

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**" OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y ECONÓMICA DEL DISEÑO
DE PAVIMENTO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA Y
DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO EN EL INTERCAMBIO VIAL DE
LA AV. HOSPICIO, TRAMO 00+000 AL 09+000. DISTRITO LA
YARADA LOS PALOS – TACNA, 2025"**

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

PRESENTADO POR:

**Bach. ROGELIO CHARAJA ESCOBAR
Bach. KEVIN EDWARD BERRIOS FLORES**

**TACNA – PERÚ
2025**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL Y ECONÓMICA DEL
DISEÑO DE PAVIMENTO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA Y
DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO EN EL INTERCAMBIO VIAL DE
LA AV. HOSPICIO, TRAMO 00+000 AL 09+000. DISTRITO LA
YARADA LOS PALOS – TACNA, 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 23 de diciembre del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

SECRETARIO : Mag. OMAR ARTURO CUTIMBO TICONA

**VOCAL : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERON
JUÁREZ**

ASESOR : Mtro. MILTON CESAR GORDILLO MOLINA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros. Rogelio Charaja Escobar y Kevin Edward Berrios Flores en calidad de bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 74323148 y DNI 73264807 respectivamente. así como Milton Cesar Gordillo Molina con DNI 01338713; declaramos bajo CALIDAD juramento que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: *Optimización Estructural y Económica del Diseño de Pavimento para Mejorar la eficiencia y desempeño del Pavimento en el intercambio vial de la Av. Hospicio. tramo 00+000 al 09+000, Distrito la Yarada los Palos, 2025.* la cual presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las Notas consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *la Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna. 23 de diciembre del 2025


Rogelio Charaja Escobar
DNI:74323148


Milton Cesar Gordillo Molina
DNI: 01338713


Kevin Edward Berrios Flores
DNI:73264807

DEDICATORIA

Este trabajo se dedica con gratitud a mis padres, por su apoyo, sacrificio y ejemplo de perseverancia, pilares fundamentales en mi formación personal y profesional.

A mis hermanos, por su apoyo constante y el aliento brindado durante todo este proceso académico.

A esa compañía discreta que, con paciencia y fortaleza, estuvo presente en todo momento, brindando un apoyo genuino en cada momento clave.

Y a la Universidad Privada de Tacna, por contribuir de manera decisiva a mi desarrollo académico, por ser el espacio donde crecí personalmente y profesionalmente, y por brindarme las herramientas para hacer realidad este logro

Rogelio Charaja Escobar

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi madre. por su esfuerzo. amor incondicional y las sabias orientaciones que han sido fundamentales para alcanzar este logro académico y mi futuro profesional.

Esta tesis es un reflejo del sacrificio y la fe que mi madre a depositado en mí.

Kevin Edward Berrios Flores

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a Dios. por su guía constante. su fortaleza y sus bendiciones, que me han sostenido a lo largo de mi formación universitaria y han hecho posible la culminación de este proyecto, uno de mis principales logros profesionales.

A mis queridos Padres. Fabio Charaja B. y Raymunda Escobar. por su amor incondicional, su esfuerzo diario y su ejemplo de perseverancia, Gracias por creer en mí y brindarme siempre el apoyo necesario para avanzar con confianza.

Rogelio Charaja Escobar

AGRADECIMIENTO

A Dios. que me ha guiado en mi camino.

A la Universidad por darnos la oportunidad de formarnos profesionales y alcanzar nuestras metas propuestas.

A mi madre por guiarme en mi formación profesional.

A mi Asesor Ing. Milton Cesar Gordillo Molina, mi gratitud y reconocimiento por hacer posible el logro del presente trabajo de investigación.

Kevin Edward Berrios Flores

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	6
1.2.1. Problema general.....	6
1.2.2. Problemas específicos	6
1.3. Justificación e importancia.....	6
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
1.5. Hipótesis.....	8
1.5.1. Hipótesis General.....	8
1.5.2. Hipótesis Específicas	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de la investigación	9
2.1.1. A nivel internacional	9
2.1.2. A nivel nacional	10
2.1.3. A nivel local	12

2.2.	Bases teóricas	14
2.2.1.	Pavimento	14
2.2.2.	Clasificación de pavimentos	14
2.2.3.	Superficie de pavimento flexible	14
2.2.4.	Escalas y características del IRI.....	15
2.2.5.	Estado de conservación del pavimento	17
2.2.6.	Datos necesarios para el diseño	17
2.2.7.	Estudio de tráfico	17
2.2.8.	Estudio de mecánica de suelos y canteras	20
2.2.9.	Estudio pluviométrico y meteorológico	21
2.2.10.	Metodología AASHTO 93.....	21
2.2.10.1.	Diseño de pavimento flexible.....	21
2.2.10.2.	Diseño de pavimento rígido.....	23
2.2.11.	Evaluación económica	23
2.3.	Definición de términos	24
2.3.1.	Intercambio vial	24
2.3.2.	Transitabilidad vehicular.....	24
2.3.3.	Diseño vial.....	24
2.3.4.	Optimización de pavimento	24
2.3.5.	Pavimento flexible	25
2.3.6.	Pavimento rígido	25
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		26
3.1.	Diseño de la investigación	26
3.2.	Acciones y actividades	26
3.3.	Materiales y/o instrumentos	26
3.3.1.	Materiales.....	26
3.3.2.	Instrumentos	27
3.3.3.	Servicios.....	27
3.4.	Población y muestra de estudio.....	27

3.4.1. Población	27
3.4.2. Muestra	27
3.5. Operacionalización de variables	28
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis estadístico	28
3.6.1. Descripción de la intervención de campo	28
3.6.1.1. Pavimento flexible – AASTHO 1993	28
3.6.1.2. Pavimento rígido – AASTHO 1993.....	53
3.6.1.3. Análisis de costos y presupuestos	63
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	65
4.1. Determinación final de la conformación estructural del pavimento del proyecto 65	
4.2. Determinación del espesor estructural según la metodología AASTHO	66
4.3. Pavimento flexible	66
4.4. Pavimento rígido.....	67
4.5. Optimización del diseño de pavimento para prolongar su vida útil.....	69
4.5.1. Trafico proyectado (ESAL W18).....	69
4.5.2. Materiales del sustrato	69
4.5.3. Espesores de las capas	69
4.5.4. Índice de servicio y vida útil.....	70
4.5.5. Confiabilidad y desviación estándar	70
4.5.6. Evaluación técnica y económica de pavimentos	71
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	73
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procedimiento de diseño AASHTRO 1993 para pavimento rígido	29
Tabla 2. Tiempo de Diseño según la Metodología AASTHO	30
Tabla 3. Tasa de crecimiento de vehículos ligeros y pesados anual.....	31
Tabla 4. Calculo de ejes equivalentes (ESAL)	33
Tabla 5. Determinación del número de ejes equivalentes (ESAL) a partir del peso	34
Tabla 6. Evaluación del número de ejes equivalente en función de la carga aplicada	35
Tabla 7. Determinación del número de ejes equivalentes en función de peso aplicado	37
Tabla 8. Estimación del número de ejes equivalentes según el peso del vehículo	38
Tabla 9. Nivel de Confiabilidad de pavimento flexible	42
Tabla 10. Desviación Estándar del Pavimento Flexible	43
Tabla 11. Desviación estándar combinado	44
Tabla 12. Valores de CBR promedio	45
Tabla 13. Valores tomados para (a1, a2, a3).....	48
Tabla 14. Relación entre tiempo de drenaje y calidad de drenaje.....	49
Tabla 15. Coeficiente de drenaje	50
Tabla 16. Coeficiente de drenaje elegido para el diseño del pavimento flexible	50
Tabla 17. Espesores mínimos en función al ESAL	51
Tabla 18. Comparación del SNR resultante con el requerido	52
Tabla 19. Resumen de ESAL (EE) a 20 año de Pavimento Rígido.....	54
Tabla 20. CBR por calicata cada kilometro	55
Tabla 21. Rangos de Resistencia de Concreto	55
Tabla 22. CBR mínimo.....	57
Tabla 23. Rangos de Tráfico Pesado.....	59
Tabla 24. Datos de Serviciabilidad.....	60

Tabla 25. Porcentaje de Saturación de Drenaje.....	61
Tabla 26. Valores de J.....	62
Tabla 27. Espesores de Losa de Concreto.....	63
Tabla 28. Evaluación comparativa presupuestal en el programa "Power Cost"	64
Tabla 29. Resumen de Parámetros Calculados.....	65
Tabla 30. Espesores de Pavimento Rígido y Flexible	66
Tabla 31. Resumen de resultados del Pavimento Flexible.....	67
Tabla 32. Resumen de resultados del Pavimento Rígido	68
Tabla 33. Resumen de resultados de Costos	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de investigación Av. Hospicio	3
Figura 2. Pendiente de la vía de investigación de la AV. Hospicio	3
Figura 3. Pendiente de la vía de investigación de la Av. Hospicio	4
Figura 4. Vía de estudio se muestra la presencia de deterioro de la carpeta asfáltica.	4
Figura 5. Vía de estudio se muestra la presencia de deterioro de la carpeta asfáltica.	5
Figura 6. Vía de estudio se muestra la presencia de deterioro de la carpeta asfáltica.	5
Figura 7. Sección de un pavimento flexible convencional	15
Figura 8. Sección transversal del pavimento rígido tradicional	16
Figura 9. Proceso de diseño de pavimento flexible según AASTHO - 93	21
Figura 10. Proceso de Diseño de Pavimento rígidos según AASTHO-93	23
Figura 11. Factor f flexible según categoría vehicular	34
Figura 12. Factor f flexible según la categoría vehicular	35
Figura 13. Coeficiente F de flexibilidad según el tipo de vehículo	36
Figura 14. Factor f flexible por tipo de vehículo	37
Figura 15. Factor f flexible por tipo de vehículo	39
Figura 16. Estudio de Tráfico Vehicular – Avenida Hospicio	40
Figura 17. Estudio de Tráfico Vehicular – Avenida Hospicio	40
Figura 18. Estudio de Tráfico Vehicular – Avenida Hospicio	41
Figura 19. Elección del coeficiente estructural de la sub base granular “a3”	46
Figura 20. Selección del coeficiente estructural de la subbase granular “a2”	47
Figura 21. Selección del coeficiente estructural de la sub base granular “a1”	48
Figura 22. Diseño del pavimento flexible	53
Figura 23. Módulo de Reacción de la Subrasante	57
Figura 24. Relación de Esfuerzo y Penetración	58
Figura 25. Relación de Esfuerzo y Penetración	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	84
Anexo 2. IMDA (lunes ESAL).....	86
Anexo 3. IMDA (martes ESAL)	87
Anexo 4. IMDA (miércoles ESAL)	88
Anexo 5. IMDA (jueves ESAL)	89
Anexo 6. IMDA (viernes ESAL).....	90
Anexo 7. IMDA (sábado ESAL).....	91
Anexo 8. IMDA (domingo ESAL).....	92
Anexo 9. Variación vehicular semanal	93
Anexo 10. Cuadros de porcentajes de vehículos	94

RESUMEN

El presente trabajo de investigación analiza la mejora y optimización del diseño del pavimento en la Avenida Hospicio, específicamente en los tramos correspondiente a las progresivas 00+000 y 09+000, en el distrito de la Yarada Los Palos, Tacna, mediante la incorporación de criterios técnicos mediante metodología de diseño estructural (AASHTO 93, PowerCost), con el objetivo de mejorar su eficiencia y desempeño. En la zona de estudio. la falta de acciones preventivas y correctivas eficaces y el incremento del flujo vehicular han contribuido a la proliferación de grietas, deformaciones y asentamiento prematuros en la calzada que afectan estructuralmente la vía. generando una reducción significativa en su nivel de servicio a la población. Mediante la utilización de la metodología AASHTO- 93 y un análisis de ciclo de vida mediante el software PoweCost Presupuestos, se realiza el análisis comparativo: pavimento flexible y pavimento rígido. Esta investigación evalúa las condiciones actuales de la vía, el tránsito proyectado, las características geotécnicas y los factores climáticos que influyen en el desempeño del pavimento. Los resultados permitieron determinar la alternativa más eficiente en términos de capacidad portante, vida útil y costo total del proyecto. Del análisis técnico – económico realizado se determinó que el pavimento flexible presenta una menor inversión inicial en comparación con el pavimento rígido, existiendo una diferencia aproximada del 15 % entre ambas alternativas. Sin embargo, a pesar de requerir una mayor inversión inicial, el pavimento rígido muestra mejores condiciones de desempeño estructural. reflejadas en una mayor vida útil, menor necesidad de intervenciones de mantenimiento, mayor resistencia frente a deformaciones y un comportamiento más estable ante variaciones climáticas. Estas características permiten consolidar su ventaja en el análisis del ciclo de vida del proyecto, al disminuir los costos asociado al mantenimiento y asegurar un nivel de servicio adecuado y sostenido en el ciclo de vida de la vía.

Palabras clave: Pavimento rígido; pavimento flexible; propuesta económica; optimización; AASHTO 1993.

ABSTRACT

The present research work analyzes the improvement and optimization of the pavement design on Hospicio Avenue. specifically in the sections corresponding to progressives 00+000 and 09+000, in the Yarada Los Palos district, Tacna, by incorporating technical criteria through structural design methodology (AASHTO 93. PowerCost), with the objective of improving its efficiency and performance. In the study area. the lack of effective preventive and corrective actions and the increase in vehicular flow have contributed to the proliferation of cracks, deformations and premature settlement in the roadway that structurally affect the road, generating a significant reduction in its level of service to the population. By using the AASHTO-93 methodology and a life cycle analysis using the PoweCost Budgets software, the comparative analysis is carried out: flexible pavement and rigid pavement. This investigation evaluates current road conditions, projected traffic, geotechnical characteristics, and climatic factors that influence pavement performance. The results allowed us to determine the most efficient alternative in terms of bearing capacity, useful life and total cost of the project. From the technical-economic analysis carried out, it was determined that flexible pavement presents a lower initial investment compared to rigid pavement, with an approximate difference of 15 % between both alternatives. However. despite requiring a greater initial investment. rigid pavement shows better structural performance conditions, reflected in a longer useful life. less need for maintenance interventions. greater resistance to deformations and more stable behavior in the face of climatic variations. These characteristics allow it to consolidate its advantage in the analysis of the project's life cycle, by reducing the costs associated with maintenance and ensuring an adequate and sustained level of service throughout the life cycle of the road.

Keywords: Rigid pavement; flexible pavement; economic proposal; optimization; AAS

INTRODUCCIÓN

Un diseño adecuado de pavimentos constituye un aspecto esencial para asegurar la eficiencia, la seguridad y la vida útil de la infraestructura vial. En la Avenida Hospicio, en el tramo comprendido entre las progresivas 00+000 y 09+000, ubicada en el distrito de La Yarada Los Palos, Tacna, se ha identificado un deterioro progresivo reflejado en fisuras, deformaciones y pérdida de capacidad estructural. Este problema se relaciona con el incremento sostenido del tránsito pesado y con la ausencia de un diseño optimizado que responda a las condiciones reales de carga y clima. La necesidad de asegurar una transitabilidad adecuada y prolongar la vida útil de la vía constituye la razón principal que motiva el desarrollo del presente estudio.

En este marco, la presente investigación tiene como finalidad perfeccionar el diseño de pavimento empleando la metodología AASTHO 93, mediante la comparación de dos soluciones estructurales; pavimento flexible y pavimento rígido. Para ello, se analizan variables fundamentales como el número de ejes equivalentes (ESAL), los niveles de confiabilidad, las condiciones de drenaje, las propiedades geotécnicas de la subrasante y las características climáticas de la zona de estudio. El objetivo es definir los espesores estructurales más convenientes y formular una propuesta técnica acorde con la demanda vehicular proyectada.

La relevancia de este estudio se fundamenta en que un diseño de pavimento adecuadamente optimizado no solo incrementa la seguridad y el confort de los usuarios, sino que también favorece una administración más eficiente y sostenible de los recursos destinados a la infraestructura vial. Considerando que la avenida Hospicio es un eje estratégico para el transporte local y las actividades productivas del distrito, garantizar su correcto desempeño resulta indispensable para impulsar el desarrollo económico y social de la zona.

El alcance de la investigación comprende el análisis del estado actual del tramo vial, la determinación del tránsito proyectado, la evaluación de las características del suelo, el diseño estructural comparativo de ambos tipos de pavimento y la propuesta final basada en criterios técnicos. Asimismo, el estudio se limita al diseño estructural del pavimento, sin incluir procesos constructivos, gestión predial ni impactos ambientales detallados.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La Av. Hospicio, en el tramo comprendido entre las progresivas 00+000.00 hasta 09+000.00, ubicada en el distrito de La Yarada Los Palos, departamento de Tacna, presenta un estado de deterioro característico de muchas infraestructuras viales con pavimento flexible. A lo largo de su vida útil, esta vía ha desarrollado múltiples fallas superficiales que evidencian una gestión deficiente del mantenimiento vial, Para garantizar la funcionalidad de una vía y extender su durabilidad, es indispensable aplicar estrategias de conservación que mitiguen el desgaste progresivo causado por el tránsito y las condiciones ambientales.

Una de las principales dificultades que enfrentan los profesionales del sector es la variedad y complejidad de las fallas que pueden aparecer. lo cual exige enfoques técnicos integrales tanto para su análisis como para su intervención. Esta situación resalta la necesidad de modernizar los criterios de mantenimiento y rehabilitación, explorando métodos innovadores que respondan a las exigencias actuales del tráfico y del entorno físico.

En el caso específico de la Av. Hospicio. se evidencia una falta de acciones preventivas y correctivas eficaces, lo que ha contribuido a la proliferación de grietas, deformaciones y asentamientos prematuros en la calzada. El crecimiento del flujo vehicular en la zona ha acelerado el deterioro estructural del pavimento. generando una reducción significativa en su nivel de servicio. Las soluciones aplicadas hasta ahora no han logrado garantizar el desempeño esperado durante el ciclo de vida proyectado de la vía.

Frente a este contexto. resulta prioritario identificar las causas técnicas que originan el deterioro del pavimento, a fin de plantear alternativas de diseño optimizado que respondan adecuadamente a las condiciones reales de servicio. La presente investigación tiene como finalidad evaluar estas variables y proponer una solución técnica que incremente la eficiencia del pavimento y asegure su funcionalidad a largo plazo. La Figura 1 muestra la ubicación general de la Av. Hospicio. mientras que la Figura 2 presenta el tramo específico de la zona de estudio. incluyendo la pendiente del área analizada.

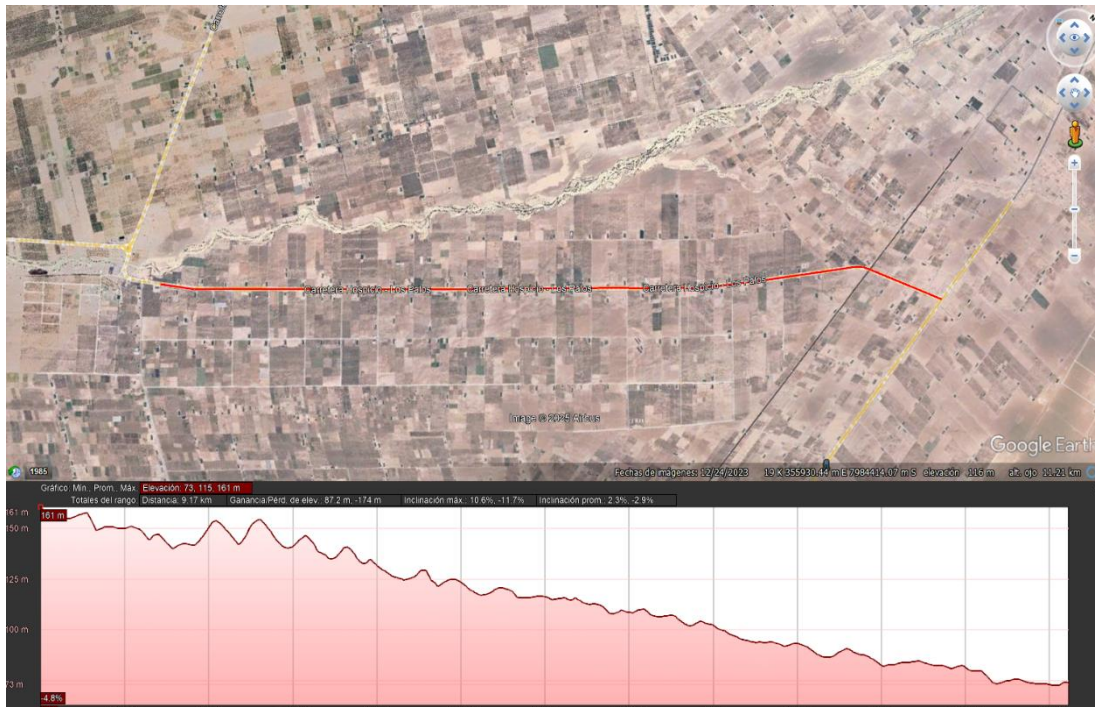
Figura 1

Zona de investigación Av. Hospicio



Figura 2

Pendiente de la vía de investigación de la AV. Hospicio



La Figura 3 se presenta el segmento del área de estudio correspondiente a la investigación de la Av. Hospicio del distrito de la Yarada los Palos. Ciudad de Tacna.

Se observa el deterioro y mal estado de conservación de la vía de alto tránsito de vehículos pesados propios de la zona agropecuaria.

Figura 3

Pendiente de la vía de investigación de la Av. Hospicio



La Figura 4 se visualiza un tramo con deficiencias y ahuellamientos evidentes en la carpeta de asfalto, así mismo se muestra un mantenimiento insuficiente, teniendo que ser evaluados estos aspectos con el fin de incrementar el rendimiento.

Figura 4

Vía de estudio se muestra la presencia de deterioro de la carpeta asfáltica



La Figura 5 se destaca la presencia de un vehículo pesado propio de la zona de producción agropecuaria, estos vehículos pesados causan desgaste a la estructura de la capa asfáltica, lo que incide en la configuración del diseño de pavimento.

Figura 5

Vía de estudio se muestra la presencia de deterioro de la carpeta asfáltica



Figura 6 se sigue evidenciando vehículos pesados que transitan por la avenida Hospicio, siendo vehículos de carga de acuerdo a la zona agropecuaria, así mismo teniéndose en cuenta para el diseño de pavimento propuesto de la investigación.

Figura 6

Vía de estudio se muestra la presencia de deterioro de la carpeta asfáltica



1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la optimización estructural y económica del diseño de pavimento puede mejorar la eficiencia y desempeño del pavimento en el Intercambio Vial de la Av. Hospicio? tramo 00+000 al 09+000. en el distrito La Yarada Los Palos – Tacna, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el desempeño estructural y económico del diseño convencional de pavimento en el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio?
- b. ¿Qué criterios técnicos permiten formular una propuesta optimizada de diseño de pavimento estructural y económicamente viable para el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio?
- c. ¿En qué medida el diseño optimizado mejora la vida útil? la capacidad portante y reduce los costos frente al diseño convencional en el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio?

1.3. Justificación e importancia

La investigación titulada, “Optimización estructural y económica del diseño de pavimento para mejorar la eficiencia y desempeño del pavimento en el Intercambio Vial de la Av. Hospicio, tramo 00+000 al 09+000. Distrito La Yarada Los Palos – Tacna, 2025”, se fundamenta en diversas razones que respaldan su relevancia desde distintas perspectivas:

- a. En el ámbito científico, la investigación contribuye a fortalecer el proceso técnico de diseño estructural de pavimentos. enfocándose en un enfoque optimizado que garantice un adecuado desempeño del intercambio vial propuesto en la Av. Hospicio. La definición correcta de espesores, materiales y técnicas constructivas no solo busca preservar la capacidad portante del terreno de fundación, evitando deformaciones críticas, sino también asegurar que el pavimento responda de forma eficiente ante las solicitudes del tráfico y las condiciones ambientales de la zona. Este enfoque refuerza la importancia de aplicar criterios ingenieriles modernos y sostenibles en el diseño vial.

- b. Desde una perspectiva social, la optimización del diseño de pavimento repercute directamente en la calidad del servicio vial, brindando condiciones adecuadas de transitabilidad, confort y seguridad para los usuarios. Una infraestructura bien diseñada reduce significativamente los tiempos de viaje, minimiza los riesgos de accidentes y mejora la eficiencia del transporte local. Asimismo, contribuye a mejorar la conectividad urbana y el acceso a servicios, beneficiando a la población del distrito de La Yarada Los Palos.
- c. En el aspecto económico, esta investigación permite evaluar y seleccionar la alternativa estructural más conveniente a largo plazo, evitando soluciones que, aunque económicas en su ejecución inicial, generan altos costos de mantenimiento o rehabilitación futura. Considerar criterios de costo-beneficio y durabilidad durante la etapa de diseño favorece una administración eficaz de los recursos públicos, priorizando la sostenibilidad financiera del proyecto y su impacto en el ciclo de vida del pavimento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Optimizar estructural y económicamente el diseño de pavimento para mejorar la eficiencia y desempeño del pavimento en el Intercambio Vial de la Av. Hospicio, tramo 00+000 al 09+000, en el distrito La Yarada Los Palos – Tacna, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar el desempeño estructural y económico del diseño convencional de pavimento en el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio.
- b. Desarrollar una propuesta de diseño de pavimento optimizado considerando criterios de eficiencia estructural y económica para el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio.
- c. Comparar el diseño optimizado con el diseño convencional en términos de vida útil, capacidad portante y costos de construcción y mantenimiento en el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

La optimización estructural y económica del diseño de pavimento permite mejorar significativamente la eficiencia y el desempeño vial del pavimento en el Intercambio de la Av. Hospicio. tramo 00+000 al 09+000, en comparación con el diseño convencional.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- a. El diseño convencional de pavimento del tramo 00+000 al 09+000 presenta limitaciones en su vida útil, capacidad portante e incremento de costos de ciclo de vida, afectando negativamente la eficiencia y desempeño vial.
- b. La incorporación de criterios técnicos mediante metodologías de diseño estructural (AASHTO 93. POWER COST) y análisis económico permite formular un diseño de pavimento optimizado, estructural y económicamente más eficiente que el convencional.
- c. El diseño optimizado de pavimento en el tramo 00+000 al 09+000 incrementa la vida útil proyectada, mejora el número estructural (SN) y reduce los costos de construcción y mantenimiento respecto al diseño convencional.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

En el Perú, la infraestructura vial ha sido objeto de diversas investigaciones y proyectos con la finalidad de incrementar la vida útil y el desempeño de los pavimentos. A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes en el contexto:

1.1.1. A nivel internacional

Según Martínez y López (2022) Presentó la tesis titulada “Diseño y Optimización de Pavimentos utilizando la metodología AASHTO para Vías de alto tráfico en México”. La investigación estimó la carga vehicular proyectada, caracterizó las propiedades geotécnicas de los materiales y determinó los espesores correspondientes a las capas estructurales utilizando el Número Estructural (SN) para dimensionar las capas de pavimento, se incorporó un análisis económico que permitió diferenciar alternativas constructivas, considerando costos de ejecución y mantenimiento a lo largo de vida útil del pavimento. Los resultados demostraron que es posible optimizar los diseños convencionales mediante uso de materiales locales y ajustes en el dimensionamiento de las capas, logrando reducciones de costos del 8 % al 15 % sin afectar el desempeño estructural y la durabilidad, así mismo el análisis de sensibilidad reveló que las estimaciones de demanda vehicular y las propiedades del suelo son variables clave que inciden directamente en el diseño y costo.

Según González y Pérez (2019) Presentó la tesis titulada “Aplicación de la metodología de Diseño de pavimento AASHTO para Optimizar el desempeño de Pavimentos en carreteras chilenas”. Esta investigación enfatiza que la adaptación de la metodología al contexto chileno requiere una consideración minuciosa de las condiciones locales, incluyendo variables climáticas, características geotécnicas y patrones de carga vehicular específicos de la región, son elementos clave para optimizar la estructura del pavimento. lo cual resulta en una mayor vida útil y mejor rendimiento frente a los requerimientos de tránsito y a las condiciones del entorno, por lo tanto, este estudio constituye un referente fundamental para los ingenieros civiles y responsable de la planificación vial en Chile y otros países latinoamericanos que enfrentan retos similares en el diseño y mantenimiento de pavimentos, la adaptación de modelos estandarizados a contextos específicos resulta esencial para

garantizar la funcionalidad, seguridad y economía de las vías de transporte. alineándose con objetivos de desarrollo sostenible y eficiencia en la gestión de infraestructura pública.

Silva (2016) Presentó su tesis en México "Criterios para la Elección de Pavimento Rígido y/o Flexible en la Rehabilitación de la Autopista de Cuota Chamapa – La Venta". Plantea la selección entre pavimento rígido y flexible en proyectos de modernización donde el tránsito ha superado las proyecciones contempladas en los diseños originales, con el propósito de optimizar el funcionamiento de la vía. Se trata de una investigación de carácter teórico. En el análisis del pavimento de los tramos evaluados se identificaron zonas con deficiencias principalmente estructurales. evidenciadas por la presencia de agrietamientos. A través de deflectómetro FWD Dynastest se determinó que los espesores de esfuerzo necesarios pueden ser compensados mediante la aplicación de sobre carpetas de concreto asfáltico con espesores entre 5 y 10 cm. Asimismo, se recomendó realizar evaluaciones del pavimento dos veces al año, a fin de monitorear su desempeño. anticipar posibles deterioros y mantener el nivel de calidad establecido.

Vásquez (2014) Presentó su tesis en Chile "Análisis Comparativo entre un Pavimento Rígido y un Pavimento Flexible para la Ruta S/R: Santa Elvira – El arenal. en la comuna de Valdivia". Tiene como propósito comparar el diseño y los costos asociados entre un pavimento rígido y uno flexible en dicho tramo vial. La investigación es de carácter descriptivo, por lo que expone las características de ambos tipos de pavimento. junto con el análisis de costos, ventajas y desventajas. Los resultados indican que el pavimento rígido requiere una base de hormigón de 200 mm de espesor, correspondiente al mínimo normativo. En contraste. el pavimento flexible demanda una capa de rodadura de 130 mm. la cual cumple funciones de impermeabilización de transmisión de cargas Llegándose a concluir que el análisis de ambos diseños se realizó mediante un software PAVIVIAL que entregó valores para determinar el costo de cada alternativa. concluyendo que el costo del pavimento asfáltico es de 16,96.675 y el hormigón 21,631.695, siendo el pavimento flexible más rentable.

1.1.2. A nivel nacional

Según Muñoz (2023) En su tesis Titulada "Diseño estructural de pavimento flexible mediante el método AASHTO 1993 para la carretera Pativilca- Cajatambo-Oyón. Lima" la tesis tuvo como finalidad optimizar la conformación del pavimento tomando

en cuenta las condiciones particulares de la zona. tales como el relieve montañoso, el clima andino y el tránsito pesado proyectado para un periodo de diseño de 20 años. La investigación se basó en datos reales de tránsito, capacidad portante del suelo (CBR), factores de confiabilidad y desviación estándar recomendados por la norma, a partir de ello, se determinó el número estructural (SN) requerido y definió el espesor de pavimento, priorizando la selección de materiales adecuados y la eficiencia técnica. Los resultados indicaron que el diseño estructural propuesto. integrado por una capa asfáltica de 7,6 cm, una base granular de 20 cm y una subbase de 25 cm, lo que permite concluir que, a través de la correcta aplicación de la metodología AASTHO 93 y la incorporación de parámetros locales, se logró optimizar el diseño estructural, reduciendo costos sin afectar el desempeño estructural del pavimento, lo que evidencia la vigencia del método AASTHO en contextos altoandinos y su capacidad de adaptarse a condiciones técnicas reales.

Según Lévano (2021) En su tesis titulada “Diseño de pavimento flexible para la carretera La unión – Huácar- departamento de Huánuco. aplicando el método AASTHO 1993”. El objetivo de la investigación tuvo como propósito proponer una estructura vial adecuada a las condiciones topográficas, climáticas y geotécnicas de la zona, optimizando el uso de materiales locales y asegurando una vida útil de la vía. Para ello, se estimó un tránsito diario promedio de 264 vehículos, proyectado a 20 años con un crecimiento anual de 3 %. lo que resultó en un tránsito acumulado de 3,58 millones de ejes equivalentes (ESAL). La subrasante presentó un CBR del 10 % correspondiente a un suelo de capacidad estructural regular, se asumió un nivel de confiabilidad del 95 % un número estructural (SN) de 4,42 lo cual permite diseñar una estructura integrada por una capa asfáltica de 5 cm, base granular de 20 cm y una subbase granular de 25 cm. Se utilizaron coeficientes estructurales de 0,44, 0,14 y 0,11 respectivamente, y un coeficiente de drenaje de 1,0 en todas las capas, los resultados demostraron que mediante la adecuada aplicación del método AASTHO y la utilización de información técnica local, es posible obtener un diseño estructural eficiente, reduciendo costos y garantizando el desempeño de la estructura vial así prolongando la durabilidad del pavimento y la disminución de los costos de conservación.

Gutiérrez (2019) Presentó su tesis “Aplicación de Metodología AASTHO 93 en Diseño de Pavimento Flexible para Optimizar la Transitabilidad Vehicular en la Carretera Talavera – Andahuaylas. Región Apurímac”. Cuyo objetivo es el de enfatizar y optimizar los análisis correspondientes al diseño de pavimentos para la carretera Talavera utilizando la metodología ASSTHO 1993. La investigación se

enmarca dentro de un enfoque aplicado y de carácter descriptivo. además de contar con una muestra para beneficiar a los pobladores del Distrito Talavera y Andahuaylas. Como resultado se obtuvo la estructura de carpeta asfáltica final con un compactado de 95 % de densidad máxima del Proctor Modificado. habiéndose utilizado un pavimento flexible en caliente. Se llegó a concluir que habiéndose utilizado la metodología AASHTO 93 se diseñó la Carretera Talavera con la infraestructura de pavimento óptima y adecuada para la vía de intervención.

Humpiri (2015) Presentó su tesis "Análisis Superficial de Pavimentos Flexibles para el Mantenimiento de Vías en la Región de Puno". El estudio tiene como propósito examinar las fallas presentes en los pavimentos flexibles de las vías de la región de Puno, identificando sus tipos y niveles de severidad. La investigación es de carácter descriptivo. Entre las fallas superficiales con mayores frecuencias en el área evaluada se encuentran las fisuras longitudinales y transversales, seguidas por ahuellamientos, desgaste superficial y otras manifestaciones. Dichos deterioros se originan principalmente por deficiencias en el diseño, la construcción y la operación. factores que afectan de manera negativa el desempeño final del pavimento. Así mismo se deberá poner mayor énfasis en los mantenimiento y diseños viales. porque son la base de la integración con la región.

1.1.3. A nivel local

Según Apaza (2021) desarrolló la tesis titulada "Diseño estructural flexible utilizando el método AASHTO 93 en la vía 6- proyecto Mejoramiento de la carretera Locumba – Cerro Blanco – distrito de Ilabaya- Provincia de Jorge Basadre – Departamento de Tacna". Desarrollo un diseño estructural con un enfoque a la optimización de los recursos técnicos y económicos, se centran en adaptar los parámetros de diseño, como tránsito proyectado, capacidad portante de la subrasante (CBR). confiabilidad y condiciones de drenaje adecuado a las características reales de la zona, con el fin de evitar sobre dimensionamientos innecesarios. Como resultados, se propuso una estructura vial compuesta por una carpeta asfáltica de 75 mm, base granular de 200 mm y una subbase granular de 300 mm, la cual satisface los requisitos establecidos funcionales y estructurales de la vía. La tesis demostró que, mediante el uso adecuado y preciso de datos locales y la utilización técnica del método AASHTO 93, es posible optimizar el diseño estructural del pavimento. mejorando la eficiencia de la inversión pública en infraestructura vial sin comprometer la durabilidad ni la seguridad operativa de la carretera.

Según Choque (2022) en su tesis titulada “Diseño estructural de pavimento flexible para la vía alterna al mercado Grau. distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna, según el método AASHTO 1993”. El estudio se desarrolló considerando un ciclo de modelamiento de 20 años, para lo cual se recopiló información del tránsito proyectado. características geotécnicas del terreno y condiciones ambientales, dando como resultado, se determinó un número estructural de (SN) de 5.12, proponiéndole una estructura compuesta por una carpeta asfáltica de 7.5 cm. una base granular de 20 cm y una subbase granular de 25 cm, el estudio evidenció que el uso de parámetros reales y actualizados (tránsito efectivo. resistencia real del suelo y condiciones locales de drenaje) permitió reducir el sobredimensionamiento común en diseños tradicionales. generando un ahorro significativo en materiales y en el costo global del proyecto. En comparación con un diseño conservador en estimaciones genéricas. se logró una reducción estimada de hasta un 18 % en el volumen total de materiales, sin comprometer el rendimiento estructural ni la vida útil proyectada de la vía. Asimismo, se concluyó que la correcta aplicación del método AASHTO 1993, junto con la adaptación a condiciones locales, permite garantizar la funcionalidad del pavimento y minimizar el riesgo de fallas prematuras. lo cual representa una contribución importante a la planificación vial urbana del departamento de Tacna.

Acero y Roque (2022) Presentó su tesis “Diseño de Pavimento Flexible para Mejorar las Condiciones de Serviciabilidad de la Vía Ovalo Tarapacá hasta Desvío Calana. Tacna - 2022”. El estudio tuvo como propósito principal diseñar un pavimento flexible orientado a mejorar las condiciones de serviciabilidad en el tramo comprendido entre el ovalo Tarapaca y el desvío a Calana. La investigación se clasificó como correlacional, dado que evalúa el grado de relación entre las variables consideradas. La aplicación del metodo AASTHO 1993 permitió definir una estructura compuesta por una carpeta asfáltica de 6", una base granular de 7" y una subbase granular de 8", asimismo, los resultados obtenidos respectos al índice de serviciabilidad PCI señalaron que el tramo presenta, en promedio. una condición regular. Se sugiere a la entidad competente la elaboración de un nuevo diseño de pavimento, con el fin de optimizar las condiciones de servicialidad de la vía

Aro y Llano (2024) Presentó su Tesis “Optimización del Diseño de Pavimento para el Intercambio Vial de la Av. Industrial, tramo Calle Mariano Melgar – Calle Reynoso en la Ciudad de Tacna. 2024”. Este estudio tiene como finalidad identificar la alternativa más adecuada para el diseño del pavimento en el intercambio vial. La investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo y corresponde al tipo

aplicada. los resultados indican que el pavimento rígido constituye la opción más conveniente debido a su mayor durabilidad y desempeño, contribuyendo a la sostenibilidad de la infraestructura vial. Se recomienda que la Municipalidad Provincial de Tacna priorice la implementación de pavimentos rígidos en el intercambio vial de la Avenida Industrial.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Pavimento

El concepto de "Transitabilidad" en el Perú se refiere a la disponibilidad de una carretera para su uso, es decir, que no está cerrada al tránsito público debido a emergencias viales que puedan haberla interrumpido. Estas situaciones de emergencia comprenden eventos como deslizamientos de masa, caídas de rocas, pérdida de la estructura de la carretera, procesos de erosión ocasionados por corrientes fluviales y colapso de puentes, entre otro. Estos fenómenos generan un impacto considerable a las comunidades y se presentan con mayor frecuencia durante la época de lluvias (Huancas. 2018).

1.2.2. Clasificación de pavimentos

De acuerdo con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). los pavimentos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Calidad de los materiales utilizados: Los pavimentos pueden ser estabilizados, mejoras con afirmado, con cemento Portland y con de mezclas asfálticas.
- Ciclo de vida: Se clasifican en temporales y definitivos, dependiendo del tiempo para el cual están diseñados y ejecutados.
- Forma en que distribuyen las cargas al terreno: Los pavimentos pueden ser flexibles, rígidos y semirrígidos. En esta investigación, se estudiarán principalmente los pavimentos flexibles y rígidos.

1.2.3. Superficie de pavimento flexible

Según Pérez y López (2015). Un pavimento flexible se compone de capas con distintos espesores y propiedades. ubicando materiales de mayor calidad en la

superficie y de menor calidad en niveles inferiores, dado que los esfuerzos disminuyen con la profundidad.

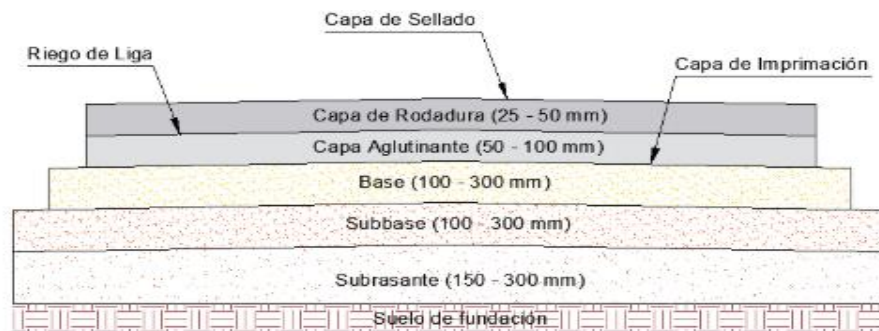
García (2017) señala que el pavimento flexible posee un módulo de elasticidad cercano al de la subrasante, lo que provoca que las cargas se concentren directamente bajo el punto donde actúan. La limitada resistencia a la corte de la subrasante genera elevadas presiones en dicha capa.

Sánchez (2018) indica que un pavimento flexible se estructura de arriba hacia abajo. por la capa de rodadura, la base, la subbase. la subrasante y el suelo de fundación.

Huang (2004) describe que la estructura de un pavimento flexible está formada por diversas capas. que se disponen de la siguiente manera desde la superficie hacia abajo: una capa de sellado, seguida por la capa de rodadura, incluye una aplicación de riego de liga, la capa aglutinante, la imprimación, la base, la subbase, la subrasante y suelo de fundación. Está configuración estructural se ilustra en la Figura 7.

Figura 7

Sección de un pavimento flexible convencional



Nota. (Huang. 2004).

1.2.4. Escalas y características del IRI

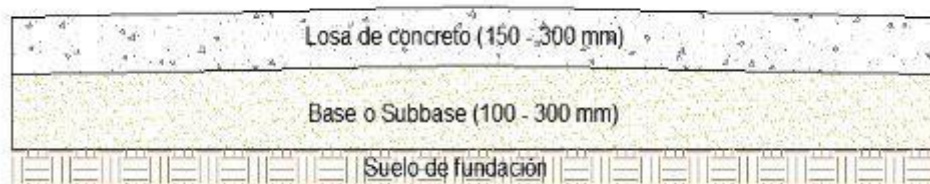
La estructura de este tipo de pavimento se compone de una losa de concreto apoyada en material seleccionado o directamente en la subrasante, dependiendo de sus condiciones y de las cargas de tránsito.

Debido a su alto módulo de elasticidad en comparación con la subrasante, el pavimento rígido dispersa las cargas sobre un área más amplia, disminuyendo las presiones transmitidas a la base.

Según Huang (2004), la estructura de un pavimento se conforma por una losa de concreto apoyada sobre una capa de base o subbase. Así como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Sección transversal del pavimento rígido tradicional



Nota. (Huang, 2004).

Huang (2004) clasificó los pavimentos rígidos en cuatro tipos principales:

- Pavimento Articulado de Concreto Simple (JPCP): Se trata del tipo de pavimento rígido más empleado. El control de fisuras se logra mediante juntas de contracción ubicadas cada 4,5 a 9 m, no incorpora refuerzo de acero continuo; sin embargo, utiliza pasadores en las juntas transversales y barras de unión en las longitudinales.
- Pavimento Articulado de Concreto Reforzado (JRCP): Si bien el acero de refuerzo no incrementa la capacidad estructural del pavimento, permite ampliar el espaciamiento entre juntas hasta rangos aproximados de 9 a 30 m, este refuerzo contribuye a mantener la integridad de las fisuras transversales, debido al mayor tamaño de los paneles, se requiere la incorporación de pasadores y barras de unión en las juntas transversales y longitudinales.
- Pavimento Continuo de Concreto Reforzado (CRCP): Este tipo de pavimento prescinde de juntas de contracción, permitiendo que se generen fisuras transversales que permanecen cohesionadas gracias al refuerzo de acero continuo, dichas fisuras suelen desarrollarse a intervalos que oscilan entre 1.1 y 2,4 m.
- Pavimento de Concreto Preesforzado (PCP): La aplicación previa de esfuerzos de compresión en el concreto disminuye las tensiones de tracción generadas por el tránsito, permitiendo reducir el espesor de la losa. Este tipo

de pavimento presenta menor tendencia al agrietamiento y requiere un número reducido de juntas transversales.

1.2.5. Estado de conservación del pavimento

Los pavimentos son estructuras diseñadas para soportar las cargas generadas por el tránsito vehicular, cuando el volumen de tráfico aumenta, se acelera su deterioro, evidenciando principalmente en la reducción de su capacidad elástica.

1.2.6. Datos necesarios para el diseño

Para identificar las variables se requiere realizar análisis técnico exhaustivos para determinar las variables clave que afectan el diseño, la construcción y el desempeño de las estructuras de pavimento.

1.2.7. Estudio de tráfico

El tránsito vehicular constituye un factor primordial en el diseño de pavimentos, ya que contempla tanto las características de los vehículos que circular en el área de estudio como la frecuencia con la que se desplazan por la vía.

Según Montejo (2002). El análisis de tráfico tiene como propósito representar el flujo vehicular en términos de la carga equivalente de un eje simple (ESAL), para ello, se utiliza un método que transforma los diversos tipos de vehículos en un eje estándar equivalente (EALF), posteriormente, se estima la cantidad de repeticiones de estos ejes equivalentes que ocurrirán a lo largo del periodo de diseño del pavimento.

a. (IMDA) índice Medio Diario Anual

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), se obtiene a partir de los registros de volumen y clasificación vehicular realizados en campo durante un periodo de una semana. Estos datos son posteriormente mediante un factor de corrección, lo que permite calcular el índice mediante la fórmula correspondiente.

$$IMDA = IMDS \times FC$$

(1)

- IMDS es el índice medio diario semanal.

- FC representa el factor de corrección estacional.

Tasa de crecimiento anual; Este factor se determina a partir de indicadores macroeconómicos. Dado que las tasas de incremento varían entre categorías vehiculares, se aplican valores diferenciales para cada tipo de vehículo utilizando las fórmulas respectivas.

- Vehículos de carga:

$$r_{vc} = r_{PBI} \times E_{VC} \quad (2)$$

Donde: r_{vc} = es la tasa de crecimiento anual de vehículos de carga.

r_{PBI} = es la tasa de crecimiento del PBI.

E_{VC} = elasticidad de demanda del tráfico de vehículos carga.

- Vehículos ligeros

$$r_{VL} = r_{pob} \times r_{percapita} \times E_{VL} \quad (3)$$

Donde: r_{VL} = es la tasa de crecimiento anual de vehículos de ligeros. camioneta rural y micros.

r_{pob} = es la tasa de crecimiento anual poblacional.

$r_{percapita}$ = es la tasa de crecimiento anual de PBI per cápita

E_{VL} = es la elasticidad de la demanda del tráfico de vehículos ligeros. camioneta rural y micros

b. Factor de carga equivalente por eje (EALF)

A continuación, se presenta las ecuaciones empleadas para el cálculo del EALF según la AASHTO para pavimentos rígidos.

$$\log \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = 4.62 * \log(18 + 1) - 4.62 * \log(L_X + L_2) + 3.28 * \log(L_2) + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad (4)$$

$$G_T = \log \left(\frac{4.5 - P_t}{4.5 - 1.5} \right) \quad (5)$$

$$\beta_X = 1.00 + \frac{3.63(L_X + L_2)^{5.20}}{(D + 1)^{846} * L_2^{3.52}} \quad (6)$$

Donde:

- D= Espesor del Concreto

Por otra parte. las ecuaciones usadas para el cálculo del EALF según el AASHTO para pavimentos flexibles se presentan a continuación.

$$\log \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = 4.79 * \log(18 + 1) - 4.79 * \log(L_X + L_2) + 4.33 * \log(L_2) + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad (7)$$

$$G_T = \log \left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad (8)$$

$$\beta_X = 0.40 + \frac{0.081(L_X + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} * L_2^{3.23}} \quad (9)$$

Donde:

- $\frac{W_{tx}}{W_{t18}}$ = es el factor de carga equivalente por eje.
- L_2 = es el factor que depende del tipo de eje (1 para ejes simples. 2 para ejes tándem y 3 para ejes trídem).
- L_X = es la carga por eje en kips.
- SN = es el número estructural de diseño.
- G_T = es función de pt
- P_t = es el índice de serviciabilidad final.
- β_{18} = es el valor que toma β_x cuando L_x es igual a 18 y L_2 es igual a 1.

c. Tráfico de diseño

$$n_i = (n_o)ixGxDxLx365xY \quad (10)$$

Donde:

- n_i =es el número total de repeticiones por día para el grupo de carga i.
- $(n_o)i$ = es el numero inicial de repeticiones por día para el grupo de carga i.

- Y= es el periodo de diseño en años. • L es el factor de distribución de carril.
- D =es el factor de distribución direccional.
- G =es el factor de crecimiento.

Con los datos previamente obtenidos, se procede a determinar el valor de ESAL, el cual expresa la cantidad de ejes equivalentes que soportara durante el periodo de diseño.

$$ESAL = \sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_o \times G \times D \times L \times 365 \times Y \quad (11)$$

Representa la sumatoria de la multiplicación del número de repeticiones de un vehículo por su respectivo EALF:

$$ESAL = \sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_o \quad (12)$$

1.2.8. Estudio de mecánica de suelos y canteras

El estudio de mecánica de suelos tiene como finalidad determinar las propiedades físico – mecánicas del terreno que conforma la subrasante, particularmente su capacidad de soporte, expresada mediante el módulo de resiliencia en pavimentos flexibles y el módulo de reacción en pavimento rígidos. De manera complementaria, el análisis de canteras se orienta a verificar la calidad del material granular destinado a las capas de la subbase y base del pavimento.

a. Subrasante

En el caso de los pavimentos flexibles, el módulo resiliente (Mr) puede estimarse mediante ecuaciones que lo relacionan con los valores obtenidos en el ensayo CBR, para los pavimentos rígidos, la metodología AASTHO-93 emplea un procedimiento muy distinto para determinar el módulo de reacción de la subrasante, aspecto que será desarrollado con mayor detalle más adelante.

b. Subbase

Según el Ministerio de Vivienda. 2010 (MTC), el CBR mínimo para una subbase granular debe ser del 40 %.

c. Base

según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 (MTC), establece que el material empleado en la base debe ajustarse a alguna de las franjas granulométricas definidas en la tabla correspondiente

Según el Ministerio de Vivienda (2010), el valor del CBR requerido para una base granular no debe ser inferior al 80 %

1.2.9. Estudio pluviométrico y meteorológico

Según los análisis del SENAMHI, el clima de la Región de Tacna se caracteriza por ser cálido, semiárido y húmedo, con precipitaciones muy limitadas que usualmente no superan los 900 mm. En el marco de la metodología AASTHO. se requiere definir el coeficiente de drenaje, el cual depende del porcentaje de tiempo en que el pavimento permanece próximo a la saturación, dicho porcentaje puede ubicarse en intervalos menores de 1 % entre 1 % - 5 %, entre 5 % -25 %, o superior al 25 %. Con base en esta información preliminar, se concluye que el pavimento en la zona de estudio está sometido a niveles de saturación superiores al 25 % del tiempo, debido a la variabilidad de las precipitaciones a lo largo del año.

1.2.10. Metodología AASTHO 93

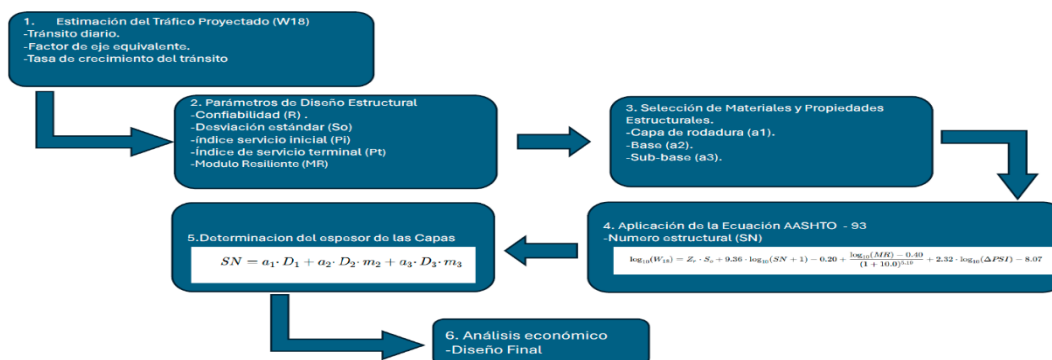
1.2.10.1. Diseño de pavimento flexible

a. Procedimiento de diseño

En la figura 9 se presenta el esquema del Proceso de Diseño de Pavimento flexible según AASTHO-93.

Figura 9

Proceso de diseño de pavimento flexible según AASTHO - 93



b. Variables de diseño

Tránsito de diseño; hace referencia a la cantidad de ejes equivalentes (ESAL), cuyo procedimiento de determinación ya fue expuesto anteriormente.

Confiabilidad; De acuerdo son AASTHO-93, este concepto alude a la probabilidad de que el pavimento desempeñe adecuadamente su función durante el periodo de servicio previsto, a continuación. se incluye una tabla con los valores recomendados por la metodología.

Es importante mencionar que el valor de confiabilidad no se ingresa directamente; este valor debe transformarse en un coeficiente estadístico denominado Desviación Normal Estándar (Z_r), la metodología AASTHO-93 propone los valores que se demuestren.

Desviación Estándar Combinada; conforme a los establecido por AASTHO - 93, corresponde a un parámetro que integra la variabilidad asociada a la estimación del tránsito y a otros factores que inciden en el desempeño estructural del pavimento. La metodología recomienda valores comprendidos ente 0,40 y 0,50 en este estudio se adopta un valor de 0,45

Este ensayo se asemeja a una prueba triaxial. ya que la muestra confinada es sometida a un esfuerzo desviador aplicado de forma cíclica. La magnitud de dicho esfuerzo está influida por la carga ejercida, la velocidad de aplicación y el nivel de confinamiento, lo que permite evaluar la relación entre tensiones impuestas y las deformaciones recuperables.

Serviciabilidad; Según AASTHO- 93, este concepto se refiere a nivel de comodidad que percibe el usuario durante la circulación, expresado en una escala de 0 a 5. En dicha escala, un valor de 5 representa una condición de máxima comodidad, mientras que un valor de 0 corresponde el nivel más bajo.

Coefficientes de drenaje; (AASHTO. 1993), se entiende como el vínculo entre la eficiencia del sistema de drenaje de la vía y el tiempo durante el cual la estructura del pavimento permanece sometida a condiciones de humedad.

Asimismo. también se incluyen los valores del coeficiente de drenaje según el tiempo de exposición a humedad cercana a la saturación.

Coefficientes estructurales de capa; (AASHTO. 1993) Lo delimita como una medición de la capacidad relativa de una unidad de espesor de un material definido para desempeñarse como un constituyente estructural del pavimento.

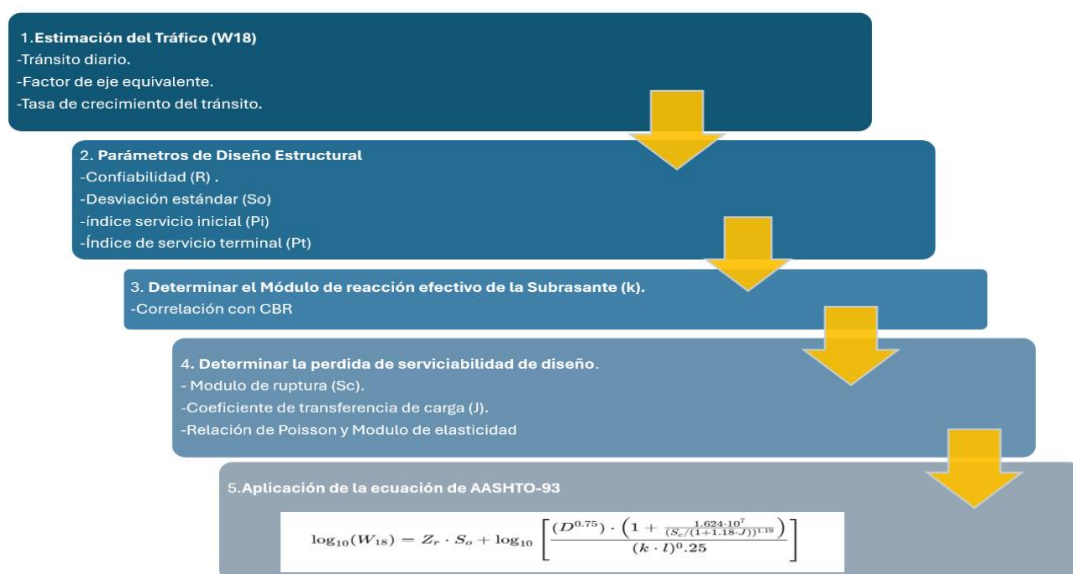
1.2.10.2. Diseño de pavimento rígido

a. Procedimiento de diseño

En la figura 10 se presenta el esquema del Proceso de Diseño de Pavimento rígidos según AASTHO-93

Figura 10

Proceso de Diseño de Pavimento rígidos según AASTHO-93



b. Variables de diseño

Tránsito de diseño; representa el número de ejes equivalentes (ESAL) previamente calculado y difiere del valor empleado en pavimentos flexibles.

Propiedades del concreto; para determinar el espesor del pavimento rígido se requieren dos parámetros esenciales asociados al comportamiento del concreto.

1.2.11. Evaluación económica

Según AASTHO – 93. se trata de un proceso de evaluación que sirve como fundamento para la toma de decisiones y que debe contemplar las restricciones de tiempo y recursos del diseño. así como la comparación entre distancias con respecto de la otra.

Para ello. es necesario adoptar un mismo periodo de análisis. seleccionado de modo que los factores comparados puedan definirse con un nivel razonable de

certeza, asimismo, se precisa señalar que dicha evaluación es independiente del método o la fuente de financiamiento del proyecto.

Del mismo modo, parte de los datos requeridos para desarrollar el análisis incluye datos sobre la operación de las carreteras, las flotas vehiculares, el clima, los estándares de conservación, entre otros. El software aborda la sectorización homogénea de la carretera a través de procedimientos de segmentación, que constituyen las unidades de análisis del sistema.

1.3. Definición de términos

1.3.1. Intercambio vial

Espacio donde dos o más vías se interceptan en distintos niveles, posibilitando todos los movimientos de cambio de dirección entre ellas y evitando conflictos en el flujo de tránsito vehicular (MTC. 2018).

1.3.2. Transitabilidad vehicular

Se describe como el nivel de desempeño de la infraestructura vial que asegura condiciones apropiadas para flujo vehicular eficiente durante un periodo determinado (MTC. 2018).

1.3.3. Diseño vial

Se describe como la adecuada articulación de los elementos geométricos de una carretera, orientada a garantizar una circulación eficiente y a mantener una velocidad de operación uniforme y coherente con las características propias de la vía (MTC. 2018).

1.3.4. Optimización de pavimento

Se definen como el proceso de evaluar el estado actual del pavimento con el propósito de optimizar los recursos destinados a las actividades de mantenimiento y rehabilitación, prolongando así su vida útil, para ello se consideran dos enfoques de análisis el funcional y el estructural Corros. et. al. (2019).

1.3.5. Pavimento flexible

Lo describe como pavimentos conformados por una capa de material bituminoso instalada sobre dos capas de soporte no rígidas; la base y la subbase. Dependiendo de las necesidades específicas del proyecto, se puede optar por prescindir de alguna de estas capas Monsalve, et. al, (2012).

1.3.6. Pavimento rígido

Indica que: “Estos pavimentos están hechos de concreto, y se denominan ‘rígidos’ debido a la losa de concreto que los forma”. Esta losa de concreto soporta la mayor parte de los esfuerzos causados por las repeticiones de los ejes equivalentes, y los transmite con menor intensidad a las capas subyacentes (MTC. 2014).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

2.1. Diseño de la investigación

Para el presente estudio mediante un análisis sustentado en técnicas estadísticas y en la interpretación de datos cuantificables, se pretende evaluar la eficiencia económica en la optimización de los pavimentos diseñados, considerando las variables involucradas en su desempeño y costos asociados. Se busca modelar y cuantificar las variables económicas y técnicas para identificar las soluciones de pavimentación que maximicen la relación costo – beneficio, en función de los criterios de durabilidad, resistencia y manteniendo a lo largo del ciclo de vida del pavimento.

2.2. Acciones y actividades

El tramo objeto de investigación, ubicado en el Distrito de la Yarada. específicamente en la Av. Hospicio, requiere una solución de pavimentación adecuada a las características de las funciones viales urbanas. La presente tesis tiene como objetivo el diseño de pavimento para la zona comprendida, aplicando el método AASHTO-93. y presenta dos propuestas de diseño de pavimento; pavimento rígido y pavimento flexible. Se llevará a cabo una verificación económica integral, considerando tanto los costos de ejecución como de mantenimiento y preservación durante el periodo de diseño.

Para ello, se empleará el software *presupuesto 4* para la estimación de los costos de obra y el Power Cost para la simulación de distintos escenarios considerando las condiciones de degradación y las medidas de preservación del pavimento, de acuerdo con los niveles de servicio establecidos y los estándares técnicos de manteniendo.

2.3. Materiales e instrumentos

2.3.1. Materiales

- Dos Laptop
- Impresora
- Útiles de escritorio
- Formatos de campo

- Aforos vehiculares
- Conos de seguridad
- Epp (Equipo de protección personal)
- Planos de ubicación y distribución

2.3.2. Instrumentos

- Ficha de registro
- Plantillas de trabajo de campo
- Hoja Excel
- cuerda
- Guía AASHTO 93

2.3.3. Servicios

- Impresiones A4
- Ploteo de planos
- Internet

2.4. Población y muestra de estudio

2.4.1. Población

La La población objeto de estudio de esta investigación comprende de 9 kilómetros de la Avenida Hospicio, en el Progresiva 00+000,00 hasta 09+000,00, en el Distrito de Yarada los Palos. Departamento de Tacna. 2025.

2.4.2. Muestra

El estudio abarca los 9 km del tramo proyectado de la Av. Hospicio desde la progresiva 00+000,00 hasta la 09+000,00, cuyo propósito es obtener un análisis completo, representativo y preciso, se ha decidido trabajar con toda la población del proyecto, lo que permite evaluar en detalle las condiciones reales de tránsito esperado y otros factores que influyen directamente en el diseño óptimo del pavimento, asegurando que las soluciones propuestas respondan fielmente a las necesidades de la investigación.

2.5. Operacionalización de variables

El Anexo 1, muestra la operacionalización de las variables de estudio. En ella, el diseño de pavimento se considera como variables independientes, abarcando sus características técnicas de tipo flexible o rígido, así como parámetros como el espesor de las capas y los materiales empleados, por otro lado, la variable dependiente corresponde a la optimización del diseño, la cual se evalúa a partir de aspectos como la durabilidad, la condición de pavimento y los requerimientos de mantenimiento, utilizando indicadores como la vida útil, el índice de servicialidad y la presencia de patologías.

2.6. Técnicas de procesamiento y análisis estadístico

La información obtenida será procesada conforme a los lineamientos establecidos en la metodología de diseño AASTHO-93, aplicable tanto a pavimento flexibles como rígidos. El tratamiento de los datos se llevará a cabo mediante el uso de hojas de cálculo, tablas de soporte, monogramas y herramientas informativas especializadas. Asimismo, se consideran las disposiciones de la norma CE.010 pavimentos Urbanos, pertinentes a la localización del proyecto, los resultados serán expuestos junto con la respectiva memoria de cálculo y su representación gráfica correspondiente.

En cuanto a la evaluación económica, se elaboró un presupuesto que consideró el análisis de precios unitarios de las partidas relacionadas con las etapas de construcción y mantenimiento. Para los costos de mantenimiento, se utilizó el software de gestión vial Power Cost, que permitió realizar una simulación predictiva del comportamiento de los pavimentos durante su vida útil.

2.6.1. Descripción de la intervención de campo

2.6.1.1. Pavimento flexible – AASTHO 1993

a. Tiempo de análisis

Este intervalo de diseño tiene como propósito garantizar que la estructura vial conserve su capacidad para resistir las cargas vehiculares previstas y los efectos ambientales propios de la zona, sin requerir reconstrucciones mayores, limitando las intervenciones únicamente a actividades de conservación y mantenimiento programado. De esta forma, la metodología asegura un dimensionamiento racional del pavimento, optimizando los recursos y prolongando su desempeño funcional

dentro de los parámetros de seguridad y durabilidad establecidos para la infraestructura vial.

De acuerdo con la clasificación establecida por la metodología AASHTO 93, las vías se categorizan según su función y volumen de tránsito, asociando a cada tipo un periodo de diseño convencional que suele oscilar entre 10 y 40 años. No obstante, para el presente estudio se adoptó un periodo de diseño de 20 años para la vía analizada. Esta elección, superior al rango típico, se fundamenta en el volumen de tráfico y las elevadas cargas proyectadas sobre el tramo, así como en la intención de garantizar un nivel de servicio durable mediante un programa de mantenimiento periódico y conservaciones planificadas. Al extender el horizonte de diseño se busca asegurar una respuesta estructural más robusta frente a solicitudes repetidas y condiciones operativas exigentes, proporcionando una mayor confiabilidad en la vida útil proyectada de la infraestructura vial, así como se muestra en la siguiente tabla 1.

Tabla 1

Procedimiento de diseño AASHTRO 1993 para pavimento rígido

Tipo de carretera	Periodo de diseño (Años)
Autopsia Regional	20-40
Troncales suburbanas	15-30
Troncales rurales	
Colectoras suburbanas.	10-20
Colectoras rurales	

b. Periodo de diseño

En base a (AASHTO), constituye una herramienta esencial dentro del proceso de evaluación y diseño estructural de pavimentos. Su inclusión en el presente estudio permite disponer de parámetros de referencia estandarizados, los cuales son indispensables para efectuar comparaciones coherentes entre distintas alternativas de diseño. Asimismo, estos valores normativos facilitan la validación técnica de los modelos estructurales analizados, asegurando la consistencia metodológica y la fiabilidad de los resultados obtenidos en la investigación. Así como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2*Tiempo de Diseño según la Metodología AASTHO*

Tipo de carretera	Periodo de diseño (años)
Autopsia regional	20,00 – 40,00
Troncales suburbanas, troncales rurales	15,00 – 30,00
Colectoras suburbanas, colectoras rurales	10,00 – 20,00

c. Carga de tráfico vehicular impuestos al pavimento (ESAL)

La estimación del tránsito vehicular se expresa mediante la determinación del Número Equivalente de Ejes Simple (ESAL, por sus siglas en inglés), parámetro fundamental en la metodología AASHTO 93. Este valor expresa el número de aplicaciones de carga equivalente a un eje simple doble rueda, operando bajo una carga estándar de 18.000 libras (8.2 tn) y permite cuantificar el efecto acumulado del tráfico sobre la estructura del pavimento durante su periodo de diseño. De esta manera, el ESAL constituye un indicador clave para estimar el deterioro progresivo del pavimento y definir las dimensiones estructurales requeridas para garantizar su desempeño y durabilidad en las condiciones operativas proyectadas.

d. Trafico

En esta fase se exponen los datos de tráfico recopilados, incluyendo el (IMDA), que representa el promedio de vehículos que circulan diariamente por la vía durante los 365 días o un año. Este parámetro resulta esencial para estimar la magnitud y composición del flujo vehicular, considerando tanto el tipo de vehículo como el peso promedio transmitido por eje. Siguiendo las recomendaciones metodológicas de la AASHTO (1993), se adoptó un periodo de observación de siete días consecutivos, con el propósito de garantizar una muestra representativa que refleje de manera confiable las condiciones reales de operación y permita proyectar adecuadamente el tránsito de diseño durante la vida útil del pavimento.

$$MD_S = \frac{V_D + V_L + V_M + V_M + V_J + V_V + V_S}{7} \quad (13)$$

El análisis del crecimiento vehicular constituye un componente esencial en la planificación y el diseño de la infraestructura vial, ya que permite anticipar las demandas futuras de tránsito y dimensionar adecuadamente las estructuras del pavimento. Las estadísticas nacionales permiten establecer tasas de crecimiento

vehicular confiables para las proyecciones de tránsito. Para la región de Tacna, se consideraron incrementos anuales de 2.13 % para vehículos ligeros y 2.36 % para vehículos pesados, valores que reflejan las tendencias históricas de movilidad en la zona. Estas tasas constituyen la base para proyectar el incremento progresivo del parque vehicular y su impacto en el volumen de tránsito futuro, lo cual influye directamente en el diseño estructural del pavimento, la capacidad de la vía y el nivel de servicio esperado. Incorporar estos parámetros en los modelos de diseño permite garantizar que la propuesta de infraestructura no solo satisfaga las condiciones actuales de operación, sino que también responda de manera eficiente a las exigencias de los próximos años. Asimismo, esta consideración fortalece el enfoque de sostenibilidad y resiliencia del proyecto, al prever los efectos del crecimiento vehicular sobre la durabilidad, funcionalidad y el nivel seguridad de la infraestructura vial. En síntesis, la aplicación de estas tasas de crecimiento vehicular contribuye a una planificación técnica más precisa, sostenible y alineada con el desarrollo económico regional, asegurando que las decisiones de diseño respondan de forma integral a las necesidades presentes y futuras de la población de Tacna. De acuerdo a la tabla 3, dicha información puede ser contrastada en los anexos 9 y 10 como se muestra a continuación:

Tabla 3

Tasa de crecimiento de vehículos ligeros y pesados anual

Región	Tasa de crecimiento de vehículo ligeros	Tasa de crecimiento de vehículos pesados
	TC (%)	PBI (%)
Amazonas	1,12	2,69
Ancash	1,13	1,49
Apurímac	2,90	4,50
Arequipa	1,83	2,97
Ayacucho	3,05	2,90
Cajamarca	2,77	1,45
Callao	1,17	3,07
Cusco	1,94	2,00
Huancavelica	1,10	3,03
Huánuco	2,04	2,62
Ica	2,61	2,84
Junín	2,40	2,21
La Libertad	2,61	2,54

Tabla 3 (continuación)

Región	Tasa de crecimiento de vehículo ligeros	Tasa de crecimiento de vehículos pesados
Lambayeque	2,40	2,34
Lima Provincia	2,61	1,48
Lima	1,45	3,69
Loreto	0,12	1,48
Madre de Dios	2,22	1,38
Moquegua	1,97	0,58
Pasco	1,72	0,39
Piura	2,38	2,37
Puno	2,47	2,58
San Martín	2,11	2,88
Tacna	2,13	2,36
Tumbes	0,81	2,40
Ucayali	1,73	2,25

e. Población futura de vehículos

La fórmula para estimar la población vehicular futura constituye un elemento fundamental en el análisis del crecimiento del parque automotor

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$$

(13)

Donde:

T_n: Tránsito proyectado al año "n" en veh/día

T_o: Tránsito actual (año base) en veh/día

r: Es la tasa de crecimiento anual

n: Año futuro de proyección

La fórmula empleada permite estimar el crecimiento del parque vehicular y establecer una base cuantitativa para proyectar la demanda de infraestructura y el impacto del tránsito a largo plazo.

Asimismo, la tabla correspondiente describe la distribución de cargas por categoría vehicular en pavimentos flexible. incorporando el IMDA, el tipo de eje, la cantidad de ruedas, la carga por eje y los factores de conversión necesarios para obtener las cargas equivalentes.

Estos parámetros son fundamentales para evaluar la resistencia y durabilidad del pavimento. Finalmente, la tabla 4 sintetiza el cálculo de ejes equivalentes según el peso de cada categoría vehicular, mostrando los valores de IMDA y el factor de carga flexible (f), evidenciando mayores contribuciones de los vehículos pesados y menores de los ligeros, información clave para un diseño vial ajustado al tránsito real de la zona.

Tabla 4

Calculo de ejes equivalentes (ESAL)

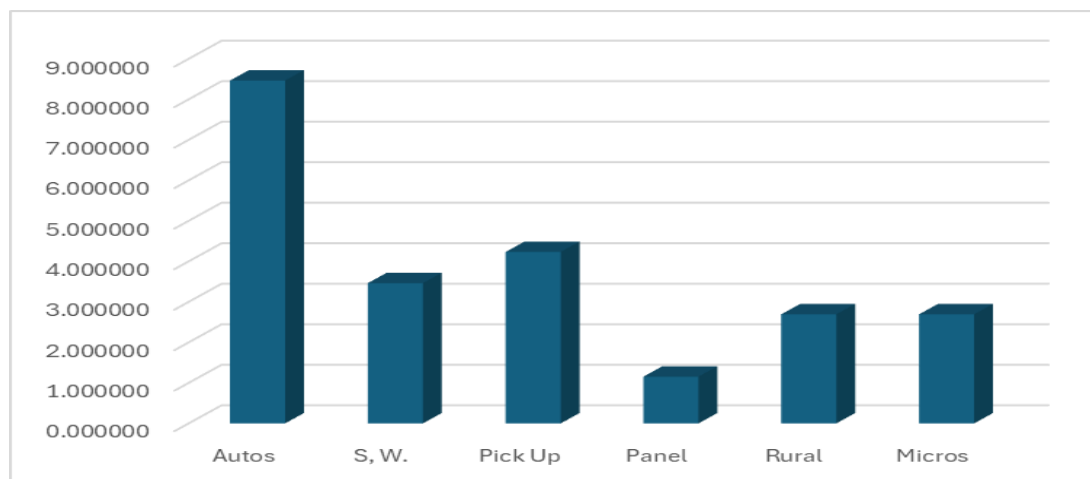
	Tipo de vehículo	IMDA	Tipo	Número	Carga	"f" P. Flexible	f. IMDA Flexible
Ligeros	Autos	8030,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	8,463893
		8030,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	8,463893
	S. W.	3285,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	3,462502
		3285,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	3,462502
	Pick Up	4015,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	4,231947
		4015,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	4,231947
	Panel	1095,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	1,154167
		1095,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	1,154167
	Rural	2555,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	2,693057
		2555,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	2,693057
	Micros	2555,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	2,693057
		2555,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	2,693057
	Autos	8030,00	Simple	2,00	1,00	0,000527017	8,463893

La figura 11 representa el factor flexible (F) correspondiente a distintos tipos de vehículos. En ella se aprecia que los vehículos clasificados como "Autos" presentan los valores más elevados. lo que evidencia una mayor carga por eje en comparación con categorías como "Pick Up", "S.W", "Panel", "Rural" y "Micros". Esta

ilustración facilita la comparación del impacto generado por cada tipo vehicular y contribuye a evaluar su incidencia en el diseño de la infraestructura vial.

Figura 11

Factor f flexible según categoría vehicular



Los resultados indican que los ómnibus con dos ejes (2E) generan el mayor efecto estructural sobre la superficie del pavimento. en contraste con los de tres ejes (3E), cuyo impacto es considerablemente menor. Esta evaluación permite cuantificar con precisión la influencia del tipo de vehículo en la respuesta estructural y en el proceso de diseño de la infraestructura vial. de acuerdo a la tabla 5.

Tabla 5

Determinación del número de ejes equivalentes (ESAL) a partir del peso

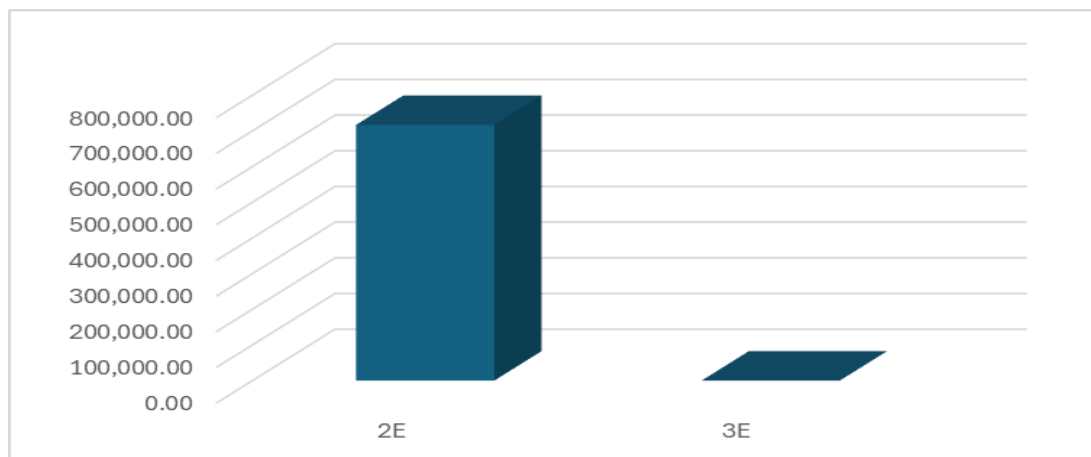
Tipo de vehículo		IMDA	Tipo	Número	Carga	"f" P. Flexible	f. IMDA Flexible
Ómnibus	2E	40461,97	Simple	2,00	1,00	1,265366749	102,398.46
		40461,97	Simple	4,00	1,00	3,238286961	524,109.88
	3E.	0,00	Simple	2,00	1,00	1,265366749	0,00
		0,00	Simple	6,00	1,00	1,365944548	0,00

El análisis del factor IMDA flexible aplicado a diferentes configuraciones de ómnibus evidencia variaciones notorias entre los sistemas de ejes simples y tándem. Entre ellas. la estructura denominada "2E Simple 4x11" presenta el valor más elevado, lo que indica un incremento en la carga transmitida a nivel de eje en comparación con las demás. Este comportamiento resulta determinante en la evaluación estructural del pavimento, ya que permite dimensionar adecuadamente las capas que conforman la vía. garantizando que la infraestructura mantenga su

durabilidad y funcionalidad frente al tránsito constante de vehículos pesados de acuerdo con la figura 12.

Figura 12

Factor f flexible según la categoría vehicular



Determinación de los ejes equivalentes para camiones se realizó considerando el peso transmitido por cada eje vehicular, incorporando parámetros como el Índice Medio Diario Anual (IMDA), el tipo y número de ejes, la carga aplicada y los factores de ajuste correspondientes al pavimento flexible (FP Flexible). Los datos evidencian que las configuraciones con más ejes alcanzan los valores más altos, destacando especialmente el tipo 3E Tridem, cuya carga aproximada de 23 toneladas genera un efecto estructural considerable sobre el pavimento. De acuerdo a la tabla 6 el análisis representa una parte fundamental del proceso de diseño, pues facilita la adecuación de las características del pavimento a las demandas del tránsito pesado, mejorando su rendimiento y extendiendo su vida de funcionamiento de la estructura vial.

Tabla 6

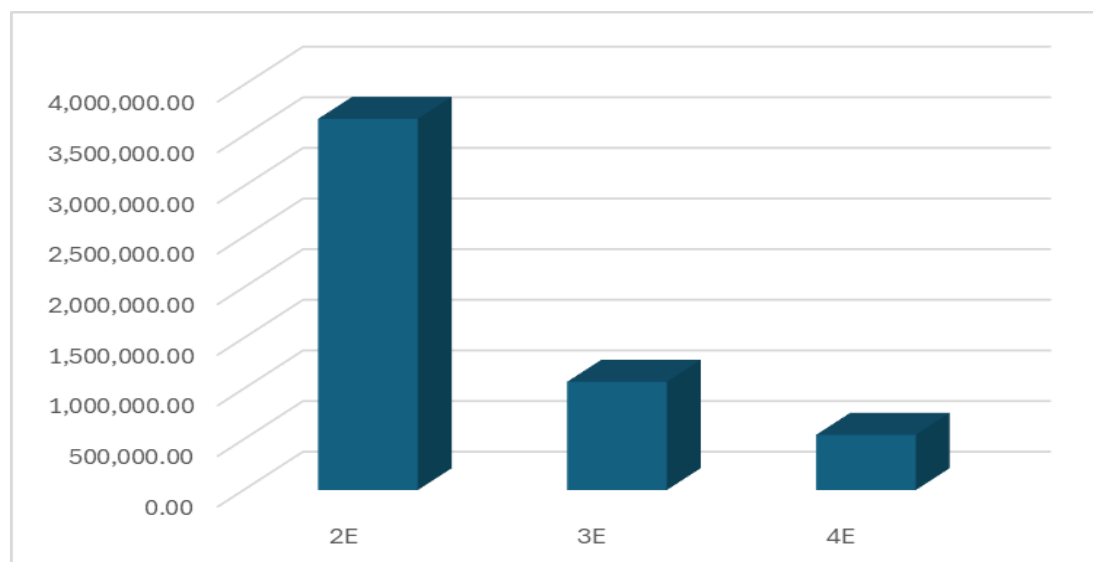
Evaluación del número de ejes equivalente en función de la carga aplicada

Tipo de vehículo	IMDA	Tipo	Número	Carga	"f" P. Flexible	f. IMDA Flexible
Camión	2E 207022,15	Simple	2,00	7,00	1,265366749	3'667,425.18
	207022,15	Simple	4,00	11,00	3,238286961	29'497,473.27
	3E 60393,71	Simple	2,00	7,00	1,265366749	1'069,882.63
	60393,71	Tándem	8,00	18,00	2,019213454	17'560,480.88
	4E 30827,09	Simple	2,00	7,00	1,265366749	546,105.98
	30827,09	Tándem	10,00	23,00	1,508183597	10'693,368.36

Se presenta los valores del factor IMDA flexible correspondientes a distintas configuraciones de camiones. Se observa que los vehículos con disposición “2E Simple 4x11” registran el factor más elevado, lo que refleja una carga por eje más elevada respecto a configuraciones como 3E Tándem 8x18 y 4E Trídem 10x23. Este comportamiento resalta la influencia de la configuración de ejes en la distribución de cargas sobre la superficie del pavimento, información que resulta fundamental para el diseño estructural de las capas viales. De acuerdo a la figura 13 el análisis permite establecer soluciones constructivas capaces de soportar adecuadamente el tránsito pesado, garantizando la resistencia, durabilidad y funcionalidad del pavimento a lo largo de su vida útil.

Figura 13

Coficiente F de flexibilidad según el tipo de vehículo

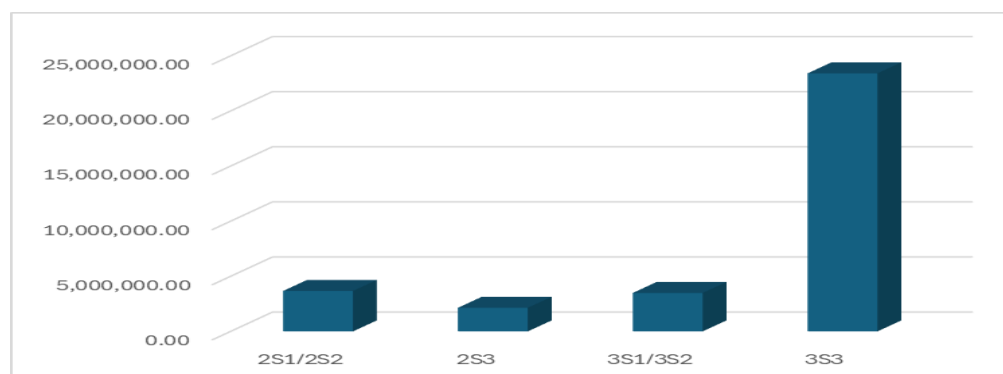


De acuerdo a la tabla 7 los resultados se obtienen mediante la aplicación del factor F. IMDA Flexible. el cual permite cuantificar el efecto estructural que estos vehículos generan sobre los pavimentos. Se evidencia que las configuraciones “2S3 con 4 llantas” registran los valores más elevados, reflejando una mayor carga transmitida por eje y, por tanto, un impacto más severo en la superficie de rodadura. En contraste. las configuraciones “3S1 con 2 llantas” presentan valores significativamente menores, lo que indica una distribución de carga más favorable. Este análisis reviste especial importancia para el diseño estructural de pavimentos, ya que posibilita dimensionar adecuadamente las capas viales a fin de resistir el tránsito pesado y reducir el deterioro progresivo a lo largo del tiempo.

Tabla 7*Determinación del número de ejes equivalentes en función de peso aplicado*

Tipo de vehículo	IMDA	Tipo	Número	Carga	"f" P. Flexible	f. IMDA Flexible	
Semi Tráylers	2S1/2S2	207022,15	Simple	2,00	7,00	1,265366749	3'667,425.18
		207022,1,5	Simple	4,00	11,00	3,238286961	29'497,473.27
		207022,15	Simple	8,00	11,00	3,238286961	58'994,946.54
	2S3	60393,71	Simple	4,00	7,00	1,265366749	2'139,765.25
		60393,71	Trídem	12,00	18,00	3,238286961	42'243,584.60
		60393,71	Simple	8,00	7,00	1,706026000	5'769,861.04
	3S1/3S2	30827,09	Tándem	8,00	7,00	2,019213000	3'485,801.39
		30827,09	Tándem	4,00	7,00	3,238286961	2'795,154.65
		30827,09	Simple	2,00	23,00	1,265366749	1'794,348.22
	3S3	207022,15	Tándem	8,00	7,00	2,019213000	23'409,221.41
	207022,15	Trídem	8,00	11,00	1,706026000	31'080,294.58	

La figura 14 las configuraciones 2S3 Simple 4x11 y 3S2 Tándem 8x18 destacan por presentar los valores más elevados de IMDA, lo cual refleja una mayor transferencia de esfuerzo al pavimento y, en consecuencia, un incremento en su deterioro potencial. Este estudio resulta fundamental para entender la relación entre la distribución de ejes, la cantidad de llantas y la respuesta del pavimento ante cargas dinámicas repetitivas, aportando criterios técnicos precisos para el dimensionamiento óptimo de estructuras viales flexibles, Asimismo, permite identificar los vehículos de mayor demanda estructural, de modo que se puedan definir espesores y materiales más adecuados para garantizar la longevidad del pavimento, disminuyendo así los costos futuros de mantenimiento y rehabilitación.

Figura 14*Factor f flexible por tipo de vehículo*

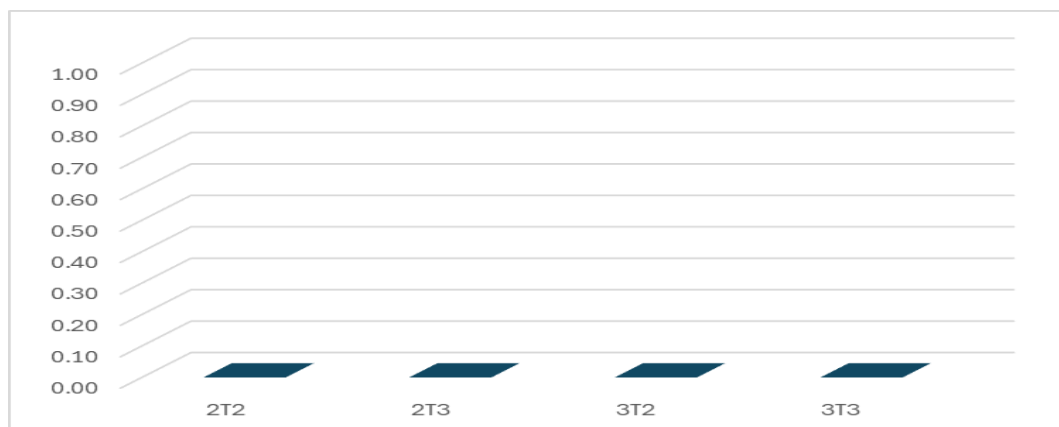
El análisis evidencia variaciones sustanciales existe una variación tanto con el IMDA como en la carga flexible de acuerdo con los tipos de vehículo. De acuerdo a la tabla 8, los tráileres tipo 2T3 destacan por mostrar los valores más elevados en ambos parámetros, sobre todo cuando disponen de ejes Tándem, alcanzando valores representativos en sistemas con cuatro llantas, lo que denota un impacto estructural considerable sobre el pavimento. En contraste, ciertas configuraciones como los tráileres tipo “3T2”, cuyos valores de IMDA son prácticamente nulos, muestran una mínima incidencia en el daño acumulado del pavimento, siendo por ello consideradas estructuralmente más favorables para el desempeño y durabilidad de la estructura física destinada al tránsito vehicular y peatonal.

Tabla 8

Estimación del número de ejes equivalentes según el peso del vehículo

	Tipo de vehículo	IMDA	Tipo	Número	Carga	“f” P. Flexible	f. IMDA Flexible
Tráilers	2T2	0.00	Simple	2,00	7,00	1,265366749	0,00
		0,00	Simple	4,00	1,00	3,238286961	0,00
		0,00	Simple	4,00	11,00	3,238286961	0,00
	2T3	0,00	Simple	4,00	11,00	3,238286961	0,00
		0,00	Tándem	4,00	18,00	3,238286961	0,00
		0,00	Simple	8,00	7,00	2,019213000	0,00
	3T2	0,00	Tándem	8,00	18,00	2,019213000	0,00
		0,00	Simple	4,00	11,00	3,238286961	0,00
		0,00	Simple	2,00	11,00	3,238286961	0,00
	3T3	0,00	Tándem	8,00	18,00	2,019213000	0,00
		0,00	Simple	4,00	11,00	3,238286961	0,00
		0,00	Tándem	4,00	18,00	2,019213000	0,00

La figura 15 ilustra el factor IMDA flexible correspondiente a diversas configuraciones de remolques, evidenciando diferencias notables en el nivel de impacto estructural generado por cada ajuste. Destacan particularmente las configuraciones “2T3 Simple 4x11” y “3T2 Tándem 8x18”, las cuales registran los valores más elevados, reflejando una mayor presión transmitida al pavimento y, por ende, un mayor potencial de deterioro. Este análisis permite comparar de manera directa la influencia de distintas configuraciones de ejes y llantas sobre el comportamiento del pavimento, aportando información esencial para la optimización del diseño vial, la planificación del mantenimiento preventivo y la mejora de la durabilidad y sostenibilidad de las carreteras durante un periodo extendido.

Figura 15*Factor f flexible por tipo de vehículo*

Las variables fundamentales empleadas dentro del proceso de diseño de pavimento flexible, considerando aspectos técnicos y de proyección de tránsito. Entre los parámetros más relevantes se incluyen la proyección anual de incremento del parque de vehículos pesados y un periodo de diseño de 20 años y el factor de equivalencia F_{ca} aplicado a este tipo de vehículos. El modelo de diseño contempla una vía compuesta por dos calzadas separadas con un separador central y dos sentidos de circulación, cada uno con un carril, configuración que posibilita una estimación precisa de carga total acumulada a lo largo de la vida útil del pavimento y garantizar su desempeño estructural ante las condiciones de tráfico proyectadas.

f. Conteo de tipos de vehículos para el cálculo de IMDA

El anexo 2, anexo 3, anexo 4, anexo 5, anexo 6, anexo 7 y anexo 8 presenta el análisis del IMDA semanal, se desarrolla a partir de un estudio de campo orientado al conteo y evaluación de la transitabilidad vehicular. Durante este proceso, el tesista registra con precisión la frecuencia, tipología y distribución de los vehículos que circulan por la vía, datos esenciales para el cálculo del Índice de Magnitud de Daño Acumulado (IMDA), Este procedimiento permite cuantificar el efecto del tránsito sobre la estructura del pavimento, facilitando la estimación de su capacidad portante y durabilidad frente a las cargas de tráfico estimadas para todo el periodo de servicio del pavimento.

Figura 16

Estudio de Tráfico Vehicular – Avenida Hospicio



La figura 16 muestra el registro fotográfico realizado durante el trabajo de campo para la verificación de las condiciones de la vía. El equipo de la tesis se encuentra en el tramo de estudio, portando la ficha de identificación de la actividad. Se observa el uso de equipo de protección personal y señalización vial. Esta actividad permitió validar los datos obtenidos in situ, necesarios para el diseño y análisis del pavimento. El registro de evidencia IMDA para ESAL, se muestra en el para el cumplimiento de los procedimientos metodológicos establecidos para la investigación.

Figura 17

Estudio de Tráfico Vehicular – Avenida Hospicio



La figura 17 evidencia la actividad de conteo vehicular desarrollada en campo como parte del estudio de tránsito. El equipo de tesis registra manualmente el paso

de vehículos sobre la vía, empleando equipo de protección personal y aplicando el protocolo metodológico correspondiente. En la escena se observa el tránsito de un tractor, representativo del flujo vehicular local. Esta labor permitió obtener datos precisos para el cálculo del IMDA y el análisis de la carga vehicular sobre el pavimento.

Figura 18

Estudio de Tráfico Vehicular – Avenida Hospicio



La figura 18 muestra el desarrollo del conteo vehicular en campo, donde el equipo de tesis registra manualmente los datos de tránsito en una ficha técnica, La actividad se realiza bajo condiciones controladas y con el uso de equipo de protección personal, garantizando la precisión y seguridad del procedimiento. En el registro se observa el paso de un camión de carga ligera, representativo del flujo vehicular predominante en la zona. Esta labor constituye una etapa esencial para el análisis del IMDA y la evaluación del impacto del tráfico en el diseño de pavimentos, asimismo, los datos recolectados en campo se presentan en el Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7 y Anexo 8, los cuales comprenden registros de IMDA de lunes a domingo, garantizando la representatividad del flujo vehicular.

g. Nivel de confiabilidad (R)

La Tabla 9 presenta el nivel de confiabilidad considerando en el diseño de pavimentos flexibles, determinado en función de la categoría funcional de la vía. Este parámetro resulta esencial para asegurar un comportamiento estructural adecuado frente a las variaciones del tránsito y las condiciones ambientales. En el caso de arterias

principales, se recomiendan niveles de confiabilidad entre 80 % y 99 % para zonas urbanas, y entre 75 % y 95 % para áreas rurales, evidenciando la importancia de ajustar dicho valor según las exigencias del entorno. Para el presente estudio, se seleccionó un nivel de confiabilidad del 75 %, criterio que busca garantizar un desempeño óptimo, prolongar la vida útil del pavimento y reducir el riesgo de fallas prematuras. Esta elección responde a la necesidad de mantener altos estándares de calidad y seguridad estructural frente al tránsito pesado proyectado y las condiciones operativas locales.

Tabla 9

Nivel de Confiabilidad de pavimento flexible

Clasificación funcional de la vía	Nivel recomendado de confiabilidad (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas	85,00 – 99,90	80,00 – 99,90
Arterias principales	80,00 – 99,00	75,00 – 95,00
Colectoras	80,00 – 95,00	75,00 – 95,00
Locales	50,00 – 80,00	50,00 – 80,00

h. Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (ZR)

La Tabla 10 presenta los valores de la desviación estándar normal (ZR) asociados a distintos niveles de confiabilidad (R), fundamentales en el proceso relativo al dimensionamiento estructural de pavimentos flexibles. Para el presente estudio, se adoptó un nivel de confiabilidad del 75 %, correspondiente a un valor de $ZR = -0,674$, lo que permite incorporar de manera precisa la variabilidad de los factores que intervienen en el comportamiento del pavimento. Este parámetro resulta crucial para ajustar los cálculos de diseño considerando las fluctuaciones tanto en las cargas de tránsito como en las propiedades de los materiales que integran la estructura, La confiabilidad garantiza un desempeño estructural estable y predecible, reduciendo el riesgo de fallas prematuras bajo condiciones reales de servicio. De esta manera, el enfoque metodológico adoptado refuerza la durabilidad y eficiencia funcional del pavimento, optimizando el uso de los recursos técnicos y económicos destinados al proyecto y asegurando una infraestructura más segura y sostenible a lo largo de su vida útil.

Tabla 10*Desviación Estándar del Pavimento Flexible*

Confiabilidad (R)	Valor de ZR
50,00	-0,00
60,00	-0,253
70,00	-0,524
75,00	-0,674
80,00	-0,841
85,00	-1,037
90,00	-1,282
91,00	-1,340
92,00	-1,405
93,00	-1,476
94,00	-1,555
95,00	-1,645
96,00	-1,751
97,00	-1,881
98,00	-2,054
99,00	-2,327
99,90	-3,090
99,99	-3,750

i. Desviación estándar combinado (So)

La Tabla 11 presenta desviación estándar combinada. en el diseño de pavimentos flexibles, integra la variabilidad de las cargas de tráfico y las propiedades de los materiales estructurales empleados en la estructura. Este valor sintetiza las incertidumbres inherentes al comportamiento real del pavimento, ofreciendo una visión global de su desempeño frente a condiciones de servicio diversas. Para el presente estudio, se empleó una desviación estándar combinada igual a 0,45, valor que equilibra de manera adecuada la variabilidad esperada del tránsito y la respuesta de los materiales. Dicha selección garantiza un diseño estructural más robusto y confiable, capaz de mantener su funcionalidad ante variaciones no previstas durante su vida útil. La inclusión de este parámetro en la metodología de diseño refuerza la precisión y seguridad del cálculo estructural, contribuyendo directamente a la durabilidad, eficiencia y sostenibilidad del pavimento propuesto.

Tabla 11*Desviación estándar combinado*

Condición del diseño	Pavimento flexible	Pavimento rígido
Variaciones en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tráfico.	0,35	0,25
Variaciones totales en la predicción comportamiento del pavimento y estimaciones del trafico	0,45	0,35

j. Índice de serviciabilidad según rango de tráfico (P_i , P_t)

La Serviciabilidad de un pavimento se define como su capacidad para mantener un nivel adecuado de desempeño estructural y funcional frente a las exigencias del tránsito para las cuales fue concebido. Este comportamiento se cuantifica mediante los índices de Serviciabilidad inicial (p_0) y final (p_t), cuyos valores oscilan entre 0 y 5, representando el estado del pavimento desde su construcción hasta el final de su vida útil. La pérdida de Serviciabilidad (ΔPSI) se obtiene de la diferencia entre ambos índices y constituye un parámetro clave dentro del método de diseño AASHTO, ya que permite estimar el deterioro esperado en función de las cargas vehiculares y el nivel de tráfico proyectado. Este enfoque proporciona una herramienta precisa para predecir el comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo, optimizando su diseño para asegurar una adecuada durabilidad, confort y seguridad vial.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

$$\Delta PSI = 3,8 - 2$$

$$\Delta PSI = 1,8 \quad (15)$$

Donde:

ΔPSI : Pérdida de servicialidad.

p_0 : Serviciabilidad valor inicial en función del rango de tráfico.

p_t : Serviciabilidad valor final en función del rango de tráfico

k. Suelo de la subrasante (CBR)

La Tabla 12 presenta los valores del Índice CBR (California Bearing Ratio) obtenidos mediante de los ensayos realizados en diversas calicatas del tramo en estudio. Los resultados varían entre 11,00 % y 15,50 %, con un promedio de 13,25 %, lo que indica una capacidad portante media del suelo subrasante. A partir de estos valores, se calcula el módulo de resiliencia, parámetro que cuantifica la respuesta elástica del suelo ante cargas repetidas, siendo fundamental para el diseño estructural del pavimento. Esta variabilidad moderada en los valores de CBR evidencia diferencias locales en la compactación y composición del terreno, factores que deben ser incorporados en el modelo de diseño para asegurar una estructura vial estable, duradera y acorde con las condiciones reales del terreno.

Tabla 12

Valores de CBR promedio

Calicata	Progresiva	CBR 95%
C – 01	0+015	
C – 02	1+000	
C – 03	2+000	12,5
C – 04	3+000	
C – 05	4+000	
C – 06	5+000	11
C – 07	6+000	
C – 08	7+000	
C – 09	8+000	
C – 01	9+000	15,5
Promedio		13,25

l. Módulo de resiliencia de la subrasante M_r (psi)

El módulo resiliente constituye un parámetro fundamental en el diseño estructural de pavimentos, ya que expresa la capacidad del material para soportar y recuperar su forma frente a cargas aplicadas de manera repetitiva. Este valor, obtenido a partir del índice CBR, permite cuantificar la resistencia y elasticidad del suelo subrasante y de las distintas capas del pavimento. Su correcta determinación es esencial para predecir el comportamiento del pavimento ante el tránsito vehicular, optimizando el espesor y la composición de las capas estructurales. De este modo, el módulo resiliente contribuye directamente a lograr una infraestructura más duradera, estable

y eficiente, reduciendo el riesgo de fallas prematuras y los costos de mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto.

$$Mr(\text{psi}) = 2555 \times CBR^{0.64}$$

$$Mr(\text{psi}) = 2555 \times 13.3^{0.64}$$

$$Mr(\text{psi}) = 13386.16 \quad (16)$$

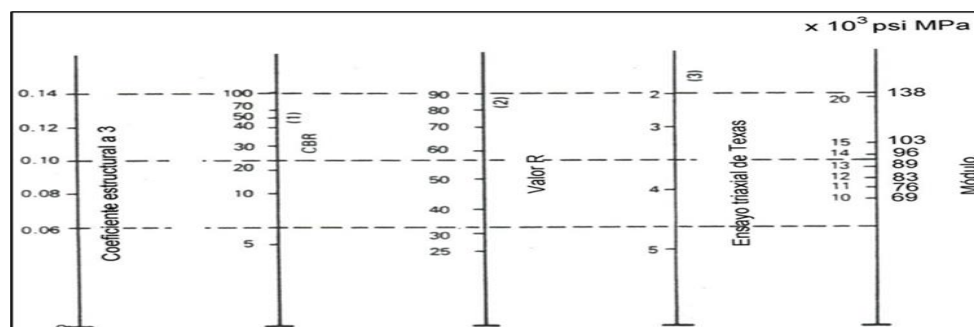
m. Determinación de los coeficientes estructurales de capa (a₁, a₂, a₃)

La determinación de los coeficientes estructurales de capa (a₁, a₂, a₃) se efectuó conforme a los lineamientos de la Guía de Diseño AASHTO 1993, mediante el uso de los ábacos específicos que relacionan dichos coeficientes con parámetros geotécnicos como el CBR, el valor R y los resultados del ensayo triaxial de Texas. Estos coeficientes permiten cuantificar el aporte estructural de cada capa del pavimento en la capacidad total del sistema vial.

En particular, el coeficiente estructural de la subbase granular (a₃) fue determinado a partir de los resultados experimentales obtenidos en campo y laboratorio. La Figura 19 muestra el procedimiento de selección del coeficiente a₃ = 0,047, valor que indica una capacidad estructural limitada para esta capa, acorde con materiales de resistencia media a baja. Este valor sugiere que la subbase presenta un desempeño estructural modesto, por lo que el diseño debe contemplar capas superiores más resistentes que compensen su contribución reducida, garantizando así la estabilidad, durabilidad y desempeño adecuado del pavimento a lo largo de su vida útil.

Figura 19

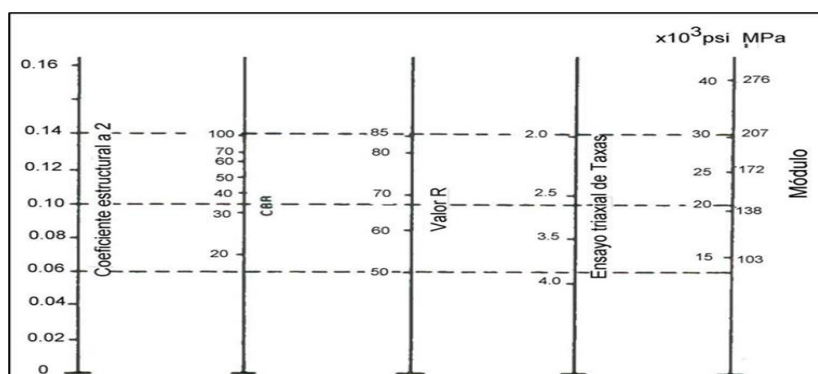
Elección del coeficiente estructural de la sub base granular "a3"



La figura 20 muestra la selección del coeficiente estructural de la base granular (a_2), determinado en función de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y los criterios establecidos por la Guía AASHTO 1993. En el caso de una base granular con un CBR de 60% y compactada al 100% de la MDS, el valor obtenido de a_2 fue 0,054, el cual representa un aforo estructural moderado dentro del sistema del pavimento. Este valor evidencia que la base granular proporciona suficiente resistencia para permitir la correcta distribución de las cargas vehiculares hacia las capas inferiores, sustentada en sus propiedades mecánicas derivadas del valor R, así como los resultados obtenidos del ensayo triaxial y del módulo de elasticidad, Dicho coeficiente permite optimizar el desempeño estructural del pavimento, garantizando un equilibrio entre rigidez, durabilidad y capacidad de soporte a largo plazo.

Figura 20

Selección del coeficiente estructural de la subbase granular “a2”

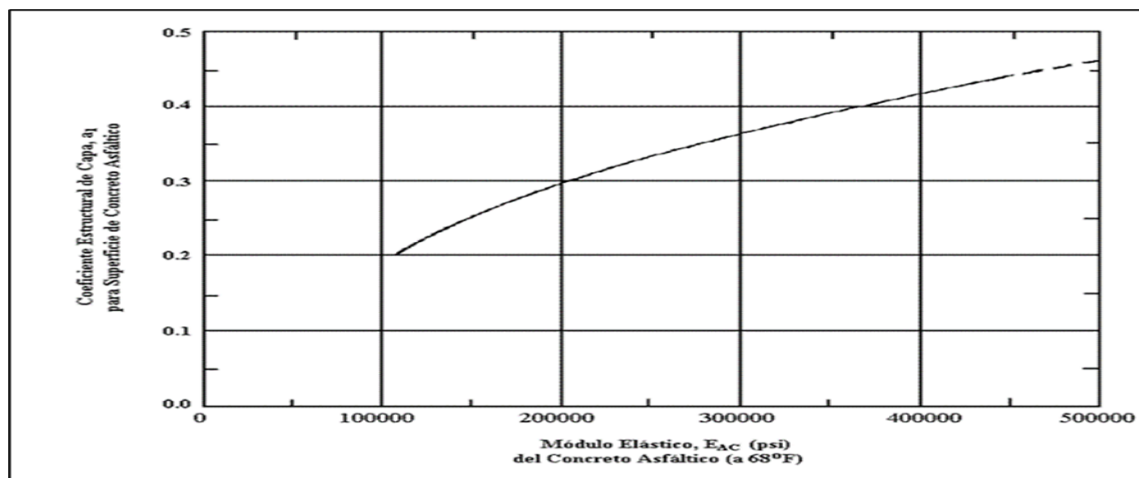


En esta parte se expone el procedimiento para determinar el coeficiente estructural a_1 correspondiente a la carpeta asfáltica, el cual depende directamente del módulo elástico del concreto asfáltico (E_{ac}), parámetro fundamental que mide la rigidez y capacidad del material para resistir deformaciones bajo carga repetitiva. Conforme a los criterios establecidos en la metodología AASHTO (1993), se seleccionó el resultado de a_1 de acuerdo del módulo elástico obtenido.

La Figura 21 representa la selección de dicho coeficiente, donde para un $E_{ac} = 430,000$ psi, se determinó un valor de $a_1 = 0,170$. Este valor evidencia una alta capacidad de la carpeta asfáltica para distribuir eficazmente las cargas vehiculares, contribuyendo significativamente a la estabilidad, durabilidad y desempeño estructural del pavimento a lo largo de su vida útil.

Figura 21

Selección del coeficiente estructural de la sub base granular "a1"



La Tabla 13 presenta los valores adoptados para los parámetros estructurales de las capas del pavimento (a_1 , a_2 , a_3), definidos conforme en función de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y las recomendaciones de la metodología AASHTO 1993. La capa superior, correspondiente a la carpeta asfáltica en caliente, cuenta con un módulo de elasticidad de 2,965 MPa (430,000 PSI) a una temperatura estándar de 20 °C (68 °F), lo que la hace adecuada para resistir las solicitaciones de tráfico previstas en el diseño.

El coeficiente estructural $a_1 = 0,170$ refleja su alta capacidad para distribuir las cargas vehiculares, mientras que su espesor recomendado de 0,170 m garantiza un desempeño óptimo frente a las condiciones de servicio esperadas, proporcionando una superficie durable, estable y resistente a la fatiga.

Tabla 13

Valores tomados para (a_1 , a_2 , a_3)

Capa superficial a_1	Base a_2	Subbase a_3
Capeta asfáltica en caliente. modulo 2.965 Mpa (430.000 PSI) a 20°C (68 °F)	Base Granular CBR 100%. compactada al 100% de la MDS Capa de Base recomendada para trafico>5'000,000 EE	Sub Base Granular CBR 40%. compactada al 100% de la MDS Capa de Sub Base recomendada para trafico>15'000,000 EE
0,170	0,054	0,047

n. Coeficiente de drenaje

Según la Tabla 14 enseña la relación entre el periodo de drenaje (T_{50}) y la calidad, conforme a la tipificación propuesta por AASHTO -1993, Se evidencia que un drenaje de excelente calidad presenta tiempos de evacuación del agua entre 2 y 4 horas, siendo 2 horas el valor óptimo recomendado. En contraste, los drenajes regulares y deficientes exhiben tiempos significativamente mayores, variando entre 3 y 6 días y los periodos de 18 y 36 días se consideran dentro de esta categoría, por último, la categorización de drenaje como muy malo se asigna a periodos mayores a 36 días, cuando el sistema pierde su funcionalidad. Esta clasificación resalta la relevancia del drenaje adecuado como factor determinante para mantener la integridad estructural y la vida útil del pavimento, reduciendo el riesgo de fallas prematuras causadas por la acumulación de humedad.

Tabla 14

Relación entre tiempo de drenaje y calidad de drenaje

Calida de drenaje	T50 calculado	T50 recomendado
Excelente	2,00 – 4,00 horas	2,00 horas
Bueno	0,50 – 1,00 dia	1,00 dia
Regular	3,00 – 6,00 días	7,00 días
Malo	18,00 – 36,00 días	1,00 mes
Muy malo	>36,00 días	No drena

La Tabla 15 presenta los coeficientes de drenaje determinados en función de la eficiencia del sistema de drenaje y el porcentaje de periodo durante el cual el pavimento permanece sometido a condiciones de contenido de agua elevada o cercana a la humedad máxima. Cuando la capacidad de drenaje es considerada excelente, los coeficientes oscilas de 1,40 a 1,20 reflejando un desempeño óptimo en la evacuación del agua. Sin embargo. conforme la eficiencia del drenaje se reduce. clasificándose como regular, malo o muy malo, los valores de los coeficientes descienden progresivamente hasta un rango de 1,15 a 0,40. Un drenaje deficiente disminuye la resistencia del pavimento y acelera su deterioro, por lo que es crucial asegurar un drenaje eficaz para mantener su durabilidad y funcionamiento de la vía.

Tabla 15*Coefficiente de drenaje*

Capacidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.			
	Menos del 1%	1% a 5%	5% a 25%	Más del 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
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Malo	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy malo	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

La Tabla 16 muestra el factor de drenaje adoptado para el modelamiento del pavimento flexible, considerando las características de flujo de agua y permeabilidad de las capas del suelo. En este caso, se asignaron valores de $m_2 = 1,00$ y $m_3 = 1,00$, lo que representa un comportamiento óptimo de drenaje dentro de la estructura del pavimento. Este resultado implica que no se producen reducciones en la capacidad estructural atribuibles a la presencia o retención de humedad. El factor de drenaje, por tanto, garantiza que las capas del pavimento mantengan su integridad y desempeño mecánico, asegurando una adecuada evacuación del agua y preservando la durabilidad y eficiencia del diseño a lo largo de su vida útil.

Tabla 16

Coefficiente de drenaje elegido para el diseño del pavimento flexible

Factor de drenaje	
m^2	1,00
m^3	1,00

o. Cálculo de espesores

La Tabla 17 se presentan los espesores mínimos según el tráfico en ESAL. siguiendo la guía AASTHO 93; para tránsito bajo < 50,00 ESAL se sugiere 1" in de carpeta asfáltica y 4" in de pavimento y 6" in de base granular para un tránsito superior de 376,697 ESAL. Esta relación entre tráfico y espesor asegura que el pavimento cuente con la resistencia estructural y durabilidad necesarias para soportar cargas crecientes sin comprometer su desempeño ni su vida útil.

Tabla 17
Espesores mínimos en función al ESAL

Tráfico (ESAL)	Espesor Mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos -50.000	1,00	4,00
50,000 – 150,000	2,00	4,00
150,000 – 500,000	2,50	4,00
500,000 – 2'000,000	3,00	6,00
2'000,000 – 7'000,000	3,50	6,00
Mayor de 7'000,000	4,00	6,00

p. Cálculo del número estructural (SNR)

La fórmula utilizada para calcular el Número Estructural Requerido (SNR) según la metodología AASHTO 1993, considerando los espesores mínimos de las capas del pavimento flexible, se expresa de la siguiente manera:

$$SNR = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3 \quad (14)$$

Donde:

SNR: Número estructural requerido del pavimento.

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de las capas (superior, base y subbase).

D_1, D_2, D_3 : Espesores de cada capa, expresados en pulgadas.

m_2, m_3 : Factores de drenaje de las capas granular y subbase. respectivamente.

Esta fórmula permite determinar la capacidad estructural total del pavimento flexible. combinando la contribución de cada capa (carpeta asfáltica, base y subbase) según sus características mecánicas y condiciones de drenaje.

El valor obtenido del SNR se compara con el Número Estructural requerido (SNR) obtenido del diseño. asegurando que el pavimento cumpla con las condiciones de carga y durabilidad proyectadas.

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

$$SNR = 0.17 * 5 + 0.054 * 17 * 1 + 0.047 * 15 * 1$$

$$SNR = 2.6107$$

(15)

En la verificación del Número Estructural Requerido (SNR). se aplica la ecuación de diseño AASHTO 1993 para pavimentos flexibles, la cual relaciona el número estructural con las condiciones de carga, resistencia del suelo de fundación, confiabilidad y pérdida de Serviciabilidad.

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

$$SNR = 2.122$$

(16)

q. Comparación del SNR resultante con el requerido

La Tabla 18 presenta la comparación entre el Número Estructural Resultante (SNR) y el Número Estructural Requerido, de acuerdo con el procedimiento de diseño AASHTO 1993.

El SNR obtenido. con un valor de 2,6107, supera al SNR requerido, que es de 2,122, evidenciando que el diseño propuesto satisface plenamente los requisitos estructurales establecidos para el pavimento.

Este resultado confirma que las capas del paquete estructural —carpeta asfáltica, base y subbase— proporcionan la resistencia y rigidez necesarias para soportar las cargas vehiculares estimadas en términos de Ejes Equivalentes de Servicio (ESAL) durante el período de diseño.

En consecuencia, el pavimento diseñado presenta un desempeño esperado adecuado, asegurando tanto la durabilidad como la estabilidad funcional frente a las condiciones de tránsito y carga previstas.

Tabla 18

Comparación del SNR resultante con el requerido

SNR (Requerido)	2,122	Debe cumplir SNR (Resultado)>SNR (Requerido)
SNR (Resultado)	2,6107	Si cumple

r. Diseño final de la estructura del pavimento para el proyecto

La figura 22 presenta el diseño final de la estructura del pavimento flexible, conformada por capas que garantizan un adecuado desempeño estructural y funcional durante su vida útil,

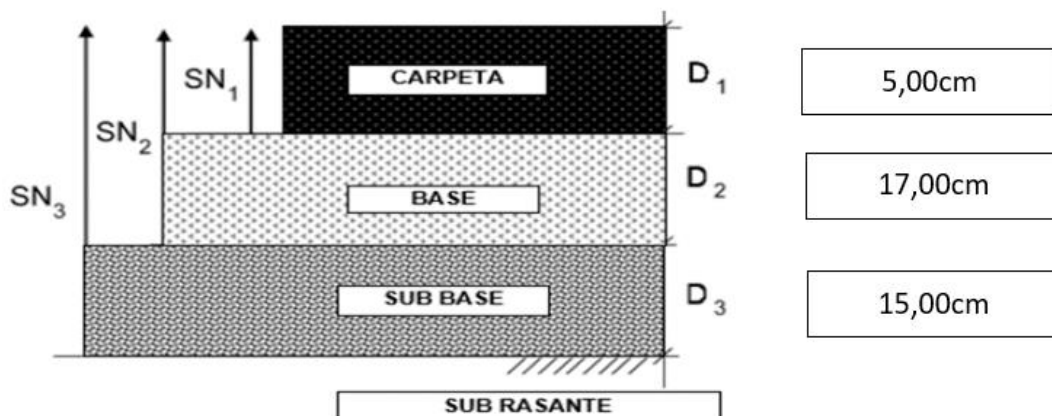
La estructura propuesta se compone de los siguientes elementos:

- Carpeta Asfáltica: 5,00 cm de espesor, Actúa como la capa de rodadura y distribución primaria de las cargas vehiculares, proporcionando impermeabilidad y resistencia al desgaste superficial.
- Base Granular: 17,00 cm de espesor, Transfiere las cargas desde la carpeta asfáltica hacia la subbase, asegurando una adecuada capacidad estructural y contribuyendo a la estabilidad general del pavimento.
- Subbase Granular: 15,00 cm de espesor, Sirve como capa de transición entre la base y la subrasante, mejorando el drenaje y reduciendo los esfuerzos transmitidos al terreno natural.
- Subrasante Compactada: Constituye el soporte natural del pavimento, previamente acondicionada y compactada para garantizar una distribución uniforme de las cargas.

Esta configuración estructural cumple con los requisitos de capacidad portante y número estructural (SNR) determinados en el diseño, asegurando la durabilidad, estabilidad y desempeño adecuado del pavimento flexible frente a las condiciones de tránsito proyectadas.

Figura 22

Diseño del pavimento flexible



2.6.1.2. Pavimento rígido – AASTHO 1993

En los estudios de pavimento rígidos. la estimación del espesor de las losas de concreto constituye una etapa fundamental. Este proceso depende directamente de las condiciones operativas previstas. entre ellas el IMDA expresado en ejes equivalentes, la capacidad portante del terreno representada por el CBR, el nivel de

serviciabilidad requerido durante la vida útil y los parámetros de confiabilidad y desviación estándar. Estos factores permiten definir una estructura que garantice desempeño, durabilidad y seguridad bajo las sollicitaciones proyectadas.

a. Carga de tráfico vehicular impuestos al pavimento ESAL (W18)

La variable W18 se interpreta como la cantidad de aplicaciones de un simple equivalente de 8,2 tn que afecta al pavimento durante un año en la vía. Este parámetro sirve para estimar la sollicitación estructural generada por el tránsito pesado y constituye el comienzo de partida para calcular el desgaste acumulado a lo largo del periodo de servicio de la vía.

El factor de crecimiento de tráfico incorpora el aumento progresivo de vehículos pesados que se espera durante la vida útil del pavimento. Dicho factor depende directamente de la tasa anual de crecimiento de tránsito (r) y del número de años de servicio proyectado (n) (véase tabla 19).

Tabla 19

Resumen de ESAL (EE) a 20 año de Pavimento Rígido

Estacion	Ubicación	Esal de diseño (EE) a 20 años para Pavimento Rígido
IMD - 01	AV.HOSPICIO TRAMO 00+000 AL 09+000	466770,96

b. CBR de la subrasante (%)

La tabla 20 presenta el estudio del CBR promedio de la subrasante. obteniéndose un valor de 13,3 %. este resultado procede del análisis de las muestras representativas extraídas a lo largo del tramo evaluado y refleja la capacidad portante del suelo en estado natural.

El valor alcanzado permite caracterizar la subrasante como un material con resistencia moderada. adecuada para sustentar el diseño estructural del pavimento proyectado. como siempre que se consideren los espesores y tratamientos correspondientes para garantizar su desempeño durante la vida útil prevista de 20 años.

Tabla 20
CBR por calicata cada kilometro

Calicata n°	Progresiva	Tramo	Profundidad D(m)	Limite Líquido %	Limite Plástico %	Índice plástico %	AASTHO	Densidad máxima gr/cm ³	EQ arena %	CBR 95%	CBR 100%
C-01	0+015	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)				
C-02	1+000	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)				
C-03	2+000	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)	1,81	75	12,5	15,6
C-04	3+000	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)				
C-05	4+000	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)				
C-06	5+000	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)	1,829	73	11	14,2
C-07	6+000	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)				
C-08	7+000	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)	1,842	67	14	18,5
C-09	8+000	1	1,5	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)				
C-10	9+000	1	1,5	NP.	N.P.	N.P.	SP-SM A1-a (0)	1,845	72	15,5	19,9
Promedio								1,8315	71,75	13,25	17,05

c. Resistencia del concreto (Kg/cm²)

La Tabla 21 presenta el ESAL EE proyectado es menor a 5'000,000 EE, se tomó la resistencia equivalente del concreto siguiendo los rangos establecidos en la tabla correspondiente del MTC.

Esta elección permite adecuar la capacidad mecánica del material a la magnitud resal de las sollicitaciones esperadas. garantizando un desempeño estructural compatible con las condiciones de carga del proyecto sin recurrir a resistencias superiores que incrementarían innecesariamente los costos de ejecución.

Tabla 21

Rangos de Resistencia de Concreto

Rangos de trafico pesado expresado en EE	Resistencia minima al flexotracion del concreto (MR)	Resistencia minima equivalente a la compresion del concreto (f'c)
≤5'000,000 EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²

d. Módulo elástico del concreto (PSI)

AASTHO 93 permite estimar el módulo elástico del concreto mediante la correlación recomendada por el ACI, basada en la relación entre resistencia y rigidez del material. de forma complementaria. el ASTM C469 proporciona la determinación experimental de este parámetro mediante ensayos de compresión controlada. asegurando una caracterización precisa para el diseño del pavimento.

$$E_c = 57000x (f'c)^2$$

$$E_c = 57000x (280)^2$$

$$E_c = 3597112.797 \text{ psi}$$

(17)

e. Resistencia media del concreto a flexo tracción a los 28 días (Kg/cm²)

Definida la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$, y remplazando la formula planteada por el manual del MTC. tenemos que el módulo de rotura es de 40 kg/cm^2 .

$$M_r = a\sqrt{f'c}$$

$$M_r = 2.406893\sqrt{280}$$

$$M_r = 40 \text{ kg/cm}^2$$

(18)

Para la ecuación de la AASTHO. necesitaremos que el módulo de rotura del concreto este en unidades de PSI.

$$M_r = 568.934 \text{ psi}$$

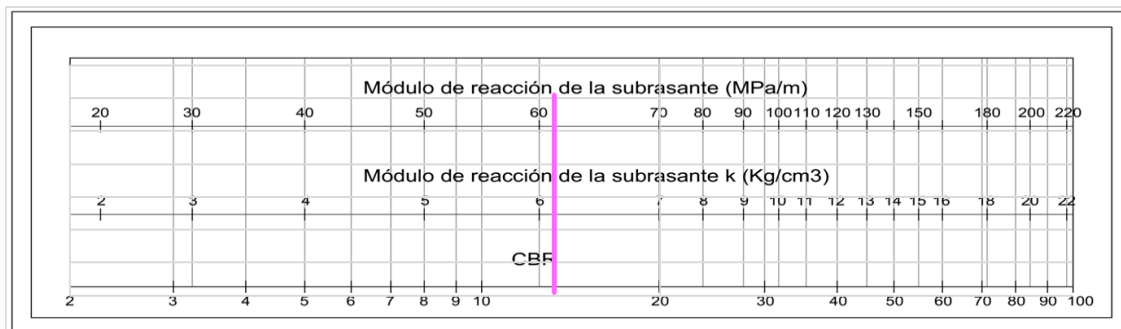
(19)

f. Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m)

La figura 23 presenta el módulo de reacción de la subrasante, se obtiene mediante el ensayo de placa, cuyo propósito es establecer la presión necesaria para producir una deformación específica de 13mm en el suelo, este procedimiento, regulado por las normas ASTM D-1196 y ASSTHO T-222, permite evaluar la rigidez de la subrasante bajo cargas aplicadas de manera controlada.

El parámetro resultante. denominado K_0 , se expresa en Mpa/m. y constituye un insumo esencial para el diseño estructural.

Figura 23
Módulo de Reacción de la Subrasante



A partir del gráfico propuesto por AASTHO, que establece una relación directa la clasificación del suelo, el valor del CBR y el correspondiente de reacción de la subrasante (K_0), se obtuvo un valor de $K_0 = 61$ MPa/m para las condiciones del proyecto. Esta estimación permite caracterizar la rigidez inicial de la subrasante.

g. CBR mínimo de la subbase (%)

La tabla 22 presenta que el EE es igual a: 466,779.96 (ESALs– Estudio de tráfico). En este caso tomaremos lo establecido en el manual de diseño de pavimentos del MTC. Así obtenemos que nuestro CBR mínimo para nuestra sub base granular es de 40 %.

Tabla 22

CBR mínimo

Trafico	Ensayo Norma	Requerimiento
Para tráfico $\leq 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR mínimo 40 % (1)

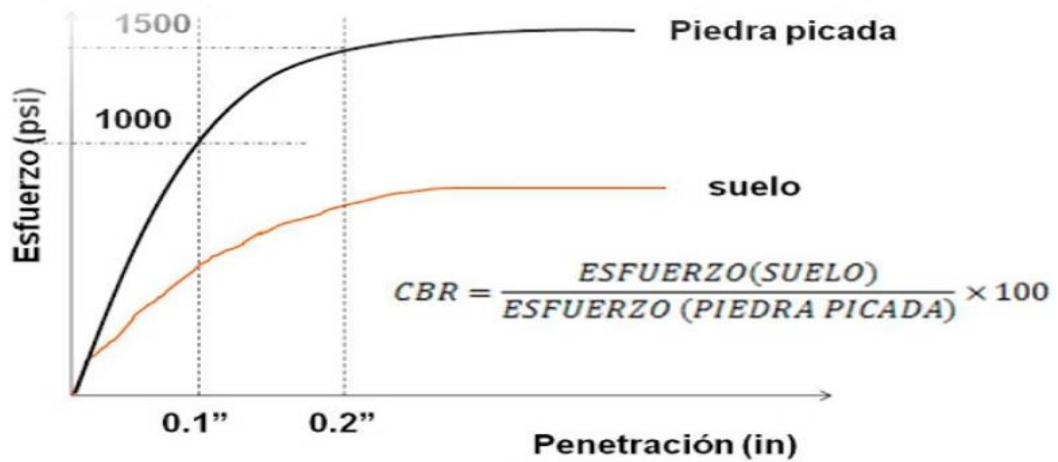
h. CBR mínimo de la subbase - definido (%)

El CBR asignado a la subbase granular se estableció considerando los criterios técnicos señalados en el MTC, que requieren que este valor sea superior al mínimo recomendado para asegurar un desempeño adecuado en la estructura del pavimento.

La figura 24 permite que en este estudio se adoptó un CBR de 50 %. Valor que garantiza una capacidad portante acorde con las exigencias del diseño y contribuye a la estabilidad global del sistema.

Figura 24

Relación de Esfuerzo y Penetración

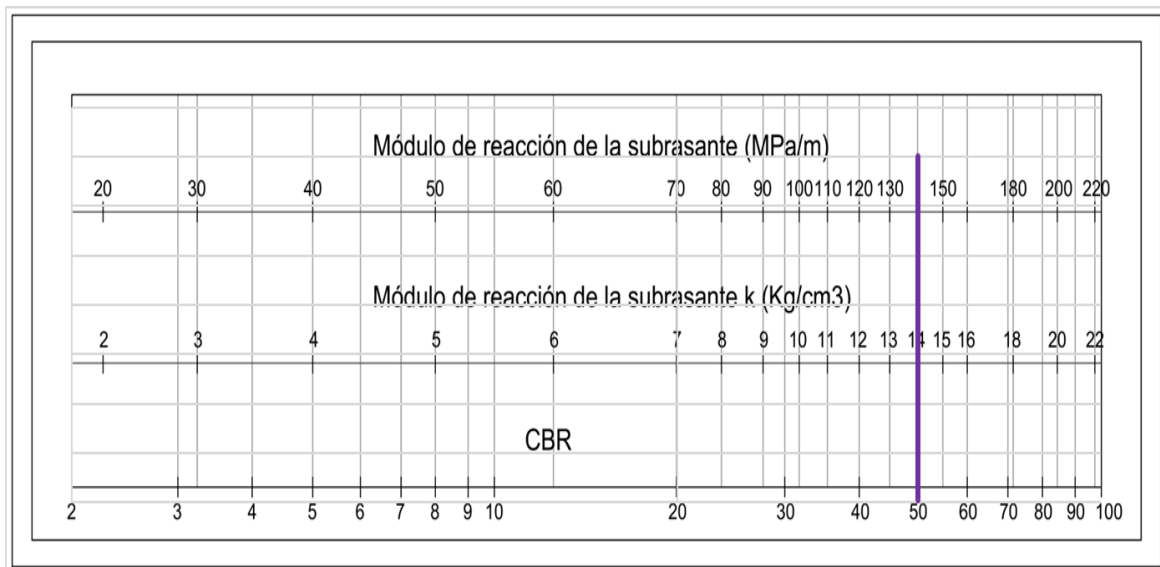


i. Módulo de reacción de la subbase granular (Mpa/m)

La figura 25 ilustra el CBR adoptado de 50 %. se recurrió al grafico correspondiente del manual del MTC, a partir del cual se obtiene el módulo de reacción de la subbase granular, resultando un valor de 140 MPa/m. en consecuencia. se establece que el $K_1 = 140$, parámetro que refleja la rigidez adecuada de la capa granular y su contribución al desempeño estructural del pavimento.

Figura 25

Relación de Esfuerzo y Penetración



j. Espesor de la subbase granular (cm)

El espesor de la subbase granular se estableció en 150 mm. Correspondientes a los criterios mínimos establecidos por el MTC para este tipo de infraestructura. este valor asegura una capacidad básica de distribución de cargas. mejora la estabilidad estructural del pavimento y garantiza que la estructura cumpla con los requisitos funcionales esenciales durante su vida útil.

k. Coeficiente de reacción combinado (Mpa)

El coeficiente de reacción combinado se obtiene con la siguiente formula:

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K_1}{K_o} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{0.5} \times K_o$$

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{15}{38} \right)^2 \times \left(\frac{140}{61} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{0.5} \times 61$$

$$K_c = 68.77 \text{ Mpa/m}$$

(20)

l. Tipo de tráfico

De acuerdo a la tabla 23 permite la clasificación establecida por el MTC. y considerando los ejes equivalentes 466,779.96 (EE) obtenidos en el análisis de tránsito. la estructura evaluada se ubica dentro del tipo de tráfico TP2, como se muestra en el cuadro.

Tabla 23

Rangos de Tráfico Pesado

Tipos tráfico pesado Expresado en EE	Rangos de tráfico pesado Expresado en EE
TP2	>300,000 EE
	≤500,000 EE

m. Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico

La tabla 24 muestra datos de serviciabilidad inicial para el diseño de pavimento rígido.

Tabla 24*Datos de Serviciabilidad*

Tipo de caminos	tráfico	Ejes equivalentes		Índice de serviciabilidad inicial (Pi)	Índice de serviciabilidad final (Pt)	Diferencia de serviciabilidad (Δ PSI)
Caminos de bajo volumen de tránsito	TP2	300,001	500,00	4,10	2,00	2,10

- ✓ Índice de Serviciabilidad inicial según el rango de tráfico (Pi) = 4,10
- ✓ Índice de Serviciabilidad final según el rango de tráfico (Pt) = 2,00
- ✓ Diferencial de Serviciabilidad según el rango de tráfico (Δ PSI) = 2,10

n. Desviación estándar combinado (So)

En base en los lineamientos establecidos en el manual del MTC, se adopta un desvío estándar estructural (So) igual a 0,35, valor reconocido como referencia para el análisis de la variable asociada al desempeño de pavimentos bajo condiciones reales de operación.

o. Nivel de confiabilidad (conf.)

Para el diseño se tomó en cuenta la clasificación funcional de la Vía, identificada como arteriales principales. lo que permitió consultar los valores orientativos establecidos en la guía de la AASHTO- 93. Dicho documento sugiere niveles de confiabilidad situados entre 75 % y 95 % para este tipo de vías, se optó por trabajar con un valor de 75 % decisión que responde a criterios de eficiencia técnica y económica este nivel implica asumir riesgos controlado en el desempeño estructural. mantenimiento la capacidad del pavimento para cumplir su función durante el periodo de servicio previsto sin incurrir en incrementos significativos de costo.

p. Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (ZR)

Para la categoría TP2, el valor correspondiente del desvío estándar normal (ZR) se establece en -0,674, conforme a los parámetros, este valor representa el nivel de confiabilidad asignado y permite incorporar la variabilidad inherente de los materiales y a las condiciones de carga en el análisis.

q. Condiciones de drenaje (cd)

En el enfoque de diseño establecido por AASHTO 93, el coeficiente de drenaje (cd) constituye un parámetro fundamental para evaluar el efecto de la humedad sobre el desempeño estructural del pavimento. Este coeficiente refleja la capacidad del sistema para evacuar el agua, por tanto, la probabilidad de que las capas inferiores permanezcan saturadas durante un periodo determinado.

La tabla 25 detalla la metodología clasifica con los valores de cd en cinco niveles. Excelente, bueno, regular, pobre y muy pobre, según la calidad del drenaje y el porcentaje del año en que el pavimento se encuentre expuesto a condiciones de saturación. Una menor eficiencia en la evacuación del agua se traduce en valores reducidos de drenaje, lo que incrementa el riesgo de deterioro prematuro por pérdida de soporte y daño estructural.

En el diseño se ajustó conforme a las recomendaciones del MTC $cd=1$, criterio que se alinea con la práctica nacional para pavimentos rígidos y resulta apropiado para las condiciones de la tesis.

Tabla 25

Porcentaje de Saturación de Drenaje

Calidad de drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento esta expuesto a niveles de saturacion			
	Menor a 1%	1% a 5%	5% a 25%	Mayor a 25%
Excelente	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Bueno	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Regular	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Pobre	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Muy pobre	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

r. Coeficiente de transmisión de carga en las juntas (J)

Es un parámetro determinante en el diseño de losas de concreto. debido a su influencia directa en el espesor estructural requerido. Este coeficiente depende del tipo de berma y de la presencia de pasadores, los cuales intervienen en la eficiencia de la transferencia de carga entre losas.

La tabla 26 muestra los valores para bermas de concreto hidráulico con pasadores, la metodología técnica establece un valor de $J= 2,8$, que asegura una

adecuada distribución de esfuerzos y contribuye a optimizar el dimensionamiento de la losa, manteniendo la calidad y durabilidad del pavimento.

Tabla 26

Valores de *J*

Tipo de berma	J			
	Granulares o asfáltica		Concreto hidráulico	
	Si (con pasadores)	No (con pasadores)	Si (con pasadores)	No (con pasadores)
Valores J	3,2	3,8-4,4	2,8	3,8

s. Cálculo del espesor de la losa de concreto (D)

La AASTHO 93 incorpora una correlación empírica derivada de ensayos a escala real para la estimación del espesor de la losa de concreto, esta formulación integra el comportamiento estructural observado bajo condiciones controladas de carga y servicio, permitiendo predecir con mayor precisión la respuesta del pavimento y establecer un espesor acorde con las solicitaciones proyectadas.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10}\left(\frac{M_r C_{dx} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 x J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}}\right)}\right)$$

(21)

La ecuación utilizada integra la capacidad estructural del pavimento frente a las solicitaciones inducidas por el tránsito y la influencia de las condiciones climáticas durante el periodo de servicio. A partir de esta formulación, se obtuvo un espesor de los de 123,40 mm, valor que asegura un comportamiento adecuado frente a las exigencias operacionales del tramo vial y las cargas proyectadas, cumpliendo con los criterios de desempeño establecido para pavimento rígido.

No obstante, de acuerdo con el Manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), para vías arteriales, colectoras y locales se

establece un espesor mínimo normativo de 150 mm. En cumplimiento de dicha normativa y bajo un criterio de diseño estructural del pavimento rígido, se adopta un espesor final de losa de 150 mm, garantizando así un adecuado desempeño estructural y mayor durabilidad del pavimento rígido.

Tabla 27

Espesores de Losa de Concreto

D-0	D-1
Capa superficial (Losa de concreto)	SubBase Granular
150 mm	150 mm

La tabla 27 presenta un análisis de subbase granular de D-1 de 15 cm y una capa de concreto hidráulico de D-0 de 15 cm, conformando una sección estructural diseñada para garantizar una distribución adecuada de esfuerzos y una respuesta óptima frente a las cargas de tránsito proyectada.

2.6.1.3. Análisis de costos y presupuestos

La evaluación técnico-económica de las soluciones de pavimentación se desarrolló mediante una metodología analítica comparativa que integra tanto los aspectos estructurales como los financieros del proyecto. Este enfoque permitió contrastar de manera objetiva las dos alternativas de diseño de pavimento rígido y pavimento flexible de bajo condiciones homogéneas de tránsito proyectado, características de subrasante, materiales y vida útil de diseño.

El procedimiento metodológico se estructuró en tres fases: análisis de parámetros técnicos, evaluación económica consolidada y optimización comparativa. En la primera fase, se verificaron las condiciones estructurales de cada tipo de pavimento, considerando la composición de capas, propiedades mecánicas y comportamiento ante cargas repetidas. En la segunda, se procesaron los presupuestos consolidados y los análisis de costos unitarios (ACU) para cuantificar los costos directos e indirectos de materiales, mano de obra, equipos, transporte y gastos generales. Finalmente, en la tercera fase, se aplicó una evaluación integral de desempeño y costo-beneficio que permitió identificar la alternativa más eficiente.

La tabla 28 presenta la evaluación comparativa de acuerdo con los resultados económicos obtenidos, el pavimento flexible registró un costo total de S/ 1962792,00,

mientras que el pavimento rígido alcanzó S/ 2652532,20. Este diferencial del 15 % a favor del pavimento flexible demuestra una ventaja económica relevante en la etapa de inversión inicial. atribuible principalmente a la disponibilidad de materiales. menor demanda de maquinaria especializada y mayor rapidez constructiva. No obstante, la alternativa rígida mantiene superioridad técnica en términos de durabilidad estructural, resistencia a deformaciones y reducción de mantenimiento a largo plazo.

Tabla 28

Evaluación comparativa presupuestal en el programa "Power Cost"

Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Subtotal	Total
Comparación de pavimento						
Comparación de costos de Pavimento Flexible y Rígido						4615315,20
Pavimento Flexible					1962792,00	
Base Granular E=0,17m	m ²	64800,00	7,08	458784,00		
Sub Base Granular E=0,15m	m ²	64800,00	8,29	537192,00		
Emulsión Asfáltica	m ²	64800,00	14,92	966816,00		
Pavimento rígido					2652523,20	
Base Granular E=0,17m	m ²	64800,00	7,08	458784,00		
Concreto f'c=280kg/cm ²	m ²	3240,00	677,08	2193739,20		

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

3.1. Determinación final de la conformación estructural del pavimento del proyecto

La tabla 29 presente un resumen de los parámetros calculados para el diseño del pavimento conforme a la guía AASHTO 1993. Los factores más relevantes comprenden la carga de tránsito expresada en ejes equivalentes (ESAL), los valores de CBR correspondientes a la subrasante y a la subbase, la resistencia del concreto ($f'c$), así como su módulo de elasticidad. Además, se consideran parámetros esenciales como el coeficiente de reacción del suelo y el espesor óptimo de la subbase granular. Se incluyen también los índices de serviciabilidad, el nivel de confiabilidad adoptado (75 %) y el coeficiente de transmisión de carga en las juntas. Todos estos elementos resultan indispensables para garantizar que el diseño estructural del pavimento satisfaga las exigencias de resistencia y durabilidad frente a las condiciones de tránsito previstas.

Tabla 29

Resumen de Parámetros Calculados

Factores indicados	Resultados	
Cargas de tráfico vehiculares impuestos al pavimento	ESAL (W18)	466770,96
CBR de la subrasante (%)	CBR	13,3%
Resistencia del concreto (kg/cm^2)	$F'c$	280
Módulo elástico del concreto (PSI) $E_c = 57000x(f'c)^2$	E_c	3597112,797
Resistencia media del concreto a flexo tracción a los 28 días (kg/cm^2) $M_r = a\sqrt{f'c}$	M_r	40
Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m)	K_o	61
CBR mínimo de la subbase (%)	CBR(subB)	40%
CBR mínimo de la subbase – definido (%)	CBR DEF	50%
Módulo de reacción de la subbase granular (Mpa/m) $K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 x \left(\frac{K_1}{K_o} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{0.5} x K_o$	$K_1(\text{subB})$	140
Espesor de la subbase granular (cm) recomendado por la MTC	h	15
Coefficiente de reacción combinado (Mpa)	K_c	68,77
Tipo de Trafico	Tipo	TP2
Índice de serviciabilidad inicial según rango de trafico	P_i	4,1
Índice de serviciabilidad final según rango de trafico	P_t	2
Diferencial de serviciabilidad según rango de trafico	ΔPSI	2,1

Desviación estándar combinado	So	0.35
Nivel de confiabilidad	Conf.	75 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	Zr	-0,674
Condiciones de drenaje	cd	1
Coefficiente de transmisión de carga en las juntas	J	2,8
Concreto hidráulico con pasadores		

Una vez definidos los parámetros obtenidos de los datos mostrados en la tabla precedente, se procedió a aplicar la ecuación correspondiente a la metodología AASHTO utilizando un proceso iterativo. Este procedimiento de aproximaciones sucesivas permitió realizar ajustes progresivos en los valores hasta determinar el espesor estructural más adecuado del pavimento, garantizando el cumplimiento de los criterios y exigencias establecidos en el diseño.

3.2. Determinación del espesor estructural según la metodología AASHTO

La tabla 30 presenta los espesores obtenidos para las estructuras de pavimento, calculados conforme a la metodología AASHTO. En el caso del pavimento rígido, se definió una subbase granular (D-1) de 15 cm y una capa superficial de concreto (D-0) de 15 cm, configurando una estructura capaz de soportar de manera eficiente las cargas de tránsito previstas. Por otro lado, para el pavimento flexible, se determinó una subbase granular de 15 cm, una base granular de 17 cm y una carpeta asfáltica de 5 cm, dimensiones que aseguran un adecuado desempeño estructural y funcional bajo las condiciones de carga proyectadas.

Tabla 30

Espesores de Pavimento Rígido y Flexible

Descripción		Espesor	
Pavimento rígido	Capa superficial (Losa de concreto)	D-0	15 cm
	Subbase Granular	D-1	15 cm
Pavimento flexible	Espesor de Carpeta asfáltica superficial	D-1	5 cm
	Espesor de Base granular	D-2	17 cm
	Espesor de Subbase granular	D-3	15 cm

3.3. Pavimento flexible

La siguiente tabla 31 presenta un resumen de los parámetros fundamentales empleados en el diseño del pavimento flexible, conforme a la metodología AASHTO.

Los valores considerados incluyen una carga de tráfico vehicular (ESAL) de 376 607, un CBR de la subrasante del 13,3 % y un módulo de resiliencia (MR) de 13 386,16 psi. Asimismo, se adoptó un nivel de confiabilidad del 75 %, con un coeficiente ZR de -0,674 y una desviación estándar combinada (So) de 0,45. Estos parámetros constituyen la base para determinar y optimizar el diseño estructural del pavimento flexible, asegurando su resistencia ante las cargas proyectadas y el cumplimiento de los criterios de durabilidad y servicios establecidos.

Tabla 31

Resumen de resultados del Pavimento Flexible

Factores indicados	Resultados	
Cargas de tráfico vehiculares impuestos al pavimento	ESAL (W18)	376607,40
Suelo de subrasante	CBR	13,3%
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR (psi)	13386,16
Tipo de tráfico	Tipo	TP2
Numero de etapas	Etapas	1
Nivel de confiabilidad	Conf.	75%
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0,674
Desviación estándar combinado	So	0,45
Índice de servicialidad inicial según rango de tráfico	Pi	3,8
Índice de servicialidad final según rango de tráfico	Pt	2
Diferencial de servicialidad según rango de tráfico	Δ PSI	1,8

3.4. Pavimento rígido

De acuerdo a la tabla 32 se expone una síntesis detallada de los parámetros esenciales empleados en el diseño estructural del pavimento rígido. elaborada conforme a la metodología de la AASHTO. En esta se agrupan las principales variables que intervienen de manera directa en el comportamiento mecánico, la funcionalidad y la durabilidad de la estructura. Entre los aspectos más relevantes se incluyen las cargas de tránsito vehicular, expresadas como Ejes Equivalentes de Carga (ESAL), el Índice de Soporte de California (CBR) de la subrasante, la resistencia a la compresión del concreto destinada a la losa del pavimento y el módulo de reacción del suelo de apoyo (valor k).

Cada uno de estos parámetros cumple una función decisiva dentro del proceso de diseño, ya que permite definir, evaluar y optimizar la respuesta estructural del pavimento frente a las solicitaciones impuestas por el tránsito proyectado. Asimismo, los valores obtenidos aseguran que la estructura cumpla con los requisitos

de durabilidad y servicio. garantizando un desempeño adecuado ante las cargas repetitivas del tráfico pesado y las condiciones ambientales propias de la zona de estudio.

Este planteamiento integral promueve un diseño eficiente. seguro y sostenible, capaz de lograr una distribución uniforme de esfuerzos, minimizar la aparición de fallas estructurales y maximizar la vida útil del pavimento, contribuyendo a la reducción de los costos de conservación y mantenimiento a largo plazo.

Tabla 32

Resumen de resultados del Pavimento Rígido

Factores indicados	Resultados	
Cargas de tráfico vehiculares impuestos al pavimento	ESAL (W18)	466770,96
CBR de la subrasante (%)	CBR	13,3%
Resistencia del concreto (kg/cm ²)	F'c	280
Modulo elástico del concreto (PSI) $E_c = 57000x (f'c)^2$	Ec	3597112,797
Resistencia media del concreto a flexo tracción a los 28 días (kg/cm ²) $M_r = a\sqrt{f'c}$	Mr	40
Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m)	Ko	61
CBR mínimo de la subbase (%)	CBR(subB)	40 %
CBR mínimo de la subbase – definido (%)	CBR DEF	50 %
Módulo de reacción de la subbase granular (Mpa/m) $K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 x \left(\frac{K_1}{K_o} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{0.5} x K_o$	K ₁ (subB)	140
Espesor de la subbase granular (cm) recomendado por la MTC	h	15
Coefficiente de reacción combinado (Mpa)	Kc	68,77
Tipo de Trafico	Tipo	TP2
Índice de servicialidad inicial según rango de trafico	Pi	4,1
Índice de servicialidad final según rango de trafico	Pt	2
Diferencial de servicialidad según rango de trafico	Δ PSI	2,1
Desviación estándar combinado	So	0,35
Nivel de confiabilidad	Conf.	75%
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	Zr	-0,674
Condiciones de drenaje	cd	1
Coefficiente de transmisión de carga en las juntas	J	2,8
Concreto hidráulico con pasadores		

3.5. Optimización del diseño de pavimento para prolongar su vida útil

3.5.1. Trafico proyectado (ESAL W18)

El pavimento rígido presenta un desempeño estructural superior frente a las exigencias del tránsito pesado, evidenciando una mayor capacidad para resistir las cargas repetitivas generadas por los vehículos de transporte. De acuerdo con los resultados obtenidos, el pavimento rígido se diseñó considerando una carga equivalente de 466 770,96 ESAL, mientras que el pavimento flexible se calculó para 376 607,40 ESAL. Esta diferencia en la magnitud de las cargas de diseño demuestra que el pavimento rígido posee una mayor capacidad portante y un comportamiento más estable ante condiciones de tráfico intenso y continuo.

En ese sentido, la estructura rígida se consolida como la alternativa más conveniente en vías con alto flujo de camiones y transporte pesado, debido a su menor susceptibilidad a deformaciones permanentes y su capacidad para distribuir uniformemente los esfuerzos hacia las capas inferiores. Asimismo, esta condición contribuye a conservar un adecuado nivel de serviciabilidad durante un periodo prolongado, reduciendo la frecuencia de intervenciones de mantenimiento y optimizando los costos a lo largo de su vida útil de servicio.

3.5.2. Materiales del sustrato

Ambos tipos de pavimento fueron diseñados considerando una subrasante con un CBR del 13,3 %; sin embargo, los parámetros estructurales que intervienen en su análisis difieren según el tipo de estructura. En el caso del pavimento flexible, el módulo de resiliencia (MR) adquiere un papel determinante, ya que representa la capacidad elástica del suelo para recuperar su forma después de cada aplicación de carga, influyendo directamente en la respuesta y durabilidad del sistema. Por su parte, el pavimento rígido se fundamenta en el módulo de reacción de la subrasante (k_0), cuyo valor es de 61 MPa/m, parámetro esencial para evaluar el grado de apoyo que ofrece el terreno a la losa de concreto. Este valor es decisivo para garantizar la estabilidad, el desempeño estructural y la adecuada distribución de esfuerzos en la losa del pavimento rígido a lo largo de su vida útil.

3.5.3. Espesores de las capas

El pavimento rígido demanda un espesor considerable de losa de concreto con el fin de resistir de manera eficiente las cargas transmitidas por el tránsito,

complementándose con una subbase granular que posea un CBR no menor al 40 %. lo cual asegura una adecuada capacidad de soporte del sistema. En contraste, el pavimento flexible requiere mayores espesores en las capas de base y subbase, ya que su comportamiento estructural depende de la capacidad conjunta de todas las capas y de la calidad de los materiales, compensando así su menor rigidez en comparación con el concreto. Esta diferencia en el esquema estructural refleja los distintos mecanismos de distribución de cargas entre ambos tipos de pavimento.

3.5.4. Índice de servicio y vida útil

Tanto el pavimento flexible como el pavimento rígido presentan valores de índice de serviciabilidad inicial (P_i) similares. siendo de 3,8 para el flexible y 4,1 para el rígido. mientras que el índice de serviciabilidad final (P_t) en ambos casos se establece en 2,0. Esto evidencia que ambos tipos de estructuras están concebidos para proporcionar un nivel comparable de confort. funcionalidad y calidad superficial al inicio de su vida útil.

No obstante. el diferencial de serviciabilidad (ΔPSI) resulta superior en el pavimento rígido, con un valor de 2,1. frente a 1,8 en el pavimento flexible. Esta diferencia indica que el pavimento rígido posee una mayor tolerancia al deterioro funcional, es decir, puede mantener condiciones aceptables de servicio durante un periodo más prolongado antes de alcanzar el límite operativo establecido, lo que se traduce en mayor durabilidad y estabilidad estructural a lo largo del tiempo.

3.5.5. Confiabilidad y desviación estándar

Ambos tipos de pavimento fueron diseñados considerando un nivel de confiabilidad del 75 %; sin embargo, el pavimento flexible presenta una desviación estándar ligeramente superior (0,45) en comparación con el pavimento rígido (0,35). Esta diferencia refleja una mayor variabilidad en el desempeño estructural del pavimento flexible, lo que puede traducirse en una respuesta menos predecible frente a las condiciones de carga y servicio a lo largo del tiempo.

a. Pavimento flexible

Se considera adecuado para volúmenes de tránsito moderadamente altos, ofreciendo una solución funcional y adaptable.

Presenta un menor costo inicial de construcción. lo que lo hace atractivo a corto plazo; sin embargo, requiere intervenciones de mantenimiento más frecuentes para conservar su nivel de servicio.

Su rigidez estructural es menor respecto al pavimento rígido. lo que puede limitar su vida útil ante sollicitaciones continuas de tráfico pesado.

b. Pavimento rígido

Ofrece una mayor capacidad portante frente a las cargas vehiculares. siendo más resistente a deformaciones y fisuras. Posee una alta rigidez y durabilidad estructural. lo que prolonga su vida de servicio y mantiene la calidad funcional por más tiempo.

Aunque demanda una inversión inicial más elevada. sus costos de mantenimiento y rehabilitación son menores a largo plazo, lo que mejora su rentabilidad durante el ciclo de vida del proyecto.

En términos de optimización de la vida útil y desempeño estructural. el pavimento rígido se presenta como la opción más eficiente para vías con altos volúmenes de tráfico y tránsito pesado, como el intercambio vial en Tacna, donde la durabilidad y la reducción de costos de mantenimiento compensan su mayor costo inicial, asegurando una infraestructura más sostenible y de mayor rendimiento en el tiempo.

3.5.6. Evaluación técnica y económica de pavimentos

La evaluación técnica y económica de los pavimentos constituye una etapa fundamental para determinar la opción más eficiente en términos estructurales y financieros dentro del proyecto. Este análisis comparativo consideró las opciones de pavimento rígido y flexible, aplicando los parámetros de diseño definidos por la metodología AASHTO, así como los costos directos de construcción obtenidos del presupuesto referencial. Los resultados evidencian que el pavimento flexible presenta un costo total de S/ 1962792,00, mientras que el pavimento rígido alcanza un precio de S/ 2652532,20, lo que demuestra que. en términos de inversión inicial. el pavimento rígido resulta más costoso. Sin embargo, al considerar su mayor capacidad estructural. durabilidad y menores requerimientos de mantenimiento, se convierte en una alternativa más rentable a largo plazo, sobre todo, en carretas con gran afluencia vehicular pesado. En contraste, el pavimento flexible, aunque más económico en su etapa de ejecución, puede requerir intervenciones periódicas de

conservación para mantener sus niveles de serviciabilidad. Por lo tanto, la selección final debe basarse en un equilibrio entre el costo inicial, la vida útil esperada y las condiciones operativas del proyecto, garantizando así una solución técnica y económica ideal para el intercambio vial de la Av. Hospicio, así como se muestra en la tabla 33 el resumen de costos de diseño de pavimentos.

Tabla 33

Resumen de resultados de Costos

Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Subtotal	Total
Comparación de pavimento						
Comparación de costos de Pavimento Flexible y Rígido						4615315,20
Pavimento Flexible						1962792,00
Base Granular E=0,17m	m ²	64800,00	7,08	458784,00		
Sub Base Granular E=0,15m	m ²	64800,00	8,29	537192,00		
Emulsión Asfáltica	m ²	64800,00	14,92	966816,00		
Pavimento Rígido						2652523,20
Base Granular E=0,17m	m ²	64800,00	7,08	458784,00		
Concreto f _c =280kg/cm ²	m ²	3240,00	677,08	2193739,20		

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Martínez y López (2022), de acuerdo a los presentado en su tesis que tiene por nombre. “Diseño y Optimización de Pavimentos utilizando la metodología AASHTO para Vías de alto tráfico en México”. Se presento un análisis con un grado de similitud alto respecto a lo desarrollado en nuestro estudio, donde se analizó los espesores de las capas para los pavimentos rígidos y flexibles, así mismo haciendo un análisis económico de acuerdo a su país de origen, así mismo los rendimientos y cantidades que se utilizaron para su costo unitario refuerzan nuestro planteamiento respecto a lo económico puesto que los rendimientos y cantidades utilizadas por metro cuadrado son similares, así mismo se concluye que el pavimento flexible ofrece una relación costo de menor durabilidad a diferencia del pavimento rígido que a un plazo de mayor tiempo ofrece una mejor durabilidad, de lo cual esta conclusión también se planteó en nuestro estudio. teniendo como diferencia costos reales de acuerdo al mercado local, como el contexto y características propias de la zona de estudio.

González y Pérez (2019), de acuerdo a su estudio que es titulada “Aplicación de la metodología de Diseño de pavimento AASHTO para Optimizar el desempeño de Pavimentos en carreteras chilenas”. Se evaluó que enfatiza y utiliza la misma metodología utilizada por nuestro estudio, siendo la metodología AASTHO ideal para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, a comparación de nuestro estudio que incluimos un análisis económico más, aquí se detalla y enfatiza más en el diseño de pavimento para carreteras con alto índice de tránsito. El análisis de González y Pérez (2019) nos ayuda a referencia y comparar las estructuras de pavimento diseñadas para distinto tipos de carreteras, dando a entender que el pavimento flexible es el más viable ya que a nivel de trabajabilidad y costos es más barato y rápido de trabajar, teniendo una similitud con nuestros resultados a nivel de optimización siendo el pavimento flexible el más adecuado, para la Avenida Hospicio dentro del Distrito de la Yarada los Palos.

Silva (2016), presento su tesis con el nombre de “Criterios para la Elección de Pavimento Rígido y/o Flexible en la Rehabilitación de la Autopista de Cuota Chamapa – La Venta”. Se realizo una comparación de pavimento rígido y flexible, además de un análisis para las vías que rebasaron los diseños propuestos de acuerdo al alto índice de tráfico vehicular, donde propusieron un pavimento enfocado a la sostenibilidad de un tráfico alto y reducir costos de mantenimiento. siendo

diferencial de nuestro estudio puesto que nosotros priorizamos los tipos de vehículos que pasan por la zona de intervención, puesto que en la Avenida Hospicio al ser zona agropecuaria cuenta con un alto índice de vehículos pesados de carga y tractores para la producción agropecuaria, de igual manera su planteamiento fue relacionada respecto al análisis y estructuras de pavimento tomadas para ver el grado de dimensionamiento con nuestro estudio, puesto que una autopista cuenta con un ESAL más alto por el constante flujo de vehículos, y nuestra vía de estudio cuenta con un impacto menor a nivel de flujo vehicular, siendo un parámetro para poder dar veracidad a nuestros datos y no sobre dimensionar resultados.

Vásquez (2014), presento su tesis que tiene por nombre “Análisis Comparativo entre un Pavimento Rígido y un Pavimento Flexible para la Ruta S/R: Santa Elvira – El arenal, en la comuna de Valdivia”. En su desarrollo de tesis presento un análisis comparativo a nivel de costos asociados al pavimento rígido y flexible, llegando a concluir que el pavimento rígido es más costoso que el pavimento flexible, por más que el tipo de metodología y software que se utilizo es el PAVIVAL. a diferencia de nuestro estudio que se usó la metodología AASTHO 1993 para de determinar el número estructural y ESAL, puesto que los valores respecto al presupuesto según su análisis en dólares son similares a nuestros costos pasados en dólares por metro cuadrado. El análisis de Vásquez. B. et. al, (2014) nos ayuda a tener valores referenciales respecto a lo económico tanto para el pavimento rígido y/o flexible.

Abanto (2023) presento su tesis de nombre “Diseño estructural de pavimento flexible mediante el método AASHTO 1993 para la carretera Pativilca- Cajatambo-Oyón, Lima”. En su planteamiento se basó más en el diseño y el análisis de espesores de pavimento, además del uso correcto de la aplicación de la metodología AASTHO 1993. Sin embargo, las conclusiones presentadas por Abanto Muñoz (2023), de acuerdo a su capacidad para poder agregar su análisis detallado para todos los casos con la metodología AASTHO no implica que en las próximas investigaciones en un tiempo futuro se podría considerar otras metodologías más avanzadas optimizando los materiales, estructura de pavimentos, optimización económica y un rendimiento eficaz, no solo concluir que la metodología AASTHO es la más adecuada para todos los casos. Esto nos sugiere que aún se puede plantear otras metodologías que pueden adecuarse de forma ideal con las características y parámetros para el desarrollo e intervención de la vía Hospicio dentro del Distrito de la Yarada los Palos.

Lévano (2021), en su tesis que tiene por denominación “Diseño de pavimento flexible para la carretera La unión – Huácar- departamento de Huánuco, aplicando el método AASHTO 1993”. De acuerdo a su estudio su propuesta fue indicar el adecuado diseño de pavimento flexible, utilizando coeficientes estructurales similares al de nuestro estudio planteado, igual a diferencia del promedio de vehículos transitados, CBR propio de la zona de zona de intervención y al estudio de mecánica de suelos. Si bien el enfoque se centra en una vía con menor índice de tráfico. nuestro estudio de acuerdo a la Avenida Hospicio cuenta con un mayor índice de tránsito de vehículos ligeros y en mayor medida de vehículos pesados, muestra que el pavimento rígido es una mejor opción para vías con alto índice de tráfico y con alto índice de vehículos pesados ya que son los que más afectan a la estructura de pavimento. El estudio de Lévano Ticona (2021) respalda la utilización del pavimento flexible a diferencia de nuestro caso que nuestro enfoque se basa más en garantizar mayor durabilidad y mejor desempeño estructural.

Gutiérrez (2019), presento su estudio con el nombre de “Aplicación de Metodología AASHTO 93 en Diseño de Pavimento Flexible para Optimizar la Transitabilidad Vehicular en la Carretera Talavera – Andahuaylas. Región Apurímac”. Su estudio analizo la aplicación de un pavimento flexible en caliente habiéndose utilizado la metodología AASTHO 93. En comparación a nuestro estudio donde enfocamos con mayor factibilidad y durabilidad el pavimento rígido para vías con tráfico continuo de vehículos de dos o tres ejes propios de la zona agropecuaria del distrito de la Yarada los palos, si bien el costo del pavimento rígido es mayor, a comparación del pavimento flexible en caliente se encuentra una diferencia considerable puesto que a nivel de durabilidad, desempeño estructural y mantenimiento del diseño vial, la opción del pavimento rígido prevalece ya que el tiempo de vida útil de la vía se proyecta a 20 años.

Humpiri (2015), presento su estudio de nombre ‘Análisis Superficial de Pavimentos Flexibles para el Mantenimiento de Vías en la Región de Puno’. Según su estudio las fallas superficiales encontradas en la vía de intervención, poniendo énfasis en el mantenimiento de las vías. respecto a nuestro estudio tuvimos un análisis respecto a las fallas ya encontradas de acuerdo a su situación actual lo cual nuestro análisis se basó en el planteamiento de la elaboración de una carpeta asfáltica desde cero, puesto que proponer un mantenimiento no era lo ideal debido al desgaste y que el tiempo de vida útil de la vía expiro de acuerdo a su diseño anterior.

Apaza (2021), la presente tesis tiene por nombre titulada “Diseño estructural flexible utilizando el método AASHTO 93 en la vía 6- proyecto Mejoramiento de la carretera Locumba – Cerro Blanco – distrito de Ilabaya- Provincia de Jorge Basadre – Departamento de Tacna”, quien aplicó el método AASHTO 93 para diseñar un pavimento flexible optimizando los recursos técnicos y económicos de la carretera Locumba – Cerro Blanco, el presente estudio plantea un enfoque orientado a la durabilidad y desempeño estructural a largo plazo, priorizando el diseño de un pavimento rígido como una alternativa más eficiente frente a las condiciones reales del tránsito y del terreno en el sector de estudio. Si bien el diseño flexible propuesto por Apaza demostró que una adecuada calibración de parámetros locales puede generar soluciones económicas y funcionales a corto plazo, sus limitaciones en vida útil y mantenimiento recurrente evidencian un menor rendimiento ante solicitaciones de carga repetitivas y condiciones climáticas adversas. En cambio, el diseño de pavimento rígido desarrollado en esta investigación busca maximizar la capacidad estructural y la sostenibilidad del proyecto, reduciendo la frecuencia de intervenciones y asegurando un ciclo de vida más prolongado. De esta manera, se demuestra. A diferencia del sistema flexible. el pavimento rígido transmite las cargas en su etapa inicial, el pavimento rígido constituye una inversión más rentable y confiable a largo plazo, consolidando una infraestructura vial con mayor estabilidad, seguridad y eficiencia estructural.

Choque (2022), presenta el siguiente estudio de nombre “Diseño estructural de pavimento flexible para la vía alterna al mercado Grau, distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna. según el método AASHTO 1993”. Choque Ticona (2022), quien aplicó el método AASHTO 1993 para la vía alterna al mercado Grau en Tacna. se evidencia un enfoque orientado a la optimización de materiales y costos mediante la adaptación de parámetros locales y la reducción del sobredimensionamiento estructural. En contraste, el presente estudio plantea la implementación de un diseño de pavimento rígido, fundamentado en la necesidad de garantizar mayor durabilidad. capacidad estructural y menor frecuencia de mantenimiento. A diferencia del flexible, el pavimento rígido reparte las cargas de manera más uniforme sobre la subrasante, resistiendo mejor los esfuerzos cortantes y reduciendo significativamente las deformaciones permanentes. Desde un enfoque de sostenibilidad y eficiencia en la inversión pública, se demuestra que, aunque el pavimento flexible pueda representar una alternativa inicial más económica, el pavimento rígido constituye una solución de ingeniería más robusta y rentable a largo

plazo, al minimizar los costos de conservación. aumentar la duración del tramo y optimizar las condiciones de servicio en el tiempo.

Acero y Roque (2022), que presento su estudio por nombre “Diseño de Pavimento Flexible para Mejorar las Condiciones de Serviciabilidad de la Vía Ovalo Tarapacá hasta Desvió Calana. Tacna - 2022”. Si bien el enfoque permitió mejorar parcialmente la condición de serviciabilidad, alcanzando una clasificación promedio “regular” según el PCI, los resultados evidencian que la capacidad estructural y la durabilidad del sistema flexible continúan siendo limitadas frente a las exigencias actuales de la circulación vehicular y del clima de la región. En este contexto, el presente estudio propone un diseño alternativo de pavimento rígido, orientado no solo a mejorar la serviciabilidad, sino a garantizar un desempeño sostenible en el tiempo, reduciendo la frecuencia de mantenimiento y los costos de operación. A diferencia del pavimento flexible, el sistema rígido posee una mayor capacidad de distribución de cargas, lo que disminuye la deformación acumulada en la subrasante y extiende considerablemente la vida útil del pavimento. De este modo, se demuestra que el diseño de pavimento rígido representa una evolución técnica frente a las soluciones flexibles previas, priorizando la durabilidad, la eficiencia estructural y la sostenibilidad económica de la infraestructura vial en la región de Tacna.

Aro y Llano (2024), presentaron su tesis de nombre “Optimización del Diseño de Pavimento para el Intercambio Vial de la Av. Industrial. tramo Calle Mariano Melgar – Calle Reynoso en la Ciudad de Tacna, 2024”. Constituye en una referencia fundamental en el análisis comparativo entre alternativas de pavimentación, dado que su investigación concluyó que el pavimento rígido se caracteriza por ser la más adecuada para garantizar la durabilidad y el desempeño estructural del sistema vial urbano. A diferencia de las soluciones flexibles evaluadas en otros estudios, la investigación de Aro y Llano demuestra que la resistencia del concreto frente a cargas repetitivas y condiciones ambientales severas permite mantener la funcionalidad y la calidad del servicio durante un periodo de vida útil significativamente mayor, reduciendo los costos de mantenimiento y conservación. En concordancia con dichas conclusiones, el presente trabajo reafirma la superioridad técnica del pavimento rígido como una alternativa estructural eficiente. especialmente en vías con alto volumen de tránsito y exposición prolongada a factores de desgaste. Además, este enfoque promueve una visión de sostenibilidad en la gestión de la infraestructura vial, alineándose con los objetivos de optimización de recursos públicos y mejora continua de la red de transporte urbano en la ciudad de Tacna.

CONCLUSIONES

La evaluación comparativa del desempeño de las alternativas de pavimento. desde los enfoques técnico y económico evidenció que la alternativa de pavimento rígido (S/. 2652523,20) supera ampliamente al pavimento flexible (S/. 1962792,00). Aunque su inversión inicial resulte mayor, su prolongada vida útil. mínima necesidad de intervenciones y elevado desempeño ante variaciones climáticas lo convierten en la opción con mejor retorno y mayor eficiencia para las condiciones operativas del tramo evaluado.

El diseño más eficiente para el diseño de la Avenida Hospicio en el Distrito de la Yarada los Palos, de la Progresiva 00+000.00 hasta 09+000.00, fue definido aplicando los criterios de la metodología AASTHO – 93, lo que permitió identificar que el pavimento rígido constituye la alternativa más eficiente dentro del proceso de optimización estructural y económica, este tipo de pavimento mostro una mayor capacidad para soportar cargas repetitivas, menor susceptibilidad a deformaciones y una demanda mínima de mantenimiento a lo largo de su vida útil, en conjunto estos resultados confirman un desempeño superior y un costo total más favorable frente a otras alternativas, consolidándose como la opción más adecuada para las condiciones operativas del intercambio vial de la Av. Hospicio.

La comparación entre el diseño optimizado y el diseño convencional permitió establecer que el pavimento rígido, considerado como opción optimizada. presenta una vida útil significativamente mayor, una capacidad portante superior y menores costos de mantenimiento a lo largo periodo de vida de la vía, por lo contrario, el pavimento flexible del diseño convencional mostro una vida útil más corta. afectada especialmente por el tránsito pesado, además de requerir intervenciones más frecuentes por deformaciones y desprendimientos progresivos, lo que incrementa sus costos de conservación, dando como mejor alternativa más eficiente y sostenible para el tramo 00+000 al 09+000 del intercambio vial de la Av. Hospicio, superando ampliamente al diseño convencional en cada uno de los criterios evaluados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la Municipalidad de Yarada Los Palos dé prioridad a la ejecución de obra de pavimentos rígidos en el intercambio vial de la Avenida Hospicio, ya que este tipo de estructura ofrece un desempeño prolongado y requiere pocas labores de mantenimiento. Esta elección permitirá disponer de una vía más estable, durable y sostenible a lo largo de su vida de servicio.

Se recomienda que la Municipalidad de Yarada Los Palos restrinja la utilización de pavimentos flexibles únicamente a áreas con bajo flujo vehicular. donde las solicitaciones estructurales sean mínimas. Con ello se podrá aprovechar de manera más eficiente los recursos disponibles y reducir la probabilidad de deterioros tempranos en los tramos sometidos a mayores cargas de tráfico.

Se recomienda que la Municipalidad de Yarada Los Palos priorice el empleo de pavimentos rígidos en las vías de mayor tránsito y carga. como la Avenida Hospicio. reforzando simultáneamente las etapas de planificación y control del diseño estructural. Esta acción permitirá asegurar un comportamiento óptimo del pavimento frente a las condiciones específicas del entorno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2018). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abanto Muñoz. C. D. (2023). *Diseño estructural de pavimento flexible mediante el método AASHTO 1993 para la carretera Pativilca – Cajatambo – Oyón*. Lima [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
- Acero. R. E.. & Roque. I. C. (2022). *Diseño de pavimento flexible para mejorar las condiciones de Serviciabilidad de la Vía Óvalo Tarapacá hasta Desvío a Calana. Tacna – 2022* [Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional UP.
- Apaza Escobar. A. (2021). *Diseño estructural de pavimento flexible utilizando el método AASHTO 93 en la vía 6 – proyecto “Mejoramiento de la carretera Locumba – Cerro Blanco – distrito de Ilabaya – provincia de Jorge Basadre – departamento de Tacna”* [Tesis de licenciatura. Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT.
- Aro. S.. y Llano. E. C. (2024). *Optimización del diseño de pavimento para el intercambio vial de la Av. Industrial. tramo calle Mariano Melgar – calle Reynoso en la ciudad de Tacna. 2024* [Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Privada de Tacna]. Repositorio institucional UPT.
- Choque Ticona. G. E. (2022). *Diseño estructural de pavimento flexible para la vía alterna al mercado Grau. distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa - Tacna. según el método AASHTO 1993* [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio UNJBG.
- Corros. M. B.. Urbáez. E. P. & Corredor. G. M. (2009). *Manual de evaluación de pavimentos* [Documento técnico de maestría]. Universidad Nacional de Ingeniería (Perú). Maestría en Vías Terrestres.
- García. A. (2017). *Comportamiento estructural del pavimento flexible respecto al módulo de elasticidad y la resistencia al corte de la subrasante* [Documento técnico]. Universidad Nacional de Ingeniería.

- González. F.. & Pérez. A. T. (2019). *Application of AASHTO Pavement Design Methodology for Optimizing Pavement Performance in Chilean Roads*. Revista de Ingeniería y Construcción. 36(4). 108-119.
- Gutiérrez. R. (2019). *Aplicación de la metodología AASHTO 93 en el diseño de pavimento flexible para optimizar la transitabilidad vehicular en la carretera Talavera – Andahuaylas. región Apurímac* [Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio Institucional UNAJMA.
- Huancas. P. (2018). *Diseño de infraestructura vial para transitabilidad entre Caseríos Filoque Km 0+000. Cerro Cascajal. Agua Santa y Nichipo Km 6+500. Olmos. Lambayeque – 2018* [Tesis de Ingeniería Civil. Universidad César Vallejo. sede Chiclayo]. Repositorio institucional UCV.
- Huang. Y. H. (2004). *Pavement analysis and design (2nd ed.)*. Pearson Prentice Hall.
- Humpiri. K. (2015). *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno* [Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNA-Puno.
- José. G. et al. (2016). *Criterios para la elección de pavimento rígido y/o flexible en la rehabilitación de la autopista de cuota Chamapa – La Venta* [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México].
- Lévano Ticona. E. M. (2021). *Diseño de pavimento flexible para la carretera La Unión – Huáscar – departamento de Huánuco. aplicando el método AASHTO 1993* [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio UNHEVAL.
- Martínez. R.. & López. S. J. (2022). *Design and Optimization of Pavements Using the AASHTO Methodology for High-Traffic Roads in Mexico*. Revista Mexicana de Ingeniería Vial. 48(3). 65-77.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima. Perú: MTC.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras Suelos. Geología. Geotecnia y Pavimentos*. Lima. Perú: MTC.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). *Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras*. Lima. Perú: MTC.

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2018). *Diseño Geométrico*. Lima. Perú: MTC.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2018). *Glosario de Términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Lima. Perú: MTC.
- Monsalve. A., Giraldo. J., & Maya. L. (2012). *Estructura y composición de pavimentos flexibles: base teórica sobre capas bituminosas y granulares* [Documento técnico]. [Institución / Universidad].
- Montejo Fonseca. A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (pág. 323) [Libro técnico]. Universidad Católica de Colombia. Ediciones y Publicaciones.
- Pérez. R., & López. V. (2015). *Estructura de pavimentos flexibles: disposición de capas con espesores y calidades diferenciadas* [Documento técnico].
- Sánchez. A. (2018). *Estructura del pavimento flexible: capas típicas desde la rodadura hasta el suelo de fundación* [Documento técnico]. [Institución educativa].
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (s.f.). *Clasificación de pavimentos: rígidos, flexibles y mixtos* [Documento técnico de referencia]. UNAM. Instituto de Ingeniería.
- Vásquez. B. et. al (2014). *Análisis Comparativo entre un Pavimento Rígido y un Pavimento Flexible para la Ruta S/R: Santa Elvira – El arenal*. en la comuna de Valdivia Repositorio Institucional.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿De qué manera la optimización estructural y económica del diseño de pavimento puede mejorar la eficiencia y desempeño del pavimento en el Intercambio Vial de la Av. Hospicio. tramo 00+000 al 09+000. en el distrito La Yarada Los Palos – Tacna. 2025?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Optimizar estructural y económicamente el diseño de pavimento para mejorar la eficiencia y desempeño del pavimento en el Intercambio Vial de la Av. Hospicio. tramo 00+000 al 09+000. en el distrito La Yarada Los Palos – Tacna. 2025.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La optimización estructural y económica del diseño de pavimento permite mejorar significativamente la eficiencia y el desempeño vial del pavimento en el Intercambio de la Av. Hospicio. tramo 00+000 al 09+000. en comparación con el diseño convencional.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>- Optimización estructural y económica del diseño de pavimento.</p>	<p>-Criterios estructurales: capacidad portante. resistencia. vida útil esperada.</p> <p>- Criterios económicos: costo de construcción. costo de ciclo de vida. costo de mantenimiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Valor de CBR. - Módulo resiliente del suelo. - Número estructural (SN). - Tránsito (ESAL) - Espesor total del paquete estructural. - Costo total por m². - Relación beneficio/costo. - Costo de mantenimiento anual. 	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Aplicada con enfoque cuantitativo.</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>Explicativo</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>Comparativo – No experimental</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>a. ¿Cuál es el desempeño estructural y económico del diseño convencional de pavimento en el tramo 00+000 al 09+000 del</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a. Evaluar el desempeño estructural y económico del diseño convencional de pavimento en el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a. El diseño convencional de pavimento del tramo 00+000 al 09+000 presenta limitaciones en su vida útil. capacidad portante e incremento de costos de ciclo de vida. afectando negativamente la</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>-Eficiencia y desempeño del pavimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vida útil. capacidad portante. costos. - Eficiencia estructural y 	<ul style="list-style-type: none"> - Vida útil promedio (años). -Costo de ciclo de vida. -Índice estructural (SN). 	<p>Población:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Av. Hospicio. tramo 00+000 al 09+000 <p>Muestra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Av. Hospicio. tramo 00+000 al 09+000

<p>Intercambio Vial de la Av. Hospicio?</p> <p>b. ¿Qué criterios técnicos permiten formular una propuesta optimizada de diseño de pavimento estructural y económicamente viable para el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio?</p> <p>c. ¿En qué medida el diseño optimizado mejora la vida útil, la capacidad portante y reduce los costos frente al diseño convencional en el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio?</p>	<p>de la Av. Hospicio.</p> <p>b. Desarrollar una propuesta de diseño de pavimento optimizado considerando criterios de eficiencia estructural y económica para el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio.</p> <p>c. Comparar el diseño optimizado con el diseño convencional en términos de vida útil, capacidad portante y costos de construcción y mantenimiento en el tramo 00+000 al 09+000 del Intercambio Vial de la Av. Hospicio.</p>	<p>eficiencia y desempeño vial.</p> <p>b. La incorporación de criterios técnicos mediante metodologías de diseño estructural (AASHTO 93. Power Cost) y análisis económico permite formular un diseño de pavimento optimizado. Estructural y económicamente más eficiente que el convencional.</p> <p>c. El diseño optimizado de pavimento en el tramo 00+000 al 09+000 incrementa la vida útil proyectada, mejora el número estructural (SN) y reduce los costos de construcción y mantenimiento respecto al diseño convencional.</p>		<p>eficiencia económica.</p> <p>- Vida útil. capacidad portante. costos.</p>	<p>-Relación costo-beneficio (B/C). -Reducción porcentual de costos. -SN proyectado.</p> <p>-Comparación de vida útil (años). - Reducción porcentual del costo total. - Índice de mejora estructural (SN optimizado / SN base).</p>	<p>Técnicas de recolección de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensayos de laboratorio. - Simulación estructural - Análisis de costos - Análisis comparativo <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fichas de CBR. granulometría. Proctor. - Software AASHTO. Power Cost. hoja de cálculo comparativa. - Presupuesto - Matriz de evaluación técnica-económica.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------






















Anexo 2

IMDA (lunes ESAL)

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR																							
ESTUDIO DE TRAFICO																							
TRAMO DE LA CARRETERA : INTERCAMBIO MAL DE LA AV. HOSPICIO, TRAMO 00+000 AL 09+000, DISTRITO LA YARADA LOS PALOS UBICACION : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA FECHA : 18/08/2025																		SENTIDO : AMBOS DIA : LUNES					
HORA	CAMIONETAS				BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL				
	MOTOS	MOTO TAXI	AUTO	STATION WAGON	PICKUP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2		2T3	3T2	3T3	
DIAGRA VEH.																							
00:00-01:00 AM																						0	
01:00-02:00 AM																							0
02:00-03:00 AM																							0
03:00-04:00 AM	2																						2
04:00-05:00 AM	1						2																3
05:00-06:00 AM	1		3	2	1			1															8
06:00-07:00 AM	1	2	2	3	3	2		2			1	1											17
07:00-08:00 AM	2	2		2	1	1	1	2	1		2	1											15
08:00-09:00 AM	1	2	3		2	1		1	1			2											13
09:00-10:00 AM	1	1	1	1	3	1	2				1				1								12
10:00-11:00 AM	1	2	1	2	1		2	1	1			1											12
11:00-12:00 AM	1		2	1	1			1			1												7
00:00-01:00 PM	2		1	1	1	2	1					1					1						10
01:00-02:00 PM	2	2	2		4			1	1		1	1											14
02:00-03:00 PM	1	1	1	2	3	1	3	1			2			1									16
03:00-04:00 PM	2	1	1				1					1											6
04:00-05:00 PM	1	1	3	1	1	1	1	2			1												12
05:00-06:00 PM	4	2		3	2		3	2			2	1											19
06:00-07:00 PM		1	1		2	1	2				1												8
07:00-08:00 PM	2		2	1																			5
08:00-09:00 PM																							0
09:00-10:00 PM																							0
10:00-11:00 PM																							0
11:00-12:00 PM																							0
TOTAL	25	17	23	19	25	10	18	14	4	0	12	9	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	179






















Anexo 4

IMDA (miércoles ESAL)

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR																						
ESTUDIO DE TRAFICO																						
TRAMO DE LA CARRETERA : INTERCAMBIO VIAL DE LA AV. HOSPICIO, TRAMO 00+000 AL 09+000, DISTRITO LA YARADA LOS PALOS										SENTIDO : AMBOS												
UBICACION : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA										DIA : MIERCOLES												
FECHA : 20/08/2025																						
HORA	CAMIONETAS				BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL			
	MOTOS	MOTO TAXI	AUTO	STATION WAGON	PICKUP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2		2T3	3T2	3T3
DIAGRA. VEH.																						
00:00-01:00 AM																					0	
01:00-02:00 AM																						0
02:00-03:00 AM																						0
03:00-04:00 AM	1																					1
04:00-05:00 AM	2		2																			4
05:00-06:00 AM	1	1					1															3
06:00-07:00 AM	4	2	2	1		1	3	3			1											17
07:00-08:00 AM	5	1	4		1		2	1														14
08:00-09:00 AM	1	1	2		3			1			1											9
09:00-10:00 AM	3	1	3	2	1	2	1				2											15
10:00-11:00 AM	2	2	3		2												1					10
11:00-12:00 AM	3	1	1	2	3	1	3					1										15
00:00-01:00 PM	4	2	3		2		2				2											15
01:00-02:00 PM	1		2	1	1							2										7
02:00-03:00 PM	1	2	3	1	4	2	1	1														15
03:00-04:00 PM	2	1	4	1	2		2	3				1										16
04:00-05:00 PM	3	2	1	3		2		2														13
05:00-06:00 PM	4	3	2		3		1															13
06:00-07:00 PM	1	2	1	2																		6
07:00-08:00 PM	2	1																				3
08:00-09:00 PM																						0
09:00-10:00 PM																						0
10:00-11:00 PM																						0
11:00-12:00 PM																						0
TOTAL	40	22	33	13	22	8	15	12	0	0	6	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	176

Anexo 5

IMDA (jueves ESAL)

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR																							
ESTUDIO DE TRAFICO																							
TRAMO DE LA CARRETERA : INTERCAMBIO VIAL DE LA AV. HOSPICIO, TRAMO 00+000 AL 09+000, DISTRITO LA YARADA LOS PALOS											SENTIDO : AMBOS												
UBICACION : DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA											DIA : JUEVES												
FECHA : 21/08/2025																							
HORA	CAMIONETAS							BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
	MOTOS	MOTO TAXI	AUTO	STATION WAGON	PICKUP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
DIAGRA. VEH.																							
00:00-01:00 AM																						0	
01:00-02:00 AM																							0
02:00-03:00 AM																							0
03:00-04:00 AM	2																						2
04:00-05:00 AM	2		2		2																		6
05:00-06:00 AM	2	1	1	2	1			2															9
06:00-07:00 AM	3	1	1	2	2			2															12
07:00-08:00 AM	3	2	4	3	2	2		1			2												19
08:00-09:00 AM	1	1	2	1	1							1											7
09:00-10:00 AM	4	4	1	3	3			1															17
10:00-11:00 AM	4	1	3			1	2				2		1										14
11:00-12:00 AM	4	2	4	1	4		3	3			1	2						1					25
00:00-01:00 PM	1	2	2	1	2		1			1	2												12
01:00-02:00 PM	1	2	1			1																	5
02:00-03:00 PM	2	2	4		1			1			1		1										12
03:00-04:00 PM	2	1	2	3				2				1											11
04:00-05:00 PM	5	1	3	1		2		2			1		1										16
05:00-06:00 PM	4	3	1		1																		9
06:00-07:00 PM	2	1	2	2																			7
07:00-08:00 PM	1	2	3	2																			8
08:00-09:00 PM																							0
09:00-10:00 PM																							0
10:00-11:00 PM																							0
11:00-12:00 PM																							0
TOTAL	43	26	36	18	20	6	10	14	1	0	9	4	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	191

Anexo 8

IMDA (domingo ESAL)

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRÁFICO

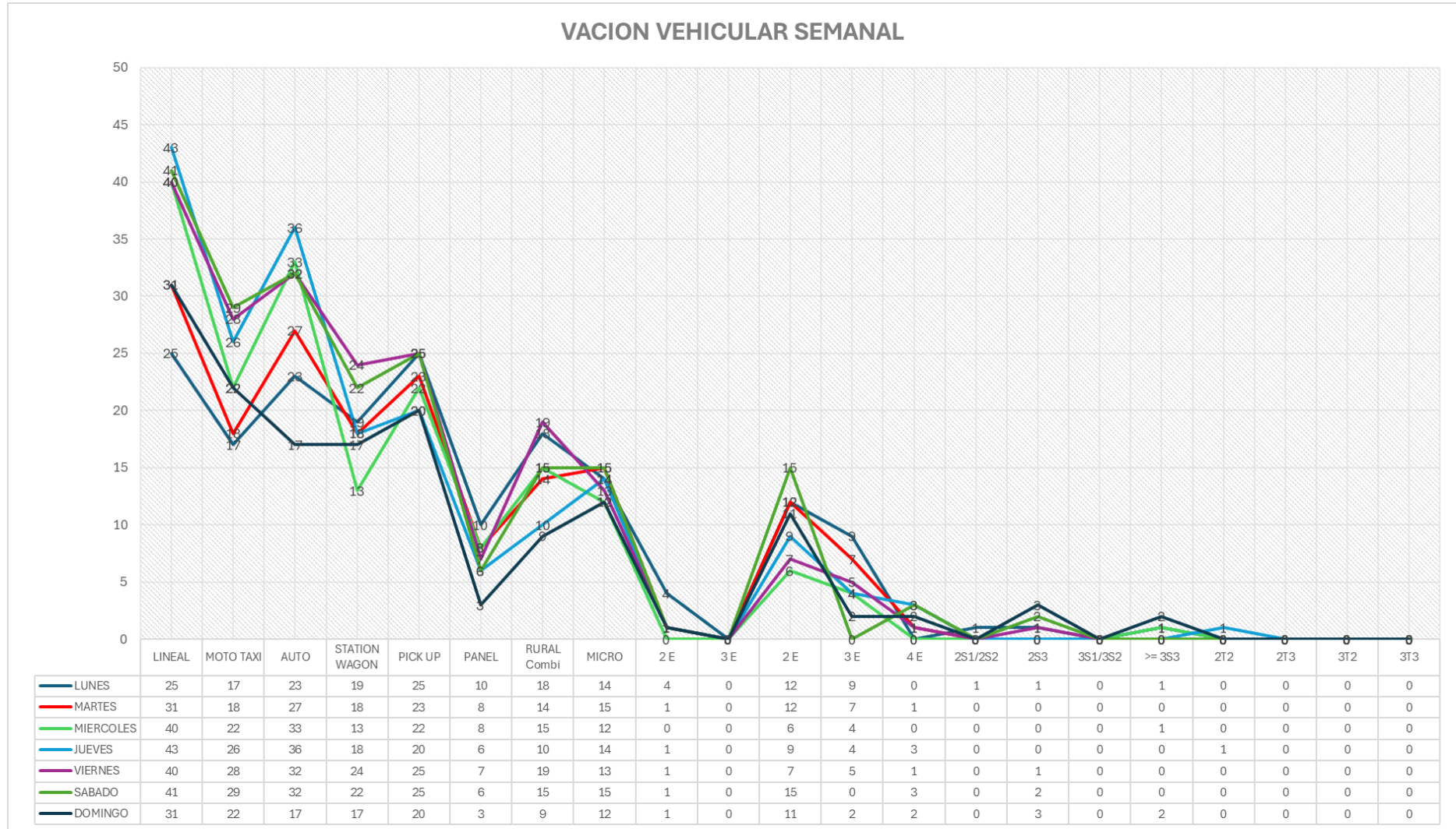
TRAMO DE LA CARRETERA : INTERCAMBIO VIAL DE LA AV. HOSPICIO, TRAMO 00+000 AL 09+000, DISTRITO LA YARADALOS PALOS
 UBICACION : DISTRITO LA YARADALOS PALOS, TACNA
 FECHA : 24/08/2025

SENTIDO : AMBOS
 DIA : DOMINGO

HORA	CAMIONETAS							BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
	MOTOS	MOTO TAXI	AUTO	STATION WAGON	PICKUP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
DIAGRA. VEH.																							
00:00-01:00 AM																							0
01:00-02:00 AM																							0
02:00-03:00 AM																							0
03:00-04:00 AM																							0
04:00-05:00 AM		2																					2
05:00-06:00 AM	1	1	2					2			2												8
06:00-07:00 AM	2	1	1					1			1	1			1								8
07:00-08:00 AM	2	2	4	2	4			2			1												17
08:00-09:00 AM	2	3	3	1	2			1	1						1								14
09:00-10:00 AM	3	2	1	1	1			2	1				1				1						13
10:00-11:00 AM	1	1	1	2	1			1			1												8
11:00-12:00 AM	2	1	1	2	1	1			1		1												10
00:00-01:00 PM	2	1	1	1	1			2					1										9
01:00-02:00 PM	3	2	1	1	2																		9
02:00-03:00 PM	3	1	2	3	2	2									1								14
03:00-04:00 PM	1	1		2	1			1			1	1											8
04:00-05:00 PM	1	3			3			2			3												12
05:00-06:00 PM	4	1		1	2			2	2		1						1						14
06:00-07:00 PM	3							1															4
07:00-08:00 PM	1			1																			2
08:00-09:00 PM																							0
09:00-10:00 PM																							0
10:00-11:00 PM																							0
11:00-12:00 PM																							0
TOTAL	31	22	17	17	20	3	9	12	1	0	11	2	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	152

Anexo 9

Variación vehicular semanal



Anexo 10

Cuadros de porcentajes de vehículos

