugeridos de Espesores Mínimos para adoquines.....	123
Tabla 34: Características de la vía con Pavimento Flexible.....	125
Tabla 35: Características de la vía con Pavimento Rígido.....	127
Tabla 36: Características de la vía con Pavimento Semirrígido.....	129
Tabla 37: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn.....	131
Tabla 38: Resumen Características del Subrasante.....	132
Tabla 39: Comparación de los tipos de pavimentos.....	132
Tabla 40: Secciones transversales de los pavimentos.....	132
Tabla 41: cuadro comparativo técnico económico.....	133

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Calzadas de hormigón simple.....	24
Figura 2: Calzada de hormigón simple con conectores.....	25
Figura 3: Calzada de hormigón con armadura metálica no portante.....	26
Figura 4: Calzadas de hormigón con armaduras metálicas continuas.....	27
Figura 5: Sección transversal.....	28
Figura 6: Esquema del comportamiento pavimento flexibles y rígidos.....	34
Figura 7: Baja de huella de carbono.....	36
Figura 8: Ubicación de calicatas.....	56
Figura 9: Configuración de ejes.....	83
Figura 10: Factor camión C2 y C3 para pavimentos.....	86
Figura 11: Monograma para pavimento flexible.....	92
Figura 12: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible.....	92
Figura 13: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa.....	92
Figura 14: Diseño de estructuras de pavimento.....	111
Figura 15: Catálogo de valores estructurales (SN) necesarios según el tipo de tráfico y el subsuelo, Capa asfáltica caliente + fundación granular + su fundación granular.....	112
Figura 16: factores estructurales de las capas del pavimento.....	114
Figura 17: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje.....	115
Figura 18: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa.....	116
Figura 19: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente Período de diseño 20 años.....	117
Figura 20: Sección pavimento flexible.....	119
Figura 21: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido.....	119

Figura 22: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante.....	120
Figura 23: sección del pavimento Rígido.....	124
Figura 24: Catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular período de diseño 20 años.....	124
Figura 25: Sección Pavimento Semirrígido.....	125
Figura 26: Sección transversal pavimento flexible.....	126
Figura 27: Sección transversal pavimento rígido.....	129
Figura 28: Sección transversal pavimento rígido.....	131

RESUMEN

Las ciudades en la selva alta, como Moyobamba en San Martín, presentan condiciones geográficas y climáticas muy particulares. Estas condiciones afectan los pavimentos, una mala elección de pavimento genera pérdida tanto económicas como infraestructurales. Hasta la fecha la información es limitada o casi nula sobre cuál es el mejor pavimento para esta zona geográfica en términos de costo-beneficio. Por ello, nuestro objetivo fue identificar cuál de los tres tipos de pavimentos (rígidos, flexibles y semirrígidos) fue la más eficiente técnica y sosteniblemente para el distrito de Moyobamba, en el departamento de San Martín. Aplicamos el método AASHTO-93 para evaluar la efectividad de los pavimentos según volumen de tráfico, tipos de suelo, costos de mantenimiento y el tiempo de construcción. Evaluaron los proyectos de pavimentación referente a los Jirones libertad C-8 e Iquitos C-4 en Moyobamba. Nuestros resultados mostraron que el pavimento rígido conlleva más inversión y más tiempo contrayéndolo en comparación al revestimiento más barato (pavimento flexible). Pero el revestimiento rígido resulto ser más eficiente y menos costoso en su mantenimiento por 42 días para esta zona geográfica. En conclusión, los pavimentos rígidos fueron las más sostenible y eficiente en el tiempo para la ciudad de Moyobamba, región de San Martín. Estas construcciones son muy eficaces para vías con alto flujo vehicular. Aquí, destacamos la importancia de realizar estudios posteriores con mayor detalle y que consideren previamente las características locales antes de ejecutar un proyecto.

PALABRAS CLAVE

pavimentos rígidos, pavimentos flexibles, pavimentos semirrígidos, costos de ejecución, ciclo de vida, sostenibilidad, infraestructura vial.

ABSTRACT

Cities in the high jungle, such as Moyobamba in San Martin, have very particular geographical and climatic conditions. These conditions are affecting pavements, and a poor choice of pavement generates both economic and infrastructural losses. To date, there is limited or almost no information on what is the best pavement for this geographical area in terms of cost-benefit. Therefore, our objective was to identify which of the three types of pavements (rigid, flexible and semi-rigid) was the most technically and sustainably efficient for the district of Moyobamba, department of San Martin. We applied the AASHTO-93 method to evaluate the effectiveness of the pavements according to traffic volume, soil types, maintenance costs and construction time. We evaluated the paving projects concerning Jirones Libertad C-8 and Iquitos C-4 in Moyobamba. Our results showed that the rigid pavement entails more investment and more contracting time compared to the cheaper overlay (flexible pavement). But the rigid surfacing proved to be more efficient and less costly to maintain for 42 days for this geographical area. In conclusion, rigid pavements were the most sustainable and time efficient for the city of Moyobamba, San Martin region. These constructions are very effective for roads with high vehicular flow. Here, we emphasise the importance of carrying out further studies in greater detail that take into account local characteristics before executing a project.

KEYWORDS

rigid pavements, flexible pavements, semi-rigid pavements, execution costs, life cycle, sustainability, road infrastructure.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

1.1.1. Ámbito Internacional

- Hoyos (2023) desarrolló una herramienta ofimática para calcular costos directo e indirectos de un proyecto de pavimentación (rígidos y flexibles) de una empresa de construcción en Medellín, Colombia. Esta herramienta optimizo los cálculos y análisis sobre los precios unitarios de todos los productos empleados. También, mostraba las especificaciones técnicas de cada proyecto logrando incrementar la productividad y disminuir el tiempo en la elaboración de estos proyectos. Todo esto mejoró significativamente la eficiencia durante los procesos de planificación y gestión de los proyectos de construcción relacionados a pavimentación.
- Pinzón (2022) evaluó y comparo la eficiencia de los pavimentos rígido y flexible, esto para determinar la mejor opción para la construcción de los estacionamientos en Colombia. Compararon los costos-beneficios entre ambos pavimentos para estacionamientos en la carrera 14A #27 A – 57 de Bogotá. Efectuaron diagnósticos visuales mediante el Manual de Interventoría Obras Públicas de todos los materiales y costos que serán empleados en un lapso de 25 años. Finalmente identificaron que el pavimento rígido fue la mejor opción desde el punto de vista económico, ya que no requiere mantenimiento continuo.
- Mthembu & Williams (2021) compararon los costos del ciclo de vida de los pavimentos rígidos y flexibles en Sudáfrica. Esto investigadores tomaron en cuenta los gastos iniciales, mantenimientos y rehabilitación en el tiempo. Estos investigadores concluyeron que el pavimento rígido es más rentable y duradera en el tiempo en comparación a los pavimentos flexibles. Esto se debe a que su mantenimiento será inconstante durante los próximos 40 años. Esto investigadores destacan la importancia de la planificación y organización durante la ejecución de la obra en zonas rurales y

urbanas.

- Oblitas-Gástelo et al. (2021) realizó una evaluación sistemática sobre dos métodos de evaluación de pavimentos flexibles, Índice de rugosidad internacional (IRI) y índice de condición de pavimento (PCI). Evaluaron la calidad de servicio en 20 trabajos publicados durante últimos 15 años de estas construcciones acerca de su reparación o mantenimiento. Estos investigadores destacan la relevancia de aplicar el IRI y el PCI para conocer el estado actual de los pavimentos. Este enfoque permitió tomar las mejores decisiones para el mantenimiento y reconstrucción de estas obras. Todo esto garantizaría una obra de buena calidad y duradera en el tiempo.
- Ogunkoya & Oluwaseun (2021) realizaron una evaluación costo-beneficio entre los pavimentos rígido y flexibles en Nigeria. Utilizaron el método estadístico AASHTO 93 para medir el espesor de cada pavimento. Estos investigadores identificaron que el pavimento rígido fue más eficiente y económico en comparación al pavimento flexible. Esto se debe porque el pavimento rígido soportar más carga lo que prolonga su vida útil. Este último ayuda a reducir los costos para su mantenimiento en carreteras con demasiado tráfico vehicular. Es importante destacar que estos autores destacan que el pavimento rígido es muy eficiente para zonas con alta variabilidad climática. Debido a esto estos investigadores sugieren promover el uso de estas construcciones geográficas cambiantes con mucho tráfico pesado.

1.1.2. Ámbito Nacional

- Chicoma y Sanchez (2024) realizaron una revisión sistemática de 27 trabajos publicados entre 2016 al 2021. Estos investigadores determinaron eficiencia tanto del pavimento rígido como flexible al modificar su composición con materiales reciclados. Mediante el análisis de serviciabilidad identificaron que el uso de materiales reciclados (fibras de polyester, geomallas y ceniza de paja de arroz) ayudo en la eficiencia de ambos pavimentos. Este enfoque de usar materiales

reciclados ayudo a reducir el impacto ambiental. Finalmente, concluyeron que el pavimento rígido fue el más rentable y sostenible en el tiempo bajo condiciones climáticas extremas.

- Celis y Soto (2023) analizaron y compararon los costos de construcción y el tiempo de implementación de pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos en Simbal, Trujillo. Evaluaron la ejecución de pavimentos optimizados, tradicionales y flexibles en un periodo de 20 años. Aquí, identificaron que las losas optimizadas de concreto fueron más económicas en comparación a los pavimentos tradicionales y de asfalto. El costo total de ciclo de vida estimado fue de S/ 1,937,892.54, en comparación a S/ 2,038,850.15 y S/ 2,404,112.99 respectivamente. Las losas optimizadas requirieron de menos tiempo de ejecución en comparación con las losas tradicionales y flexibles, 49 vs 80 y 90 días respectivamente. En conclusión, las losas optimizadas fueron la mejor opción con respecto al costo y al tiempo de construcción. En otras palabras, la losa optimizada fue viable y sostenible en el tiempo para proyectos de pavimentación.

- Mariñas y Del Aguila (2023) analizaron los costos y duración de la construcción en el Barrio la Unión usando pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos de San Martín. Estos investigadores identificaron que el pavimento rígido fue la mejor opción en términos económicos, tiempo y durabilidad. También, identificaron que el pavimento rígido presento al inicio un costo elevado, pero con el tiempo sus costos disminuyen por su mantenimiento. En conclusión, para la región San Martín el pavimento rígido represento la mejor alternativa en comparación a otros pavimentos en términos de costo-beneficios en el tiempo.

- Silva (2023) analizó los gastos y la eficiencia de las superficies maleables y rígidos en Lima. Aplicaron un método empírico-mecanicista mediante un software que ayudo al análisis y diseño del pavimento que es WinDEPAV 2.6. Esta investigación concluyo que la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente fue la mejor opción. Esta debe tener una carpeta asfáltica de 8.30 cm con un factor de daño de 0.435 (<1.0), una base de 20.00 cm con un factor de daño de 0.980

(<1.0) y una subbase de 25.00 cm con un factor de daño de 0.256 (<1.0). Por lo tanto, al presentar todos los factores de daño inferiores a 1.0, indicó que esta estructura no presentará fallas durante su vida útil.

Chávez (2020) analizó económico el diseño de un proyecto sobre la construcción de pavimentos de intercambio vial a desnivel en Tacna. Usaron el método AASHTO 93 para analizar los pavimentos flexibles y rígidos en el diseño de la Av. Jorge Basadre. Sus resultados mostraron que el pavimento rígido fue más eficiente que el pavimento flexible. Este pavimento fue la opción más económica y eficiente en el tiempo. El pavimento rígido requiere un mayor costo al inicio, pero un menor costo para su mantenimiento.

1.1.3. Ámbito Local

Díaz, Paredes y Delgado (2019) evaluaron la viabilidad tanto técnica como económica en la aplicación de pavimentos flexibles y rígidos en las calles urbanas de Tarapoto. Esto para determinar la alternativa más eficiente y sostenible en el tiempo de estas obras. Sus resultados mostraron que el suelo de Tarapoto para soportar cargas (capacidad portante) va de regular a mala (CBR=12%) por lo que requiere mejoras. En conclusión, los investigadores determinaron que para proyectos públicos limitados el pavimento flexible es más económicos y rápido de ejecutar. Pero si su objetivo es una obra que dure mínimo 50 años, el pavimento rígido es mejor y su mantenimiento cuesta menos a largo plazo.

- Fasanando y Medina (2022) Chávez (2020) compararon los costos y el tiempo de ejecución de las superficies flexibles y rígidos en las vías urbanas de Sauce, San Martín. Aplicaron los métodos AASHTO, el Instituto del Asfalto y PCA, y encontraron que el pavimento rígido compuesto por subrasante, base y losa de concreto fue más resistente. Además, represento menos gasto por mantenimiento a largo plazo a pesar de su mayor inversión inicial. Por lo tanto, los pavimentos rígidos fueron la opción más eficiente técnica y económicamente en el tiempo.

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. Pavimentos

Las calzadas son construcciones que se componen de capas que se encuentran entrelazadas; sobre el suelo natural con la aplicación de materiales procesados sobre el suelo natural con el objetivo de optimizar y repartir las fuerzas que un vehículo impone a otros vehículos a la subrasante.

El pavimento debería tener la capacidad de proporcionar lo siguiente:

- Una calidad de gestión razonable.
- Una suficiente capacidad ante la carga que las llantas pueden soportar de varios automotores, deslizamiento y fisuración de vehículos, deslizamiento y agrietamiento de los mismos.
- Los niveles adecuados de reflejo luminoso y un nivel reducido de ruido.
- La meta principal de la estructura es trasladar las cargas del elemento, de tal manera que los neumáticos no se excedan en la subrasante

Tenemos 5 tipos de pavimentos:

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

1.2.2. Elementos que integran un pavimento rígido

- **Sub – rasante**

Es la capa de terreno que sostiene toda la estructura del pavimento y se extiende lo suficiente en profundidad para garantizar que las cargas generadas por el tránsito no afecten su estabilidad; puede estar formada

por terreno natural en corte o por materia de material de aporte, y tras ser desinfectado, tiene que ajustarse a las pendientes y dimensiones transversales en el diseño; de esta manera la calidad de la subrasante es un factor clave para determinar el espesor del pavimento, que debe cumplir ciertos requisitos esenciales como; ser resistente para soportar las cargas, no comprimirse fácilmente, y no sufrir deformaciones debido a cambios en la humedad.

- **Sub – base**

Es el nivel del sistema de la calzada que se destina esencialmente a respaldar, comunicar y difundir con las cargas ejercidas sobre la superficie de la rodadura deben ser uniformes al pavimento; la capa de la subrasante es capaz de absorber las variaciones propias del suelo que podrían comprometer la estabilidad de la sub- base; de esta forma, controla los cambio de volumen y elasticidad que podrían resultar perjudiciales para el pavimento; además, se desempeña un papel crucial como estrato de filtración, impidiéndola subida capilar del líquido y resguardando el sistema de la calzada; mediante estas razones, suelen emplear materiales granulares en su construcción, ya que ofrecen un rendimiento óptimo para estas funciones.

- **Capa de circulación**

Es la sección superior de la estructura del pavimento está elaborada con hormigón hidráulico; gracias a su rigidez y alto módulo de elasticidad, su capacidad portante depende principalmente de la losa misma, más que de la resistencia de la subrasante, ya que no requiere de una carga de base; lo cual, en términos generales, el concreto hidráulico tiene la ventaja de distribuir las cargas hacia la estructura de pavimento

El concreto hidráulico es conocido por su capacidad para distribuir las cargas de manera más efectiva hacia la estructura del pavimento; esta distribución uniforme de las cargas es esencial para minimizar la concentración de esfuerzos en puntos específicos, lo que a su vez reduce el riesgo de deformaciones y fisuras en la losa. Además, su rigidez contribuye a una mayor durabilidad y resistencia a las

condiciones de tráfico pesado, lo que lo convierte en una opción preferida para caminos y carreteras con alto volumen de circulación.

1.2.3. Tipos de Pavimentos

Los pavimentos de concreto pueden categorizarse en distintos tipos según su inversión inicial, organizados en orden ascendente de costo de la siguiente forma:

a) Pavimentos de concreto simple

- Sin mecanismos para la transferencia de carga.
- Con elementos diseñados para optimizar la transferencia de carga.

b) Pavimentos de concreto con refuerzo de acero y dispositivos de transferencia de carga

- Refuerzo secundario.

c) Pavimentos con refuerzo continuo.

d) Pavimentos de concreto pretensado o potenzado.

e) Pavimentos de concreto reforzado con fibras.

1.2.3.1. Pavimento de concreto simple

Según con su definición, los revestimientos sin armadura de acero son aquellos que no incorporan elementos de refuerzo ni dispositivos destinados a la transferencia de cargas; en este tipo de estructuras, el concreto se encarga de soportar y resistir las tensiones generadas por el tráfico vehicular y por factores ambientales, como las fluctuaciones de temperatura y la humedad.

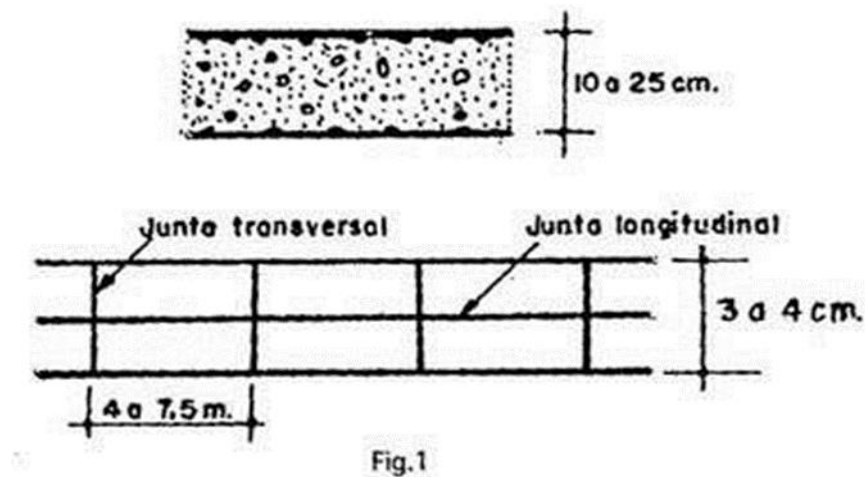
Este tipo de pavimento es óptimo para zonas con condiciones climáticas templadas y con tráfico liviano. Generalmente, se coloca directamente sobre la subrasante, que corresponde a la capa de suelo ubicada debajo de la losa. Sin embargo, en lugares con mayor demanda, como aquellos con tráfico moderado o climas más rigurosos, se recomienda el uso de subbases tratadas con cemento. Estas subbases, situadas entre la subrasante y la losa de concreto, fortalecen la capacidad de soporte, optimizan la distribución de cargas y mejoran la estabilidad y durabilidad

del pavimento.

Las losas el pavimento con concreto simple son de dimensiones reducidas, longitudes < 6 m y anchos de hasta 3,50 m. El espesor de este pavimento puede variar dependiendo del tipo de vía donde se use, por ejemplo: Para una zona residencial el pavimento va de 10 a 15 cm de grosor. Para vías con mayor tránsito vehicular pueden ser entre 16 a 17 cm de grosor, o pistas de aterrizaje que puede ser superior a los 20 cm.

Figura 1

Calzadas de hormigón simple



Fuente: <http://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

1.2.3.2. Pavimentos de Concreto Simple, con Pasadores

Los pasadores son elementos metálicos, específicamente pequeñas barras de acero, que se instalan en la sección transversal del pavimento, ubicándose en las juntas de contracción; su principal función estructural es facilitar la transmisión de cargas de una losa a la losa contigua, lo que mejora las condiciones de deformación en las juntas y contribuye a la estabilidad general del pavimento.

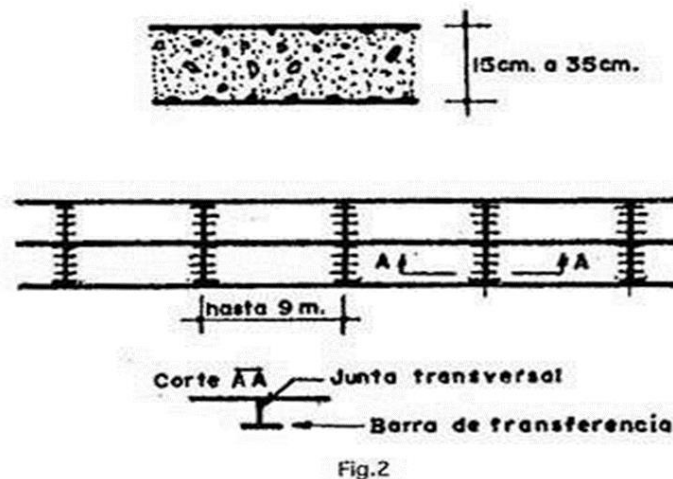
Al implementar pasadores se previenen el escalonamiento (dislocamientos verticales diferencial) que afectan negativamente la

superficie del pavimento. Esto es muy importante cuidar porque mantiene la integridad del pavimento durante el tráfico constante o fluido. Es importante mencionar que este tipo de pavimento es sugerido para espacios con tráfico diario que superen las 8.2 toneladas. En estas áreas se recomienda colocar un pavimento > 15 cm de grosor, de esta forma aseguran una base que soporte cargas vehiculares.

Para adicionar pasadores en el diseño del pavimento debemos analizar el costo de añadir un estrato inferior mejorado junto a sus valores asociados con o sin pasadores. Esto permitirá tener un mejor panorama sobre el diseño y les permitirá optimizar la inversión para que sea rentable y efectiva en el tiempo.

Figura 2

Calzada de hormigón simple con conectores



Fuente: <http://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

1.2.3.3. Pavimentos de concreto con refuerzo de acero no estructural

Los pavimentos que incorporan refuerzo de acero se diseñan con el acero ubicado en el tercio superior de la sección transversal, generalmente a una profundidad mínima de 5 cm por debajo de la superficie; aunque este refuerzo no cumple una función estructural en el sentido tradicional, su propósito principal es resistir las tensiones de contracción que experimenta el concreto en su estado joven, así como

controlar el agrietamiento que puede surgir durante el fraguado.

Al disminuir el número de empalmes de la superficie del hormigón nos permite diseñar losas de mayor tamaño. Esto con relación a la calzada sin refuerzo debido a que usamos pasadores nos permitió obtener losas entre 9.1 a 12.1 m de longitud. Todo esto representa una mejora significativa en el pavimento y por ende una larga durabilidad en el tiempo. Por otro lado, es importante tener en cuenta la cantidad o el porcentaje de acero que deben tener estos pavimentos. Un valor no mayor al 0.3% de la sección transversal es óptimo para asegurar el funcionamiento correcto del concreto sin perjudicar su resistencia. El uso de las losas reforzadas es específico para ambientes industriales. En estos ambientes tanto la carga como el tráfico son más altos. Por lo tanto, estas losas reforzadas son eficientes y más duraderas debido al poco mantenimiento que necesitan en el tiempo.

Figura 3

Calzada de hormigón con armadura metálica no portante

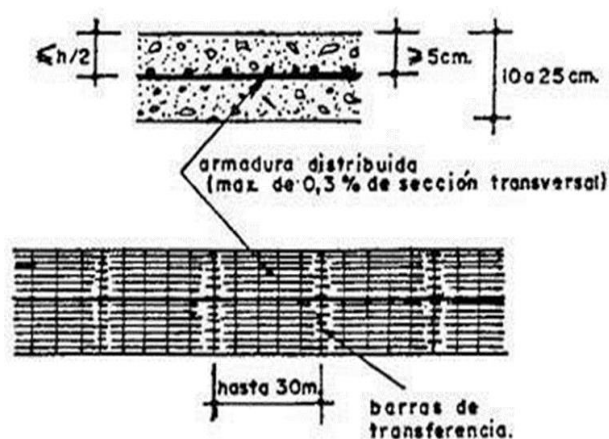


Fig.3

Fuente: pavimentos-de- concreto

1.2.3.4. Pavimentos de concreto con refuerzo de Acero Continuo

En este tipo de pavimento, el refuerzo se encarga de absorber todas las deformaciones, especialmente las causadas por cambios de temperatura; esto permite eliminar empalmes de retracción, permaneciendo únicamente las uniones de edificación y expansión en

las proximidades de alguna estructura ornamental.

Las fisuras en una construcción pueden prevenirse al usar un refuerzo continuo en el centro o núcleo de la infraestructura. Esto genera una red grieta muy delgada pero no afecta la funcionalidad del calzado. Esta técnica fue usada en los EE. UU. desde los años 60, y su aplicación es mediante una construcción específica. Es importante mencionar que el mantenimiento para esta construcción es mínimo ya que las fallas en la base son muy bajas. Por otro lado, la cantidad de metal que se aplica en este tipo de pavimento es de 1.5% de la sección transversal total. Para este tipo de diseño se aplican capas de calzadas (hormigón) para protección, además es recomendable para zonas con climas fríos. Se usa las reglamentaciones de la AASHTO y la PCA para determinar su espesor y garantizar su resistencia y durabilidad en el tiempo.

Figura 4

Calzadas de hormigón con armaduras metálicas continuas

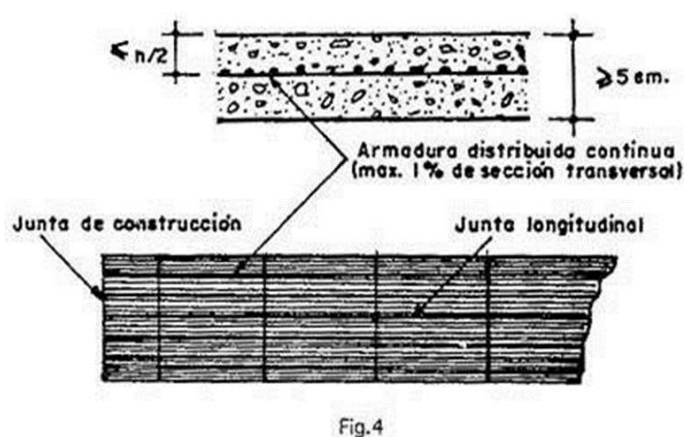


Fig.4

Fuente: <http://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

1.2.3.5. Pavimentos de concreto con refuerzo de acero

son estructuras diseñadas para soportar cargas pesadas y ofrecer mayor durabilidad.

Las medidas de las placas son parecidas a las de las variantes previas,

dado que el metal no cruza el empalme transversal para evitar la formación de grietas; no obstante, en los empalmes longitudinales donde el refuerzo atraviesa la unión, es habitual la aparición de fisuras; en términos generales, a mayor dimensión de la placa, mayor es la probabilidad de que surjan grietas.

1.2.3.6. Pisos de hormigón tensionado

La evolución de los pisos de hormigón preesforzado es restringida, utilizándose mayormente en terminales aéreas, como ocurrió en la experiencia inicial en el aeródromo de Orly (París), ejecutado por Freyssinet en 1948 y más tarde en el aeródromo de Río de Janeiro.

1.2.4. Análisis de los pavimentos

Este consiste en evaluar las características estructurales y funcionales de las distintas capas que los componen. Esto con el objetivo de garantizar su desempeño frente a las cargas del tránsito y las condiciones ambientales. Por ello, este análisis incluye aspectos como la capacidad, es decir la resistencia a las deformaciones, el comportamiento ante el tráfico y la durabilidad. También, incluye el impacto del drenaje y la calidad de los materiales utilizados; con todo ello podemos identificar los problemas y optimizar los diseños. De esta forma establecemos los planes de mantenimiento que aseguren la funcionalidad y vida útil del pavimento adaptándolos a nuestras necesidades. Por lo tanto, para evaluar los pavimentos son necesario una investigación para determinar cuál de los pavimentos, flexible o rígido, es la mejor opción. Todo esto con la finalidad de escoger el pavimento más rentable y duradero para la construcción de diversas calles en Moyobamba.

1.2.5. Etapas del proceso constructivo del pavimento urbano

Una de las construcciones hidráulicas diseñadas para transportar agua son los sistemas de conducción. Este mecanismo formado por tuberías nos permite trasladar agua desde su fuente hasta el lugar de tratamiento mediante la gravedad o por bombeo. Un punto importante para un correcto funcionamiento es seleccionar adecuadamente el diámetro de

las tuberías. Esto para lograr un equilibrio entre la resistencia mecánica y la capacidad flujo requerida, por ello es recomendable diámetros superiores al mínimo necesario.

Pavimento flexible

Este pavimento es óptimo para deformaciones en la base o subrasante, otras de las bondades de es que no genera fisuras significativas en la estructura.

Figura 5

Sección transversal



Fuente: <https://es.slideshare.net/Yoelbin/pavimento-37600329>

1.2.6. Teoría de Tiempos y Programación de obras Civiles

Esta se enfoca en la planificación y control eficiente de las actividades necesarias para completar un proyecto dentro de los plazos establecidos, considerando factores como proceso constructivos, disponibilidad de materiales y condiciones climáticas; este proyecto de pavimentación incluye el tipo de pavimento directamente en el tiempo de ejecución; lo cual los pavimentos rígidos requieren más tiempo por el fraguado de concreto, mientras que los flexibles son más rápidos de construir pero con mayor mantenimiento a largo plazo y en los semirrígidos presentan tiempos de durabilidad intermedios; las herramientas como el diagrama de Gantt, métodos de redes (CPM y PERT) y software especializado permiten estructurar y monitorear cronogramas para minimizar retrasos, optimizar recursos y reducir costos, garantizando la finalización de proyecto en tiempo y forma.

1.2.7. Teoría de Resistencia de Materiales

Esta es esencial para comprender como los elementos estructurales de un pavimento responden a las fuerzas externa, como el peso del tráfico, y las condiciones climáticas; lo cual en lo pavimentos rígidos, el concreto hidráulico destaca por su alta resistencia a la compresión, lo que permite soportar cargas pesadas con una mayor durabilidad, aunque es más susceptible a las fisuras si no se diseña adecuadamente; por otro lado los pavimentos flexibles , contruidos con mezclas asfálticas, poseen una elasticidad superior, lo que permite adaptarse mejor a deformaciones del terreno y distribuir las cargas de manera uniforme, aunque requieren mantenimiento más frecuente debido al desgaste superficial; de esta manera esta teoría proporciona los fundamentos para seleccionar materiales, diseñar espesores y calcular la capacidad portante de las capas, optimizando el rendimiento y la vida útil del pavimento según las condiciones específicas del proyecto.

1.2.8. Conceptos de sostenibilidad en pavimentos

Consiste en integrar acciones que disminuyan el impacto ambiental de los pavimentos durante su ciclo de vida (construcción hasta mantenimiento). Aquí, se incluyen desde el uso de materiales reciclados hasta la extracción de recursos naturales con la finalidad de reducir los desechos. Por otro lado, se pretende incentivar el uso de tecnología eco amigables, como equipos que consuman poca energía o reduzcan su emisión de gases, etc. También, impulsar el uso de estabilizantes químicos y sistemas de drenaje eficientes, todo esto para disminuir tanto el impacto ambiental como los costos en el tiempo. Todo lo anteriormente mencionado debe cumplir con los estándares internacionales de sostenibilidad.

1.2.9. Normativa y estándares técnico en pavimentación

Las normativas y estándares técnicos son documentos que ayudan a que los proyectos viales cumplan con criterios adecuados de calidad, seguridad y durabilidad. Aquí, se definen las especificaciones para diseñar una estructura, seleccionar materiales, los métodos de

construcción y el mantenimiento a ser aplicados, entre otros. Es importante mencionar que dentro las normas y estándares técnicos se toma en cuenta las características geográficas y climáticas de cada región.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú establece la directrices sobre la correcta ejecución de una obra en su “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, RD N° 10-2014-MTC/14 (09.04.2014)”. En este documento se mencionan aspectos como la capacidad portante del suelo, espesores de las capas y propiedad de los materiales a ser usados. Es importante mencionar que esta normativa sigue estándares internacionales, como los de la AASHTO. Todo esto con el objetivo de entregar una infraestructura vial sostenible y funcional en el tiempo para los ciudadanos.

1.2.10. Teoría de capacidad portante del suelo (CBR)

Es un método para diseñar pavimentos teniendo en cuenta la resistencia del suelo para soportar cargas y determinar su idoneidad. Este método consiste en relacionar la presión para penetrar el suelo con la presión requerida de un material estándar. Los resultados se expresan en porcentajes, suelos con bajos valores de CBR no son aptos para soportar tráfico pesado. Este bajo porcentaje sugiere que se deben usar capas más gruesas de pavimento. Por otro lado, un valor alto de CBR indica que los pavimentos pueden ser más delgados, de esta forma se reducen gastos. Un pavimento con porcentajes altos de CBR distribuye mejor la carga estas construcciones se puede ver en las carreteras, aeropuertos, etc. En general, el CBR determina que el suelo es factor crítico para escoger el tipo de pavimentos que será usado.

1.2.11. Evaluación Comparativa de Alternativas

Este método integra un enfoque multifactorial con las evaluaciones costo-beneficio para la selección del pavimento más adecuado. Este proceso analiza aspectos tanto técnicos como económicos y ambientales, es decir desde el costo inicial hasta los daños ambientales.

El análisis del ciclo de vida (LCA) junto a una moderna optimización del diseño de los pavimentos nos permite identificar las mejores opciones rentables y sostenibles en el tiempo. El objetivo de esto es encontrar un perfecto equilibrio entre el costo de la obra y el beneficio que esta nos pudiera traer a largo plazo. Todo esto nos garantizaría una máxima valorización del proyecto y una viabilidad tanto técnica como financiera del proyecto de pavimentación.

1.2.12. Criterios de mantenimiento y rehabilitación de pavimentación

Son un conjunto de reglas a seguir para conservar la funcionalidad estructural y su seguridad de la construcción durante su ciclo de vida. Estos criterios consisten en sellado de fisuras en las carreteras, estabilización de capas, entre otros. Estos mantenimientos o rehabilitaciones son programadas según el nivel de daño del pavimento, las condiciones climáticas del área, etc. Por esto es importante implementar un sistema de gestión de pavimentos (PMS) para el uso de recursos en la prevención de fallas en los pavimentos. Este último permitirá reducir costos de mantenimiento o reparación, de esta forma se el ciclo de vida del pavimento y mejora el tráfico.

1.2.13. Teoría de la planeación y control de proyectos

Se fundamenta en el desarrollo de metodologías y herramientas para la gestión eficiente del tiempo, los recursos y las actividades de un proyecto; en la construcción de pavimentos, la planeación permite prever posibles retrasos y sobrecostos mediante el uso de herramientas como el Diagrama de Gantt para visualizar el horario, la técnica del trayecto crítico (CPM) para determinar tareas esenciales, y PERT (Program Evaluation Review Technique) para analizar escenarios inciertos; una planeación adecuada reduce el riesgo de interrupciones, optimiza el uso de maquinaria y materiales, y asegura que las metas de tiempo y costo se cumplan; en el caso del proyecto en Moyobamba, aplicar esta teoría facilita la comparación entre los tiempos de ejecución de superficies endurecidas, adaptables y semiendurecidas.

Aplicación en pavimentos

Durante la construcción de pavimentos esta teoría es aplicada para la programación de actividades desde un punto de vista lógico y eficiente. Es decir, cuando creamos pavimentos rígidos las actividades van desde la colocación del acero hasta el vaciado del concreto. Pero, para pavimentos flexibles las actividades van desde el extendido de la mezcla hasta la compactación de las capas.

Importancia para Moyobamba

Dado que el proyecto se desarrollará en un distrito con condiciones climáticas específicas y un cronograma ajustado, esta teoría ayudará a proveer retrasos por lluvias o disponibilidad limitada de maquinaria; de modo que se optimiza la programación para minimizar el tiempo de ejecución y los costos adicionales.

1.2.14. Propiedades Mecánicas de las Mezclas Asfálticas y Concreto

Hidráulico

Esta depende de sus propiedades físicas y mecánicas; los pavimentos rígidos, el concreto hidráulico destaca por su alta resistencia a la compresión y durabilidad en condiciones extremas; por otro lado, las mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos flexibles ofrecen mayor elasticidad y adaptabilidad a movimientos del suelo y tráfico variable; estas propiedades mecánicas determinan el espesor de las capas y su desempeño frente a cargas repetitivas; lo cual en Moyobamba, comprende las propiedades de estos materiales lo que permite evaluar su rendimiento frente a las condiciones locales, como altas temperaturas y tráfico pesado.

Aplicación en pavimento

Un pavimento rígido es una mejor opción para vías principales con alto flujo de tráfico pesado como las que hay en Moyobamba. Por otro lado, un pavimento flexible es más apropiado para calles secundarias con menor tránsito vehicular.

Importancia para Moyobamba

La ciudad de Moyobamba esta ubicada en la selva alta peruana a una altura de 860 msnm y presenta climas tanto templados como húmedos. Está ubicado en una zona geográfica con temperaturas altas y suelo con poca resistencia para las construcciones viales. Entender todos estos aspectos ambientales ayudaría a tener un mejor criterio al momento de escoger la calidad de materiales. Estos materiales reaccionaran con estas condiciones ambientales y se espera que sean muy resistentes a lo largo del tiempo.

1.2.15. Metodología de diseño de pavimento AASHTO 1993

Este es un enfoque detallado para el diseño de pavimentos con base en parámetros específicos; en el transito esperado , las condiciones del suelo, las características de los materiales y la vida útil deseado ; AASHTO 1993 considera el módulo resiliente del suelo, las cargas de tráfico en términos de ejes equivalentes (ESALs), y los niveles de confiabilidad requeridos; en el caso de Moyobamba, la metodología AASHYO es particularmente útil para considerar espesores óptimos y evaluar los costos asociados a diferentes alternativas de pavimentación, garantizando estructuras que soportan las condiciones de la región y optimicen recursos.

Aplicación en pavimentación:

Esta metodología se adapta para calcular espesores óptimos y garantizar que el pavimento pueda soportar las condiciones locales; lo cual un pavimento rígido puede requerir un espesor de 25cm de concreto hidráulico sobre una base estabilizada, mientras que un pavimento flexible puede necesitar 10 cm de mezcla asfáltica sobre una base granular de 15 cm.

Importancia para Moyobamba

Dado que el tránsito en la zona de Moyobamba, AASHTO permite diseñar pavimentos que soporten tanto vehículos ligeros y como vehículos pesados.

1.2.16. Análisis de impacto económico en infraestructura vial

este tiene como objetivo evaluar el costo-beneficio de inversiones, considerando tanto los costos iniciales como los beneficios a largo plazo; para pavimentos, factores como los costos de construcción, mantenimiento, durabilidad y reducción del tiempo de viaje son esenciales; en Moyobamba, comparar las tres alternativas de pavimentación desde un enfoque económico puede revelar cual genera mayores beneficios para la región, optimizando los recursos públicos y privados invertidos; este análisis también incluye externalidades como la reducción de accidentes y el impacto ambiental asociados a cada tipo de pavimento.

Aplicación de pavimento

La ciudad de Moyobamba cuenta con recursos limitados para proyectos de infraestructura vial. Por ello, es importante analizar los costos de las diferentes superficies (duras, maleables y semiduras) para maximizar los beneficios hacia la población. Por esto es crucial comparar el costo de inicio de la obra y mantenimiento para seleccionar la opción más rentable. Esto nos garantizará una infraestructura duradera y funcional en el tiempo para los pobladores de esta región.

1.2.17. Teoría del comportamiento dinámico de pavimentos

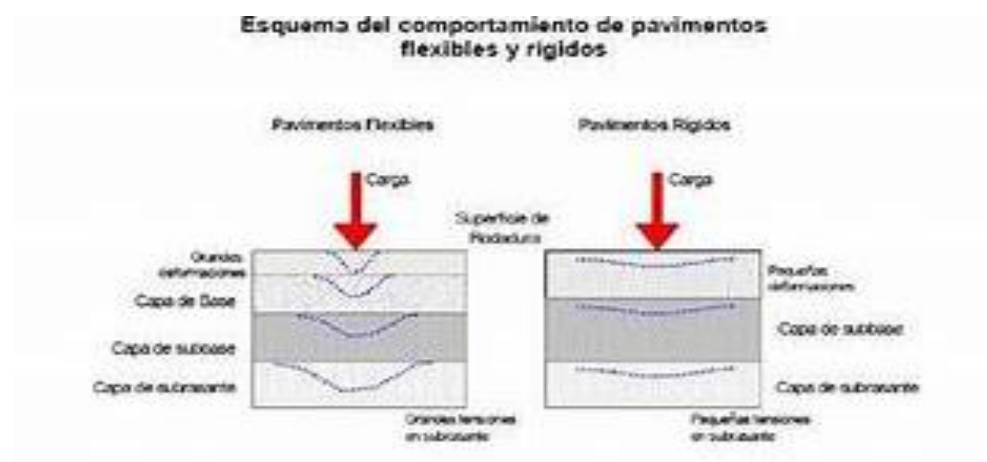
Aquí, se analizan desde un enfoque estructural y funcional los pavimentos frente a las cargas del tránsito vehicular. Estas cargas o pesos pueden variar tanto su intensidad como su frecuencia o duración, todos estos producen fisuras o deformaciones en los pavimentos. Esta teoría analiza desde la rigidez y elasticidad de las capas hasta el impacto de la velocidad y la vibración de los vehículos. Es importante mencionar que también abarca aspectos ambientales como las variaciones de la temperatura o la humedad. Estos últimos interfieren directa o indirectamente en las propiedades físicas y mecánicas del material usado en la pavimentación.

Mediante esta teoría, es posible modelar fenómenos como la propagación de lesiones, la formación de roderas y el bombeo en juntas,

lo que permite prever el comportamiento del pavimento a largo plazo. Su aplicación ayuda a diseñar estructuras más resistentes y optimizar estrategias de mantenimiento, reduciendo costos y mejorando la seguridad vial. Para ello, se emplean herramientas como el análisis de elementos finitos y ensayos dinámicos en laboratorio, lo que facilita la evaluación de nuevas tecnologías y materiales.

Figura 6

Esquema del comportamiento pavimento flexibles y rígidos



Fuente: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt507.pdf>

1.2.18. Optimización de recursos en la construcción de pavimentos

Es una disciplina clave en la gestión de proyectos de infraestructura vial, orientada a maximizar la eficiencia en el uso de materiales, mano de obra, tiempo y capital; este enfoque busca equilibrar la calidad y los costos, garantizando que los pavimentos cumplan con los estándares técnicos sin exceder los presupuestos asignados; los métodos de optimización, como la programación lineal, permiten identificar combinaciones óptimas de recursos, mientras que herramientas como el análisis de ruta crítica (Critical Path Method, CPM) y la técnica de revisión y evaluación de programas (PERT) ayudan a planificar y coordinar actividades de manera efectiva; además, la integración de software especializado en planificación y diseño de pavimentos, como AutoCAD Civil 3D y Primavera P6, facilita la simulación y evaluación de

escenarios alternativos; este enfoque también incluye estrategias sostenibles, como el uso de materiales reciclados y tecnologías de construcción en frío, que minimizan la huella ecológica y los gastos a largo plazo; la optimización no solo abarca la fase de construcción, sino también el mantenimiento preventivo y correctivo, asegurando una gestión integral del ciclo de vida del pavimento. Implementar estas prácticas mejora la competitividad del proyecto y contribuye al desarrollo sostenible de la infraestructura vial.

1.2.19. Modelos de predicción del desempeño de pavimento

Son modelos que permiten analizar y anticipar daños causados por la carga, tráfico o condiciones climáticas, por lo cual son cruciales hacerlos. Aquí, se aplican métodos matemáticos, estadísticos entre otros para interpretar los datos e inferir el comportamiento del pavimento en el tiempo. Dentro de este método se analizan las variables que pueden ir desde el tipo de material usado hasta las condiciones climáticas. Se aplican guías como el *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) y el Sistema de Gestión de Pavimentos (PMS) para realizar simulaciones con múltiples escenarios. Este análisis puede mejorar con el uso de otras herramientas sistemas de información geográfica (GIS), mejora la precisión. Todo esto permite optimizar diseños para realizar acciones preventivas o correctivas. En general, estos modelos son cruciales para corregir daños en el pavimento, reducir costos y asegurar la viabilidad de la infraestructura en el tiempo.

1.2.20. Impacto del Clima y la Geografía en la Selección de Pavimentos

El clima y la geografía juegan un rol crucial en la selección y diseño de pavimentos debido a su influencia directa en el desempeño y durabilidad de las estructuras viales; factores como temperaturas extremas, ciclos de congelamiento y deshielo, niveles de precipitación y características geológicas del suelo determinan las propiedades que debe tener el pavimento para resistir las condiciones locales; en climas cálidos, las mezclas asfálticas pueden experimentar deformaciones por fluencia, mientras que en regiones frías, las grietas térmicas son un desafío

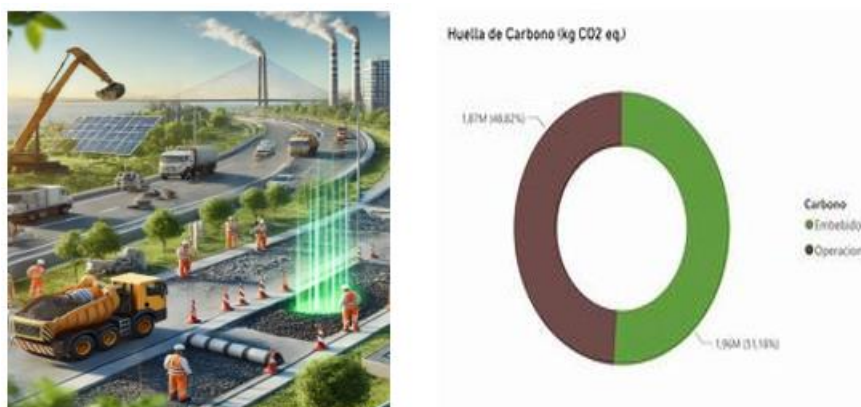
recurrente; además, suelos con baja capacidad de soporte o alta expansividad requieren soluciones estructurales específicas, como capas de base estabilizadas; la geografía también influye en la disponibilidad de materiales y en los costos asociados al transporte, lo que puede inclinar la elección hacia soluciones como pavimentos rígidos en zonas donde los agregados de alta calidad son escasos; modelos de simulación climática y herramientas geoespaciales, como GIS, permiten analizar estas variables de manera integral, optimizando las decisiones de diseño y selección de materiales. Incorporar el impacto del clima y la geografía en la planificación asegura pavimentos más resilientes, reduciendo costos de mantenimiento y prolongando su vida útil.

1.2.21. Evaluación de la Huella de Carbono en Pavimentos

Consiste en la medición de gases de efectivo invernadero producidos por el pavimento durante su ciclo de vida. Se analizan los posibles impactos ambientales que produce la construcción de un pavimento que va desde el transporte de materiales hasta su rehabilitación. Las posibles fuentes de contaminación con la producción de cemento, consumo de energía de las maquinas pesadas, entre otros. Esta evaluación permite que las constructoras fomenten prácticas mas sostenibles durante la creación de una infraestructura vial. Además, fomenta el uso de material reciclado como poliéster o aditivos de bajo carbono, también incentiva al uso de energías renovables. Es importante reducir las huellas de carbono para contribuir a mitigar el cambio climático y a mejorar la eficiencia operativa del proyecto. Todas estas prácticas tienen como bases normativas internacionales que fomentan mayores acciones de responsabilidad ambiental para los sectores de la construcción.

Figura 7

Baja de huella de carbono



Fuente: Martínez (2023)

1.2.22. Teoría de fatiga de materiales en pavimentos

se centra en analizar cómo los materiales estructurales, como las mezclas asfálticas y el concreto hidráulico, responden a la aplicación repetida de cargas a lo largo del tiempo; este fenómeno ocurre cuando el pavimento es sometido a ciclos de carga debido al tránsito de vehículos, especialmente de camiones pesados, generando microfisuras que eventualmente se convierten en grietas visibles; la fatiga se mide mediante ensayos de laboratorio, como el ensayo de flexión controlada o pruebas de compresión indirecta, los cuales determinan el número de ciclos necesarios para que un material falle bajo una carga específica; factores que afectan la resistencia a la fatiga incluyen la composición y excelencia de los insumos, el grosor de los estratos del firme, la temperatura y las condiciones de humedad; por ejemplo, las mezclas asfálticas con alto contenido de aglutinante suelen tener mayor resistencia a la fatiga, mientras que el concreto hidráulico presenta un comportamiento más rígido, siendo menos susceptible a deformaciones plásticas, pero más propenso a fisurarse en condiciones extremas; esta teoría permite a los ingenieros diseñar pavimentos que distribuyan las cargas de manera uniforme, minimizando las tensiones acumuladas en las capas inferiores y optimizando la vida útil de la infraestructura; además, los modelos predictivos de fatiga, como el propuesto por la

metodología AASHTO, ayudan a determinar la durabilidad esperada del pavimento bajo escenarios de tráfico proyectados, lo que resulta clave para planificar estrategias de mantenimiento y rehabilitación. Otra forma de mejorar la resistencia a la fatiga del pavimento es a través del uso de materiales nuevos y técnicas optimizadas, como los polímeros y la incorporación de capas intermedias de refuerzo. Todo esto ayuda tanto a la eficiencia del pavimento como a la reducción de costos.

1.2.23. Integración de tecnologías de pavimentación inteligente

Representa un avance significativo en la ingeniería vial, aprovechando sistemas avanzados como sensores de la red de objetivos conectados (loto), inteligencia computacional (IA), drones y software especializado para transformar la planificación, construcción y mantenimiento de pavimentos; estas tecnologías permiten monitorear las condiciones estructurales de los pavimentos en tiempo real, capturando datos precisos sobre deformaciones, temperaturas, niveles de humedad y tráfico vehicular; por ejemplo, los sensores IoT incrustados en las capas del pavimento recopilan información sobre tensiones y deformaciones, facilitando la identificación temprana de daños antes de que se conviertan en problemas mayores; el uso de drones permite inspeccionar grandes extensiones de carreteras de forma rápida y eficiente, generando imágenes y mapas detallados para análisis geoespacial; además, los algoritmos de IA procesan estos datos, proporcionando predicciones precisas sobre el deterioro de los pavimentos y optimizando las estrategias de mantenimiento; software especializado, como los sistemas de información geográfica (SIG), ayuda a integrar múltiples fuentes de datos para planificar y priorizar proyectos de pavimentación con base en criterios técnicos y económicos; estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia en la gestión de la infraestructura vial, sino que también reducen costos al prolongar la vida útil de los pavimentos y minimizar intervenciones correctivas; en términos de sostenibilidad, contribuyen a reducir el impacto ambiental al optimizar recursos y emplear métodos más responsables; este enfoque integrado es particularmente relevante en contextos urbanos y regiones

de alta demanda vehicular, donde la infraestructura vial juega un papel clave en la movilidad y el desarrollo económico.

1.2.24. Teoría de estructuras multicapa

Aquí, analizan cada capa del pavimento desde un enfoque estructural y funcional, esta parte es crucial para el diseño de pavimentos. La carga o peso del tráfico se distribuyen progresivamente desde la capa superior (soporta el desgaste) hasta la inferior o subrasante (brinda estabilidad). El pavimento está compuesto por 4 partes (carpeta de rodadura, base, subbase y subrasante) previamente diseñados para resistir carga, esfuerzo o deformaciones y condiciones climáticas. Con el tiempo aparecieron herramientas como el BISAR y KENLAYER que ayudaron a mejorar el análisis del comportamiento del pavimento. Esto permitió reducir costos, optimizar materiales y brindar mayor durabilidad de la infraestructura en el tiempo. El método de estructura multicapa es usado para vías con mucha carga y alto tráfico, en esta área se busca un equilibrio entre resistencia y eficiencia en el diseño.

1.2.25. Costo de ciclo de vida de pavimentos

Esta es una metodología integral que ayuda a evaluar a todos los costos asociados con los pavimentos a lo largo de su vida útil, desde el diseño y construcción inicial hasta el mantenimiento, rehabilitación y disposición final; este enfoque permite comparar alternativas de pavimentación no solo en términos de costos iniciales, sino también considerando los costos recurrentes y los impactos económicos a largo plazo; por ejemplo, un pavimento rígido podría tener costos iniciales más altos, pero menores costos de mantenimiento a lo largo del tiempo en comparación con un pavimento flexible; el LCCA también incluye factores como los costos sociales, interrupciones por mantenimiento y la sostenibilidad económica del proyecto; herramientas como el software RealCost, desarrollado por la FHWA (Federal Highway Administration), ayudan a realizar estos cálculos incorporando tasas de descuento y análisis de sensibilidad para prever escenarios futuros; este enfoque es fundamental para la planificación de infraestructura vial eficiente,

permitiendo optimizar la asignación de recursos y garantizar que las inversiones sean sostenibles y beneficiosas a largo plazo.

1.3. DEFINICIONES DE TERMINOS BÁSICOS

Las explicaciones de conceptos fundamentales en este estudio corresponden a un glosario de los conceptos principales involucrados en las variables de investigación.

Estos términos básicos han sido seleccionados con el objetivo de facilitar la comprensión de la terminología empleada, no solo para esta investigación, sino también para que otros investigadores, según su especialidad, puedan adentrarse de manera más clara y precisa en el tema planteado.

1.3.1. Pavimento

Es la capa que se coloca sobre el suelo para formar caminos o carreteras diseñada para soportar el tráfico de vehículos. Su durabilidad depende del material y su funcionamiento, puede ser rígido, flexible o semirrígido.

1.3.2. Pavimento Rígido

Pavimento hecho de concreto, es muy resistente y duradero ideal para carreteras con tráfico pesado. Este distribuye el peso de los vehículos de manera uniforme y se desgasta menos con el tiempo.

1.3.3. Pavimento Flexible

Pavimento construido en capas y utiliza asfalto como material principal; es más flexible, lo que significa que puede adaptarse a las presiones y movimientos del tráfico sin romperse fácilmente.

1.3.4. Pavimento semirrígido

Mezcla características tanto del pavimento rígido como del flexible, y usan los mismos materiales , cemento y asfalto. Este tipo de pavimento brinda un grado de resistencia con cierta flexibilidad, esto le permite una mejor adaptación a las cargas.

1.3.5. Costo de Ciclo de Vida (LCCA)

Es un análisis que ayuda a seleccionar el mejor pavimento a largo plazo. Además, calcula el costo total desde la construcción hasta su reemplazo. Aquí se consideran desde gastos de obra, mantenimiento y reparación.

1.3.6. Resistencia de Materiales

Es la capacidad de resistencia del pavimento, creado con concreto y asfalto, frente al peso y fuerzas producidas por el tráfico vehicular. Este criterio es primordial para el diseño de pavimentos viables en el tiempo.

1.3.7. Capacidad Portante del Suelo (CBR)

Este índice mide qué tan bien un suelo puede soportar cargas sin deformarse demasiado; ayuda a decidir el diseño del pavimento y la cantidad de materiales que se necesitan en cada capa.

1.3.8. Teoría de Fatiga de Materiales

Se centra en cómo los pavimentos se desgastan con el tiempo debido al uso continuo y repetitivo, como los vehículos que pasan todos los días; esto ayuda a diseñar carreteras que aguanten mejor el paso del tiempo.

1.3.9. Mantenimiento de Pavimentos

Son los trabajos que se hacen para mantener una carretera en buenas condiciones, como tapar grietas o renovar la superficie; esto asegura que sigan siendo seguras y cómodas para los conductores.

1.3.10. Diseño Basado en Desempeño (PBD)

Es una forma de planificar pavimentos pensando en cómo funcionarán en la vida real; se analiza cómo resistirán el tráfico, el clima y el desgaste, para hacerlos más duraderos y con menos necesidad de reparaciones.

CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el sector de la construcción, la selección adecuada del tipo de pavimento es un factor crítico que influye directamente en los costos y los tiempos de ejecución de los proyectos, especialmente en regiones con características geográficas y climáticas particulares como Moyobamba, en la región San Martín; la diversidad de condiciones del terreno, las demandas de tráfico y las variaciones en la disponibilidad de recursos materiales y financieros hacen necesario un análisis detallado de las ventajas y desventajas de los pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos.

El pavimento rígido es resistencia y durable a largo plazo, el problema es que necesita mayor inversión al inicio y tiempo para la construcción. Por el contrario, el pavimento flexible es más económico y rápido de construir, pero en el tiempo genera mayores costos para su mantenimiento. Finalmente, el pavimento semirrígido es una opción intermedia porque combinan características de los dos anteriores, pero su uso es limitado por las condiciones.

A nivel nacional; los estudios previos han evidenciado problemas recurrentes en la planificación y ejecución de proyectos de pavimentación; según la Contraloría General de la República (2023), un alto porcentaje de obras públicas sufre retrasos y sobrecostos debido a errores en la etapa de diseño y a una inadecuada supervisión durante la ejecución; en el caso específico de Moyobamba, los retos se agravan por la falta de criterios técnicos adecuados para seleccionar el tipo de pavimento que optimice tanto el tiempo de ejecución como los costos de inversión y mantenimiento.

Nuestra investigación destaca la relevancia de conocer el ciclo de vida de los pavimentos. Algunos autores (Lozano Medina, 2012; Vásquez Ayala, 2006) indicaron que en ingeniería una planificación deficiente produce retrasos, y que al momento de ajustar la ejecución se produce un sobrecosto de la obra.

A nivel local, las condiciones climáticas de la ciudad de Moyobamba suele ser cálido y húmedo, la frecuencia de lluvias intensas y la variabilidad del tráfico, plantean desafíos adicionales para asegurar la resistencia y el rendimiento de los pavimentos; las decisiones inadecuadas en la selección de materiales y técnicas de construcción han provocado en el pasado fallas prematuras en las superficies viales, incrementando la necesidad de reparaciones constantes y afectando la calidad del

servicio para los usuarios.

Por todo lo expuesto anteriormente, planteamos que nuestro objetivo fue comparar los costos y tiempos de implementación de distintos tipos de pavimento en Moyobamba. También, identificamos a los factores que afectaron la eficiencia de cada pavimentos. Finalmente, proponemos estrategias para una mejor planificación y ejecución de los proyectos viales. Nuestros hallazgos contribuirán a reducir gastos y plazos de obra, garantizando una infraestructura más eficiente y sostenible en el tiempo para esta región.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. Problema General

¿De qué manera influye el tipo de pavimento—rígido, flexible y semirrígido—en el costo y tiempo de ejecución de las obras viales en el distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba y departamento de San Martín, durante el año 2024?

2.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la diferencia en los costos directos e indirectos entre los fines estructurados, maleables y de tipo intermedio durante su ejecución en el distrito de Moyobamba?
- ¿Como varían los plazos entre los firmes duros, maleables y semiduros en el distrito de Moyobamba?
- ¿Cuáles son los factores técnicos y administrativos influyen en las variaciones de costo y tiempo durante la implementación de los firmes duros, maleables y semiduros en Moyobamba?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo General

Evaluar el gasto y tiempo de realización entre los pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos en el distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba y departamento de San Martín, para determinar cuál de

ellos representa la mejor alternativa en términos de eficiencia y sostenibilidad en el año 2024.

2.3.2. Objetivos Específicos

- Comparar los costos directos e indirectos de los pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos en función de los materiales, mano de obra y procesos constructivos utilizado.
- Analizar los tiempos de ejecución asociados en cada tipo de pavimento e identificar diferencias significativas en los plazos de construcción.
- Identificar los factores técnicos y administrativos que inciden en las variaciones de costo y tiempo durante la ejecución de los tres tipos de pavimento, para mejorar la gestión de los proyectos viales.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis General

El tipo de pavimento—rígido, flexible o semirrígido—afecta significativamente el costo y tiempo de ejecución de las obras viales en el distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba y departamento de San Martín, durante el año 2024, siendo los pavimentos flexibles los más eficientes en términos de tiempo, y los pavimentos rígidos los más duraderos, pero con mayores costos iniciales.

2.4.2. Hipótesis Específicas

Existe una diferencia significativa en los costos directos e indirectos entre los pavimentos rígidos, flexibles y de tipo intermedio (semirrígidos) durante su ejecución en el distrito de Moyobamba, siendo los pavimentos flexibles los de menor costo inicial.

Los tiempos de ejecución varían significativamente entre los pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos en el distrito de Moyobamba. Esto mostro que los pavimentos flexibles presentaron un tiempo de ejecución más corto en comparación con los pavimentos rígidos.

Los factores técnicos y administrativos influyen directamente en las

variaciones de costo y tiempo durante la ejecución de los pavimentos rígidos, flexibles y de tipo intermedio (semirrígidos) en Moyobamba. Además, destacamos que una mejor planificación reduce los costos y plazos de construcción.

2.5. VARIABLES

Una variable de investigación es un concepto utilizado en fin de describir cualquier factor que pueda influir en una relación de causa y efecto; en otras palabras, se trata de una característica que pueda medirse y variar en el desarrollo de un experimento, permitiendo analizar y comprobar los resultados obtenidos.

2.5.1. Identificación de Variables

Para llevar a cabo este estudio se identificaron y describieron las variables dependientes e independientes que forman parte del análisis:

a). Variables Dependientes:

- VD 1: costo y tiempo para la ejecución de pavimentos

b). Variable Independiente:

- VI 1: tipo de pavimento (rígido, flexible y semirrígido)

2.5.2. Definición Conceptual y Operacional de las Variables

Se refiere a una descripción general explicativa de la variable, enfocada en su significado teórico; por ello, la definición operacional describe.

Tabla 1

Definición Conceptual y Operacional de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL
Variables Dependent es:	<u>VD 1: Costo y tiempo en ejecución de pavimentos</u> Abarca todos los recursos financieros y el período de tiempo necesarios para completar la construcción de pavimentos. Todo esto fue acorde con las especificaciones del proyecto; este factor depende de diversos elementos (tipo de pavimento y las condiciones ambientales o de suelo).	<u>VD 1: Costo y tiempo en ejecución de pavimentos</u> El costo y tiempo en ejecución de pavimentos es el valor total asignado al proceso de pavimentación, que incluye materiales, mano de obra, maquinaria y otros gastos adicionales, y el tiempo requerido para la ejecución de dicho trabajo desde su inicio hasta su culminación; este puede variar
		dependiendo del clase de superficie y de las circunstancias del proyecto.
Variable Independien te:	<u>VI: tipo de pavimento (rígido, flexible y semirrígido)</u> Es la clasificación de los materiales y técnicas usadas para la construcción de pavimentos (rígidos, flexibles o semirrígidos). También, son las características y comportamiento frente a cargas y condiciones ambientales.	<u>VI: Análisis de causas y efectos</u> Son los materiales específicos y la estructura usada para la construcción de la capa de rodadura del pavimento. Pavimentos rígidos son contruidos esencialmente con concreto. Pavimentos flexibles contruidos principalmente de asfalto. Pavimentos semirrígidos es la combinación de ambos (intermedio).

Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.5.3. Operacionalización de las Variables.

Este es un proceso que va implicar el uso de técnicas y métodos para poder medir una variable en una investigación; es decir, se trata de descomponer la variable en sus partes más simples para poder analizarla y evaluarla de manera precisa:

Tabla 2

Operacionalización de Variable

Denominación	Definición	Dimensión	Indicador	Escala De Medición
Variables Dependiente:	VD 1: Costo y tiempo en ejecución de pavimentos El costo y tiempo en ejecución de pavimentos se refiere a los recursos financieros y el período de tiempo necesarios para completar la construcción de pavimentos de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Este factor depende de varios elementos, como el tipo de pavimento y las condiciones del terreno.	- Ingeniería del proyecto. - Gestión de proyectos	- Variación de contrato. - Eficiencia.	Ordinal

Variable Independiente:	VI: Tipo de pavimento (rígido, flexible y semirrígido) son las categoría de los componentes y métodos aplicados para la construcción de pavimentos (rígidos, flexibles o semirrígidos). También, incluyen sus características y respuestas frente cargas y condiciones ambientales.	- Normativa. - Perjuicio. - sobrecosto	- Sobrecosto. - Retraso	Ordinal
-------------------------	---	--	--	---------

Fuente: Elaboración propia, 2024.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo y diseño de la indagación son el conjunto de métodos y enfoques que el investigador emplea para desarrollar el estudio propuesto; es decir, se trata de un plan detallado y organizado que guía todo el proceso de investigación, con el fin de alcanzar los objetivos planteados:

3.1.1. Tipo de Investigación

El análisis se sitúa dentro del ámbito de exploración explicativa.

3.1.1. Diseño de Investigación

conforme con las metas propuestas y en correspondencia con la esencia de los factores sujetos a estudio, esta exploración se dirige hacia una labor distinta cuyo modelo está encaminado a los tipos de pavimentos viales.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población está compuesta por todos los proyectos de pavimentación que se han realizado o están en ejecución en el distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba, en el departamento de San Martín; esto incluiría los pavimentos de tipo rígido, flexible y semirrígido que hayan sido o sean ejecutados en esta área geográfica.

3.2.2. Muestra

Se considerará los Jirones, libertad C-8 e Iquitos C-4.

3.3. METODOS, HERRAMIENTAS Y PROCESOS DE OBTENCION DE INFORMACION

3.3.1. Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de obtención de información son fundamentales para reunir los datos requeridos para el desarrollo de la investigación. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la recolección de datos es el proceso mediante el cual se obtiene la información para poder analizar

el problema de investigación.

3.3.2. Instrumentos de Recolección de Datos

A. Análisis Documental:

Consistió en revisión exhaustiva de documentos preexistentes con información sobre los proyectos de pavimentación. La información recopilada fue desde los planos e informes de ejecución hasta documentos relacionados con el periodo de los revestimientos viables. Seguimos las recomendaciones planteadas por Hernández et al. (2014), en donde indico que el análisis documental es una herramienta muy útil para la obtención información sin la intervención directa del investigador.

B. Observación Participante:

Este método consiste en la participación del investigador durante las actividades de pavimentación. Esto permite una interacción más profunda del investigador lo que le permite una mejor comprensión de los factores que afectan tanto el costo como el tiempo de ejecución de la obra. Siguiendo las recomendaciones de Berg (2001) indica que esta técnica brinda una perspectiva directa del investigador hacia la realidad estudiada.

C. Encuesta:

Recopilamos toda la información a través de cuestionarios estructurados con respuestas concretas de ingenieros, contratistas y otras personas responsables de algún proyecto de pavimentación. Según Fowler (2014) que las encuestas son efectivas para obtener datos cuantitativos de una determinada muestra representativa.

3.3.3. Procedimientos de Recolección de Datos

El procesamiento de obtención de información será modificado por sus equivalentes:

Revisión de Documentos: Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de los documentos disponibles relacionados con los proyectos de pavimentación en Moyobamba, incluyendo planes de trabajo, informes

de ejecución, y presupuestos; este proceso se iniciará con la identificación de los proyectos de pavimentación relevantes y la recopilación de los documentos correspondientes.

Observación Participante: Se realizará una serie de visitas a las obras de pavimentación seleccionadas; durante las visitas, se tomará nota detallada del progreso de la obra, la maquinaria utilizada, el tipo de pavimento, y las condiciones de trabajo; las observaciones también se enfocarán en la comparación de los procesos de ejecución de pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos.

Aplicación de Encuestas: Aplicamos las encuestas a los responsables de las obras las cuales fueron una muestra representativa. Realizamos tanto encuestas presenciales como virtuales, esto dependía de la disponibilidad de los participantes.

Realización de Entrevistas: Realizamos las entrevistas con preguntas cerradas y abiertas (semiestructuradas) a todos los relacionados en la ejecución de los proyectos de pavimentación. Todas las entrevistas fueron de manera presencial.

3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

La recopilación de información del terreno se llevará a cabo inicialmente de manera manual, para luego ser procesada y organizada utilizando herramientas computacionales; lo cual el análisis e interpretación de los datos se realizará siguiendo los parámetros establecidos por la Norma Técnica CE.10 para pavimentos urbanos, la cual es una normativa vigente en nuestro país.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Estudio de trafico

La evaluación del tránsito en los jirones: Libertad cuadra 8 e Iquitos cuadra 4; se ha llevado a cabo considerando sus particularidades y requisitos necesarios para este tipo de investigación.

El examen de tráfico se fundamenta en datos recolectados durante el trabajo de campo, disponiendo del volumen correspondiente.

4.2. Planificación de la investigación de campo

Para realizar el trabajo es necesario proceder a inspecciones in situ; parte que determina la ubicación de las estaciones de empadronamiento a tal efecto; estudia y combina las propiedades de esta pieza y considera realizarla; cuenta en dos lugares, al inicio de la etapa del jirón Libertad cuadra 8 y jirón Iquitos cuadra 4, estos lugares son aspectos estratégicos destacados de este estudio de transporte; de acuerdo con los requisitos del estudio, se elaboró un plan de transporte, programe el recuento de tráfico para la primera estación creada, 14 horas al día, 7 días seguidos, y estadísticas de flujo de pasajeros de la segunda estación las 14 horas del día un espacio de siete días. Obtener datos basados en el tiempo, dirección y tipo de vehículo. Un equipo que hace el trabajo la industria está formado por estudiantes de tesis y directivos.

4.3. El método para calcular el volumen de negociación diario promedio

Los resultados se tienen en cuenta para calcular el volumen de negociación diario; de modo que se calculará en base al número de los días de la semana; es decir, lunes martes, miércoles, jueves, viernes sábado domingos.

- Realizar investigaciones de campo

El propósito de realizar un seguimiento de estos números y calificaciones de vehículos es tráfico en cada sentido, las 2414 horas del día.

- Resultados obtenidos

Teniendo la consolidación y coherencia en la oficina la información obtenida de y como se censo, se obtuvo el tráfico diario promedio que genera más tráfico; lo cual obtenemos

los siguientes resultados:

- **Clasificación vehicular de IMD**

Tabla 3

Clasificación vehicular de IMD

IMD	Automóvil	Camionetas	ómnibus	Camión C2	Camión C3
36	25	5	0	4	2

Fuente: Elaboración propia

- **Composición vehicular del IMD**

Tabla 3

Composición vehicular del IMD

Tipo	Categoría	Porcentaje (%)	Total
Vehículos ligeros	Autos y camionetas	83.33	83.33 %
	ómnibus	0	
Vehículos pesados	Camión c2	11.11	16.67 %
	Camión c3	5.56	
Total			100%

Fuente: Elaboración propia

Se inspecciona que el tránsito ligero fue del 83.33 % (automóviles y ómnibus) del total de vehículos, y el porcentaje del número total de vehículos pesados es de 16.67 % (camiones c2 y camiones c3)

- Evaluación de resultados

En los jirones Libertad C-8 e Iquitos C-4, se registró un promedio diario de tránsito de 36 vehículos por día; en estos sectores, se identificaron que el transporte de pasajes mediante automóviles y camionetas representa el 83 %; mientras que los ómnibus no registran participación, representando el 0.00%; en cuanto al tráfico pesado, este equivale al 16% destinado para el traslado de mercancías.

- Evaluación de la variación horaria

Las variaciones horarias de los vehículos utilizados son de tráfico medio; el tráfico más intenso durante el día es de 10:00 a 20:00 horas; siendo ese el momento de mayor congestión es la hora punta, mientras que el periodo menor tráfico ocurre durante la noche, el flujo de tráfico es de 8 vehículos que representa el 16,67% del IMD.

- Indicadores de tráfico para el diseño de pavimentos

Formula

$$IT_i = T_i \times A_i$$

El índice de tráfico se obtiene al multiplicar el tráfico acumulado por el factor de equivalencia (A_i).

$$T_i = IMD_i \times 365 \times \frac{(1 + F)^N - 1}{F}$$

Cálculo del tráfico acumulado (T_i) basado en el Índice Medio Diario (IMD_i), el factor de crecimiento anual (F) y el periodo de diseño (N).

- Cálculos por Categoría de Vehículo

- Autos y camionetas

$$T_{autos} = 30 \times 365 \times \frac{(1 + 0.04)^{10} - 1}{0.04}$$

$$T_{autos} = 131,419.65 \text{ veh\u00edculos}$$

- Camión C2

$$T_{C2} = 4 \times 365 \times \frac{(1 + 0.04)^{10} - 1}{0.04}$$

$$T_{autos} = 17,522.62 \text{ veh\u00edculos}$$

- Cami\u00f3n C3

$$T_{autos} = 30 \times 365 \times \frac{(1 + 0.04)^N - 1}{0.04}$$

$$T_{autos} = 8,761.31 \text{ veh\u00edculos}$$

Suma del \u00cdndice de Tr\u00e1fico Total

$$IT = IT_{autos} + IT_{C2} + IT_{C3}$$

$$IT = T_{autos} \times A_i + T_{C2} \times A_i + T_{C3} \times A_i$$

$$IT = 131,419.65 \times 0.0003 + 17,419.62 \times 0.7 + 8,761.31 \times 1.2$$

$$IT = 22,818.83$$

Seg\u00fan el MTC DG-2018, el IT de 22,818.83 se clasifica como tr\u00e1fico moderado-alto, lo que sugiere:

Pavimento r\u00edgido: Alta durabilidad y resistencia para cargas pesadas.

Pavimento semirr\u00edgido: Una opci\u00f3n viable como soluci\u00f3n intermedia.

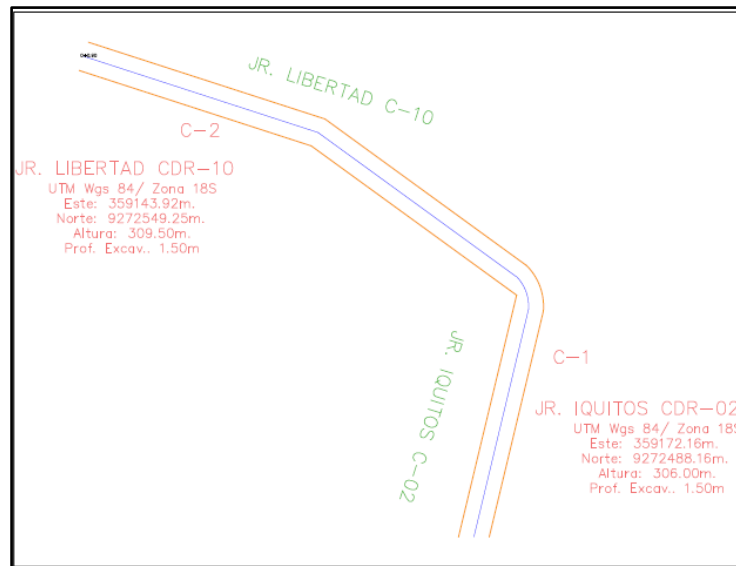
Pavimento flexible: Requiere un dise\u00f1o robusto con capas gruesas y mantenimiento m\u00e1s frecuente.

4.3.1. an\u00e1lisis de geotecnia

El estudio tiene como objetivo primordial el examinar las pruebas de la tierra (TDF) y/o superficie de carretera natural, y consulte tambi\u00e9n los materiales de pr\u00e9stamos elegibles de capa investigaciones de fractura de agregados y subbase, despu\u00e9s ello se utilizar\u00e1 en el concreto y los dise\u00f1os de mezcla.

Figura 8

Ubicación de calicatas



Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1. Análisis en terreno y pruebas experimentales en laboratorio

Se llevaron a cabo dos excavaciones exploratorias de 1.50 metros de profundidad, de las cuales tomaron ejemplares para analizar sus características en laboratorio; seguidamente, se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 5

Resultados de pruebas de laboratorio de mecánica de suelos – calicata C-1 a C-2

Subrasante natural	Cal. C-1	Cal. C-2	Und.
	M-1	M-2	
% de humedad natural	15.40	17.45	%
Granulometría			

%pasa la malla N°4	100.00	100.00	%
%pasa la malla N°200	98.14	92.74	%
Límite de consistencias			
Límite Líquido	36.41	32.46	%
Límite plástico	20.67	19.41	%
Índice de plasticidad	15.75	13.07	%
Sistema de clasificación SUCCS	CL	CL	
Sistema Clasificación AASHTO	A-6(16)	A-6(12)	
Proctor modificado			
Máxima densidad	1.86	1.87	grs./cm3
Humedad Óptima %	15.16	13.96	%
C.B.R. al 100% de compactación	12.17	12.17	%
C.B.R. al 100% de compactación	6.92	6.92	%
Profundidad	0.20-1.50	0.10-1.50	m

Fuente: Elaboración propia

Las calicatas C-1 corresponde al Jr. Iquitos C-4; C-2 corresponden Libertad C-8.

4.3.1.2. Aspectos generales

Jr. Libertad C-8

Se identifico una arcilla inorgánica de textura firme y color marrón con machas blancas; presenta una resistencia media; además, contine un 92.74% de finos (que pasan a través de la malla N°200

Tabla 4

Propiedades del terreno de cimentación Jr. Libertad C-8

Características	Valor	Interpretación
Índice de consistencia I_c (C.R)	1.16	Suelo duro
Tendencia al hundimiento	1.42	Leve (suelo no colapsable)
Índice de liquides IL	0.000	Suelo pre-consolidado
Índice de compresión Cc	0.203	Comprensibilidad media

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Agresividad del suelo Jr. Libertad C-10

Agresividad del suelo		
Muestra N° 1 parámetros	Resultados unidades	Interpretación
pH (MTC E129	3.74	Fuertemente acido
Materia orgánica (NTP 339.072)	0.805 ppm	Bajo

Sales solubles totales (NTP 339.152-BS 1377)	0.0960 ppm	Es mínimo no genera inconvenientes relacionados con la perdida de resistencia del suelo causada por el arrastre de materiales debido al paso del agua
Cloruros (Cl, K) (NTP 339.177 AASHTO T2991)	0.00754ppm	Es poco significativo y no representa un riesgo de deterioro para las barras de refuerzo u otros elementos metálicos presentes en la estructura.
Sulfatos (So ₄ , Ba) (NTP 339.178 ASHTO T290)	0.00725 ppm	Es insignificante y no representa un riesgo de daño químico.
Observaciones: basándose en los resultados obtenidos sobre la corrosividad del terreno, este se categoriza como de mínima hostilidad para la base; por ende se sugiere no utilizar concreto Portland Tipo I(NTP: 334.009 – ASTM C 150 – 99a)		

Fuente: Elaboración propia

Jr. Iquitos C-4

Se identifico un lodo inorgánico de textura sólida y tonalidad café con manchas blancas; presenta una resistencia variable, de moderada a baja, junto con una alta expansión cuando está saturada y una plasticidad media; contiene un 98.14% de partículas finas que pasan por la malla N°200; además, posee un límite liquido de 36.41% y un índice de plasticidad de 15.75%.

Tabla 5

Propiedades de suelo base en el Jr. Iquitos C- 4

Características	Valor	Interpretación
Índice de consistencia Ic (C.R)	1.34	Suelo firme
Tendencia al hundimiento	1.34	Leve (suelo no susceptible al colapso)
Índice de Liquidez IL	0.000	Suelo pre-consolidado
Índice de Compresión Cc	0.238	Compresibilidad media

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6*Agresividad del suelo en el Jr. Iquitos C- 4*

Agresividad del suelo		
Muestra N° 1 parámetros	Resultados unidades	Interpretación
pH (MTC E129)	3.06	Fuertemente acido
Materia orgánica (NTP 339.072)	0.902 ppm	Bajo
Sales soluble total (NTP 339.152-BS 1377)	0.0796 ppm	Es mínimo no genera inconvenientes relacionados con la perdida de resistencia del suelo causada por el arrastre de materiales debido al paso del agua
Cloruros (Cl, K) (NTP 339.177 AASHTO T2991)	0.00811ppm	Es poco significativo y no representa un riesgo de deterioro para las barras de refuerzo u otros elementos metálicos presentes en la estructura.
Sulfatos (So4, Ba) (NTP 339.178 ASHTO T290)	0.00967 ppm	Es insignificante y no representa un riesgo de daño químico al concreto utilizado en los cimientos
Observaciones: basándose en los resultados obtenidos sobre la agresividad del suelo, este se clasifica como de baja agresividad para la cimentación; por lo tanto, se aconseja no emplear cemento Portland Tipo I (NTP: 334.009 – ASTM C 150 – 99a)		

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3. Existencia de terrenos orgánicos y expansivos

Suelos orgánicos

La comprobación de la existencia de suelo orgánicos en el terreno de cimentación se llevó a cabo durante las exploraciones de terreno; luego de su verificación, se concluyó que no se hallaron terrenos orgánicos en la superficie de las vías en el plan.

Suelos expansivos

Este es el que experimenta una modificación notable en su volumen cuando entra en contacto con el agua; la existencia de este tipo de suelo se identificó después de efectuar las pruebas de laboratorio en las muestras recolectadas; a partir de esta valoración, se determina que el terreno presente en ambos jirones posee una elevada plasticidad expansiva cuando está saturado.

4.3.1.4. Capacidad de soporte del suelo

Al determinar el CBR de la subrasante, se consideró el cambio en los distintos tipos de suelo; con base en el perfil estratégico, se seleccionaron muestras representativas de cada tipo de suelo para realizar los ensayos correspondientes; las pruebas aplicadas a las muestras cumplieron De acuerdo con lo estipulado en las regulaciones actuales, los resultados alcanzados corresponden a densificaciones del 95% y 100% de la MDS, conforme al Proctor modificado; en la tabla denominada “CBR de la subrasante”, se muestran los valores obtenidos.

Tabla 7

CBR de la subrasante

N°	Calicata	Profundidad	Clasificación		CBR	
			SUCS	AASHTO	95%	100%
1	C-1	0.20 -1.50	CL	A-6(16)	6.92	12.17
2	C-2	0.10 – 1.50	CL	A-6(12)	6.92	12.17

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Yacimientos de recursos hídricos

Este análisis de geotecnia efectuados en las exploraciones se llevaron a cabo con el objetivo de analizar las propiedades de los materiales, a fin de determinar cuáles serán utilizados en las capas estructurales del pavimento, en las áreas de préstamo de material para rellenos masi como en la producción de agregados pétreos destinados a la elaboración de concreto hidráulico; solo se seleccionaron aquellas canteras que demostraron contar con material de calidad y cantidad suficientes para la construcción de la vía; en los trabajos de campo, se realizó la exploración del subsuelo mediante la apertura de calicatas en las canteras evaluadas; se tomaron muestras alteradas de cada excavación, las cuales fueron enviadas a un laboratorio especializado para los análisis correspondientes; en el laboratorio, los ensayos estuvieron enfocado en determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos muestreados, información que sirvió como base para clasificar cantera y definir sus uso adecuado en el proyecto de construcción.

4.3.3.1. Metodologías del estudio de canteras

En la elaboración de esta sección, se han tomado en cuenta evaluaciones de yacimientos situados en áreas utilizadas para la edificación de caminos asfálticos, así como para la base, subbase y obras de concreto; en particular, se ha puesto énfasis en obras que requieren agregados de alta calidad, los cuales, en nuestro plan, han sido localizados en los cauces fluviales; estos yacimientos cuentan con una capacidad de explotación renovable, ya que, con cada temporada de lluvias y crecidas, el agua transporta materiales y recarga naturalmente las áreas extraídas.

4.3.3.2. Ensayos de laboratorio

Sus ensayos de laboratorio facilitaron la evaluación de las características de los pavimentos a través de pruebas físicas, mecánicas y químicas; las

muestras alteradas fueron sometidas a ensayos siguiendo las normas y recomendaciones de la American Society of Testing and Mterials (ASTM); los ensayos de laboratorio empleados para establecer las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales extraídos de los yacimientos, se llevaron a cabo de acuerdo con el Manual de pruebas de materiales para vías del MTC(EM-2000) e incluyen:

Tabla 8

Ensayos de laboratorio de canteras

Ensayo	Uso	AASHTO	ASTM	Propósito
Estudio de tamaño de partículas mediante cribado	Clasificación	T88	D422	Se trata de identificar como se distribuyen las diferentes partículas dentro del suelo, para entender mejor su composición y características
Limite liquido	Clasificación	T89	D4318	Consiste en medir la cantidad de agua presente en el suelo cuando este se encuentra entre los estados líquido y plástico, lo que ayuda a comprender su comportamiento y trabajabilidad
Limite	Clasificación	T90	D4318	Determinar el contenido de

plástico				humedad entre los estados plásticos y semisólido.
Índice plástico	Clasificación	T90	D4318	Determinar el intervalo de humedad superior al cual el terreno se encuentra en un estado plástico.
Equivalente de arena	Calidad agregada	T176	D2419	Medición veloz de la cantidad de partículas pequeñas en los agregados
Abrasión (los ángeles)		T96	C131 C535	Medición de la tenacidad o resistencia al choque de los agregados.
Proctor modificado	Diseño de espesores	T180	D1557	Determinación del contenido ideal de humedad y la máxima densidad seca del material.
CBR	Diseño de espesores	T193	D1883	Establece la capacidad portante del terreno, lo que facilita la inferencia del módulo resiliente del mismo.

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.3. Caracterización de yacimientos

Los yacimientos elegidos como fuentes de materiales de edificación para las compactaciones estructurales, subbase granular, concreto asfáltico y concreto armado son:

Tabla 9

Característica cantera la florida

Cantera "La florida"- Moyobamba, Región San Martín	
Ubicación	Distrito de Moyobamba, Región San Martín
Acceso	Carretera asfaltada hacia la cantera
Potencia	>40,000 m ³ (estimada)
Propietario	Propiedad Privada
Uso	Material para rellenos estructurales, subbase granular, concreto asfáltico y concreto armado
Tipo de material	Piedra caliza y material granular

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Diseño de mezcla para subbase y base granular

Propiedades de las canteras	Material Granular:	Ligante: Piedra caliza	Combinación: 60% piedra caliza	Espec.	Und.
-----------------------------	--------------------	------------------------	--------------------------------	-------------------	------

C.B.R					
C.B.R. AL 100% de compactación			88.39	40% Mín.	%
C.B.R. al 95% de compactación			63.68		%
Proctor Modificada					
Máxima Densidad			2.17		gr/cm³
Humedad Óptima			8.81		%
Desgaste de Abrasión			36	50% Máx.	%
Equivalente de Arena			30	25%Mín.	%
Sales Solubles en Agregados			0.09	1Máx.	%
Peso Específico	2.66		2.66		gr/cm³
Humedad	3.14	6.22	2.30		%

Límites de consistencia					
Límite líquido	NL	22.41	29.54	25% Máx.	%
Límite Plástico	NL	16.25	21.54		%
Índice de Plasticidad	ND	6.16	8	6% Máx.	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14

Granulometría y clasificación de material de cantera

Propiedades de las canteras	Material Granular: Cantera La florida	Ligante: Piedra caliza triturada y arena natural	Combinación: 60% piedra caliza triturada + 40% arena natural	Espec.	Und.
GRABULOMETRÍA				Suelo Tipo I Gradación "B" (ASTM D 1241)	
% pasa malla 2"	100.00	100.00	100.00	100-100	%

% pasa malla 1"	94.85	98.00	88.44	75-95	%
% pasa malla 3/8"	64.64	91.12	67.73	40-75	%
% pasa malla N° 04	51.56	82.26	55.04	30-60	%
% pasa malla N° 10	36.27	70.74	40.00	20-45	%
% pasa malla N° 40	14.44	60.00	27.55	15-30	%
% pasa malla N° 200	3.71	25.21	11.30	5-15	%
Sistema Clasificación AASHTO	A1-a (1)	A-2-4(2)	A-2-4(0)		
Sistema de Clasificación SUCCS	GP	SN-SC	GP-GC		

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.4. Recursos hídricos

Se llevó a cabo la toma de muestras, extracción y traslado del agua, desde la fuente situada en la quebrada de La Florida – Moyobamba, Km 12+300 – Carretera Moyobamba – Jepelacio, con el fin de establecer sus propiedades químicas, para su uso como agua en la fabricación de concreto o en la mezcla para la capa de subbase y base.

Conclusiones: el agua recolectada ha sido analizada conforme a las normativas establecidas; se concluye que la muestra de agua no presenta sustancias agresivas hacia el concreto di en la mezcla para la capa de subbase y base.

Recomendaciones: Se recomienda utilizar el agua de la fuente ubicada en la Quebrada de La Florida – Moyobamba, Km 12+300 – Carretera Moyobamba – Jepelacio, como agua para la fabricación de concreto o en la mezcla para la capa de subbase y base.

Observación: La selección fue obtenida y recopilada conforme a las normativas actuales en nuestra nación; la porción de líquido ha sido reunida y trasladada por el equipo especializado del requirente hacia el centro de análisis, por lo que el establecimiento no se hace cargo del procedimiento de recolección de la porción.

Tabla 10

Características del agua que se va a utilizar

Descripción del agua	Norma empleada	Resultados	Especificaciones	Observación	Observación
Materia orgánica	NTP 339.088	7.96 ppm	10 ppm	Riego bajo	El agua analizada ha sido sometida a pruebas conforme a las normas estipuladas, concluyéndose que la muestra no representa compuestos nocivos
Sales solubles totales	NTP 339.088	61.49 ppm	1500 ppm	Normal	
Sulfato de magnesio	NTP 339.088	74.62 ppm	150 ppm	Normal	
cloruros	NTP 339.088	102.41 ppm	300 ppm	Normal	
Sulfatos	NTP 339.088	105.52ppm	300 ppm	Normal	
Solidos en suspensión	NTP 339.088	150.05	1500 ppm	Normal	
PH	NTP 339.088	8.17	> 7	Normal	

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Diseño de pavimentos

4.4.4.1. Descripción del clima y elevación

El estado del tiempo abarca principalmente el estudio de las variables meteorológicas, como la pluviosidad y la temperatura, tomando en cuenta siempre la precipitación media, la temperatura media y sus valores y extremos; máxima y mínima. Estos elementos pueden influir en el desempeño del pavimento, su resistencia, durabilidad y capacidad portante del sistema estructural. En este contexto, se clasifica toda la vía como uniforme. La zona analizada presenta un clima cálido con precipitaciones abundantes, registrándose temperaturas medias de 28 °C. La vía proyectada se sitúa a una elevación aproximada de 209 m s. n. m.

4.4.4.2. Trafico medio diario anual y evaluación del trafico

4.4.4.2.1. Método para determinar el flujo promedio diario

Para calcular el caudal diario, se tomó en cuenta el resultado derivado del registro efectuado durante los días lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo, en sentido de Sur a Norte y en dirección opuesta.

4.4.4.3. Desarrollo del Estudio de Campo

Estos registros de flujo y categorización vehicular se llevaron a cabo para ambos sentidos de circulación, durante 14 horas diarias.

4.4.4.4. Resultados Alcanzados

Luego de efectuar en oficina la integración y verificación de los datos recopilados en los registros, y considerando como referencia el flujo vehicular promedio diario con el mayor volumen registrado —obtenido en julio de 2020—, se obtuvieron los siguientes resultados.

4.4.4.4.1. Clasificación vehicular de IMD

Tabla 16

Conteo vehicular

IMD	Automóvil	Camionetas	ómnibus	Camión C2	Camión C3
36	25	5	0	4	2

Fuente: Elaboración propia

Composición vehicular del IMD

Tabla 11

Composición vehicular del IMD

Tipo	Categoría	Porcentaje (%)	Total
Vehículos ligeros	Autos y camionetas	83.33	83.33 %
	ómnibus	0	
Vehículos pesados	Camión c2	11.11	16.67 %
	Camión c3	5.56	
Total			100%

Fuente: Elaboración propia

Se inspecciona que el tránsito ligero fue del 83.33 % (automóviles y ómnibus) del total de vehículos, y el porcentaje del número total de vehículos pesados es de 16.67 % (camiones c2 y camiones c3).

4.4.4.4.2. Factor de crecimiento acumulado (Fca)

Se realizará un análisis comparativo entre los pavimentos rígido, semirrígido con adoquines de concreto y flexible, considerando un horizonte de diseño de 20 años. Se tomará en cuenta una tasa de crecimiento poblacional del 5% anual. De acuerdo con el *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos* (R.D. N° 10-2014-MTC/14), los parámetros establecidos para el factor de crecimiento acumulado (Fca) determinan un valor de $Fca = 33.06$.

Tabla 18

Factores de crecimiento acumulado (Fca) para el cálculo de números de repeticiones de EE

Periodo de análisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa anual de crecimiento							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.65	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.87	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38

13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.27
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

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

Sección: Suelos y Pavimentos

4.4.4.4.3. Determinación del coeficiente de distribución direccional (F_d) y de carril (F_c)

Esos coeficientes se desarrollaron considerando la cantidad de calzadas proyectadas para el pavimento, así como el número de direcciones para dichas calzadas y la cantidad de carriles por dirección. En nuestro diseño, se proyectó una calzada de doble sentido, con un carril por cada dirección. De acuerdo con el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos – R.D. N° 10-2014-MTC/14,

los valores de los coeficientes de Distribución Direccional (F_d) y de Carril (F_c) se determinan según la Tabla N°7. Con base en la propuesta de diseño, se obtuvo un coeficiente Direccional de 0.50 y un coeficiente de Carril de 1.00.

Tabla 12

Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño

Numero de calzadas	Numero de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (F_d)	Factor carril (F_c)	Factor ponderado $F_d \times F_c$ para carril de diseño
1 calzada (para IMDA total de calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
2 calzada con separador central (para IMDA total de dos calzadas)	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentido	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentido	4	0.50	0.50	0.25

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

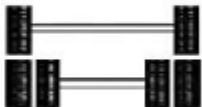
Sección: Suelos y Pavimentos.

4.4.4.4.4. Cálculo de factores de ejes equivalentes (E.E.) y el factor de vehículos pesados. (Fvp)

Los Ejes Equivalentes (EE) son coeficientes de equivalencia que reflejan el impacto destructivo de las diversas cargas, según el tipo de eje que posee cada clase de vehículo pesado, sobre la infraestructura del pavimento.

Figura 9

Configuración de ejes

Conjunto de Eje (a)	Nomenclatura	N° de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple + 1 Eje de Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota: RS: Rueda Simple; RD: Rueda Doble. *Fuente: Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos*

Para determinar los ejes equivalentes (EE), se emplearán las siguientes formulas simplificadas, considerando las distintas disposiciones de ejes en vehículos pesados y tipo de pavimento correspondiente.

Tabla 13

Determinación de ejes equivalentes (EE) a partir de la relación de cargas por eje en afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos.

Tipo de eje	Eje equivalente (EE_{8.2 ton})
Eje simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P/14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P/15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P/20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{S1} = [P/21.8]^{3.9}$

Fuente: Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos

Tabla 14

Cálculo de ejes equivalentes (EE) a partir de la relación de cargas por eje en pavimentos rígidos.

Tipo de eje	Eje equivalente (EE_{8.2 ton})
Eje simple de ruedas simples (EES1)	$EE_{s1} = [P/6.6]^{4.1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EES2)	$EE_{s2} = [P/8.2]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	$EE_{TA1} = [P/13.0]^{4.1}$
Eje Tandem (2 ejes ruedas dobles) (EETA2)	$EE_{TA2} = [P/13.3]^{4.1}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	$EE_{TR1} = [P/16.6]^{4.0}$
Ejes Tridem(3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	$EE_{s1} = [P/17.5]^{4.0}$

*Fuente: Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos
Sección: Suelos y Pavimentos*

vehículos pesados registrados. Este factor permite estimar el impacto de la carga vehicular en el diseño del pavimento, considerando la contribución de cada tipo de vehículo (autobús o camión) al deterioro estructural de la vía vehículos pesados considerados.

Figura 10

Factor camión C2 y C3 para pavimentos

Pavimento Flexible y Semirrígido			Pavimento Rígido		
CAMIÓN C2			CAMIÓN C2		
Ejes	E1	E2	Ejes	E1	E2
Carga (tn)	7	10	Carga (tn)	7	10
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple	Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble	Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble
Factor E.E	1.265	2.212	Factor E.E	1.273	2.256
Total Factor Camión	3.477		Total Factor Camión	3.529	

CAMIÓN C3			CAMIÓN C3		
Ejes	E1	E2	Ejes	E1	E2
Carga (tn)	7	16	Carga (tn)	7	10
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Tandem	Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Tandem
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble	Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble
Factor E.E	1.265	2.261	Factor E.E	1.273	2.134
Total Factor Camión	2.256		Total Factor Camión	3.406	

Fuente: Elaboración propia

4.4.4.4. Factor de ajuste por presión de neumáticos (Fp)

Otro de los factores a considerar en la estimación del número de repeticiones de EE es el impacto de la presión de contacto de los neumáticos; en este caso, se adoptó un coeficiente de 1.0, conforme a las recomendaciones del manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos; se utilizó como presión inicial un valor de 80 psi para un pavimento flexible.

Tabla 15

Factor de ajuste por presión de neumáticos (Fp) para ejes equivalentes (EE).

Espesor de capa de rodadura (mm)	Presión de contacto del neumático (PCN) en psi PCN= 0.90 x (Presión de inflado del neumático) (psi)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.36	1.80	2.31	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Fuente: Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos
Sección: Suelos y Pavimentos.

Nota:

- EE = Ejes Equivalentes.
- Presión de Inflado del Neumático (Pin): Se refiere al promedio de presiones de inflado de los neumáticos según el tipo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto de Neumático (PCN): Equivale al 90% del promedio de presiones de inflado de los neumáticos para vehículos pesados.
- Para capas de rodadura asfáltica con espesores reducidos, se aplicará un factor de ajuste correspondiente a un espesor de 50 mm.

4.4.4.4.6. Cálculo de EE día-carril

En el cálculo, es necesario determinar los Ejes Equivalentes (EE) diarios por tipo de vehículo pesado en el carril de diseño; al comparar pavimentos flexible, semirrígido y rígido, se calcularán dos valores diferentes de EE por día y por carril, ya que el Factor de Vehículo Pesado varía en el diseño de un pavimento rígido; en la Tabla N°23, se presentan estos valores, obtenidos al multiplicar el IMDA (Intensidad Media Diaria Anual) para cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, el Factor de Carril, el Factor de Vehículo Pesado y el Factor de Ajuste por Presión de Neumáticos, lo que asegura un diseño preciso y duradero del pavimento frente al tráfico proyectado.

Vamos a calcular el EE-día/carril para cada tipo de vehículo utilizando la fórmula:

$$EE=IMD \times F_c \times F_{vp} \times F_p$$

Tabla 16

EE día-carril para pavimentos flexible y semirrígido

VEHICULO	IMD	FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	FACTOR CARRIAL (Fc)	FACTOR VEHICULAR PESADO (Fvp)	FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO (Fp)	EE- día-carril
Automóvil	25	0.50	1.00	0.001	1.00	0.0125
Camionetas	5	0.50	1.00	0.001	1.00	0.0025
Camionetas C2	4	0.50	1.00	3.477	1.00	6.954
Camionetas C3	2	0.50	1.00	3.477	1.00	3.477
Total						10.446

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17*EE día-carril para pavimentos Rígidos*

VEHICULO	IMD	FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	FACTOR CARRIAL (Fc)	FACTOR VEHICULAR PESADO (Fvp)	FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO (Fp)	EE- día-carril
Automóvil	25	0.50	1.00	0.001	1.00	0.0125
Camionetas	5	0.50	1.00	0.001	1.00	0.0025
Camionetas C2	4	0.50	1.00	3.529	1.00	7.058
Camionetas C3	2	0.50	1.00	3.529	1.00	3.529
Total						10.602

*Fuente: Elaboración propia***4.4.4.4.7. Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2**

Para el cálculo, es necesario determinar los Ejes Equivalentes (EE) diarios por tipo de vehículo pesado en el carril de diseño; al comparar pavimentos flexible, semirrígido y rígido, se calcularán dos valores diferentes de EE por día y por carril, dando que el coeficiente de carga pesada fluctúa en la planificación de un pavimento; en la Tabla N°23, se presentan estos valores, obtenidos al multiplicar el IMDa (Intensidad Media Diaria Anual) para cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, el Factor de Carril, el Factor de Vehículo Pesado y el Factor de Ajuste por Presión de Neumáticos, lo que asegura un diseño preciso y duradero del pavimento frente al tráfico proyectado.

Número de repeticiones de E.E de 8.2. tn para pavimentos flexible y semirrígido

Para proyectar el tráfico para el periodo de diseño se va a tener que

emplear la siguiente fórmula:

$$W18 = (EE * 365 * (1 + g)^n - 1) / g$$

Donde:

W18 = Número total de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 TN.

EE = Número de Ejes Equivalentes diarios por carril (calculado).

g = Tasa de crecimiento anual del tráfico (por ejemplo, 5% = 0.05).

n = Número de años del período de diseño (por ejemplo, 20 años).

Ambos sentidos: 125,993.58 EAL o W18

Número de repeticiones de E.E de 8.2. tn para pavimento rígido

Para proyectar el tráfico para el periodo de diseño se va a tener que emplear la siguiente fórmula:

$$W18 = (EE * 365 * (1 + g)^n - 1) / g$$

Donde:

W18 = Número total de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 TN.

EE = Número de Ejes Equivalentes diarios por carril (calculado).

g = Tasa de crecimiento anual del tráfico (por ejemplo, 5% = 0.05).

n = Número de años del período de diseño (por ejemplo, 20 años).

Ambos sentidos: 127,921.37 EAL o W18

4.2. ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con el estudio de las frecuencias acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, el tráfico se clasifica como Tipo Pesado TP1, correspondiente a un rango que oscila entre más de 150,000 EE y menos de 300,000 EE. Esta información será fundamental para el diseño estructural del pavimento.

Tabla 18

Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño para pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos.

Tipos de tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
T_{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T_{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T_{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T_{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T_{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE
T_{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T_{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T_{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE

T_{P8}	$> 5'000,000 \text{ EE}$ $\leq 7'500,000 \text{ EE}$
----------	---

Fuente: Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos
Sección: Suelos y Pavimentos.

4.2.1. Diseño de pavimento flexible – método de AASHTO 93

Tras determinar el CBR y la capacidad de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en la zona analizada, que son los factores clave, se llevará a cabo el diseño del pavimento utilizando el método AASHTO 93. Este enfoque se basa en una fórmula analítica que, debido a su complejidad, suele apoyarse en el uso de nomogramas para facilitar su aplicación y hacerlo más práctico.

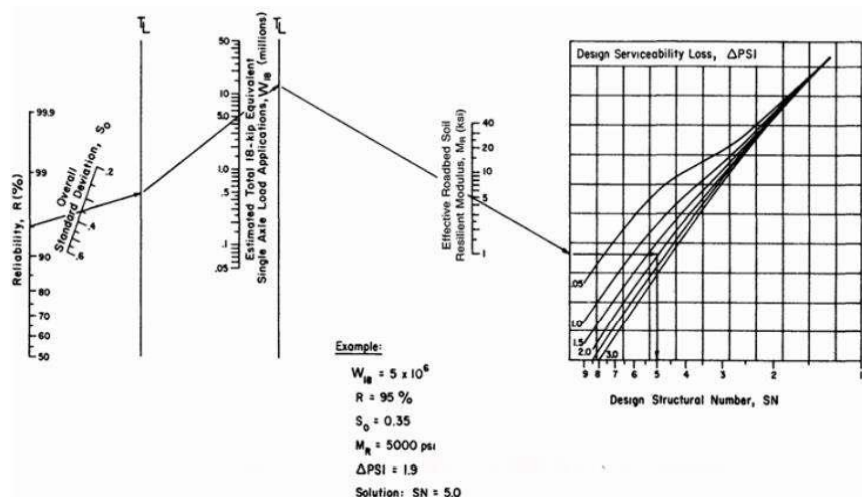
W18=125,993.58

CBR=6.92

Este método utiliza formula analítica que, debido a su nivel de complejidad se complementa con nomogramas para hacer su aplicación más sencilla y práctica.

Figura 11

Monograma para pavimento flexible



Fuente: Guía AASHTO 1993 Para el Diseño de Estructuras de Pavimento

Es importante destacar que, para cálculos computarizados o automatizados, la solución matemática resulta extremadamente útil. A continuación, se presenta la formulación correspondiente.

Figura 12

Ecuación de diseño de Pavimento Flexible

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: Guía AASHTO 1993 Para el Diseño de Estructuras de Pavimento

Figura 13

Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Fuente: Guía AASHTO 1993 Para el Diseño de Estructuras de Pavimento

- Cantidad de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (W18); según el análisis realizado en nuestra área de estudio, se estableció que, para el pavimento flexible, el valor de W18 es de: 125,993.58
- Módulo de Resiliencia (MR): Este parámetro está vinculado a un CBR del 6.91%, lo que lo clasifica dentro de la categoría S2 (subrasante regular). Es importante mencionar que se seleccionó el valor promedio del CBR para este análisis.

$$Mr_{psi} = 2555 * CBR^{0.64}$$

Remplazando:

$$Mr_{psi} = 2555 * 6.91^{0.64}$$

$$Mr_{psi} = 8803.5301$$

- Nivel de confiable (%)

Esta probabilidad depende de la variabilidad de los factores que afectan tanto la estructura del pavimento como su desempeño. Por lo tanto, un nivel de confiabilidad más alto implica un incremento en el espesor del pavimento diseñado. Según la guía de AASHTO, en este caso, se trata de una calle colectora con un nivel de confiabilidad que oscila entre el 80% y el 95%.

Tabla 19

Nivel de confiabilidad, según ASHTO

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

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structure 1993

Con base en el *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos* (R.D. N° 10-2014-MTC/14), se obtiene una estimación más precisa del Rango de Tráfico, considerando un nivel de confiabilidad del 70%. Esto contribuye a mejorar la exactitud en el diseño del pavimento.

R= 65%

Niveles sugeridos de confiabilidad para un solo periodo de diseño (10 o 20 años) según el volumen de tráfico.

Tabla 20

Niveles recomendados de fiabilidad para un único periodo de diseño (10 o 20 años) según la Intensidad del Tráfico

TIPO DE CAMIONES	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Camiones de bajo volumen de transito	T_{P0}	75,000	150,000	65%
	T_{P1}	150,001	300,000	70%
	T_{P2}	300,001	500,000	80%
	T_{P3}	500,001	750,000	80%
	T_{P4}	750,001	1,000,000	85%
Resto de camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	90%
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T_{P10}	10'000,001	12'500,00	90%

			0	
	T_{P11}	12'500,001	15'000,00 0	95%
	T_{P12}	15'000,001	20'000,00 0	95%
	T_{P13}	20'000.00 1	25'000,00 0	95%
	T_{P14}	25'000,001	30'000,00 0	95%
	T_{P15}	>30'000,000		95%

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

- Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_r)

Este valor representa el nivel de confiabilidad seleccionado para un conjunto de datos dentro de una distribución normal. Con base en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos, se obtiene una estimación más precisa respecto al volumen de tráfico, determinando un valor de -0.385.

$Z_r = -0.385$

Tabla 21

Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Z_R) para un único período de diseño (10 o 20 años), determinado según el nivel de confiabilidad elegido y el rango de tráfico.

TIPO DE CAMIONES	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Z_R)
Camiones de bajo volumen de transito	T_{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T_{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T_{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T_{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T_{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	-1.645
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645

	T_{P15}	>30'000,000	-1.645
--	-----------	-------------	--------

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

La Guía AASTHO sugiere utilizar para los pavimentos flexibles, considerar valores de S_o que fluctúen entre 0.40 y 0.50; Durante el proceso de diseño del pavimento flexible, se recomienda evaluar las condiciones del tránsito, las características del suelo de fundación y los criterios de desempeño esperados, a fin de garantizar una estructura óptima y duradera. considerar un valor de referencia dentro de este rango para garantizar estabilidad y rendimiento.

$$S_o = 0.45$$

- Índice de Serviciabilidad (ΔPSI):

Con el respaldo del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos”; se obtiene un valor más preciso en función del volumen de tráfico, estimando un índice específico que permite evaluar el desempeño y la calidad del pavimento a lo largo de su vida útil.

$$p_0 = \text{índice de servicio inicial} = 3.80$$

$$p_t = \text{Índice de servicio final} = 2.00$$

$$\Delta PSI = 1.80$$

Tabla 29

Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i) Según Rango de Tráfico.

TIPO DE CAMIONES	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_i)
Camiones de bajo volumen de transito	T_{P0}	75,000	150,000	3.80
	T_{P1}	150,001	300,000	3.80
	T_{P2}	300,001	500,000	3.80
	T_{P3}	500,001	750,000	3.80
	T_{P4}	750,001	1,000,000	3.80
Resto de camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	4.00
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	4.00
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	4.00
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	4.00

	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	4.00
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	4.00
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	4.00
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	4.20
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	4.20
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	4.20
	T_{P15}	>30'000,000		4.20

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

Tabla 22

Índice de serviciabilidad final (P_t) determinado en función del rango de tráfico

TIPO DE CAMIONES	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (P_T)
Camiones de bajo volumen de transito	T_{P0}	75,000	150,000	2.00
	T_{P1}	150,001	300,000	2.00
	T_{P2}	300,001	500,000	2.00
	T_{P3}	500,001	750,000	2.00
	T_{P4}	750,001	1,000,000	2.00
Resto de camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00

	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	3.00
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T_{P15}	>30'000,000		3.00

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

Tabla 23

Diferencial de Serviabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico.

TIPO DE CAMIONES	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
Camiones de bajo volumen de transito	T_{P0}	75,000	150,000	1.80
	T_{P1}	150,001	300,000	1.80
	T_{P2}	300,001	500,000	1.80
	T_{P3}	500,001	750,000	1.80
	T_{P4}	750,001	1,000,000	1.80
Resto de camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	1.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	1.50
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	1.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	1.50

	T_{P9}	7,500,001	10'000,00 0	1.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,00 0	1.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,00 0	1.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,00 0	1.20
	T_{P13}	20'000.00 1	25'000,00 0	1.20
	T_{P14}	25'000,001	30'000,00 0	1.20
	T_{P15}	>30'000,000		1.20

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

Sección Suelos y Pavimentos.

- Cálculo del número estructural (SN)

De forma analítica

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Datos:

W18= 125,993.58

R= 65%

Zr= -0.385

So= 0.45

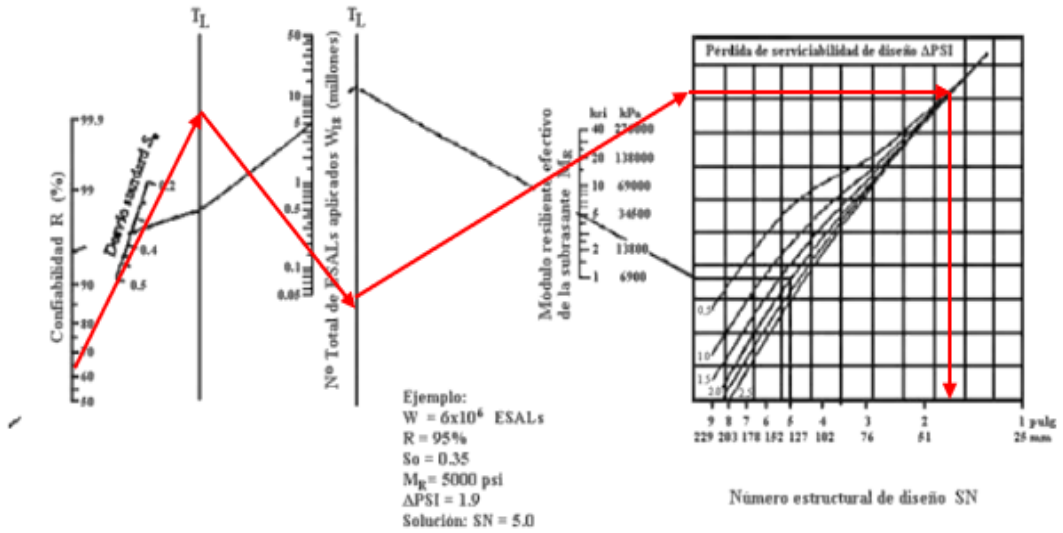
Mr(psi)= 8803.5301

$\Delta PSI = 1.80$

$$\begin{aligned} \log_{10}(W_{18}) &= Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 \\ &+ \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(MR) - 8.07 \\ SN &= 1.98 \end{aligned}$$

Figura 14

Diseño de estructuras de pavimento



Fuente: Guía AASHTO 1993 Para el Diseño de Estructuras de Pavimento

Figura 15

Catálogo de valores estructurales (SN) necesarios según el tipo de tráfico y el subsuelo, Capa asfáltica caliente + fundación granular + su fundación granular

FIPO DE SUB RASANTE CLASE DE TRANSITO	INADECUADA CBR < 3% (*)	INSUFICIENTE 3% ≤ CBR < 6% (*)	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	ESCELENTE
			6% ≤ CBR < 10%	10% ≤ CBR < 20%	20% ≤ CBR < 30%	CBR ≥ 30%
T_p0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.136	1.871	1.557	1.392
T_p1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.470	2.165	1.809	1.625
T_p2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.702	2.367	1.979	1.780
T_p3 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			2.956	2.593	2.173	1.959
T_p4 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.107	2.725	2.283	2.059
T_p5 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.434	3.012	2.521	2.274
T_p6 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.866	3.395	2.841	2.561
T_p7 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.206	3.707	3.105	2.797
T_p8 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.63	4.103	3.449	3.107
T_p9 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.837	4.300	3.624	3.267
T_p10 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.092	4.552	3.869	3.501
T_p11 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.226	4.679	3.985	3.609
T_p12 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.341	4.883	4.173	3.786
T_p13 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			5.097	5.323	4.580	4.172
T_p14 25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.052	5.460	4.708	4.293

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Paviimentos.

De acuerdo con lista de principios fundamentales (SN) exigidos según el tipo de tránsito y las condiciones de la subrasante, se establece que el SN es 2.136, dado que se cuenta con un tráfico Tp1 y una subrasante con un CBR de 6.91.

Para el dimensionamiento del pavimento, se adoptará el SN indicado en el catálogo de valores estructurales, ya que proporciona un margen de seguridad superior al ser el valor más elevado en comparación con los resultados obtenidos mediante el análisis analítico y el uso del nomograma.

Factores de Capacidad Estructural de las Capas del Pavimento

De acuerdo con lo estipulado en la normativa vigente —Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014—, los coeficientes estructurales de las capas empleados para calcular el valor estructural de diseño son los siguientes:

$a_1 = 0.170$ (Capa Superior sugerida para todos los niveles de tránsito)

$a_2 = 0.052$ (Capa de Fundamento indicada para tránsito $< 1,000,000$ Ejes Equivalentes)

$a_3 = 0.047$ (Capa de Sub-Fundamento propuesta)

Figura 16

Factores estructurales de las capas del pavimento

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2.965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Micropavimento 25mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	0.250 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a_1	0.150 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) Valor Global (no se considera el espesor)			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 5'000,000$ EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $> 5'000,000$ EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a_{2b}	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a_{2c}	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15'000,000$ EE
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.050 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $> 15'000,000$ EE

Fuente: Elaboración propia, de acuerdo a datos Guía AASHTO (1993)

• **Coeficiente de drenaje:**

Considerando las características específicas de la región, donde las lluvias son recurrentes, se prevé que la vulnerabilidad de la estructura a niveles de humedad cercanos a la saturación superará el 25%; basándose en lo mencionado anteriormente y tomando en cuenta que la

vía contará con un sistema de alcantarillado eficiente debido a que se trata de una obra nueva, los factores de drenaje asignados para este caso son $m_2=1.0$ y $m_3=1.0$

Figura 17

Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje

Tabla 5.45 Valores de m_i recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y subbase granulares				
Calidad del drenaje	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Aceptable	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

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

Cálculo de los espesores

Utilizando la fórmula que vincula el numero estructural con los grosos del firme, considerando las variables especificados y un horizonte de diseño de 20 años, se determinaron los siguientes resultados; con un $SN= 1.98$

Se procede a aplicar la ecuación correspondiente:

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

Figura 18

Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	TSB, ó Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, ó Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	T _{P2}	300,001	500,000	TSB, ó Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, ó Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T _{P3}	500,001	750,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T _{P4}	750,001	1,000,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 130mm	250 mm
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 140mm	250 mm
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm

Figura 19

Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente Período de diseño 20 años.

Nrep. de EE. (2)			Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
Nrep. EE. hasta 10 años (1era Etapa)			60,000	60,001-120,000	120,001-200,000	200,001-300,000	300,001-400,000	400,001-600,000	600,001-1'200,000	1'200,001-2'000,000
Nrep. EE. Total 20 años (2da Etapa)			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
1era Etapa	CBR _X	Mr 2553x _{CBR} ²⁻⁴⁴	5cm 22cm (K)	5cm 28cm (K)	6cm 30cm (K)	6cm 29cm (K)	6cm 23cm (K)	7cm 28cm (K)	8cm 38cm (K)	9cm 38cm (K)
	CBR < 6%	< 8,040psi (55.4MPa)								
2da Etapa	Refuerzo al año 10		6cm	6cm	6cm	6cm	6cm	6cm	6cm	6cm
1era Etapa	> 6%	> 8,040psi (55.4MPa)	5cm 22cm	5cm 28cm	6cm 30cm	6cm 29cm	6cm 23cm	7cm 28cm	8cm 38cm	9cm 38cm
	CBR < 10%	< 11,150psi (76.9MPa)								
2da Etapa	Refuerzo al año 10		6cm	6cm	6cm	6cm	6cm	6cm	6cm	6cm
1era Etapa	> 10%	> 11,150psi (76.9MPa)	5cm 18cm	5cm 23cm	6cm 23cm	6cm 27cm	6cm 29cm	7cm 17cm	8cm 25cm	9cm 25cm
	CBR < 20%	< 17,380psi (119.8MPa)								
2da Etapa	Refuerzo al año 10		4cm	5cm	6cm	6cm	6cm	6cm	6cm	5cm
1era Etapa	> 20%	> 17,380psi (119.8MPa)	5cm 15cm	5cm 16cm	6cm 16cm	6cm 20cm	6cm 21cm	7cm 22cm	8cm 25cm	9cm 26cm
	CBR < 30%	< 22,530psi (155.3MPa)								
2da Etapa	Refuerzo al año 10		Micropavimento a=2.5cm	5cm	5cm	5cm	6cm	6cm	6cm	6cm
1era Etapa	CBR > 30%	> 22,530psi (155.3MPa)	5cm 13cm	5cm 15cm	6cm 15cm	6cm 16cm	6cm 18cm	7cm 19cm	8cm 25cm	9cm 21cm
2da Etapa	Refuerzo al año 10		Mortero Asfáltico a=1.2cm	Micropavimento a=2.5cm	Micropavimento a=2.5cm	4cm	4cm	5cm	5cm	5cm

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


Carpeta Asfáltica en Caliente
(CAC)


Base Granular


Subbase granular

Nota:

1. El grosor y la clase de estabilización de suelos serán determinados en análisis específicos.
2. EE: Intervalo de tránsito en cantidad de repeticiones de ejes equivalentes por carril y tiempo de diseño.
3. Durante la fase de operación y mantenimiento vial, realizar, entre otros aspectos:
 - a. Inspecciones superficiales del pavimento; el registro de su condición se realiza, como mínimo, una vez al año, mientras que la evaluación de la rugosidad se lleva a cabo al menos una vez cada dos años.
 - b. Revisiones estructurales del pavimento; la medición de deflexiones se efectúa, como mínimo, cada cuatro años.
 - c. Aplicación de mantenimiento superficial; le debe realizar de manera periódica mediante tratamientos asfálticos, previa preparación de la superficie del pavimento existente.

Para los espesores de planteo 3 alternativas:

Alternativa 1: $h_1=5\text{cm}$, $h_2=15\text{cm}$, $h_3=15$

$$1.98 = 0.170*5+0.052*15*1+0.047*15*1$$

$$1.98 = 2.34$$

Alternativa 2: Carpeta Asfáltica en Caliente: $h_1=6\text{cm}$, $h_2=25\text{cm}$, $h_3=15$

$$1.98 = 0.170*6+0.052*20*1+0.047*15*1$$

$$1.98 = 2.765$$

Solución: 3 Carpeta Asfáltica en Caliente: $h_1=6\text{cm}$, $h_2=28\text{cm}$, $h_3=0$

$$1.98 = 0.170*6+0.052*28*1+0.047*0*1$$

$$1.98 = 2.476$$

Figura 20

Sección pavimento flexible



Optaremos por implementar la alternativa 2.

Según el análisis del tráfico pesado para nuestra zona de análisis, se sugiere un grosor de 6 cm para la capa asfáltica. No obstante, con el propósito de mejorar la durabilidad y facilitar el proceso constructivo, se ha decidido aumentar este espesor a 7,51 cm (3 pulgadas).

Dado que el valor del CBR en la zona evaluada se considera regular, se requiere la necesidad de incluir una subbase de 15 cm para garantizar una adecuada capacidad estructural.

4.2.2. Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93

A través de un proceso gradual, se ajustan los espesores de la losa hasta cumplir con el equilibrio establecido por la fórmula AASHTO 93.

Figura 21

Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido.

$$\log_{10} W_{10} = Z_R * S_0 + 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * \log_{10} \left[\frac{s_c * c_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 * J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

Fuente: Guía AASHTO 1993 Para el Diseño de Estructura de Pavimento

1.4.2.3.1 Módulo de Reacción del Terreno (Kc)

La obtención directa del valor de “k” mediante pruebas de placa es compleja y costosa, presentando la desventaja de que, por lo general, se evalúa el suelo en condiciones secas y sin considerar los efectos de la humedad.

No obstante, se aplicará el método propuesto por AASHTO, utilizando correlaciones directas para determinar el coeficiente de reacción Kc según la clasificación del suelo y el valor de CBR.

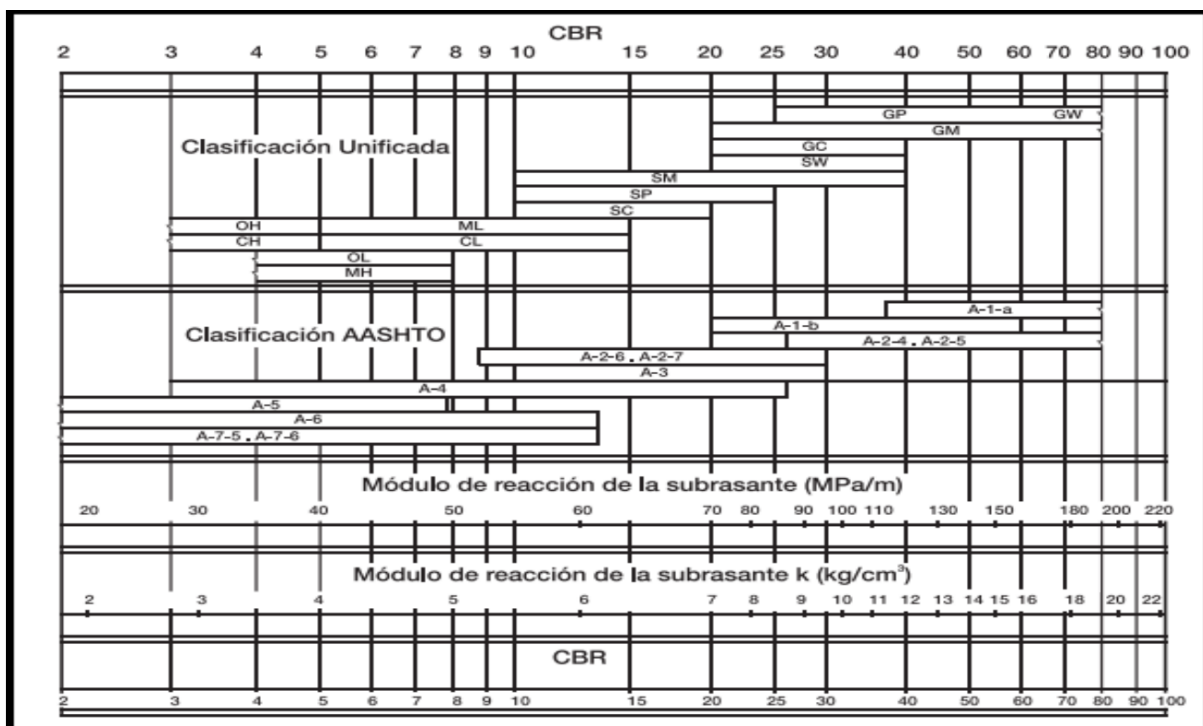
Por consiguiente, el Kc según la correlación es de:

$$K_c \left(\frac{MPa}{m} \right) = 46.10$$

$$K_c(PSI) = 169.83$$

Figura 22

Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Subrasante



1.4.2.3.1 Módulo Elástico del Concreto (Ec)

Según la normativa AASHTO 93, el módulo elástico puede ser

calculado mediante una correlación específica, siendo la recomendada por el ACI la referencia estándar para esta estimación.

Se considero un $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, con una elasticidad de 3,597,113.00 Lbs/pulg²

1.4.2.3.2. Capacidad de flexión del concreto (S'_c)

Dado que las superficies de concreto actúan principalmente bajo esfuerzos de flexión, este factor se incorpora en la ecuación de diseño de la AASHTO 93. La resistencia mínima a la compresión del concreto (f'_c) será determinada considerando el rango de tráfico pesado especificado en las normativas de EE, asegurando un diseño estructural adecuado y seguro.

Tabla 24

Valores sugeridos de resistencia del concreto

Rango de Tráfico Pesado (EE)	Resistencia Mínima a la Flexotracción (M_r)	Resistencia Mínima Equivalente a la Compresión (F'_c)
$\leq 5'000,000 \text{ EE}$	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
$> 5'000,000 \text{ EE}$ $\leq 15'000,000 \text{ EE}$	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
$> 15'000,000 \text{ EE}$	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²

. La resistencia a la flexión del concreto se asocia con su resistencia a la compresión mediante la siguiente expresión matemática:

$$M_r = a\sqrt{f'_c} \text{ kg/cm}^2$$

Los valores de “a” están en el rango de 1.99 y 3.18

Para este caso el valor a emplear de “a” será 3.18, obteniendo el siguiente valor:

$$Mr = 3.18\sqrt{280} \text{ kg/cm}^2$$

$$Mr = 53.20 \text{ kg/cm}^2$$

$$Mr = 757 \text{ Lbs/pulg}^2$$

1.4.2.3.3. Valor de transferencia de esfuerzos (*J*)

Es un criterio utilizado en la planificación de superficies de hormigón que representa la potencialidad de la construcción para distribuir cargas de manera efectiva a través de juntas y fisuras.

De acuerdo con el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

Sección Suelos y Pavimentos, el (*J*)

$$J = 3.8$$

1.4.2.3.4. Coeficiente de evacuación de agua (*Cd*)

Para este caso, se emplea un coeficiente de drenaje (*Cd*) con valores que van desde 0.71 hasta 1.26, variando según la efectividad del sistema de drenaje. Un *Cd* más elevado refleja una mayor eficiencia en la evacuación del agua.

En la investigación se empleará un *Cd* = 1.

1.4.2.3.5. Pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI)

se refiere a la aptitud del pavimento para soportar adecuadamente el tránsito vehicular que oscila por la vía, siendo representada en una escala que va de 0 a 5. El “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” proporciona una referencia más precisa al considerar el rango de tráfico, permitiendo estimar un valor específico para este parámetro.

pi = Índice de Servicio Inicial = 4.10

pt = Índice de Servicio Final = 2.00

$$\Delta PSI = 2.10$$

1.4.2.3.6. Fiabilidad (%R) y parámetro estadístico de dispersión normal (Zr)

De manera similar al diseño del firme flexible se ha asumido un nivel de confiabilidad del 70 %, lo que da como resultado $Z_r = -0.524$.

1.4.2.3.7. Desviación Estándar Total (So)

La Guía AASTHO sugiere utilizar valores de S_o entre 0.30 y 0.40 para el diseño de pavimentos rígidos. Durante la fase de diseño, se recomienda emplear un valor específico de:

$$S_o = 0.35$$

1.4.2.3.8. Número de Repeticiones de EE de 8.2 ton (W18)

Según el análisis de nuestra zona de análisis, se determinó que para el firme rígido es:

$$W_{18} = 169,745.09$$

1.4.2.3.9. Solución del Espesor de la Losa de Diseño, D(plgs)

$$\begin{aligned} \log_{10} W_{10} = & Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10} (D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} \\ & + (4.22 - 0.32P_t) \\ & \times \log_{10} \left[\frac{S_c \times C_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/K)^{0.25}} \right]} \right] \end{aligned}$$

Datos:

$$K = 515.76$$

$$E_c = 3597114$$

$$S_c = 756$$

$$J = 3.81$$

$$C_d = 1.00$$

$$S_o = 0.36$$

$$R = 71\%$$

$$Z_r = -0.525$$

$$P_t = 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.1$$

$$W_{80} = 169,745.08$$

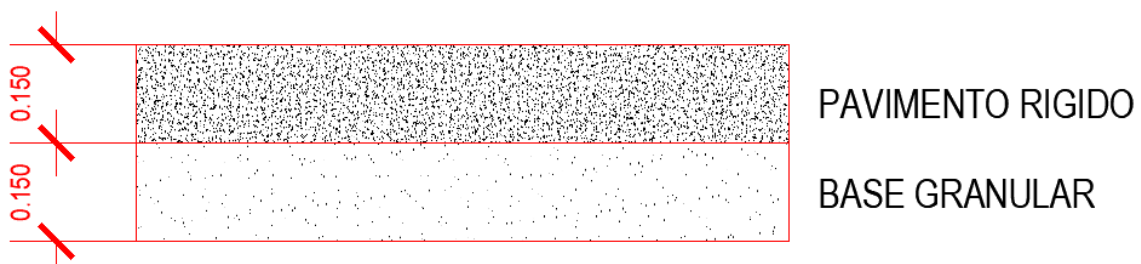
Luego de efectuar la ecuación se obtiene el valor de D:

$$D = 4.11 \text{ plg}$$

En el diseño del pavimento se adoptará un valor analítico de $D=4.11$ pulgadas por su mayor precisión. El espesor de la losa de concreto se establecerá en 6 pulgadas, mientras que la base (afirmado) tendrá un mínimo de 6 pulgadas, de acuerdo con las recomendaciones de la AASHTO.

Figura 23

Sección del pavimento Rígido



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Diseño de Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto

Para la estructuración de pavimentos con adoquines de concreto, se recomienda utilizar el método del Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI), el cual ofrece un enfoque práctico y simplificado. Este procedimiento también establece los espesores mínimos requeridos tanto para los adoquines como para la capa de arena base.

Tabla 25

Valores sugeridos de Espesores Mínimos para adoquines

Ejes equivalentes acumulados	Capa superficial	Cama de arena
150,001 - 7,500,000	Adoquín de concreto: 80 mm	40 mm

Fuente: Elaboración propia

El espesor mínimo recomendado para una base granular es de 100 mm, mientras que para bases tratadas con asfalto es de 90 mm y para bases tratadas con cemento, 100 mm. Asimismo, el manual del MTC, en su repertorio de estructuras de firme con bloques y base granular para una vida útil de 20 años estipula que el espesor del adoquinado debe ser de 6 cm, la capa de arena de 4 cm y la base granular de 28 cm tomando en cuenta un tráfico Tp1 y un CBR de 6.92%.

Figura 24

Catálogo de estructuras de pavimento con adoquines sobre base granular para un período de diseño de 20 años

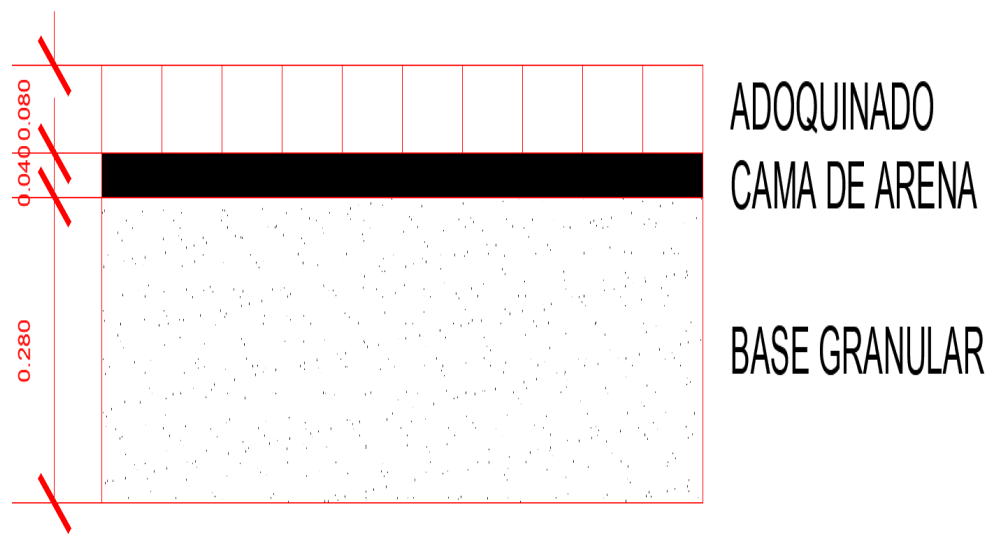
EE	Tp0 75,001-150,000	Tp1 150,001-300,000	Tp2 300,001-500,000	Tp3 500,001-750,000	Tp4 750,001-1'000,000	Tp5 1'000,001-1'500,000	Tp6 1'500,001-3'000,000	Tp7 3'000,001-5'000,000
CBR < 6%								
> 6% CBR < 10%								
> 10% CBR < 20%								
> 20% CBR < 30%								
CBR > 30%								

Fuente: Elaboración propia

En este trabajo, se utilizarán adoquines de 8 cm de espesor, ya que este es el valor mínimo recomendado por el manual. Además, se establecerá una cama de arena de 4 cm y una base granular de 28 cm, conforme a lo especificado en el catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular para un periodo de diseño de 20 años.

Figura 25

Sección Pavimento Semirrígido



Fuente: Elaboración propia

4.3. PRESUPUESTO

4.3.1. PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIÓN

Tabla 26

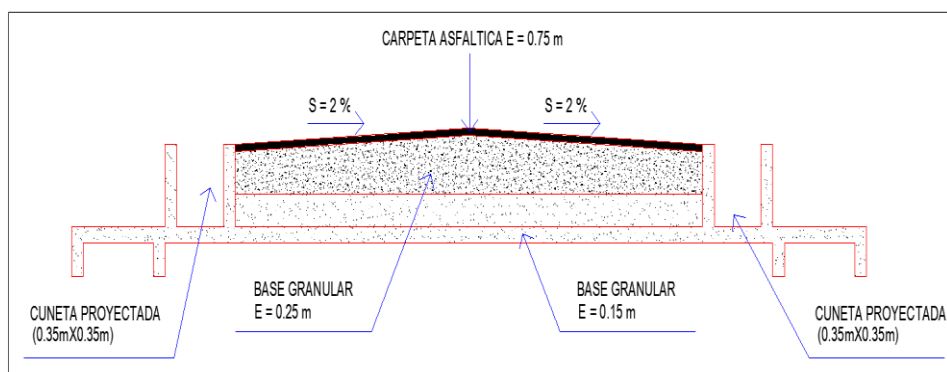
Características de la vía con Pavimento Flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE		
Vía	Longitud (m)	Ancho de vía (m)
Jr. Libertad	109.50	7.20
Jr. Iquitos	89.35	7.20
TOTAL	198.85	7.20

Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Sección transversal pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

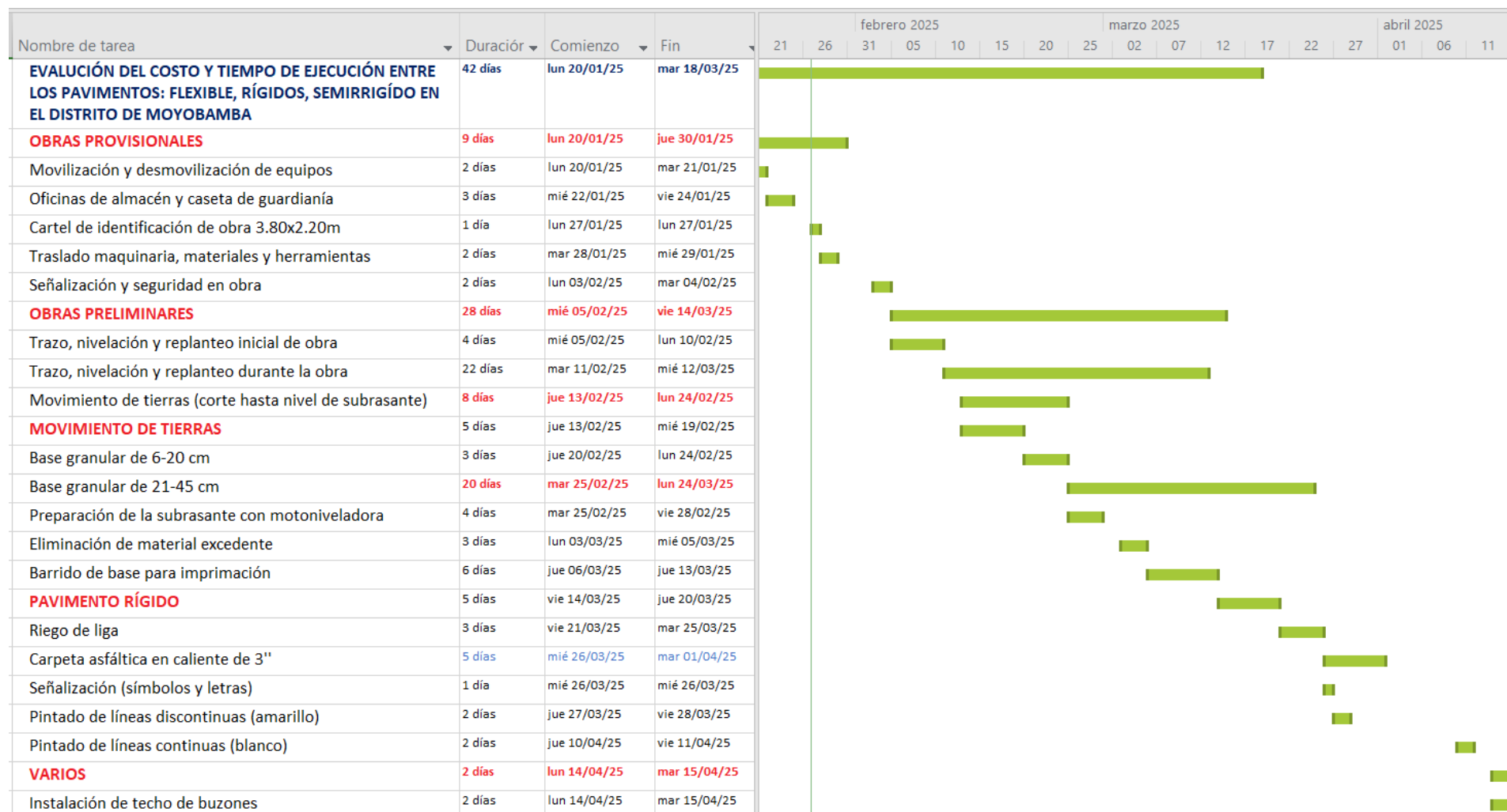
4.3.1.1. Presupuesto Pavimento Flexible

Presupuesto	0201002	EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: FLEXIBLE, RÍGIDOS, SEMIRRÍGIDO EN EL DISTRITO DE MOYOBAMBA		
Supervizado	001	PAVIMENTO FLEXIBLE		
Cliente	JIMENEZ GRANDA, ALEX; DIAZ PISCO, ALISTER	Costo al		20/12/2024
Lugar	SAN MARTIN - MOYOBAMBA - MOYOBAMBA			

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio Unitario (\$/.)	Parcial (\$/.)
01	OBRAS PROVISIONALES				22,735.99
01.01	Movilización y desmovilización de equipos	glb	1.00	7,982.48	7,982.48
01.02	Oficinas de almacén y caseta de guardiana	glb	1.00	7,892.44	7,892.44
01.03	Cartel de identificación de obra 3.80x2.20m	unid	1.00	1,731.07	1,731.07
01.04	Traslado maquinaria, materiales y herramientas	glb	1.00	2,280.00	2,280.00
01.05	Señalización y seguridad en obra	glb	1.00	2,850.00	2,850.00
02	OBRAS PRELIMINARES				22,181.88
02.01	Trazo, nivelación y replanteo inicial de obra	m ²	1,431.72	5.00	7,158.60
02.02	Trazo, nivelación y replanteo durante la obra	m ²	1,431.72	4.00	5,726.88
02.03	Movimiento de tierras (corte hasta nivel de subrasante)	m ³	619.76	15.00	9,296.40
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				124,069.36
03.01	Base granular de 6-20 cm	m ³	1,431.72	25.00	35,793.00
03.02	Base granular de 21-45 cm	m ³	1,431.72	40.00	57,268.80
03.03	Preparación de la subrasante con motoniveladora	m ²	1,431.72	10.00	14,317.20
03.04	Eliminación de material excedente	m ³	619.76	20.00	12,395.20
03.05	Barrido de base para imprimación	m ²	1,431.72	3.00	4,295.16
04	PAVIMENTO RÍGIDO				228,211.80
04.01	Riego de liga	m ²	1,431.72	2.50	3,579.30
04.02	Carpeta asfáltica en caliente de 3"	m ³	1,431.72	150.00	214,758.00
04.03	Señalización (símbolos y letras)	m ²	687.00	7.00	4,809.00
04.04	Pintado de líneas discontinuas (amarillo)	m ²	687.00	6.50	4,465.50
04.05	Pintado de líneas continuas (blanco)	m ²	30.00	20.00	600.00
05	VARIOS				685.48
05.01	Instalación de techo de buzones	unid	2.00	342.74	685.48
	COSTO DIRECTO				273,815.15
	GASTOS GENERALES (10% CD)				27,381.52
	UTILIDADES (10% CD)				27,381.52
	=====				=====
	Subtotal				328,578.18
	IGV (18%)				59,144.07
	=====				=====
	Presupuesto Total				387,722.25
	SON: TRESCIENTOS OCHENTA Y SIETE MIL SETECIENTOS VEINTIDOS Y 25/100 NUEVOS SOLES				

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2. Cronograma de ejecución pavimento flexión



Fuente: Elaboración propia

4.3.2. PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 27

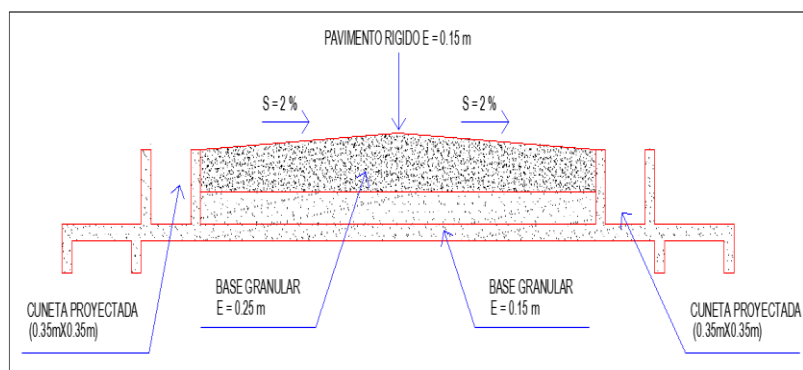
Características de la vía con Pavimento Rígido

PAVIMENTO RIGIDO		
Vía	Longitud (m)	Ancho de vía (m)
Jr. Libertad	109.50	7.20
Jr. Iquitos	89.35	7.20
TOTAL	198.85	7.20

Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Sección transversal pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

4.3.2.1. Presupuesto pavimento rígido

Presupuesto 0201002 EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: FLEXIBLE, RÍGIDOS, SEMIRRÍGIDO EN EL DISTRITO DE MOYOBAMBA

Supervisado 002 PAVIMENTO RÍGIDO

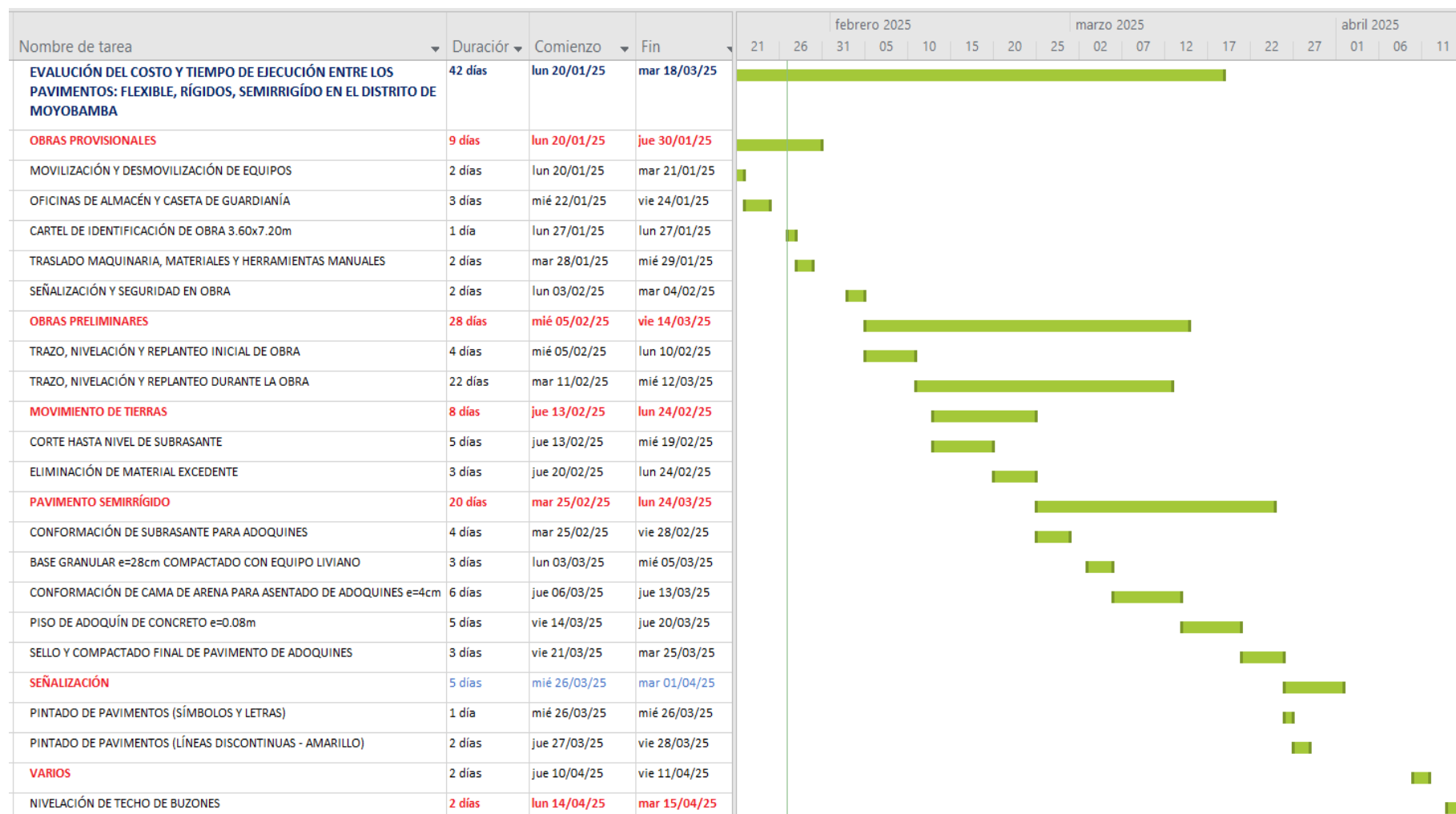
Cliente JIMENEZ GRANDA, ALEX; DIAZ PISCO, ALISTER Costo al 20/12/2024

Lugar SAN MARTIN - MOYOBAMBA - MOYOBAMBA

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio Unitario	Parcial (S/.)
01	OBRAS PROVISIONALES				48,000.00
01.01	Movilización y Desmovilización de Equipos	glb	1	8,000.00	8,000.00
01.02	Oficinas de Almacén y Caseta de Guardianía	glb	1	800	800
01.03	Cartel de Identificación de Obra 3.60x7.20m	und	1	2,000.00	2,000.00
01.04	Traslado de Maquinaria, Materiales y Herramientas Manuales	glb	2	18,000.00	36,000.00
01.05	Señalización y Seguridad en Obra	glb	1	1,200.00	1,200.00
02	OBRAS PRELIMINARES				2,800.00
02.01	Trazo, Nivelación y Replanteo Inicial de Obra	m2	1,500.00	1.5	2,250.00
02.02	Trazo, Nivelación y Replanteo Durante la Obra	m2	1,500.00	0.37	550
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				9,500.00
03.01	Corte hasta Nivel de Subrasante	m3	550	7.5	4,125.00
03.02	Eliminación de Material Excedente	m3	550	9	4,950.00
04	PAVIMENTO RÍGIDO				160,000.00
04.01	Conformación de Subrasante con Equipo	m2	1,500.00	5	7,500.00
04.02	Base de Afirmado en Pista e=0.15m	m2	1,500.00	15	22,500.00
04.03	Losa de Concreto Pre-Mezclado e=15cm, f'c=280 kg/cm2	m2	1,500.00	80	120,000.00
04.04	Curado del Concreto	m2	1,500.00	3	4,500.00
04.05	Sellado de Juntas en Pavimento Rígido	m	700	9	6,300.00
04.06	Señalización				1,200.00
04.06.01	Pintado de Pavimentos (Símbolos y Letras)	m2	4	16	64
04.06.02	Pintado de Pavimentos (Líneas Discontinuas - Amarillo)	m	65	2.5	162.5
04.06.03	Pintado de Pavimentos (Líneas Continuas - Blanco)	m	400	2.5	1,000.00
05	VARIOS				700
05.01	Nivelación de Techo de Buzones	und	2	350	700
	COSTO DIRECTO				221,000.00
	GASTOS GENERALES (10% CD)				22,100.00
	UTILIDADES (10% CD)				22,100.00
	SUBTOTAL				265,200.00
	IGV (18%)				47,736.00
	PRESUPUESTO TOTAL				312,936.00
	SON: TRESCIENTOS DOCE MIL NOVECIENTOS TREINTA Y SEIS Y 00/100 NUEVOS SOLES				

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2. Cronograma de ejecución pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Presupuesto de pavimento Semirrígido

Tabla 28

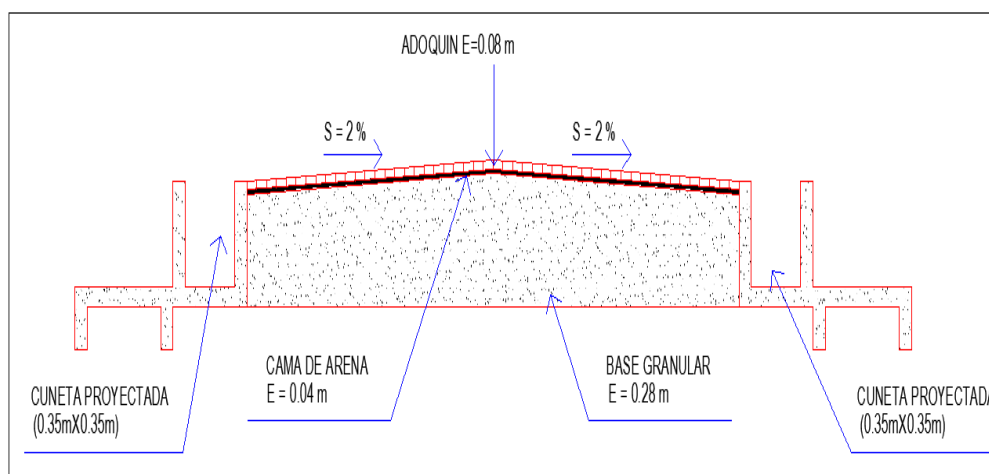
Características de la vía con Pavimento Semirrígido

PAVIMENTO RIGIDO		
Vía	Longitud (m)	Ancho de vía (m)
Jr. Libertad	109.50	7.20
Jr. Iquitos	89.35	7.20
TOTAL	198.85	7.20

Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Sección transversal pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

4.3.3.1. Presupuesto pavimento rígido

Presupuesto 0201002 EVALUCIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: FLEXIBLE, RÍGIDOS, SEMIRRÍGIDO EN EL DISTRITO DE MOYOBAMBA

Supervisado 003 PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO

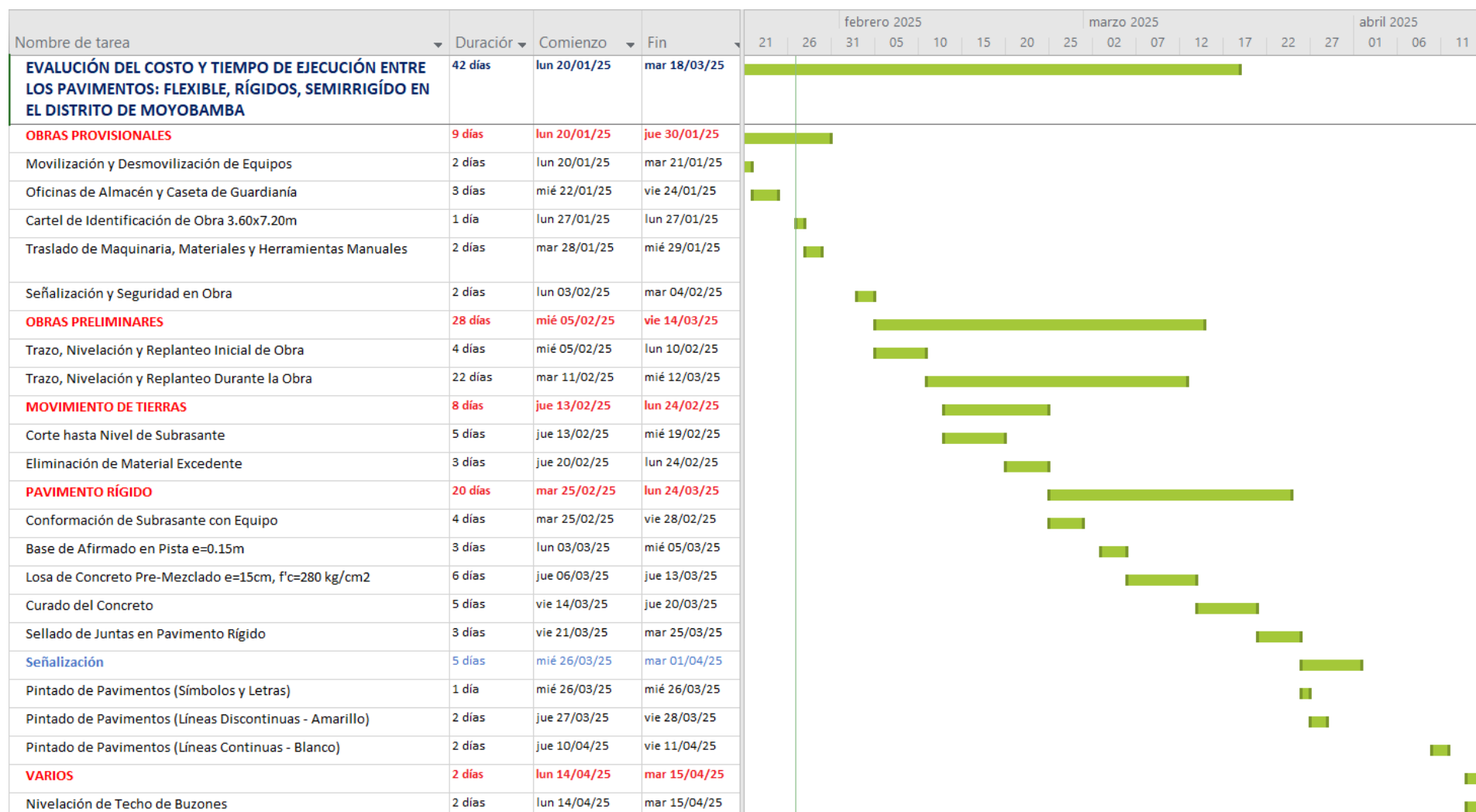
Cliente JIMENEZ GRANDA, ALEX; DIAZ PISCO, ALISTER Costo al 20/12/2024

Lugar SAN MARTIN - MOYOBAMBA - MOYOBAMBA

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				43,174.20
01.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	glb	1	7,892.48	7,892.48
01.02	OFICINAS DE ALMACÉN Y CASETA DE GUARDIANÍA	glb	1	700	700
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACIÓN DE OBRA 3.60x7.20m	und	1	1,731.72	1,731.72
01.04	TRASLADO MAQUINARIA, MATERIALES Y HERRAMIENTAS MANUALES	glb	2	15,000.00	30,000.00
01.05	SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD EN OBRA	glb	1	2,850.00	2,850.00
02	OBRAS PRELIMINARES				2,491.19
02.01	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO INICIAL DE OBRA	m2	1,431.72	1	1,431.72
02.02	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO DURANTE LA OBRA	m2	1,431.72	0.74	1,059.47
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				6,361.78
03.01	CORTE HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	408.33	7.04	2,874.64
03.02	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	408.33	8.54	3,487.14
04	PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO				132,176.39
04.01	CONFORMACIÓN DE SUBRASANTE PARA ADOQUINES	m2	1,431.72	4.83	6,915.21
04.02	BASE GRANULAR e=28cm COMPACTADO CON EQUIPO LIVIANO	m2	1,431.72	21.75	31,139.91
	CONFORMACIÓN DE CAMA DE ARENA PARA ASENTADO DE				
04.03	ADOQUINES e=4cm	m2	1,431.72	8.26	11,811.69
04.04	PISO DE ADOQUÍN DE CONCRETO e=0.08m	m2	1,431.72	53.86	77,112.44
04.05	SELLO Y COMPACTADO FINAL DE PAVIMENTO DE ADOQUINES	m2	1,431.72	3.63	5,197.14
05	SEÑALIZACIÓN				994.04
05.01	PINTADO DE PAVIMENTOS (SÍMBOLOS Y LETRAS)	m2	4	15.62	63.4
05.02	PINTADO DE PAVIMENTOS (LÍNEAS DISCONTINUAS - AMARILLO)	m	397.7	2.34	930.62
06	VARIOS				685.48
06.01	NIVELACIÓN DE TECHO DE BUZONES	und	2	342.74	685.48
	COSTO DIRECTO				185,883.08
	GASTOS GENERALES (10% CD)				18,588.31
	UTILIDADES (10% CD)				18,588.31
	=====				=====
	SUB TOTAL				223,059.70
	IMPUESTOS 18% IGV				40,150.75
	=====				=====
	PRESUPUESTO TOTAL				263,210.45
	SON: DOSCIENTOS SESENTA Y TRES MIL DOSCIENTOS DIEZ Y 45/100 NUEVOS SOLES				

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.2. Cronograma de ejecución pavimento semirrígido



Fuente: Elaboración propia

4.4. RESULTADOS

El registro vehicular se realizó durante 7 días consecutivos, desde el lunes 02 hasta el domingo 08 de marzo del presente año. Asimismo, se consideró un horizonte de diseño de 20 años para efectuar un análisis comparativo de los pavimentos, obteniendo como resultado un EAL anual de:

Tabla 29

Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn

Jr. Libertad y Jr. Iquitos	Pavimento flexible	Pavimento rígido	Pavimento semirrígido
Nrep de EE 8:4 tn	387,722.25	312,936.00	263,210.45

Fuente: Elaboración propia

Para el estudio de mecánica de suelos orientado a pavimentación, se excavaron dos calicatas con una profundidad de 1.50 m, determinándose que el material predominante es de tipo CL. Asimismo, se dispone de:

Tabla 30

Resumen Características del Subrasante

N° Calicatas	Densidad seca máxima (gr/cm ³)	Humedad optima (%)	CBR (%)
C-1	1.83	14.47	6.91
C-2	1.84	13.92	6.91

Fuente: Elaboración propia

Esto da como resultado un CBR de diseño del 6.92%.

El firme se proyectó mediante el Método AASHTO-93, a través del cual se definieron los parámetros esenciales para los tipos de firmes flexibles, rígidos y semirrígidos, que son los siguientes:

Tabla 31*Comparación de los tipos de pavimentos*

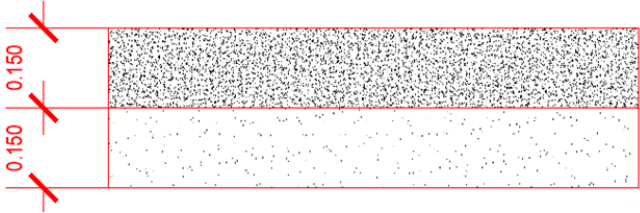
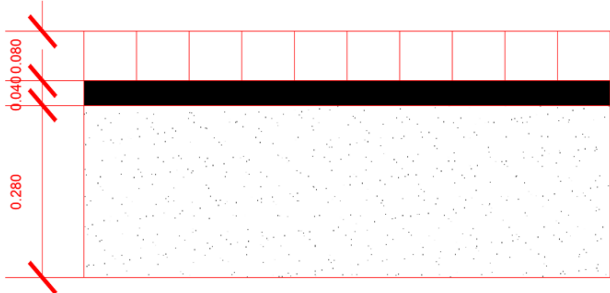
Parámetros	Pavimento flexible	Pavimento rígido	Pavimento semirrígido
EAL	387,722.25	312,936.00	263,210.45
Periodo de diseño	20 años	20 años	20 años
CBR	6.91 %	6.91 %	6.91 %
Serviciabilidad inicial	3.78	4.15	3.80
Serviciabilidad final	2.00	2.00	2.00
Factor de confiabilidad	70 %	70%	70%
Desviación estándar	0.43	0.32	0.43
Numero estructural	2.45	-	2.45
Módulo de reacción del terreno	-	169.83 psi	-
Módulo de rotura del concreto	-	757 psi	-
Módulo de elasticidad del concreto	-	3,597,113 psi	-
Coeficiente de drenaje	1.00	1.00	1.00
Transferencia de carga	-	3.8	-

Fuente: Elaboración propia

Espesores de los pavimentos

Tabla 32*Secciones transversales de los pavimentos*

Tipo	Espesores
Pavimento flexible	 Diagrama de la sección transversal de un pavimento flexible. Muestra tres capas: una capa superior oscura (asfalto), una capa intermedia blanca con agregados (base granular) y una capa inferior blanca con agregados (subbase granular). A la izquierda, se indican los espesores en pulgadas: 0.075 para la carpeta asfáltica, 0.25 para la base granular y 0.15 para la subbase granular. CARPETA ASFALTICA BASE GRANULAR SUB BASE GRANULAR

Pavimento rígido	 PAVIMENTO RIGIDO BASE GRANULAR
Pavimento semirrígido	 ADOQUINADO CAMA DE ARENA BASE GRANULAR

Fuente: Elaboración Propia

RESUMEN TÉCNICO ECONÓMICO

Tabla 33

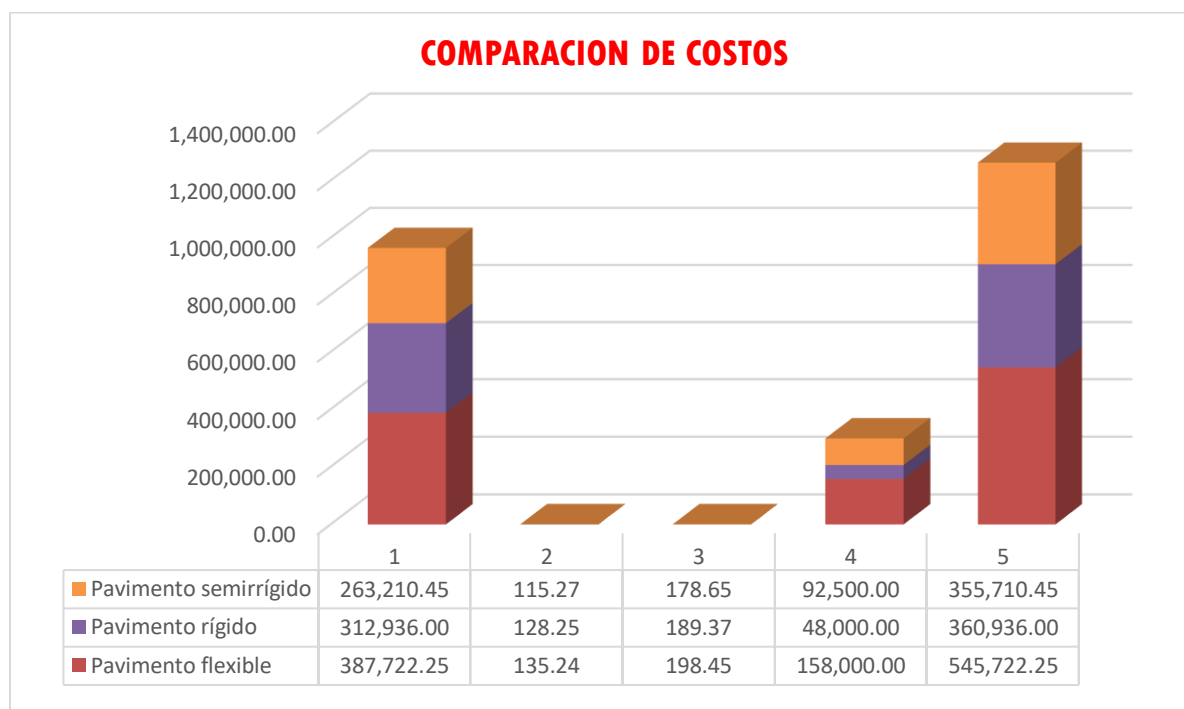
Cuadro comparativo técnico económico

Indicador	Unidad	Pavimento flexible	Pavimento rígido	Pavimento semirrígido
Presupuesto total	S/.	387,722.25	312,936.00	263,210.45
Costo por m ²	S/.	135.24	128.25	115.27
Costo por m ² (GG + Util. + IGV)	S/.	198.45	189.37	178.65
Costo de mantenimiento proyectado (10 años)	S/.	158,000.00	48,000.00	92,500.00
Costo total acumulado (obra + mantenimiento)	S/.	545,722.25	360,936.00	355,710.45
Plazo de ejecución	Días	42	42	42

Fuente: Elaboración Propia

Figura 29

Gráfico comparativo de costos



Fuente: Elaboración Propia

El gráfico muestra una comparación acumulada de cinco indicadores económicos claves correspondientes a tres tipos de pavimento: flexible, rígido y semirrígido. Estos indicadores son: presupuesto total, costo por metro cuadrado, costo por metro cuadrado con gastos generales y utilidades, costo de mantenimiento proyectado a 10 años y el costo total acumulado (suma de obra y mantenimiento).

Se observa que:

- El pavimento flexible presenta el costo más elevado en todos los indicadores acumulados, alcanzando un valor total de S/ 545,722.25. Aunque su construcción inicial es rápida y común en obras de presupuesto limitado, el costo de mantenimiento a largo plazo (S/ 158,000.00) incrementa significativamente su inversión total.
- El pavimento rígido, con un presupuesto de S/ 312,936.00 y un mantenimiento estimado de S/ 48,000.00, ofrece un costo total acumulado de S/ 360,936.00. Este tipo de pavimento combina durabilidad estructural con un mantenimiento reducido, lo que lo hace eficiente a largo plazo, especialmente en zonas de alta

carga vehicular y climas lluviosos, como Moyobamba.

- Por su parte, el pavimento semirrígido resulta ser el más económico de los tres, con un presupuesto base de S/ 263,210.45 y un costo de mantenimiento de S/ 92,500.00. Su costo total acumulado es de S/ 355,710.45, ligeramente inferior al del pavimento rígido. Esto lo convierte en una opción técnicamente viable y financieramente competitiva, siempre que se garantice un adecuado control técnico en su construcción.

Por último, el gráfico refleja con claridad que el análisis del costo total acumulado (obra + mantenimiento) es crucial para una toma de decisiones efectiva. Aunque el pavimento flexible puede parecer una alternativa viable por su bajo costo inicial, termina siendo el más costoso a largo plazo. En cambio, los pavimentos rígido y semirrígido representan mejores opciones para infraestructuras duraderas y sostenibles en términos económicos y técnicos.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis comparativo realizado en esta investigación reveló diferencias sustanciales en términos de costos, tiempos de ejecución y necesidades de mantenimiento entre los pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos en el contexto del distrito de Moyobamba; estas diferencias son determinantes al momento de decidir la tipología de pavimento más adecuada según las condiciones técnicas, económicas y climáticas locales.

5.1.1. Pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos destacan por su elevada durabilidad y resistencia estructural; si bien su construcción implica un mayor costo inicial y un tiempo de ejecución más prolongado; estos factores se ven compensados por su desempeño a largo plazo. En el presente estudio se observó que este tipo de pavimento mantiene su integridad ante la exposición a lluvias intensas y tránsito pesado; lo cual es ideal para la realidad climática de Moyobamba.

En relación con otros estudios recientes; Álvarez y Medina (2022) demostraron que en regiones de la selva central del Perú, el pavimento rígido mantuvo su capacidad portante tras 10 años de uso continuo; reduciendo los costos de mantenimiento en más del 60 % en comparación con el pavimento flexible. De forma similar; el estudio de Hernández et al. (2023) en zonas con alta pluviosidad en Colombia indicó que la vida útil de un pavimento rígido puede superar los 25 años sin reparaciones estructurales mayores; siendo rentable en vías de acceso principales.

Por su parte; Rivera y Oré (2021) aplicaron un modelo de análisis de ciclo de vida en proyectos viales urbanos en la región de San Martín; concluyendo que el pavimento rígido, aunque más caro inicialmente, reduce el costo total del proyecto en un 22 % en un horizonte de 30 años; por su bajo requerimiento de rehabilitación. Estas evidencias confirman que, en contextos como Moyobamba, donde las lluvias y el tránsito constante son determinantes; los pavimentos rígidos ofrecen ventajas técnicas, económicas y funcionales superiores.

Adicionalmente; el comportamiento térmico del concreto también ha sido destacado por García y Colina (2022); quienes encontraron que su estabilidad ante cambios de

temperatura evita deformaciones prematuras; lo cual es clave en zonas donde los picos térmicos pueden dañar otras soluciones viales.

En conjunto; los resultados de esta investigación y los estudios comparados respaldan la recomendación de implementar pavimentos rígidos en las vías principales de Moyobamba; especialmente aquellas sometidas a alto tráfico y condiciones ambientales exigentes.

5.1.2. Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles se caracterizan por su bajo costo inicial y rápida ejecución; factores que resultan atractivos para proyectos de infraestructura con recursos limitados. Sin embargo; nuestros hallazgos evidencian que este tipo de pavimento tiende a deteriorarse más rápidamente en ambientes húmedos, como el de Moyobamba; debido a la acción del agua y la carga vehicular acumulada. Esta situación genera un incremento considerable en los costos de mantenimiento a mediano y largo plazo.

Diversos estudios confirman esta problemática; Rodríguez y Cárdenas (2020), en una investigación realizada en la región de Ucayali, encontraron que el pavimento flexible presentaba fisuras longitudinales y desprendimiento de agregados a partir del tercer año de servicio; especialmente en zonas con escaso drenaje superficial. De igual manera; el análisis de ciclo de vida realizado por Toribio et al. (2021) en vías interurbanas de la Amazonía peruana reveló que, aunque el pavimento flexible es más barato al inicio; sus costos acumulados superan a los del pavimento semirrígido a partir del sexto año debido a reparaciones frecuentes.

Una tercera investigación; llevada a cabo por Chávez y Huamán (2023); mostró que los pavimentos flexibles en climas tropicales sufren mayor deformación plástica; reflejada en el ahuellamiento del carril de rodadura. Este fenómeno reduce el confort de conducción y aumenta el riesgo de accidentes viales; especialmente en épocas de lluvia; lo que refuerza la idea de que este tipo de pavimento no es la mejor opción para vías principales en Moyobamba.

En conjunto; la evidencia empírica indica que, si bien el pavimento flexible puede aplicarse en vías de bajo tránsito o zonas urbanas secundarias; su implementación en zonas húmedas debe acompañarse de un plan robusto de mantenimiento y drenaje; de lo contrario; se compromete su desempeño estructural y funcional a corto

plazo.

5.1.3. Pavimentos semirrígidos

Los pavimentos semirrígidos ofrecen una solución intermedia al combinar elementos de los pavimentos flexibles y rígidos; tanto en su estructura como en su desempeño. El presente estudio evidenció que su comportamiento depende fundamentalmente de una correcta ejecución; especialmente en lo relacionado con la compactación y la calidad de los materiales utilizados. Su costo inicial es moderado; y su durabilidad puede ser adecuada si las condiciones técnicas son controladas; lo cual es una ventaja para proyectos de urbanización o vías colectoras.

En este sentido; López y Méndez (2021) evaluaron pavimentos semirrígidos en la región de Huánuco y concluyeron que, bajo condiciones adecuadas de diseño, alcanzan una vida útil de hasta 15 años sin necesidad de intervención mayor. Sin embargo; también advirtieron que su comportamiento se degrada drásticamente cuando hay presencia de humedad elevada en la subrasante. Por otro lado; el estudio de Fernández y Ramírez (2022) identificó que los pavimentos semirrígidos implementados en zonas de altitud media y suelos franco-arenosos ofrecieron una buena respuesta a cargas dinámicas; siempre que se empleara estabilización química con cemento tipo V.

Asimismo; la investigación de Salazar y Gavidia (2023); en contextos similares al de Moyobamba; mostró que los pavimentos semirrígidos estabilizados con aditivos puzolánicos locales incrementaron en un 35 % su resistencia estructural y redujeron su deformación vertical frente a ciclos de carga y descarga; posicionándolos como una opción técnica viable en zonas con disponibilidad de materiales adecuados y supervisión técnica constante.

No obstante; se debe considerar que esta tipología aún presenta restricciones en cuanto a su estandarización normativa y control de calidad. El Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2020) recomienda su uso únicamente en vías colectoras o terciarias; donde se puedan garantizar condiciones de construcción óptimas.

Por tanto; en el caso de Moyobamba; los pavimentos semirrígidos pueden representar una alternativa funcional para vías secundarias con tránsito moderado; siempre que se ejecuten con supervisión técnica especializada y se contemple una adecuada planificación del diseño estructural.

5.2. CONCLUSIONES

Eficiencia de los pavimentos rígidos: En términos de costo-beneficio a largo plazo el pavimento rígido fue más resistente y menos costoso en su mantenimiento. Tuvo una mejor capacidad de resistencia tanto para soportar carga pesada como para aguantar condiciones climáticas adversas (fuertes lluvias). Por lo tanto, este pavimento es óptimo para carreteras con carga pesada y tráfico constante en Moyobamba.

Limitaciones de los pavimentos flexibles: Este pavimento es más rápido y económico de instalar, pero el costo en su mantenimiento es elevado en el tiempo. Este pavimento es óptimo para calles secundarias o pequeños proyectos con limitaciones en recursos, es decir este pavimento tiene muchas limitaciones para infraestructuras viales mayores de un ciclo de vida prolongada.

Desempeño de los pavimentos semirrígidos: Este pavimento represento una opción intermedia entre el pavimento flexible y rígido. Pero su viabilidad depende mucho de su compactación en su base y el tipo de materiales a ser usado. Todo esto incrementa sus costos debido a las características geográficas donde se instalará y a las condiciones climáticas que enfrentará.

Influencia del clima y el tráfico: Las condiciones ambientales extremas junto al tráfico de carga constante que presenta Moyobamba hace que los pavimentos flexibles y semirrígidos se deterioren fácilmente. Esto conlleva a escoger a los pavimentos rígidos como la opción más viable y sostenible en el tiempo para esta región. Debido a sus alta resistencia y menor costo en su mantenimiento a largo plazo.

Importancia del análisis de costos a largo plazo: Consideramos indispensable realizar un análisis en el tiempo sobre el ciclo de vida de los pavimentos a ser usados en Moyobamba. Esto ayudaría optimizar costos y garantizar una infraestructura vial sostenible para es ciudad.

5.3. RECOMENDACIONES

- El uso del pavimento rígido para la construcción de carreteras y vías con tráfico pesado y constante específicamente si es zonas con condiciones climáticas extremas.
- El uso de pavimento flexible para vías secundarias o proyectos con presupuestos restringidos. Para este pavimento recomendamos el uso de asfaltos modificados o capas de refuerzo
- Para el uso de pavimento semirrígidos recomendamos una adecuada compactación del suelo y materiales de alta calidad. También, recomendamos el uso de este pavimento para zonas con menor exposición a condiciones climáticas extremas.
- Considerar las condiciones climáticas locales para la selección del mejor pavimento, en este caso el rígido que es más resistente al deterioro para zonas como Moyobamba donde llueve mucho.
- Incluir el análisis sobre el costo del ciclo de vida del pavimento en todos los proyectos infraestructura vial en donde se considere el costo inicial, mantenimiento y rehabilitación a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Villanueva, C. A., & Rodríguez Cárdenas, J. E. (2023). Evaluación del diseño y durabilidad de pavimentos rígidos en zonas de tráfico pesado en Lima (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Repositorio Institucional.
- Ariza Gómez, J. D. (2021). Evaluación económica y ambiental de mezclas asfálticas con materiales reciclados (Tesis de Maestría). Universidad de Los Andes, Bogotá. Repositorio Institucional.
- Bravo Arce, G. R., & Salazar Quispe, L. H. (2023). Comparación de costos entre pavimentos flexibles y rígidos utilizando criterios de ciclo de vida en Trujillo (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Repositorio Institucional.
- Cabrera López, M. L. (2022). Estudio de la influencia de las condiciones climáticas en el desempeño de pavimentos flexibles (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España. Repositorio Institucional.
- Castro Vega, J. P. (2023). Análisis comparativo de metodologías AASHTO 93 y PCA en pavimentos rígidos y flexibles (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Repositorio Institucional.
- Celis Odar, P. E., & Soto Castro, J. P. (2023). Análisis comparativo de costo y tiempo en pavimentos con losas optimizadas tradicionales y flexibles Simbal 2023 (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Repositorio Institucional.
- Chávez Gómez, R. M., & Huamán Pérez, M. L. (2022). Impacto del diseño estructural en la vida útil de pavimentos semirrígidos en Arequipa (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Repositorio Institucional.
- Chicoma Yajahuanca, L. M., & Sanchez Sipion, A. A. (2024). Evaluación del desempeño de pavimentos flexibles y rígidos: una revisión literaria (Tesis de Pregrado). Universidad Seños de Sipan, Perú. Repositorio Institucional.
- Del Castillo Villanueva, M. C., & Jiménez Vargas, J. E. (2021). Análisis del comportamiento de pavimentos asfálticos bajo tráfico pesado en climas

tropicales (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Repositorio Institucional.

- Gómez Tello, M. J., & Córdova Rojas, E. R. (2020). Evaluación de los costos de mantenimiento en pavimentos rígidos y flexibles en carreteras rurales (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura. Repositorio Institucional.
- Hernández Morales, S. J. (2019). Comparación de costos de construcción y mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles (Tesis de Pregrado). Universidad Autónoma de México, Ciudad de México. Repositorio Institucional.
- HERNÁNDEZ S., Roberto, FERNÁNDEZ C., Carlos y BATISTA L., Maria. "Metodología de la Investigación" Quinta Edición. McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. México 2010.
- Hoyos Fernández, L. F. (2023). Optimización del proceso de cálculo de cantidades y presupuesto de obras de pavimento rígido y flexible en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S (Tesis de Pregrado). Universidad de Antioquia, Colombia. Repositorio Institucional.
- López García, P., & Martínez Herrera, C. (2023). Optimización del diseño de pavimentos rígidos con refuerzo continuo en zonas sísmicas (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Managua. Repositorio Institucional.
- Luna Sánchez, E. M. (2022). Análisis de ciclo de vida de pavimentos en carreteras urbanas utilizando modelos multicriterio (Tesis de Maestría). Universidad Técnica de Loja, Ecuador. Repositorio Institucional.
- Mariñas Perez, D. A., & Del Aguila Rojas, H. V. (2023). Estudio comparativo entre costo y tiempo de ejecución entre los pavimentos: rígidos, flexibles y semirrígidos en el barrio la unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín (Tesis de Pregrado). Universidad científica del Perú, Tarapoto.
- Martínez Torres, R. A., & Quintero Jaramillo, F. A. (2021). Comparación del desempeño de pavimentos rígidos y flexibles bajo cargas dinámicas (Tesis de Maestría). Universidad del Norte, Barranquilla. Repositorio Institucional.
- Moreno Herrera, A. L., & Ramírez Gálvez, P. J. (2023). Diseño estructural de

pavimentos semirrígidos aplicando metodologías AASHTO 93 y LCCA (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Repositorio Institucional.

- Oblitas Gástelo, B. E., Medina Cardozo, I. I., & Paredes Asalde, C. R. (2021). Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos. *Revista ITECKNE*, 18(2), 2-6.
- Ortega Suárez, J. F. (2020). Impacto ambiental y económico del uso de pavimentos asfálticos reciclados (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Repositorio Institucional.
- Paredes Vela, F., & Delgado Mego, J. J. (2019). Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del centro del Distrito de Tarapoto (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto. Repositorio Institucional.
- Pérez Rodríguez, R. A. (2023). Evaluación de la resistencia a la fatiga de pavimentos con mezclas modificadas con polímeros (Tesis de Maestría). Universidad de La Habana, Cuba. Repositorio Institucional.
- Pinzón Forero, H. M. (2022). Estudio diagnóstico de la carpeta asfáltica para la comparación entre pavimentos rígidos y flexibles como alternativa de uso para el parqueadero común de la carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá. (Tesis de Pregrado). Universidad Antonio Nariño, Colombia. Repositorio Institucional.
- Reyes Vargas, G. M., & Torres Rivera, J. E. (2021). Análisis comparativo de costos entre pavimentos de concreto reforzado y asfalto convencional (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Repositorio Institucional.
- Rodríguez González, S. L. (2023). Diseño de pavimentos sostenibles con bajo impacto de carbono (Tesis de Maestría). Universidad de Sevilla, España. Repositorio Institucional.
- Salas Méndez, J. C. (2022). Evaluación de la durabilidad de pavimentos semirrígidos en climas húmedos (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Repositorio Institucional.
- Sánchez López, L. A., & Vega Paredes, C. R. (2022). Optimización del tiempo

de ejecución en pavimentos rígidos aplicando técnicas avanzadas de construcción (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Repositorio Institucional.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia.

“Evaluación del costo y tiempo de ejecución entre los pavimentos: rígidos, flexibles y semirrígidos en el distrito de Moyobamba, provincia Moyobamba y departamento de San Martín”

Línea de investigación	Problema de estudio	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
Ingeniería de Transportes y Construcción Vial	Evaluación del impacto del tipo de pavimento en costos y plazos de ejecución de obras viales en Moyobamba.	<u>Problema general</u> ¿De qué manera influye el tipo de pavimento—rígido, flexible y semirrígido—en el costo y tiempo de ejecución de las obras viales en el distrito de Moyobamba, durante el año 2024?	<u>Objetivo general</u> Evaluar el costo y tiempo de ejecución entre pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos en Moyobamba, para identificar la alternativa más eficiente y sostenible.	<u>Hipótesis general</u> El tipo de pavimento influye significativamente en el costo y tiempo de ejecución, siendo los flexibles los más rápidos y económicos, y los rígidos más duraderos pero costosos	<u>Variable independiente: (X)</u> ▪ Tipo de pavimento (rígido, flexible y semirrígido) ▪ Dimensiones - Materiales y técnica constructiva - Requerimientos estructurales	<u>Tipo de investigación:</u> Aplicada <u>Nivel de investigación:</u> Explicativa Descriptiva <u>Métodos:</u> Deductivo Analítico <u>Diseño:</u> Cuasi-experimental

Objeto de estudio		<u>Problemas específicos</u> • ¿Cuál es la diferencia en los costos directos e indirectos entre los tres tipos de pavimento? • ¿Cómo varían los plazos de ejecución entre ellos? • ¿Qué factores técnicos y administrativos influyen en esas variaciones?	<u>Objetivos específicos</u> • Comparar los costos directos e indirectos de cada tipo de pavimento. • Analizar los tiempos de ejecución. • Identificar los factores técnicos y administrativos que inciden en esas diferencias.	<u>Hipótesis específicas</u> ▪ Existen diferencias significativas en los costos según el tipo de pavimento. ▪ Los pavimentos flexibles se ejecutan en menor tiempo. ▪ La planificación técnica y administrativa influye en la eficiencia de la obra.	<u>Variable dependiente: (Y)</u> ▪ Costo y tiempo de ejecución Dimensiones: - Costos directos e indirectos - Duración de la obra -Variación contractual y eficiencia	<u>Población y muestra: Población:</u> Proyectos de pavimentación ejecutados en el distrito de Moyobamba durante el año 2024 <u>Técnicas e instrumentos:</u> - Observación directa - Análisis documental - Ficha de costos y cronogramas - Entrevistas técnicas
------------------------------	--	--	--	---	--	--

Elaboración propia