



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

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

TESIS

**“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE COSTO Y
TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS:
RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL
BARRIO LA UNIÓN, DISTRITO DE SHAMBOYACU,
PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN
MARTÍN”**

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

ASESOR:

Ing. ENRIQUE NAPOLEÓN MARTÍNEZ QUIROZ, M.Sc.

AUTORES:

**MARIÑAS PEREZ, Daniel Alejandro
DEL AGUILA ROJAS, Harodl Víctor**

**TARAPOTO – PERÚ
2022**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis hijas Xiomara y Jimena, a mi esposa Guisela, a mis padres Raul y Marllury y a mis suegos Juan y Betariz. Todos ellos fueron la inspiración y soporte para lograr con esfuerzo y sacrificio alcanzar la maravillosa carrera de Ingeniería Civil.

Daniel Alejandro Mariñas Pérez

Dedico esta tesis a mis padres, mi esposa y a mis Hijos. Víctor Del Aguila Ruiz y Eteldith Rojas Pérez, mi esposa Lidia Kasandra Malpartida Martel y a mis adorados hijos Víctor Adrik Del Aguila Malpartida y Harold Adam Del Aguila Malpartida. que siempre me apoyaron incondicionalmente y son mi motivo para poder llegar a ser un buen profesional. No podría sentirme más afortunado y dichoso con la confianza puesta sobre mi persona, especialmente cuando he contado con su mejor apoyo desde que tengo memoria.

Harold Víctor Del Águila Rojas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado el camino en el momento oportuno, a los docentes de la Universidad Científica del Perú por facilitarnos sus sabias enseñanzas. A nuestro asesor de tesis por orientarnos para la consecución de nuestro trabajo de Investigación.

Daniel Alejandro Mariñas Pérez

Agradezco a Dios por ser quien me brindo las fuerzas, sabiduría y paz necesaria para lograr un sueño más en mi vida.

A mis padres, por su apoyo en todo momento de mi vida, por ser un ejemplo de responsabilidad, dedicación amor y comprensión para toda mi familia.

A mis maestros, quienes durante la vida universitaria no solo fueron una fuente de conocimientos sino también de experiencias, y a nuestra Universidad que nos permitió culminar con éxito esta carrera.

Agradecimientos especiales a mi asesor de tesis el Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. Sc., por guiarme y orientarme en todo el proceso de tesis, por su apoyo metodológico, empatía, responsabilidad, ética profesional y sobre todo por su amabilidad y comprensión hacia mí.

Harodi Víctor Del Águila Rojas

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

**FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA**

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 761-2022-UCP-FCEI del 17 de agosto del 2022, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

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

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

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 19:00 horas del día miércoles 25 de enero del 2023, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL BARRIO LA UNIÓN, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**.

Presentado por los sustentantes:

HARODL VÍCTOR DEL AGUILA ROJAS y DANIEL ALEJANDRO MARIÑAS PÉREZ

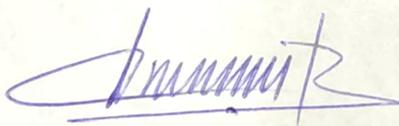
Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

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

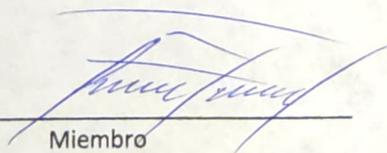
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR UNANIMIDAD CON LA NOTA DE DIECISÍS (16)**.

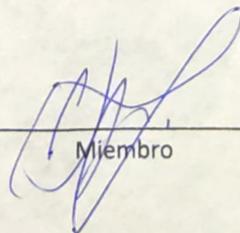
En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



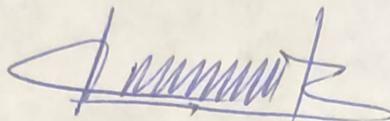
Miembro



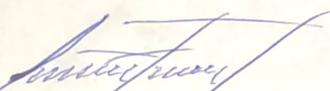
Miembro

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día 25 de enero del 2023 a las 07.00 p.m.



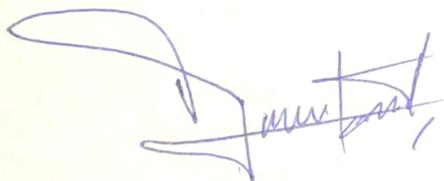
Ing. CALEB RÍOS VARGAS, Dr.
PRESIDENTE DEL JURADO



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



Ing. ALBERTO ALVA ARÉVALO, Dr.
MIEMBRO DEL JURADO



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

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

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL BARRIO LA UNIÓN, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”

De los alumnos: **MARIÑAS PEREZ DANIEL ALEJANDRO Y DEL AGUILA ROJAS HARODL VÍCTOR**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **11% de plagio**.

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

San Juan, 20 de Diciembre del 2022.



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

Document Information

Analyzed document	UCP_INGENIERÍACIVIL_2022_TESIS_HARODLDELAGUILA_DANIELMARIÑAS_V1.pdf (D152513819)
Submitted	12/7/2022 5:06:00 PM
Submitted by	Comisión Antiplagio
Submitter email	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Similarity	11%
Analysis address	revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LUZCAMACHO_RODOLFOPIZARRO_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LUZCAMACHO_RODOLFOPIZARRO_V1.pdf (D110619301) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com		3
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2022_TESIS_JIMYHERNANDEZ_DAMIANSAJAMÍ_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2022_TESIS_JIMYHERNANDEZ_DAMIANSAJAMÍ_V1.pdf (D124075023) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com		3
W	URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1648/PIZARRO%20TUANAMA%20RODOLFO%20Y%20CAMA... Fetched: 11/24/2022 5:12:46 AM		5
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LÉBINISDIAZ_KENNYTEJADA_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LÉBINISDIAZ_KENNYTEJADA_V1.pdf (D117572588) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com		1
W	URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1645/PIPA%20LECCA%20JORGE%20DAVID%20Y%20PIP... Fetched: 4/25/2022 1:29:30 AM		2
SA	tesis Analisis comparativo_Steward Castrejon_ Ver Final.pdf Document tesis Analisis comparativo_Steward Castrejon_ Ver Final.pdf (D143200017)		1
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERIACIVIL_2022_TESIS_ONANTELO_VICTORSANGAY_V1.pdf Document UCP_INGENIERIACIVIL_2022_TESIS_ONANTELO_VICTORSANGAY_V1.pdf (D139440600) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com		1
W	URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/640/JAIRO_TESIS_TITULO_2019.pdf?sequence=1&... Fetched: 6/18/2022 11:33:47 PM		1
W	URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1039/MARTHA_WALTER_ING.CIVIL_TESIS_2020.pdf... Fetched: 11/5/2021 3:57:11 PM		1

Entire Document

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
APROBACIÓN.....	iii
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	3
1.1.1. Antecedentes internacionales.....	3
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	7
1.1.3. Antecedentes Locales.....	11
1.2. BASES TEÓRICAS.....	12
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	53
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	53
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	54
2.2.1. Problema general	54
2.2.2. Problemas específicos.....	54
2.3. OBJETIVOS	54
2.3.1. Objetivo General.....	54
2.3.2. Objetivos específicos	54
2.4. HIPÓTESIS	55
2.5. VARIABLES.....	55
2.5.1. Variable Independiente	55
2.5.2. Variable Dependiente.....	55
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	56
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.1.1. Tipo de Investigación	56
3.1.2. Diseño de Investigación.....	56
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	56
3.2.1. Población	56
3.2.2. Muestra	56
3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	56
3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	57

CAPÍTULO IV: RESULTADOS	58
4.1 RESULTADOS	58
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	82
4.3 PRESUPUESTO	110
4.4 TIEMPO DE EJECUCIÓN.....	116
4.5 RESULTADOS OBTENIDOS	119
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Sección transversal del pavimento flexible.....	26
Ilustración 2:Gráfico para determinar Número Estructural requerido por capas asfálticas	32
Ilustración 3: Sección Transversal Pavimento Rígido.....	33
Ilustración 4: Esquema de esfuerzos debido a las cargas.....	35
Ilustración 5: Sección de pavimento semirrígido con base estabilizada con concreto.....	43
Ilustración 6: Variación del PSI vs. El tráfico acumulado o tiempo para pavimentos de concreto y asfalto	45
Ilustración 7: Influencia de la confiabilidad R en la curva de diseño	48
Ilustración 8: Número estructural para cada capa de pavimento	50
Ilustración 9: Modelo del comportamiento entre la losa de concreto y la capa subyacente	50
Ilustración 10: Prueba de resistencia a la flexión del concreto usando tres puntos	51
Ilustración 11: Monograma para Pavimento Flexible	84
Ilustración 12: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible.....	84
Ilustración 13: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa.....	84
Ilustración 14: Monograma para Pavimento Flexible	91
Ilustración 15: Sección Pavimento Flexible.....	99
Ilustración 16: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido	99
Ilustración 17: Sección del Pavimento Rígido.....	107
Ilustración 18: catálogo de estructuras de pavimento de adoquin con base granular período de diseño 20 años.....	108
Ilustración 19:Sección Pavimento Semirrígido.....	109
Ilustración 20: Programación de Obra Pavimento Flexible.....	116
Ilustración 21: Programación de Obra Pavimento Rígido.....	117
Ilustración 22: Programación de Obra Pavimento Semirrígido.....	118
Ilustración 23: Comparación de Costos.....	122
Ilustración 24: Comparación de Plazos de Ejecución	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Grado del Hormigón Según Resistencia a la Compresión.....	38
Tabla 2: Grado del Hormigón / Elemento	39
Tabla 3: Cuadro de Valor de Soporte	41
Tabla 4: Condiciones Restrictivas en suelos in-situ para aplicación de suelo cemento	44
Tabla 5: Cuadro de drenajes	47
Tabla 6: Clasificación vehicular de IMD	59
Tabla 7: Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos del Jr. Juan Amasifuen Cdra 2.....	61
Tabla 8: Características de Sub rasante Jr. Juan Amasifuen C-01	64
Tabla 9: Agresividad del suelo Jr. Juan Amasifuen C-01	64
Tabla 10: Característica de la sub rasante Jr. Loreto C-01	65
Tabla 11: Agresividad del suelo Jr. Loreto C-01	65
Tabla 12: CBR de la Subrasante	66
Tabla 13: Ensayos de Laboratorio de Canteras	68
Tabla 14: Cantera Rio Ponaza.....	69
Tabla 15: Diseño de Mezcla para sub base y base granular.....	69
Tabla 17: Granulometría y Clasificación de material de Cantera.....	71
Tabla 18: Característica del agua a usar	72
Tabla 18: Conteo Vehicular	74
Tabla 19: Factores de Crecimiento Acumulado (Fca) para el cálculo de Número de Repeticiones de EE.....	75
Tabla 20: Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño.....	76
Tabla 21: Configuración de Ejes	77
Tabla 22: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos	78
Tabla 23: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE)Para Pavimentos Rígidos	78
Tabla 24: Factor Camión C2 y C3 para Pavimentos	79
Tabla 25: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para ejes Equivalentes (EE)	80
Tabla 26: EE día-carril para Pavimento Flexible y Semirrígido	81
Tabla 27: EE día-carril para Pavimento Rígido	81
Tabla 28: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible y Semirrígido	82
Tabla 29: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido.....	82
Tabla 30: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño Para Pavimentos Flexibles, Semirrígidos y Rígidos	82

Tabla 31: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico	85
Tabla 32: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (ZR) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico.....	86
Tabla 33: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico ...	88
Tabla 34: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico	88
Tabla 35: Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico	89
Tabla 36: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular.....	92
Tabla 37: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a1	93
Tabla 38: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje MI	95
Tabla 39: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular	96
Tabla 40: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente	97
Tabla 42: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante ...	100
Tabla 42: Módulo de Elasticidad (Ec)	101
Tabla 43: <i>Valores Recomendados de Resistencia del Concreto</i>	102
Tabla 44: Módulo de Rotura del C ^o (S'c).....	102
Tabla 45: Coeficiente de Transferencia de Carga (J).....	103
Tabla 46: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares	103
Tabla 47: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)	104
Tabla 48: Valores recomendados de Espesores Mínimos	107
Tabla 49: Características de la vía con Pavimento Flexible	110
Tabla 50: Presupuesto.....	111
Tabla 51: Características de la vía con Pavimento Rígido	112
Tabla 52: Presupuesto.....	113
Tabla 53: Características de la vía con Pavimento Semi-Rígido	114
Tabla 54: Presupuesto.....	115
Tabla 55: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn	119
Tabla 56: Resumen Características del Sub rasante	119
Tabla 57: Cuadro Comparativo entre Pavimentos	120
Tabla 58: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos....	121
Tabla 59: Cuadro Comparativo Técnico – Económico	122
Tabla 60: Cuadro Comparativo Financiero	124
Tabla 61: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución	125
Tabla 62: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos.....	126
Tabla 63: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero	126

RESUMEN

Este estudio tiene como finalidad hacer un comparativo entre el costo y tiempo de ejecución de un proyecto de pavimentación tipo rígido, flexible y semirrígido, con la finalidad de conseguir un diseño óptimo en la pavimentación del Barrio la Unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.

Basándose en el comportamiento que tienen cada uno de estos, partiendo de la base de que las tres alternativas, son soluciones satisfactorias para el proyecto de pavimentación, y centrando el análisis en dos factores preponderantes; Por un lado, el factor económico, en el cual está involucrado el costo de cada alternativa y la vida útil. Por otro lado, se expone el factor funcional, mediante el cual se verificará el tiempo de ejecución de los tres pavimentos y por ende cual es el más apropiado.

El proyecto se basa en una investigación descriptiva, presentando las características de los pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos, así como sus análisis de costo, sus ventajas y desventajas, tiempo de ejecución, como caso de aplicación se tomara el Barrio la Unión, en el distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín, estos nos permitirá identificar la mejor alternativa en base a costo y tiempo de ejecución, concluyéndose cuál es la mejor opción para realizar cada uno de los tres proyectos.

En conclusión, el pavimento rígido sería la mejor opción para emplear técnicamente, aunque inicialmente sea más costoso a largo plazo el costo de mantenimiento es menor.

Palabras claves: Pavimento Flexible, Pavimento Rígido, Pavimento Semirrígido.

ABSTRACT

The purpose of this study is to make a comparison between the cost and execution time of a rigid, flexible and semi-rigid paving project, in order to achieve an optimal design in the paving of Barrio la Unión, district of Shamboyacu, province of Picota, Department of San Martin.

Based on the behavior of each of these, based on the fact that the three alternatives are satisfactory solutions for the paving project, and focusing the analysis on two prevailing factors; On the one hand, the economic factor, in which the cost of each alternative and the useful life are involved. On the other hand, the functional factor is exposed, through which the execution time of the three pavements will be verified and therefore which is the most appropriate.

The project is based on a descriptive investigation, presenting the characteristics of rigid, flexible and semi-rigid pavements, as well as their cost analysis, their advantages and disadvantages, execution time, as a case of application, the Barrio la Unión will be taken, in the Shamboyacu district, Picota province, San Martin department, these will allow us to identify the best alternative based on cost and execution time, concluding which is the best option to carry out each of the three projects.

In conclusion, rigid pavement would be the best option to use technically, although initially it is more expensive in the long term, the maintenance cost is lower.

Keywords: Flexible Pavement, Rigid Pavement, Semi-rigid Pavement.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

1.1.1. Antecedentes internacionales

- ❖ Según Lina Mercedes Monsalve Escobar, Laura Cristina Giraldo Vásquez y Jessyca Maya Gaviria (2012) en su tesis de grado titulada “Diseño De Pavimento Flexible Y Rígido”. De la Universidad del Quindío, Se Llegan a las siguientes conclusiones:
 - La combinación de agregados propuesta no cumple con la dosificación, ya que el rango de material llenante o filler es del 9% se considera que es un porcentaje muy alto para este material.
 - Uno de los posibles procedimientos que llevaron a que esta propuesta de dosificación no fuera adecuada es el instrumento de laboratorio para realizar el baño maría de las briquetas ya que este se realiza de una manera muy artesanal sin garantizar la temperatura constante de la briqueta.
 - Otra justificación al comportamiento de este ensayo es que las variables son difíciles de controlar ya que la manipulación del material por un gran número de personas puede ocasionar diferencia en el protocolo y alterar resultados.
- ❖ Johanna Astrid Buitrago Velandia Diana Patricia Cano Osorio. En su trabajo de investigación titulado: “Análisis Comparativo De Metodologías De Auscultación De Pavimentos Flexibles”, de la Universidad Militar Nueva Granada, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:
 - Al establecer una comparación de las metodologías de auscultación visual, que ha venido implementando el Instituto de Desarrollo Urbano IDU, al nivel local (Bogotá), es posible definir que cada metodología teniendo en cuenta sus criterios de evaluación, clasificaron las vías evaluadas en el mismo rango, es decir, la vía arterial clasificó por las dos metodologías como en estado

superficial bueno, la intermedia al igual que la local en estado regular. Sin embargo, se pudo establecer que cada metodología tiene sus propios rangos y evaluación de los daños implícitos en estas, concluyendo que no es posible cambiar los estándares o límites permitidos, ya que los cálculos y estimaciones de peso por cada daño están en función del área que pueda afectar la patología presentada en un área de tramo a evaluar.

- Como se presentó, la metodología de auscultación IDU 2008 como fue catalogada durante el desarrollo del trabajo, la cual fue estimada en función a los lineamientos de la metodología PAVER, propuesta por el cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos, establecía tan solo 9 tipos de daño, los cuales de acuerdo con los resultados obtenidos son suficientes para estimar la condición real de la superficie de rodadura, para una vía que no haya sido objeto de ningún tipo de mantenimiento, ya que no considera si esta ha tenido un tipo de intervención a manera de reparación (como parcheo), lo cual si contempla la metodología PCI y le da un peso especial cuando este tipo de daño se presenta.

- ❖ Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos una Tesis, del autor: Bruno Milton Burgos Vásquez, titulada **“ELABORACIÓN DE EXPEDIENTE TÉCNICO PROYECTO: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA RUTA S/R: SANTA ELVIRA – EL ARENAL, EN LA COMUNA DE VALDIVIA, 2014”** de la Universidad Austral de Chile, que llegan a las siguientes conclusiones:
 - La construcción de pavimentos, ya sea vía principal, colectora, troncal o de servicio es de gran importancia para la comunidad, debido al impulso económico que genera, tanto a nivel regional como nacional. Cabe destacar, que, en caso de la Región de Los Ríos, los pavimentos aportan a la conectividad ya que beneficia a las principales actividades comerciales como los son la actividad forestal y agropecuaria. En este trabajo de titulación se expone el proceso constructivo del pavimento flexible y del rígido, el cual comprende varias etapas, como lo son: diseño, ejecución y mantenimiento de

los mismos; así como las diferentes aplicaciones que poseen, en base a las normas y especificaciones vigentes para su construcción.

- El análisis y posterior estudio sobre el pavimento rígido y el flexible realizado en el presente trabajo de titulación, está enfocado en dos aspectos principales, el funcional, en el cual tiene gran preponderancia el diseño, y por otro lado el económico, donde interviene el costo inicial de cada alternativa y el costo de conservación durante su vida de servicio.

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

- Basado en los resultados obtenidos y en los objetivos trazados se plantea las siguientes conclusiones:
- Con la aplicación de la metodología propuesta por la AASHTO 1993, para el diseño de pavimentos rígido y flexible, abordado en el estudio de Caso plasmado en el capítulo VIII, fue posible identificar que el pavimento flexible requiere un mayor espesor de capas subyacentes a la superficie de rodadura, sin embargo, los costos iniciales de construcción son menores que los requeridos por el pavimento rígido, aunque el espesor de la estructura sea menor.
- En la construcción de pavimento rígido basta con una capa de base e incluso se puede colocar directamente sobre la sub rasante si el material de soporte es de buena calidad, la ventaja del pavimento rígido en relación al flexible es la capacidad que tiene la losa de absorber y disipar los esfuerzos producidos por los efectos del tránsito, en cambio el pavimento flexible los distribuye a las capas subyacentes.
- La ventaja de implementar la metodología de la AASHTO 1993, para el diseño de estructuras de pavimento Rígido, es porque se puede obtener

directamente el espesor requerido de la losa, para soportar la carga que se producirá a lo largo de del periodo de vida para el cual se diseñe la estructura, en cambio sí se diseña pavimento Flexible el resultado que se obtiene de la aplicación de la ecuación AASHTO-93, es una reacción a la carga inducida por el tráfico, la cual debe ser distribuida y absorbida por las capas subyacentes.

- ❖ Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos una Tesis, del autor: Rafael Alejandro Torres Ziri6n, titulada **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE EL PAVIMENTO FLEXIBLE Y EL PAVIMENTO RÍGIDO”**. Guatemala, octubre de 2015 siguientes conclusiones:

Puede verse, en el análisis realizado, que el costo del pavimento rígido es más alto que el del pavimento flexible; en cuanto a ejecución se refiere. Para ello debe de tomarse en cuenta que se realizó la comparación tomando en consideración los mismos parámetros de diseño, en cuanto a cargas, tipo de sub rasante, especificaciones de materiales y tiempo. Hablando en sentido constructivo, ambos pavimentos cumplen con todos los requisitos para brindar un buen servicio a través de su vida útil; tomando en consideración que la ejecución de ambos conlleva un estricto control de calidad que garantice durabilidad y buen funcionamiento. Siendo indispensable, para que esto se cumpla, un apropiado programa de mantenimiento que garantice su conservación.

- ❖ Tenemos una Tesis, de los autores: Dra. Ing. Diana Movilla Quesada y Dr. Ing. Aitor Raposeiras Ramos **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA RUTA S/R: SANTA ELVIRA – EL ARENAL, EN LA COMUNA DE VALDIVIA. VALDIVIA - CHILE 2017** Como conclusión final, según el estudio y análisis realizado y basándose en los resultados obtenidos se puede especificar, que para el tramo que une Santa Elvira y El Arenal ubicado en Valdivia en la Región de los Ríos, se elegirá construir un pavimento flexible, el cual es econ6micamente más rentable en lo que se refiere a inversión inicial, y que cumple satisfactoriamente con las condiciones de diseño, en comparación con el pavimento rígido que

presenta una conservación más económica pero de un costo de implementación muy por encima del pavimento flexible.

1.1.2. Antecedentes nacionales

- ❖ Tenemos tesis del autor Richard Ricardo Canahuiri Mollo. En su trabajo de investigación titulado: **“ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO – ECONÓMICO ENTRE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO POR LOS MÉTODOS INSTITUTO DE ASFALTO Y AASHTO-93, EN JR. ABRAHAM VALDELOMAR, URBANIZACIÓN TAMBOPATA, DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMÁN – PUNO”**, DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN, JULIACA–2021, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:
 - Usando las metodologías de diseño de instituto de asfalto y AASHTO 93, luego realizando la comparación técnica entre pavimento rígido y flexible podemos afirmar que el diseño obtenidos por la metodología instituto de asfalto se obtuvo los espesores menores para el mismo caso de tráfico ESAL de diseño y suelo que se encuentra IN SITU , el mantenimiento es muy importante y diseño de estructuras de drenaje ayudará a cumplir su periodo de vida útil, en la comparación técnica es indispensable realizar el análisis en las condiciones de suelo que se encuentra la zona de estudio “IN SITU ” para construir una estructura de pavimento.
 - A los 7 días se aforó el volumen vehicular desde el día domingo 13 de octubre del 2019 hasta 19 de octubre, un promedio de 517 veh/día. Se obtuvo el ESAL de diseño para pavimento flexible 969,936 y pavimento rígido 1' 143,33. En caracterización del suelo se obtuvo un CBR 7.18.
 - Se logró diseñar pavimento flexible con una estructura de Subbase 27 cm, base 24 cm y la superficie de rodadura 13 cm de asfalto. En pavimento rígido la losa de rodadura de 20 cm con una base de 40 cm. con las condiciones reales del suelo IN SITU.

- Al terminar el análisis de comprobación económica aplicando la metodología Costo - Beneficio se finaliza que la mejor alternativa de pavimento con la mejor rentabilidad es el pavimento flexible con costo a precio privados C/E S/. 831,885.74 que fue diseñado por el método instituto de asfalto, es decir es efectivo al menor VAC (valor actual de costos). El Pavimento rígido es mayor a flexible, a precio privado C/E S/. 845,792.22. a precio social el pavimento flexible S/. 705,517.89 y en rígido S/. 717,296.44.
- ❖ Además, tenemos una Tesis del Autor: Consuelo Francisca, Vílchez Alva, Titulada: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE DE LAS VÍAS ALTERNAS CARRETERA MARGINAL TRAMO OVALO RONDERO - BAJO PORTILLO, SATIPO”**, DE LA UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES, HUANCAYO – 2020, que llegan a las siguientes conclusiones:
- Se concluye que del resultado del análisis el pavimento flexible es más económico en 25.02% respecto al pavimento rígido. Y en el mantenimiento del pavimento rígido es más económico en 42.68% que el pavimento flexible. En general es más favorable el pavimento rígido.
 - Se estimó los parámetros de diseño con el METODO AASHTO-93, para pavimentos rígidos: Numero de Ejes Equivalentes (w_{18}), Periodo de diseño, Factor de Confiabilidad (R), Desviación estándar Normal (Z_r), Desviación estándar combinada o total (S0), Índice de serviciabilidad inicial (p_i), Índice de serviciabilidad final (pf), Resistencia a la compresión del concreto (f'_c) kg/cm², Módulo de elasticidad del concreto (E) Mpa, Módulo de ruptura del concreto (Sc) Mpa, CBR (rasante mejorada, rasante, diseño, subrasante), Módulo de reacción de la subrasante mejorada (k) Mpa, Módulo de reacción de la sub base (kb) Mpa.
 - Módulo de reacción combinado (kc) Mpa, Coeficiente de transferencia (J) y Coeficiente de drenaje (Cd).

- Para el pavimento flexible considerados fueron: Numero de Ejes Equivalentes (w_{18}), Periodo de diseño, Factor de Confiabilidad (R), Desviación estándar Normal (Z_r), Desviación estándar combinada (S_0), Índice de serviciabilidad inicial (p_i), Índice de serviciabilidad final (p_f), CBR rasante mejorada y Módulo resiliente (M_r) psi.
- ❖ También, tenemos una Tesis, de los autores: Walter David Ramírez Rojas y Roger Zavaleta Alvarado, titulada **“ELABORACIÓN DE EXPEDIENTE TÉCNICO PROYECTO: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO, SEMIRRÍGIDO CON ADOQUINES DE CONCRETO Y FLEXIBLE PARA LAS CALLES DEL SECTOR VI C- EL MILAGRO – TRUJILLO - LA LIBERTAD, 2017”**, de la Universidad Privada Antenor Orrego, que llegan a las siguientes conclusiones:
- Se concluye que por temas económicos el pavimento flexible es el que mejor se ajusta a la zona de estudio, por lo tanto, dependerá de las autoridades respectivas tomar la decisión acerca de qué tipo de pavimento emplear.
 - Al realizar el estudio de tráfico se concluye que gran parte del flujo vehicular consta principalmente de mototaxis, autos y micros posteriormente el número de repeticiones de ejes equivalentes para el diseño es de aproximadamente 3 millones.
 - Al realizar el estudio de mecánica de suelos se obtuvo un CBR= 49.70 por lo que se concluye el terreno posee una buena capacidad portante, y debido a esto el pavimento flexible ya no necesitaría de una sub base granular en su diseño.
 - Con respecto al levantamiento topográfico se determinó que su topografía es llana presentando pendiente longitudinal menor al 3%, demandando un mínimo movimiento de tierra, por lo que no presenta dificultades en su trazado.

- ❖ También, tenemos una Tesis, del autor para el grado de magister: titulada: **“COMPARACIÓN TÉCNICOECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN FLEXIBLE Y RÍGIDA A NIVEL DE COSTO DE INVERSIÓN”**, Lima, junio del 2017, que llegan a las siguientes conclusiones:
- Ambos pavimentos tienden a incrementar espesores a medida que el tránsito aumenta y que el suelo empeora.
 - Sin embargo, resulta interesante ver como AASHTO 93 castiga a los espesores de pavimentos flexibles si están expuestos a sub rasantes con CBR bajos. - Los pavimentos rígidos, son menos susceptibles a los valores de CBR, pero se comportan bien, bajo condiciones estables de suelos de fundación. - En cuanto al análisis económico, que establece una comparación relativa de costos de inversión (construcción inicial), entre alternativas equivalentes de pavimentos flexibles y rígidos se puede ver una variación entre ellos de +/- 20%
 - En lo que respecta a evaluación de resultados, a partir del análisis desarrollado en los capítulos anteriores, la comparación entre pavimentos de asfalto y de concreto permite concluir; que ambas alternativas de pavimentación presentan buenos resultados, sin embargo, la brecha de conocimientos y tecnológica hace que no se aprovechen las ventajas de los pavimentos rígidos; para afrontar los retos futuros, se requiere un trabajo de capacitación y generación de data de largo plazo.
 - Los pavimentos de concreto, para condiciones de suelo con CBR de 3% (malo), son más económicos.
 - Los pavimentos de asfalto, para condiciones de suelo con CBR de 25% (buenos), son más económicos.
 - Los pavimentos de concreto con suelos con CBR del orden de 10% presentan costos similares a los de asfalto.
 - En general, la variación de costos para pavimentos equivalentes, diseñados con AASHTO 93 y construidos con tecnologías equivalentes, está por el orden de más o menos 20% dependiendo de las condiciones de suelo y tránsito.

1.1.3. Antecedentes Locales

- ❖ Tenemos la tesis **ANÁLISIS COMPARATIVO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO PARA LA REPARACIÓN DE LAS CALLES DEL CENTRO DEL DISTRITO DE TARAPOTO SON LAS VEINTIÚN CUADRAS, JURISDICCIÓN DEL BARRIO CENTRO , EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN SAN MARTÍN PERIODO 2017**: Concluimos que el pavimento flexible es el más económico, de acuerdo al presupuesto elaborado por el tesista, por lo tanto, es el que tiene mayor probabilidad de propuesta para los proyectos de pavimentación de vías urbanas, esto debido a los escasos recursos públicos, se trata de hacer más con menos. Concluimos también que el pavimento flexible tiene un menor tiempo de ejecución de las partidas contractuales, considerando las características y procedimientos constructivos de los materiales empleados, a diferencia del concreto rígido que necesitamos más tiempo en la ejecución, esto se puede observar en la programación Gantt elaborado por el tesista. Podemos concluir también que, de acuerdo al periodo de diseño, los pavimentos rígidos son los de mayor vida útil, esto se puede apreciar visualmente en la ciudad de Tarapoto ya que tenemos pavimentos alrededor de la Plaza de Armas con 50 años de servicio aproximadamente y que todavía están funcionando. También podemos concluir indicando que, el pavimento rígido es el que requiere menor costo de mantenimiento durante su vida útil. Al realizar el estudio de mecánica de suelos se obtuvo un CBR= 12.00%, por lo que se concluye el terreno posee una capacidad portante de regular a mala, y debido a esto el terreno de fundación va tener que ser mejorado. La topografía de la zona en estudio es plana y alineada, lo cual constituye una ventaja para el diseño geométrico vial, de acuerdo a la norma E-010 de Pavimentos Urbanos. Concluimos finalmente, que los valores de espesores de las diferentes capas obtenidos en los diseños, tanto para pavimento rígido y flexible, están dentro de los parámetros que manejamos en la zona del proyecto.

❖ Tenemos tesis de los autores Torres Brandan Martha Mercedes y Abad García Walter Iván. En su trabajo de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL DISTRITO DE SHAPAJA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**, de la Universidad Científica del Perú, Tarapoto – Perú, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:

- Haciendo el análisis comparativo costo-tiempo de ejecución, concluimos que el diseño óptimo para la pavimentación de los Jr. Huallaga Cuadra. 10 y Jr. San Juan Cuadra. 02 del distrito de Shapaja, es el Pavimento Semirrígido, al tener un costo menor del 8.33% respecto del pavimento rígido, y un costo menor del 0.2% respecto del pavimento flexible, en función al tiempo de ejecución el pavimento flexible se ejecuta 20% más rápido que el pavimento semirrígido y 42.86% más rápido respecto del pavimento rígido.

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. Pavimentos

Un pavimento es una estructura-cimiento colocada sobre la superficie de un suelo o terreno natural (sub rasante). El principal objetivo del pavimento es de ser un medio de transferencia de esfuerzos y cargas de tránsito y del ambiente, a la subrasante de manera de que ésta no supere su capacidad soportante durante un período de diseño establecido.

Las funciones de un pavimento son las siguientes:

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

1.2.2. Elementos que Integran un Pavimento

1.2.2.1 Capas de pavimento

La estructura de pavimento es una combinación de diferentes capas como lo son la carpeta asfáltica, carpeta de concreto, base granular, base estabilizada, sub base granular.

Cada capa recibe los esfuerzos de la capa superior y los distribuye a la capa inferior, las capas están colocadas de manera que distribuyan de manera eficiente toda la carga vehicular.

Por lo general, las capas superiores poseen mayor capacidad estructural que las capas inferiores, esto se debe a que las capas superiores soportan mayores esfuerzos y las capas inferiores reciben esfuerzos menores debido a la distribución de esfuerzos de las capas superiores.

1.2.2.1.1 Sub rasante

La sub rasante es el suelo natural in situ sobre el cual será colocada la estructura de pavimento. Ésta debe estar libre de material orgánico y vegetación. La principal función de la sub rasante es de proveer un emplazamiento para la construcción del pavimento, además de soportarlo sin llegar excesivas deformaciones.

A pesar de que la sub rasante no se considera parte del pavimento, la resistencia que posee es importante para soportarlo, por lo tanto, cuando el suelo de la sub rasante tiene una capacidad muy baja, es de alta plasticidad o susceptible a cambios volumétricos; se debe mejorar las características mecánicas de la subrasante mediante algún método de estabilización o sustituyéndolo por otro material de mejores condiciones.

Es la capa de terreno que soporta la estructura del pavimento y que se prolonga hasta una profundidad que no afecte a la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en el diseño final.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por lo tanto, el diseño de un pavimento es básicamente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la sub rasante.

1.2.2.1.2 Sub base

La sub base es la capa que se coloca sobre la subrasante y que se encuentra inferior a la base. Está compuesta por material granular y es de menor calidad granulométrica que la base. En algunos pavimentos rígidos no es necesaria una sub base dentro de la estructura.

Además, proveer de capacidad estructural al pavimento, la sub base tiene funciones secundarias como controlar los cambios volumétricos y de elasticidad, evitar que el material fino de la sub rasante viaje hasta la base; proporcionar un medio drenante del agua libre, evitando que ésta, deteriore el pavimento

Según CR-2010 en su sección 301.03 el CBR mínimo que debe tener el material de subbase debe ser de 30%

Es la capa de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento, en consecuencia.

La capa de la subrasante puede soportar absorbiendo variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. Por lo tanto, ésta capa controlará los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Además, trabaja como capa de drenaje y controla la ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

La función de la sub base, en un pavimento flexible, es puramente económica, buscando así obtener un espesor utilizando el material más barato posible. Podría construirse dicho espesor con materiales de alta calidad como en el caso de la base, pero usualmente se hace aquella más delgada y se sustituye en parte por la sub base que es de menor calidad, trayendo como resultado un aumento en el espesor total del pavimento, pues es un hecho que cuando menor es la calidad del material utilizado, mayor será el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Otra función de la sub base es la de servir de transición entre la base y la sub rasante; ya que el material de la base es granular más o menos grueso y el de la sub base es más fino que le anterior, de esta manera sirve como filtro para evitar que el material de la base se incruste en la sub rasante. La sub base sirve también para absorber las deformaciones que provienen de la sub rasante y que pueden ser perjudiciales para el pavimento en general.

Así también lo son los cambios volumétricos asociados a los cambios de humedad. La sub base sirve también como drenaje para desalojar el agua que se infiltre en el pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la terracería.

De las funciones mencionadas anteriormente, la estructural y la económica son las que más se proyectan en la construcción de pavimentos, el resto dependen de las circunstancias y de los materiales con los que se cuente para la sub base. Generalmente las dos cualidades que se buscan en el material de sub base son: la resistencia friccionante y la capacidad de drenaje; teniendo cada una, en su razón de ser, la importancia de su preferencia. La resistencia friccionante contribuirá a la resistencia en conjunto del pavimento, garantizando buen comportamiento en cuanto a deformabilidad se refiere, como resultado de una buena compactación. La capacidad de drenaje, igualmente importante, es necesaria debido a la doble función que realiza tanto con el agua que se infiltra de la superficie, como la que asciende por capilaridad.

Los espesores de sub base, son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 a 15 cm como la dimensión mínima constructiva.

Los materiales consistirán en materiales de tipo granular con las siguientes propiedades mínimas: un valor soporte (CBR) del 30% sobre muestra saturada y compactada al 100% del Proctor Modificado u otra compactación que el diseñador especifique; un índice plástico (IP) no mayor de 9 y un límite líquido (LL) no mayor de 40. Los materiales de sub base deben ser de fácil compactación para alcanzar la densidad máxima determinada. En el caso de que contengan gravas o rocas, éstas no deben ser mayores de los 2/3 del espesor de la sub base.

Cuando la compactación de la sub base resulte difícil por falta de finos, pueden seguirse dos alternativas: se le agregan los finos o, si esta operación resulta cara en valor y/o trabajo, deben buscarse otros bancos de material que reúnan las especificaciones.

Cuando existan alternativas para el uso de varios bancos, dentro de los límites razonables de acarreo y/o calidad, se escogerá el que disponga de menor porcentaje de material que pase el tamiz 200, que tenga mayor CBR y menor índice plástico (IP).

Es muy importante que los bancos de materiales para sub base, llenen las especificaciones requeridas y se encuentren libres de materia vegetal, basura o terrones de arcillas y otras materias perjudiciales. Debe tenerse presente y tomar en cuenta que un gran número de fallas en los pavimentos se debe a sub bases que no llenan las especificaciones requeridas, que han sido mal compactadas o que se han contaminado debido a la falta de un adecuado drenaje o por falta de control de la sub rasante.

1.2.2.1.3 Base

La base es la capa de pavimento que se encuentra entre la sub base y la carpeta de rodadura. La base aporta una cantidad importante de la capacidad de

estructural del pavimento y posee las mismas funciones secundarias que la sub base.

La base está compuesta por material granular, caracterizada por agregados duros y durables como escoria triturada, roca triturada, grava y arena triturada.

Adicionalmente cuando la capacidad de una base granular se queda corta o si el diseño arroja resultados con espesores de base o carpeta muy elevados se puede llegar a requerir la estabilización de la base utilizando asfalto, cemento, cal, emulsiones, aditivos, o combinaciones de éstos.

Su función primordial es la de proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub base y sub rasante, en una intensidad adecuada. Esta también reduce el espesor de la carpeta más costosa. Muchas veces la base también debe trabajar como la sub base, respecto a la doble función de drenaje mencionada anteriormente.

La primera garantizará la resistencia adecuada y la permanencia de dicha resistencia con la variación de las condiciones que se puedan presentar, como podría ser el contenido de agua. Es lógico que no basta sólo con emplear material friccionante para garantizar la resistencia deseada, es necesaria también una compactación adecuada, necesaria para adquirir la compacidad y trabazón estructural requerida para una buena base.

Los espesores de las bases son muy variables de acuerdo con el proyecto de que se trate, pero suele considerarse que 12 o 15 centímetros, es el espesor mínimo que conviene construir.

En resumen, la base debe proporcionar una superficie de rodadura adecuada, con textura y color conveniente, además de resistir los efectos abrasivos del tránsito. Es muy importante mencionar que esta capa debe impedir, hasta donde sea posible, la infiltración del agua al interior del pavimento.

1.2.2.1.4 Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

La carpeta de rodadura es la superficie superior que está en contacto con las cargas de tránsito. Es la capa de mayor capacidad de soporte de la estructura de pavimento.

Entre las funciones de la carpeta de rodadura se encuentran: soportar los esfuerzos y deformaciones causadas por el tránsito, resistir al clima, la abrasión y el desgaste, proveer una superficie que sea lo suficientemente lisa para que facilite la movilidad de los vehículos y lo suficientemente rugosa para evitar los derrapes, además de ser un medio impermeabilizante protegiendo las otras capas del pavimento de la humedad superficial.

La carpeta de rodadura debe ser construida con ligeras pendientes transversales (bombeo) con el fin de evacuar el agua superficial y evitar que ésta se acumule.

La capa de rodadura también contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros).

1.2.3. Tipos de Pavimento

Los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera:

Los pavimentos generalmente se clasifican en tres tipos:

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

1.2.3.1 Pavimento Flexible

El pavimento flexible está caracterizado por poseer una carpeta de ruedo elaborada con concreto asfáltico, o también llamada mezcla asfáltica en caliente, el cual es producido en plantas asfálticas. Además, está compuesta por una base granular y una sub base granular. En los pavimentos flexibles las capas están colocadas de manera que las superiores tienen mayor rigidez que las capas inferiores.

El pavimento flexible es uno de los más utilizados cuando la vía tiene demandas bajas de tránsito.

Algunos pavimentos que son sometidos a tratamientos superficiales con asfalto también pueden ser clasificados como pavimentos flexibles.

Entre las ventajas de utilizar este pavimento se encuentran:

- Recomendable para cargas vehiculares bajas.
- Es el pavimento que resulta más económico de los tres.
- Facilidad de intervención a las capas del pavimento.
- Permite una impermeabilización completa de la superficie de ruedo.
- La falla por fatiga se genera en la carpeta de ruedo, por lo que se puede intervenir la carpeta con facilidad.
- No es necesario diseñar acero de refuerzo o dovelas

Las desventajas del pavimento flexible son las siguientes:

- No es recomendable para altas cargas vehiculares.

- Es un pavimento menos durable.
- Requiere mayor mantenimiento o intervención.
- Es un pavimento que posee menor capacidad estructural que el pavimento rígido.

El pavimento flexible también conocido como pavimento de asfalto es una estructura formada por varias capas como lo son la sub rasante, la sub base, la base y la carpeta asfáltica; cada una con una función determinada, las cuales en conjunto tienen los siguientes propósitos:

- a) Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito. El pavimento flexible debe estar constituido de manera tal que las cargas, producidas por el tránsito, no provoquen deformaciones de ningún tipo en su estructura, siendo de mucha importancia el espesor que el mismo tenga.
- b) Tener la impermeabilidad necesaria. Este pavimento debe ser lo suficientemente impermeable para impedir la infiltración que puede darse por parte del agua, afectando la capacidad soporte del suelo. De esto se concluye que es de mucha importancia la existencia de un drenaje adecuado.
- c) Resistir la acción destructora de los vehículos. El pavimento debe ser resistente respecto al desgaste y desprendimiento de partículas que se obtiene como consecuencia del paso de los vehículos.
- d) Resistir los agentes atmosféricos. Como un efecto continuo de su presencia, los agentes atmosféricos provocan la meteorización y alteración de los materiales que componen el pavimento, reflejándose este problema, en la vida económica y útil del mismo.

Por lo tanto, deben procurarse materiales de mayor calidad y resistentes a los agentes físicos y químicos.

- e) Poseer una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y comodidad hacia el tránsito de vehículos. La superficie del pavimento, debe proporcionar

un aspecto agradable, seguro y confortable, de manera que el deslizamiento de los vehículos sea óptimo. Esta superficie, que debe ser lisa, también debe ser antideslizante en caso de estar húmeda.

- f) Ser flexible para adaptarse a ciertas fallas de la base o sub base. La flexibilidad del pavimento es muy importante en caso de presentarse asentamiento en alguna de sus capas; pudiendo así adaptarse a las pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

1.2.3.1.1 Función del pavimento

El pavimento debe ofrecer una superficie buena y resistente, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con las llantas del vehículo, además de tener el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos. Además, debe poseer la resistencia y características mecánicas apropiadas para soportar las cargas debidas al tránsito, sin provocar fallas y ni deformaciones permanentes.

Las características de resistencia y deformabilidad son necesarias para la distribución de esfuerzos, de modo que lleguen a la sub rasante a niveles tolerables que no produzcan fallas, asentamientos u otras deformaciones perjudiciales.

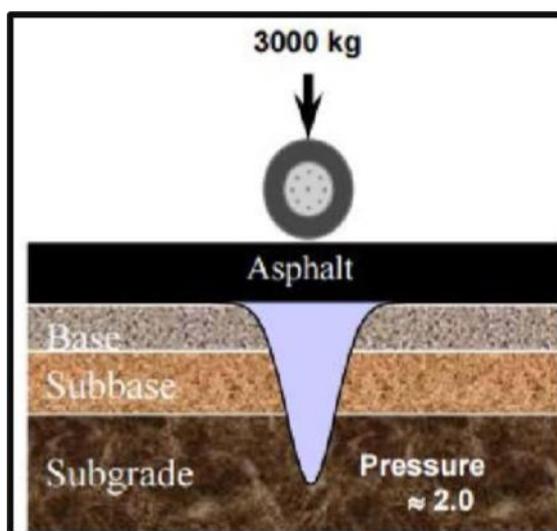
La base, en los pavimentos flexibles, estará formada por materiales friccionantes, cuya capacidad de carga es baja, debido a la falta de confinamiento, por lo que se requiere que sobre la base exista una capa de material cohesivo y resistente a la tensión, como lo es la capa asfáltica.

Se entenderá por pavimento flexible aquel que está compuesto por una capa o carpeta asfáltica es decir el pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto o petróleo, y de los productos de la hulla. Esta mezcla es compacta, pero lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen de tránsito pesado.

Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto, la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base. La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años.

Capa superficial o capa superior que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar.

Las bases y subbases son capas de material pétreo adecuadamente seleccionadas para traspasar las cargas de la carpeta de rodadura a la subrasante (infraestructura). Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, la ubicación de estos materiales dentro de la estructura de un pavimento (superestructura), está dada por las propiedades mecánicas de cada una de ellas.



1.2.3.1.2 Características

Los Pavimentos flexibles se caracterizan por estar conformados principalmente de una capa bituminosa, que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y sub base; sin embargo, es posible prescindir de estas capas dependiendo de la calidad de la subrasante y de las necesidades de cada obra.

Por lo tanto, la capa de más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. Con el fin de aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto, la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga de material (y la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) irá en la parte inferior.

1.2.3.1.3 Duración de un Pavimento Flexible

Para Pavimentos flexibles, la estrategia de diseño seleccionado deberá presentar un mínimo inicial de duración de ocho años antes de que sea obligatoria la superposición de otra capa. En general la duración óptima debería estar diseñada para un período de 20 años. Cuanto mayor sea el módulo que se añada a la capacidad estructural de las capas de pavimento. La carga se distribuye a lo largo de un área más amplia de la sub base o suelo de apoyo.

1.2.3.1.4 Asfaltos Utilizados en la Pavimentación

Los asfaltos se utilizan generalmente para la construcción de pavimentos, y como este proyecto se refiere a las pavimentaciones, a continuación, se darán a conocer las clases de asfaltos que se utilizan en la pavimentación:

- a) Cementos Asfálticos
- b) Emulsiones Asfálticas:
 - Emulsiones asfálticas aniónicas
 - Emulsiones asfálticas catiónicas
- c) Asfaltos Cortados

- Asfaltos cortados de curado lento (SC)
- Asfaltos cortados de curado medio (MC)
- Asfaltos cortados de curado rápido (RC)

1.2.3.1.5 Tipos de Asfalto Según su Utilización

El tipo de asfalto a utilizar en una obra depende de varias características y situaciones tales como: el clima imperante, el tipo de pavimento a confeccionar, agregados pétreos y la intensidad del tránsito. En este caso nos vamos a referir a fondo en dos tipos, que son los más utilizados en la pavimentación que son:

- Riego de Imprimación.
- Riego de Liga

1.2.3.1.5.1 Riego de Imprimación para pavimentos flexibles

El Riego de Imprimación es una aplicación de riego de asfalto que contiene baja viscosidad sobre una base granular, en preparación para la colocación de una mezcla asfáltica. Cuando se va aplicar a una superficie una mezcla de materiales bituminosos y áridos, se aplica antes una pequeña cantidad de material bituminoso líquido para poder unir las partículas superficiales y facilitar la adherencia entre la capa bituminosa aplicada y la superficie de la cimentación.

Cuando este tratamiento se aplica a una superficie relativamente porosa y granular, como grava o piedra machacada, en la que es deseable obtener una considerable penetración del material bituminoso, esta aplicación se denomina capa de imprimación. Como se va a necesitar una profundidad de penetración considerable, se puede deducir que se va a utilizar un producto de curado en cierto modo lento y de baja viscosidad.

Para que el riego de imprimación cumpla con estas funciones, debe existir una cantidad de asfalto que penetre en la base.

Los riegos de imprimación, en general, son cada vez usados con menos frecuencia, en particular cuando el espesor total de la capa asfáltica es de 100 mm (4 pulgadas) o también mayor. Con espesores de asfalto mayores, es menor

la probabilidad de que penetre agua en la base y de que se produzca deslizamiento del pavimento. Sin embargo, un riego de imprimación debiera ser considerado cuando una base granular se mantendrá abierta por un periodo prolongado, como ser en los meses de invierno o cuando será expuesta a algún daño por abrasión del tráfico (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

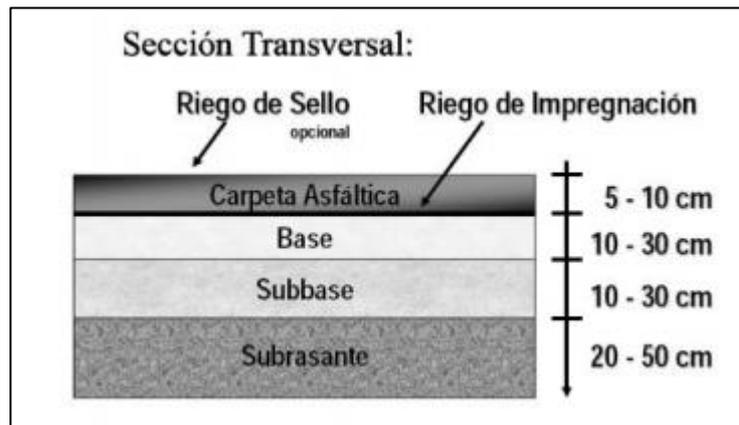
1.2.3.1.5.2 Riego de Liga para Pavimentos Flexibles

El Riego de Liga es una ligera aplicación de riego de emulsión asfáltica diluida. Este usa para adherir la superficie del pavimento ya existente y la capa de asfalto que tendrá que ser colocada posteriormente efectuada esta operación. Sirve para mejorar la adherencia entre el revestimiento asfáltico y la capa subyacente, la emulsión se diluye agregando una cantidad igual de agua.

El riego de liga debería ser aplicado solo en áreas que pueden ser pavimentadas en el mismo día. Los mejores resultados se logran cuando el riego de liga se aplica sobre una superficie seca y la temperatura de éstas supera los 25°C. Para lograr una buena adherencia, la superficie que será tratada con el riego de liga debe estar limpia y libre de todo material suelto.

Al finalizar la aplicación del riego de liga y antes de colocar el recapeo, se debe dar tiempo para que se produzca la completa rotura de la emulsión diluida, es decir el cambio del color marrón al color negro. Por eso el tráfico se desvía de la zona tratada porque el pavimento se encuentra fresco y en general demasiado resbaladizo para realizar una conducción segura, también se puede solucionar con emulsiones termo adherentes para que los neumáticos de los vehículos no se adhieran al asfalto.

Ilustración 1: Sección transversal del pavimento flexible



Fuente: Manual de Carreteras 2020

Dentro de las principales funciones en conjunto de las capas del Firme flexible tenemos:

- Tener la impermeabilidad necesaria para que impida la filtración del agua, afectando principalmente la capacidad de soporte del suelo.
- Resistir de la mejor manera las cargas generadas por el tránsito, sin que estén produzcan deformaciones de ningún tipo en la estructura, considerando el espesor como factor fundamental.
- Soportar los diferentes agentes atmosféricos, esperando que no se generen problemas como la meteorización y alteración de los materiales que forman el pavimento, por lo que se debe poner atención en los materiales para que resistan lo agentes físicos y químicos.
- Debe contar con una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y confort durante el tránsito de vehículos, siendo esta de aspecto agradable y entregarles seguridad a los usuarios.
- Poseer flexibilidad para adaptarse a las posibles fallas que se pueden presentar durante su vida de servicio (Torres Rafael, 2007).

Así mismo el pavimento debe ofrecer una superficie buena y resistente, con una rugosidad mínima para poder garantizar la fricción con las llantas de los vehículos,

como también debe contar con un color adecuado para evitar deslumbramientos y/o reflejos.

1.2.3.1.6 Método Simplificado de diseño de un Pavimento Flexible

Actualmente, el diseño estructural se basa en la aplicación de principios que están comprobados mediante estudios teóricos y en una amplia investigación sobre su comportamiento, observando en ensayos realizados en los laboratorios. Estos ensayos se realizan luego que se toman las muestras necesarias en el terreno donde se va a producir la pavimentación, se toman testigos y luego son llevados al laboratorio que luego de unas horas o días si se produce alguna complicación y entregará el informe correspondiente donde se verá si el terreno es apto o no para efectuar los trabajos.

Los pavimentos flexibles se caracterizan por tener una baja resistencia al esfuerzo de corte, que va a depender, por cierto, del espesor de sus capas componentes del diseño para transformar las cargas recibidas por la superficie de rodado a las cargas que puede soportar el suelo de fundación. Además, existe un Riego de Liga entre las capas asfálticas (Carpeta, Binder y Base) y un riego de imprimación entre la base granular y la base asfáltica.

Al diseñar un Pavimento Flexible hay que tener siempre presente que la carga que se aplica a la superficie es distribuida sucesivamente sobre áreas mayores a medida que es transmitida por cada capa a la subyacente, la sollicitación que se produce por la carga inicial disminuye con la profundidad.

1.2.3.1.7 Etapas de Diseño de un Pavimento Flexible

Como ya fue mencionado anteriormente la Dirección de Vialidad, es el ente encargado de velar por el desarrollo de la infraestructura vial del país. Su función es fijar procedimientos y límites normativos que cubren los aspectos relacionados con los estudios de carreteras y caminos en áreas rurales y urbanas que se encuentran bajo su tuición a través de un documento oficial llamado Manual de Carreteras.

1.2.3.1.8 Diseño Estructura del Pavimento Flexible

Corresponde a un factor que caracteriza el aporte estructural de una determinada capa en base a propiedades acordes al material que la conforma. Se determina en todos los casos a partir del valor del módulo elástico, es decir tanto para capas granulares como asfálticas. La complejidad para determinar el módulo elástico permite obtener su valor en forma indirecta según sea el caso. Se establece una relación entre el módulo elástico y el valor de estabilidad Marshall para las capas asfálticas, con el valor del CBR en capas granulares no tratadas y con la resistencia a compresión en probetas cilíndricas en el caso de tener bases tratadas, ya sea con cemento o asfalto.

El método expuesto por el Manual de Carreteras considera, al igual que el método AASHTO, el valor del módulo elástico denominado en estos casos Módulo Resiliente efectivo (Mr) del suelo de fundación como su parámetro de caracterización. Este mide propiedades elásticas del suelo luego de aplicársele cargas cíclicas, asemejando el comportamiento al cual estará sometida la estructura producto de la repetición de sollicitaciones generadas por el constante paso de las cargas de rueda.

La definición de “Módulo Resiliente efectivo” implica determinar un valor medio considerando el efecto de las variaciones estacionales producto de condiciones medioambientales. En general y para evitar mayores complicaciones se adopta un valor único con la salvedad de situaciones en que intervienen condiciones extremas de frío, en donde la acción de la helada pasa a jugar un papel importante en el comportamiento de la sub rasante.

Índice de Serviciabilidad

Corresponde a un parámetro cuya finalidad es medir la calidad funcional de un pavimento. La suavidad, la resistencia al deslizamiento, el agrietamiento, el ahuellamiento e incluso la estética de la vía son factores de calificación importantes para los usuarios. Existe, por otro lado, un tópico muy importante a la hora de evaluar el desempeño de una carretera y corresponde a la capacidad

estructural. Ambos aspectos están relacionados en alguna medida, pero no intrínsecamente, ya que no necesariamente un pavimento con mala calidad funcional presenta problemas estructurales y viceversa.

Las ecuaciones de correlación estipuladas son aplicables a casos en que el IRI inicial sea menor a 1,5 m/km; en estos casos el valor de serviciabilidad correspondiente a ese IRI podría ser usado perfectamente como valor de serviciabilidad inicial, quedando esto a criterio del diseñador. El valor de la serviciabilidad inicial depende exclusivamente de la calidad de la construcción.

Para el caso de la serviciabilidad final (P_f) se recomienda un valor de 2, el cual representa un límite establecido asociado a un nivel de deterioro tal en el pavimento que no permite transitar con comodidad, llegando así al término de su vida útil y requiriendo una posterior rehabilitación.

Índice de Confiabilidad

En el diseño de pavimentos existe una alta incertidumbre en cuanto a la determinación y comportamiento de los factores involucrados en él. Es por esto que dentro del modelo que busca dar solución al problema de determinar los espesores, es necesario incluir un parámetro que considere tal incerteza.

El término confiabilidad representa la probabilidad de que el diseño proyectado no falle o dicho de otra forma, cumpla con el desempeño esperado, reflejando la variabilidad estadística. La variabilidad asociada a cada uno de los factores involucrados en el desempeño de una estructura de pavimento es representada por cuatro indicadores estadísticos, que corresponden al promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el rango.

Una vez determinado el nivel de confiabilidad esperado, se define un factor estadístico (Z_r) asociado al valor escogido, el cual es parte de la ecuación de diseño y se refiere a la probabilidad que la serviciabilidad real del pavimento sea igual o mayor que la esperada. Este factor Z_r está basado en una supuesta distribución normal de los datos.

1.2.3.1.9 Procedimiento de Diseño de un Pavimento Flexible

Una vez que se cuenta con la totalidad de los datos necesarios para el diseño, se procede en primer lugar a calcular el Número Estructural requerido sobre la sub rasante del pavimento a través de la expresión presentada en la siguiente ecuación. Esta ecuación incluye un factor beta que igualmente se detalla a continuación:

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

Donde:

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

Los espesores se determinan de manera que la suma de los aportes estructurales de las capas correspondientes cumpla tanto con el Número Estructural necesitado sobre la sub rasante así como sobre la base granular. El aporte estructural de cada capa se obtiene mediante el producto del espesor correspondiente con el coeficiente estructural asociado al tipo de material. En el caso de las capas granulares (base y sub base) se considera también el factor referido al coeficiente de drenaje para establecer la capacidad de evacuar el agua acumulada en la estructura.

La expresión que refleja el aporte estructural total considerando todas las capas de pavimento, el cual debe compararse con el Número Estructural total requerido, se presenta en la siguiente ecuación:

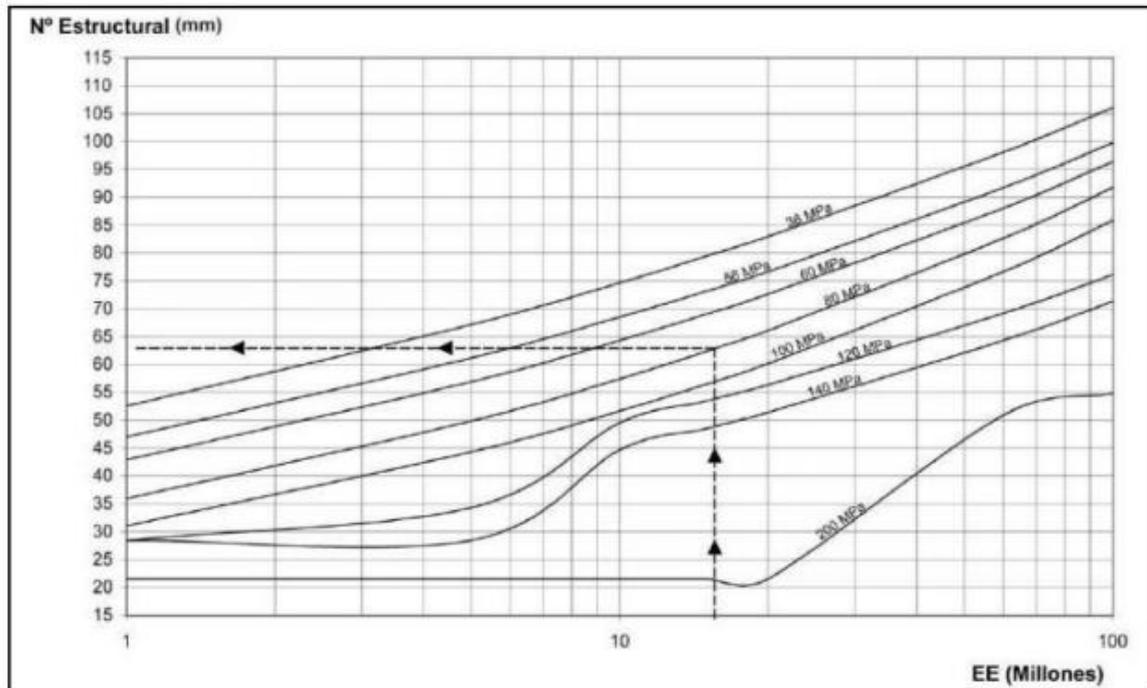
$$NE = a_1 \times h_1 + a_2 \times h_2 \times m_3 + a_2 \times h_2 + \times m_3$$

Donde:

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

Al existir más de una variable desconocida implícita en esta ecuación (el espesor de cada una de las capas), no existe una única combinación que satisfaga el Número Estructural pedido y dé por solucionado el problema. Debido a esto, con el propósito de compatibilizar los espesores con los aspectos constructivos y de estabilidad de una determinada capa, se limitan los espesores a través de valores mínimos correspondientes a 50 mm para cada capa asfáltica (no se considera esta regla para mezclas especiales) y 150 mm para cada capa granular.

Ilustración 2: Gráfico para determinar Número Estructural requerido por capas asfálticas



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

Probablemente, el valor calculado de TMAPA de la localidad respectiva no coincida con ninguno de los tres valores usados como patrones en los gráficos. Para encontrar el Número Estructural buscado se debe interpolar con los valores del Número Estructural obtenidos con las dos temperaturas más cercanas. El mismo criterio de interpolación debe ser usado en caso que el Módulo Resiliente de la sub rasante no corresponda a alguno de las curvas dadas en los gráficos. En caso que la TMAPA o el Módulo Resiliente queden bajo o sobre los extremos de los valores de los gráficos, se deberá extrapolar usando los valores más cercanos (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

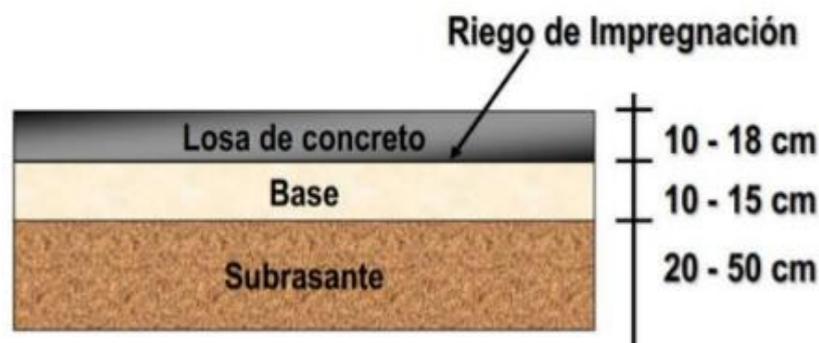
1.2.3.2 Pavimentos Rígidos

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub rasante. Todo lo contrario, sucede

en los pavimentos flexibles, que, al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayores tensiones en la sub rasante.

Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento hidráulico. Recibe el nombre de pavimento rígido debido a las propiedades de la carpeta de concreto que absorbe en mayor grado las cargas vehiculares.

Ilustración 3: Sección Transversal Pavimento Rígido



Fuente: cámara nacional del cemento

Son los pavimentos conformados por cemento Pórtland, arena de río, agregado grueso y agua, tendido en una sola capa. Dependiendo de la necesidad, estos pavimentos pueden estructurarse por la capa de sub base y base, conformando así una losa de concreto, de espesor, longitud y ancho variables.

El pavimento rígido está compuesto por una carpeta de ruedo elaborada con concreto hidráulico. La carpeta de concreto puede ser colocada directamente sobre la sub rasante, pero en algunos casos se provee de una sub base granular y/o base granular, para evitar que la losa entre en contacto con los finos de la sub rasante.

Los pavimentos rígidos o hidráulicos como se les conoce también, defieren de los pavimentos de asfalto o flexibles, en que poseen una resistencia considerable a la flexión, además de que se ven considerablemente afectados por los cambios de temperatura. Los pavimentos rígidos están sujetos a los siguientes esfuerzos:

- a) Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b) Esfuerzos directos de compresión y cortadura, causados por las cargas de las ruedas.
- c) Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- d) Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- e) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Debido a la relación que existe entre los pavimentos rígidos y los esfuerzos anteriormente mencionados y para que los pavimentos cumplan con su vida útil como se espera, es necesario basarse en los siguientes factores:

- a) Volumen, tipo y peso del tránsito a servir en la actualidad y en un futuro previsible.
- b) Valor relativo de soporte y características de la sub rasante.
- c) Clima de la región.
- d) Resistencia y calidad del concreto a emplear

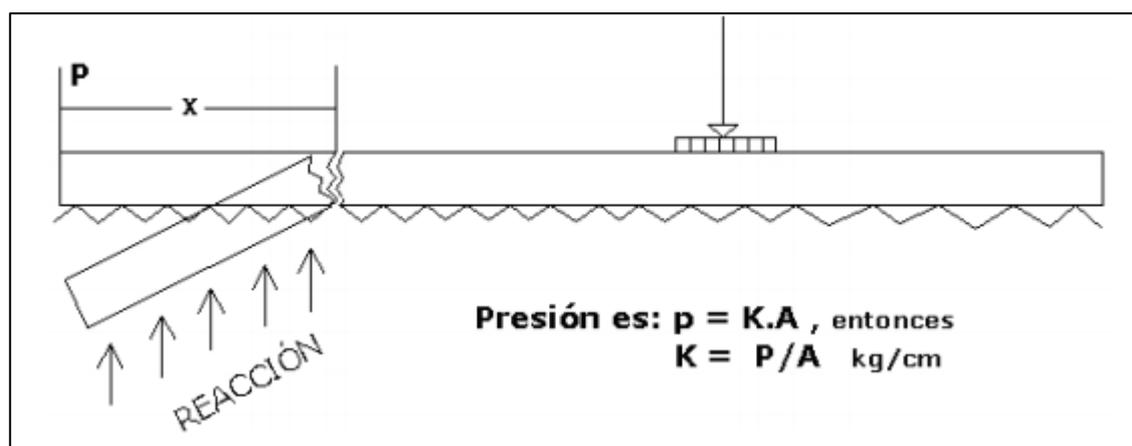
Estos factores son de mucha importancia para que el pavimento sea óptimo y económico. Por ejemplo, el espesor de la losa de concreto es muy grande comparado con el requerido, es decir, que posee una carga superior a la que realmente soporta, tendrá un comportamiento satisfactorio pero su costo de construcción será muy elevado; al contrario, si el espesor es menor que el requerido, se acortará su vida de servicio, teniendo un costo de conservación elevado, obteniéndose un comportamiento poco satisfactorio.

Es necesario el conocimiento del volumen del tránsito además de sus características, tanto actual como futuro, de tal manera que se puedan fijar aspectos como el número y ancho de las vías, el peso de las cargas por rueda, muy importante a la hora de calcular el espesor de las losas.

Debido a esto es muy importante toda recopilación de datos que se pueda obtener con relación al tránsito en el lugar; para esto puede recurrirse a los censos de tránsito en el lugar en estudio.

Respecto a los esfuerzos generados por las cargas, los de flexión son los más relevantes en las losas. Mediante estudios teóricos y ensayos en losas, se ha comprobado que el punto crítico de una losa de espesor uniforme, es el correspondiente a la esquina de la misma, es decir, el ángulo formado por un borde exterior y una junta transversal.

Ilustración 4: Esquema de esfuerzos debido a las cargas



1.2.3.2.1 Funciones de las distintas capas de un Pavimento Rígido

1.2.3.2.1.1 Sub base

Normalmente es muy necesaria y casi siempre las condiciones de la sub rasante la exigen. Sus funciones son:

- Eliminar la acción de bombeo.
- Aumentar el valor soporte y proporcionar una resistencia más uniforme a la losa de concreto.
- Hacer mínimos los efectos de cambio de volumen en los suelos de la sub rasante.

Después de la selección del tipo de pavimento de concreto, tipo de sub base, si es necesaria y tipo de hombros (con o sin hombros de concreto, mordientes y

cunetas o mordientes integrados), prosigue el espesor de diseño, que es determinado en base a los siguientes factores de diseño:

- Resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura, MR).
- Resistencia de la sub rasante, o combinación de la sub rasante y la sub base (k).
- Los pesos, frecuencia y tipo de carga de eje de camión, que el pavimento tiene que soportar.
- Período de diseño, el cual en éste u otro procedimiento de diseño de pavimento es usualmente tomado de 20 años, pero puede ser mayor o menor.

1.2.3.2.1.2 Base

Es la capa que se coloca debajo de las losas de concreto y arriba de la sub base. La base puede ser de materiales granulares tales como piedra o grava triturada, de arena y grava, de mezcla o estabilizaciones mecánicas de suelos y agregados, o bien suelo – cemento, e inclusive de productos bituminosos y agregados pétreos. Las funciones de la base, en los pavimentos de concreto, en su orden de importancia son:

- Prevenir el bombeo.
- Ayudar a controlar los cambios de volumen (hinchamiento y encogimiento), en suelos susceptibles a sufrir este tipo de cambios.
- Proporcionar una superficie uniforme para el soporte de las losas.
- Aumentar la capacidad estructural del pavimento.
- Prevenir la dosificación que ocurre en las bases granulares bajo el tráfico.

1.2.3.2.1.3 Capa de rodadura

Es la capa superficial de concreto de cemento Pórtland, es decir, la losa en sí, cuyas funciones son:

- Proveer un valor soporte elevado, para que resista muy bien las cargas concentradas que provienen de ruedas pesadas, trabajando a flexión, y lo distribuye bien al material existente debajo.
- Textura superficial poco resbaladiza, aun cuando se encuentre húmeda, salvo que esté cubierta con lodo, aceite u otro material deslizante.
- Proteger la superficie, sobre la cual está construido el pavimento, de los efectos destructivos del tránsito.
- Prevenir a la superficie de la penetración del agua.
- Buena visibilidad, por su color claro, da una mayor seguridad al tráfico nocturno de vehículos.
- Gran resistencia al desgaste, con poca producción de partículas de polvo

1.2.3.2.2 Clasificación de los pavimentos rígidos

- a) Pavimento de concreto con juntas (JPCP).
- b) Pavimento reforzado y con juntas (JRCP).
- c) Pavimento continuamente reforzado

1.2.3.2.3 Ventajas del pavimento rígido

- a) Posee mayor capacidad estructural que el pavimento flexible.
- b) Recomendable para cargas vehiculares altas.
- c) Pavimento más durable.
- d) Requiere menos mantenimiento del pavimento durante su vida útil.

1.2.3.2.4 Desventajas del pavimento rígido

- a) No es recomendable para cargas vehiculares bajas porque se vuelve una solución muy costosa económicamente.

- b) Es posible que se genere bombeo de materiales finos por las juntas hacia la superficie de la losa, cuando no existe sub base.
- c) Se requiere el diseño de acero y/o dovelas, a excepción de algunos pavimentos rígidos que no los tienen.

1.2.3.2.5 Clasificación de Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido

1.2.3.2.5.1 Según Resistencia a la Compresión a los 28 días.

El hormigón se clasifica principalmente por su resistencia a la compresión medida en probetas cúbicas normalizadas de 20 cm. De arista, de acuerdo con la normalización vigente, NP 1017 y NP 1037, ensayadas a los 28 días.

Tabla 1: Grado del Hormigón Según Resistencia a la Compresión

Grado del Hormigón	Resistencia Especifica fe	
	MPa	Kg/cm ²
H5	5	50
H10	10	100
H15	15	150
H20	20	200
H25	25	250
H30	30	300
H35	35	350
H40	40	400
H45	45	450
H50	50	500

Fuente: Norma Peruana NP 170

La resistencia a la compresión puede ser un factor decisivo al momento de diseñar y elegir un hormigón, ya que de él depende la cantidad de cemento utilizado, cantidad de agua agregada a la masada y calidad de los materiales pétreos. La elección del grado del hormigón depende del tipo de elemento y las cargas a los que va a estar solicitado.

Tabla 2: Grado del Hormigón / Elemento

Grado del Hormigón	Elemento
H5	Cimientos
H10	Sobrecimientos
H15	Radieres
H20	Pilares, Vigas, Losas
H25	Pilarejos. Aceras
H30	Pavimentos

Fuente: Norma Peruana NP 170

Los firmes rígidos poseen una gran resistencia a la flexión, pero están sujetos a una cantidad importante de esfuerzos, como los abrasivos causados por las llantas de los vehículos, los de compresión y tensión que son causantes por la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas o por la contracción misma del concreto, por nombrar algunos. Siendo el esfuerzo por flexión el más relevante en las losas, debido a que el punto crítico de una losa de espesor uniforme, es el correspondiente a la esquina de la misma, es decir el ángulo formado por un borde exterior y una junta transversal.

Algunos de los factores que se deben considerar en el diseño para que los pavimentos rígidos puedan cumplir para lograr su vida útil diseñada son:

- El volumen, tipo y peso de tránsito sean previsibles.
- Valor relativo de soporte y caracterización de la sub rasante.
- El clima de la región.
- Resistencia y calidad del concreto a emplear.

1.2.3.2.6 Diseño de un Pavimento Rígido

1.2.3.2.6.1 Factores de diseño

Los factores de diseño que se presentan a continuación, son los que intervienen en el método de diseño expuesto en el Manual de Carreteras Volumen 3 del MOP, que se encuentra basado en la AASHTO.

Tránsito

Este factor depende de la cantidad de vehículos al igual que la frecuencia y composición de las cargas a las que va estar solicitado el pavimento. Podemos definir tránsito como una sucesión de cargas en el tiempo, de diferente intensidad y frecuencia. Para cuantificar el tránsito se debe realizar con la proporción, número y estratigrafía de las cargas, todos estos datos recopilados gracias a los censos, los cuales no pueden entregar cifras del número de vehículos de eje simple, y número de vehículos de eje tandem.

Capacidad de soporte del suelo de fundación

Este es un factor muy importante, ya que del reconocimiento del terreno y de los ensayos ejecutados es posible determinar el tipo de suelo y su capacidad de soporte CBR que se expresa en porcentaje, ya que la ejecución del ensayo del módulo de reacción de la sub rasante es cada vez menos habitual, es posible obtener un valor aproximado (K).

Tabla 3: Cuadro de Valor de Soporte

Relación de Valor de Soporte	
CBR (%)	Módulo de reacción de la Sub-rasante "K" (kg/cm)
2	-
3	2.7
4	3.4
5	3.9
6	4.3
7	4.7
8	5.0
9	5.2
10	5.5
11	5.6
12	5.8
13	5.9
14	6.0
15	6.2
16	6.4
17	6.6
18	6.8
19	7.0
20	7.3
30	9.3
40	11.5
50	13.6
60	16
70	17.9
80	19.5
90	21
100	22

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen 3 MOP. 2012

Resistencia a la Flexotracción

Una de las propiedades más significativas del hormigón en un pavimento es su resistencia a la flexotracción, la cual está íntimamente relacionada con la resistencia a la compresión, ya que un sin número de estudios ha llegado a establecer que la resistencia a la flexotracción equivale a un valor entre 1/6 a 1/8 de la resistencia a la compresión.

Vida de Diseño

Generalmente la vida de un pavimento está determinada por la calidad de servicio entregado, el pavimento ha dejado de ser útil, cuando su serviciabilidad es mala. Debido al desconocimiento de la magnitud y tipo de tráfico futuro, la vida útil de

un pavimento en cuanto a diseño es menor a la real, normalmente se considera una vida de diseño del orden de 20 a 40 años.

Clima

Está determinado con comportamiento climático de cada región. Debido a que no es posible determinar matemáticamente un factor regional, se ha realizado una estimación mediante el análisis de duración de las condiciones climáticas reinantes durante un año típico.

1.2.3.3 Pavimento Semirrígido

El pavimento semirrígido tiene sus raíces en los empedrados, que posteriormente evolucionaron hacia los adoquines de piedra, de madera y de arcilla. Para finalmente con mejores tecnologías de fabricación se lograron los adoquines de concretas resistentes y duraderos con formas y texturas homogéneas

En pavimentos semirrígidos, a diferencia de pavimentos flexibles convencionales, la resistencia al agrietamiento de la carpeta de rodadura no es una respuesta crítica ya que la base cementada provee esta capacidad estructural. Por tanto, para proveer la resistencia a la abrasión de tráfico, la seguridad por fricción y la regularidad de la superficie para el contacto pavimento-vehículo la superficie de rodadura consta de una o más capas de hormigón asfáltico con las propiedades adecuadas de resistencia a la abrasión, ahuellamiento, pulido y construido.

Un pavimento semirrígido es el tipo de pavimento que es similar al flexible en cuanto a los tipos de capas que poseen, la principal diferencia entre los dos radica en que el semirrígido posee una base estabilizada por cemento o asfalto, la cual puede ser mucho más rígida que la carpeta asfáltica.

Ilustración 5: Sección de pavimento semirrígido con base estabilizada con concreto



Fuente: Hoffman, 2009

Este tipo de pavimento es de gran utilidad cuando la cantidad de tránsito no es tan alta como para recurrir al pavimento rígido, ni tan baja como para utilizar el flexible; o cuando es imposible adquirir material de base que sea superior a la calidad requerida.

1.2.3.3.1 Ventajas de un pavimento semirrígidos

- a) Provee una plataforma mejorada para actividades de construcción.
- b) Mejora la capacidad estructural y eleva la vida de servicio.
- c) Mejora la resistencia a condiciones saturadas en comparación con materiales no-tratados.
- d) Posibilidad de utilización de suelos y bases granulares locales en las capas de suelo-cemento.
- e) Mejorar las propiedades de materiales de bancos de préstamos deficientes para su uso en ciertas capas de pavimentos.
- f) Reduce el espesor de las capas de pavimento comparado con materiales no-tratados (p.e. gravas), en especial el volumen de mezcla bituminosa utilizada para base y/o rodadura.

- g) Mejora la resistencia a la fatiga de superficies bituminosas colocadas encima (comparado con materiales no-tratados).
- h) Excelente relación costo/vida útil.

1.2.3.3.2 Límites del suelo cemento semirrígidos

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

Tabla 4: Condiciones Restrictivas en suelos in-situ para aplicación de suelo cemento

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

- b) Su comportamiento puede ser afectado sensiblemente por una fabricación o método constructivo incorrecto más que otras alternativas, por lo que requiere mayor preparación del equipo ejecutor.
- c) Tiempo de “trabajabilidad” reducida (con respecto a materiales no-tratados). Compactación debe terminar por lo general dentro de 1 a 1.5-h. Si se utilizan sustitución con aditivos puzolánicos (p.e. ceniza volante) podría aumentar este tiempo.

1.2.3.3.3 Método AASHTO para el diseño estructural de pavimentos

El diseño de pavimentos consiste en la obtención de los espesores de cada una de las capas de la estructura de pavimento, ya sea, flexible, rígido o semirrígido. Estos espesores obtenidos mediante la metodología AASHTO 1993 son espesores teóricos; por lo tanto, el diseñador, de acuerdo su criterio, puede tener un parámetro para decidir cuáles serán los espesores reales que a colocar.

1.2.4.1 Variables de Diseño

1.2.4.1.1 Ejes Equivalentes (ESAL's)

La carga vehicular está compuesta por una gran variedad de tipos de ejes y vehículos, por lo tanto, es necesario convertirlos a una única unidad de medida

llamada eje equivalente de 18kips (8200kg), esto con fin de realizar una sumatoria de todos los ejes equivalentes anuales.

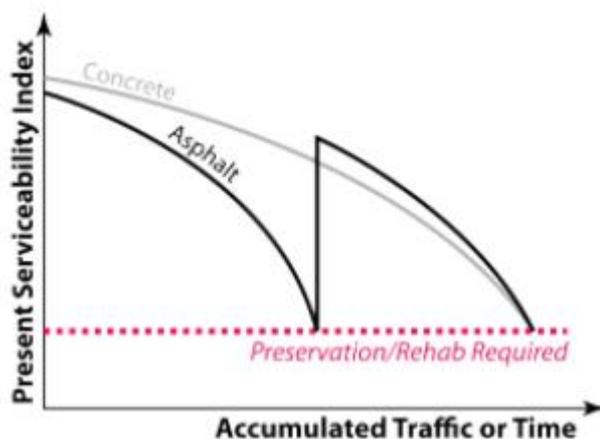
Los ejes equivalentes se obtienen mediante dos tipos de procesos, el primero consiste en obtener el tipo, cantidad, y peso de los ejes simples y tándem que transitan por la vía; AASHTO (1993) en su apéndice D ofrece tablas con factores de equivalencia de carga (LEF) con el fin de convertir los diferentes tipos de ejes en ejes equivalentes.

1.2.4.1.2 Índice de Servicio (PSI)

El Índice Presente de Servicialidad (PSI) es un indicador de la calidad funcional del pavimento, que determina la confortabilidad de un pavimento al tránsito.

EL PSI está basado en el AASTO, es una valoración de la calidad de la circulación elaborada por un panel de evaluación. Dichos evaluadores conducían por una sección del tramo experimental de la AASHTO con el fin de categorizar el pavimento de acuerdo a su calidad en un rango de 0 a 5, donde 0 es un pavimento intransitable y 5 es un pavimento perfecto.

Ilustración 6: Variación del PSI vs. El tráfico acumulado o tiempo para pavimentos de concreto y asfalto



Fuente: ACPA, 2012

1.2.4.1.3 Módulo de Resiliente

Es bien conocido que los materiales de pavimento no son elásticos, debido a deformaciones permanentes después de cada aplicación de carga. Sin embargo, si la carga es pequeña comparada con la resistencia del material y es repetida por un gran número de veces, la deformación bajo cada repetición de carga es casi completamente recuperable (y proporcional a la carga), por esto, se puede considerar este comportamiento como elástico.

El módulo resiliente es obtenido de laboratorio mediante la prueba triaxial la cual está normada bajo la AASHTO T 292. Debido a la dificultad de la mayoría de los laboratorios de poseer el equipo de la prueba triaxial, se han encontrado varias correlaciones entre el módulo de resiliente y otros parámetros como lo son: coeficiente estructural, R-Value, CBR, Triaxial de Texas, entre otros.

El módulo resiliente de una sub rasante puede variar a lo largo del año, ya que la

1.2.4.1.4 Índice de Soporte de California (CBR)

El California Bearing Ratio o mejor conocido como CBR es una prueba de laboratorio con el fin de obtener la resistencia a la penetración de un espécimen de material granular siendo capaz de medir también materiales cohesivos.

El equipo de laboratorio para la prueba de CBR es bastante común entre los laboratorios; ya que, tiene un valor económico bastante menor que el equipo triaxial y es sencillo de manejar por el personal de laboratorio.

En términos generales, la prueba consiste en obtener la resistencia a la penetración de la muestra y compararla con la muestra patrón. Es decir, el CBR es el porcentaje de resistencia que posee la muestra con respecto a la muestra patrón, donde un CBR de 100 es una muestra con la misma resistencia a la penetración que la muestra patrón.

1.2.4.1.5 Coeficiente de Drenaje

Según AASHTO (1993) El drenaje es tratado en dicho manual considerando los efectos del agua en las propiedades de las capas del pavimento y de las consecuencias a la capacidad estructural del pavimento.

Para un diseño nuevo, el efecto del drenaje está en función de la calidad del drenaje (tiempo requerido para que el pavimento sea drenado), y el porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad de saturación inminente. (AASHTO, 1993).

En el Cuadro 2, se presenta los tiempos de drenado de las capas granulares que permiten clasificarlas de acuerdo a calidad de drenaje.

Tabla 5: Cuadro de drenajes

Cuadro 2. Tiempos de Drenaje para Capas Granulares	
Calidad del drenaje	Tiempo de drenado
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	No hay drenado

Fuente: SIECA 2002.

El efecto del drenaje en la capacidad estructural del pavimento es afectado mediante el coeficiente de drenaje, el cual, para pavimentos flexibles es expresado por medio de C_m , mientras que para pavimentos rígidos es expresado por C_d . Estos valores pueden ser mayores o menores a la unidad y esto dependerá de la condición del drenaje. Mientras que el C_d es aplicado a la ecuación de diseño, el C_m es aplicado a la ecuación del número estructural. Este coeficiente no es aplicado a las carpetas de ruedo ya que éstas no están compuestas de drenajes.

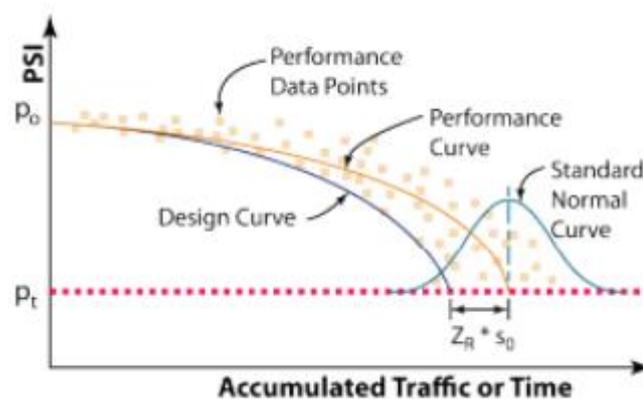
1.2.4.1.6 Confiabilidad

La confiabilidad se refiere a la probabilidad que al final del período de diseño se logre llegar al PSI terminal, por ejemplo, si el diseñador desea considerar en su diseño un 95% de confianza esto quiere decir que finalizar el período de diseño hay una probabilidad del 95% de que el pavimento llegue a un PSI mayor o igual al PSI terminal.

El grado de confianza que se quiera lograr dependerá de la importancia de la vía, es decir, una vía primaria requerirá una confiabilidad mucho más rigurosa que una vía terciaria o cantonal.

La confiabilidad es representada en el diseño mediante el estadístico de normalidad Z_R , AASHTO (1993) provee correlaciones entre porcentajes de confianza y estadísticos Z_R .

Ilustración 7: Influencia de la confiabilidad R en la curva de diseño



Fuente: ACPA, 2012

1.2.4.1.7 Desviación Estándar So

La desviación estándar está relacionada con el grado de dispersión que generan los factores o variables que intervienen en el diseño.

Según ACPA (2012), la desviación estándar es la sumatoria de los errores estadísticos presentes en las ecuaciones de diseño debido a la variabilidad en los

materiales, construcción, etc. Representa el acumulado de dispersión entre el comportamiento predicho y el desempeño real.

La desviación estándar está ligada al tipo de pavimento, AASHTO (1993) recomienda utilizar un S_0 de 0,45 para pavimentos flexibles y de 0,35 para pavimentos rígidos.

1.2.4.1.8 Coeficiente estructural a_i

El coeficiente estructural a_i es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de capa de un material dado de funcionar como un componente estructural del pavimento. (Huang, 2004).

El coeficiente estructural se orienta a valorar la invariabilidad de la resistencia de la capa de pavimento conforme éste es sometido a las cargas correspondientes.

Según FHWA (2006), se debe enfatizar que los coeficientes estructurales no son fundamentalmente propiedades ingenieriles del material. No existen procedimientos de laboratorio ni de campo para medir el coeficiente estructural directamente. Los coeficientes estructurales son originalmente definidos como simples índices de sustitución, por ejemplo, un coeficiente puede definir cuanto de espesor adicional de base debe ser agregado si una unidad de espesor de concreto asfáltico es removida, manteniendo la misma deflexión bajo una carga estandarizada.

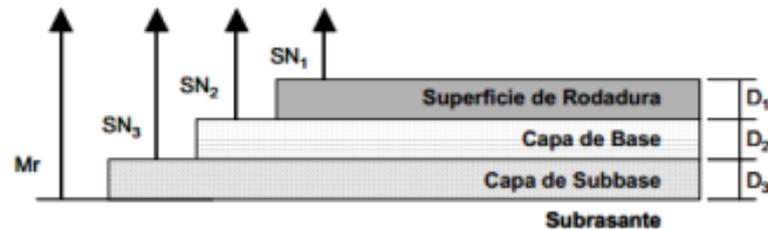
El coeficiente estructural es únicamente utilizado durante el procedimiento del diseño de pavimentos flexibles, mientras en que el diseño de los rígidos no es considerado.

1.2.4.1.9 Número Estructural

Es un indicador de la capacidad soportante y resistencia al deterioro que puede tener una capa o el pavimento en general. El SN está en función del coeficiente estructural, coeficiente de drenaje, espesor de la capa. El número.

Un pavimento con un mayor número estructural SN tarda más tiempo en alcanzar el PSI terminal, porque posee mayor capacidad estructural y resistencia al deterioro a agentes como cargas vehiculares, clima, presencia de agua.

Ilustración 8: Número estructural para cada capa de pavimento



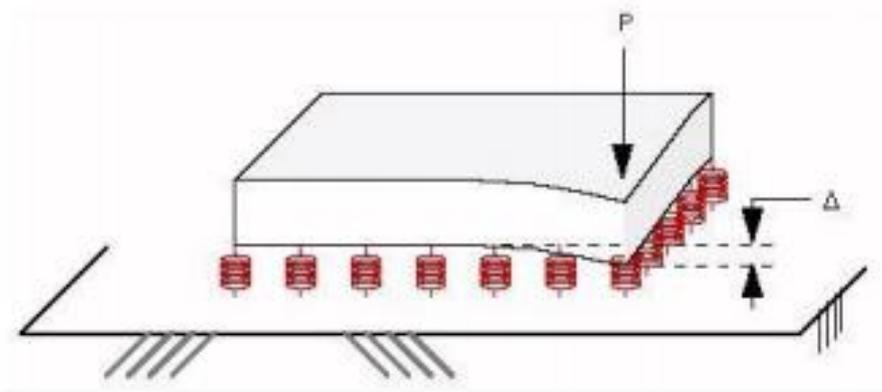
Fuente: SIECA, 2002

1.2.4.1.10 Módulo de Reacción k

El módulo de reacción k es uno de los parámetros más importantes en el diseño de pavimentos rígidos y representa la capacidad de soporte de la capa inferior a la losa de concreto, por lo tanto, este módulo es debida a la interacción entre la losa de concreto y la capa inferior a ésta, la cual puede ser la misma sub rasante o una capa de Sub base.

La prueba está compuesta por un plato de unas 30 pulgadas (762mm) de diámetro colocado sobre el suelo.

Ilustración 9: Modelo del comportamiento entre la losa de concreto y la capa subyacente



Fuente: Hoffman, 2007

El valor de k es obtenido de la división entre el esfuerzo aplicado de 12 psi, y la deflexión a dicho esfuerzo, por lo tanto, el valor k tiene unidades de psi/in (PCI)

1.2.4.1.11 Módulo de Elasticidad del concreto

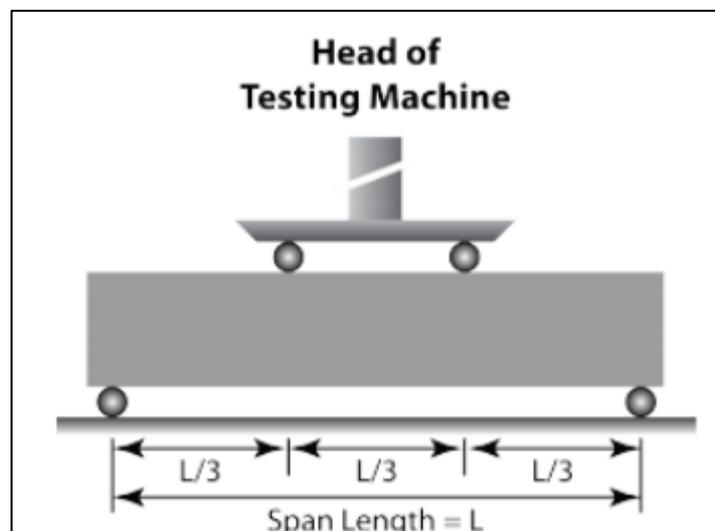
El módulo de elasticidad del concreto E_c representa que tanto se comprime el concreto al estar sometido a cargas. Un concreto con un módulo de elasticidad alto indica que el concreto es rígido y, por lo tanto, tiene deformaciones bajas; mientras que un concreto con un módulo de elasticidad bajo es un concreto más deformable.

En la ecuación de pavimento rígido, E_c es el parámetro que tiene menor impacto en el espesor de diseño o en el desempeño proyectado. El E_c puede ser obtenido mediante la prueba ASTM C469 y su equivalente, pero extrañamente es realizado en la práctica.

1.2.4.1.12 Módulo de rotura del concreto

El módulo de ruptura del concreto se obtiene mediante la prueba AASHTO T97 o ASTM C78 (Flexural Strength of Concrete using Simple Beam with Third-Point Loading).

Ilustración 10: Prueba de resistencia a la flexión del concreto usando tres puntos



Fuente: ACPA, 2012.

Dicha prueba determina la resistencia a la flexión a los 28 días o llamada también módulo de ruptura $S'c$. Esta prueba consiste en colocar dos cargas en una viga de concreto distanciadas del borde a $1/3$ de la longitud de la viga, y medir el esfuerzo a la cual la viga falla por flexión. Esta prueba es el mejor simulador de los esfuerzos de flexión a los que está sometido una losa de concreto en un pavimento rígido.

Generalmente los diseñadores correlacionan el módulo de ruptura $S'c$, con la resistencia a la compresión a los 28 días $f'c$. Por lo tanto, se realizan pruebas de compresión de cilindros de concreto como una alternativa a la prueba de resistencia a la flexión.

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los pavimentos urbanos constituyen un tema muy importante en el aspecto de salubridad y ornamentación de las ciudades, y por ende en el desarrollo de las mismas, las calles que no tienen pavimento están expuestas a la emisión de lo que los expertos llaman el material particulado (PM), que vienen a ser microscópicas partículas de suelo que no pueden ser retenidas en las fosas nasales y por ende se anidan en los pulmones, lo que origina más adelante la fibrosis pulmonar que es una de las enfermedades con mayor mortalidad en el mundo.

En nuestro país también existe preocupación de las municipalidades, gobiernos regionales y gobierno nacional por acortar la brecha de falta de pavimentación en las vías urbanas, debido a las consecuencias que causa en la salud de la población, ocasionando por lo tanto una inversión importante a fin de tratar estas enfermedades generadas por esta carencia.

En el medio local existen importantes esfuerzos por revertir la situación, pero existen limitaciones presupuestarias que hacen que estas propuestas no avancen, así como también hay influencia en las gestiones gubernamentales, sin duda esta carencia influye negativamente el desarrollo de las ciudades y localidades de esta parte del Perú, por lo que urge plantear alternativas técnicas y económicas más viables.

Los efectos que producen tener vías sin pavimentar, redundan directamente en la salud primeramente y en la economía de la población circunscrita en el área, por lo que es una problemática muy álgida en las poblaciones sin estos servicios de pavimentación.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. Problema general

¿De qué manera se desarrollará el estudio comparativo entre el costo y tiempo de ejecución entre los pavimentos, rígidos, flexibles y semirrígidos del barrio la Unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la variación del costo en el proceso constructivo, entre los pavimentos, rígidos, flexibles y semirrígidos en la ejecución de vías del barrio la Unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín?
- ¿Cómo influye el tiempo de ejecución en el proceso constructivo, entre los pavimentos, rígidos, flexibles y semirrígidos en la ejecución de vías del barrio la Unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo General

Desarrollar el estudio comparativo entre el costo y tiempo de ejecución entre los pavimentos, rígidos, flexibles y semirrígidos del barrio la Unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.

2.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la variación del costo en el proceso constructivo, entre los pavimentos, rígidos, flexibles y semirrígidos en la ejecución de vías del barrio la Unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.

- Evaluar el tiempo de ejecución en el proceso constructivo, entre los pavimentos, rígidos, flexibles y semirrígidos en la ejecución de vías del barrio la Unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.

2.4. HIPÓTESIS

La presente investigación determinará, las características del pavimento adecuado para la construcción de vías urbanas en del barrio la Unión, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.

2.5. VARIABLES

2.5.1. Variable Independiente

Costo y tiempo de ejecución de pavimentos.

2.5.2. Variable Dependiente

Tipo de pavimento, rígido, flexible y semirrígido.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo descriptivo.

3.1.2. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación corresponde a un estudio descriptivo cuyo esquema está dedicado al estudio del costo y tiempo en la ejecución del proyecto de investigación.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

El conjunto de todas las calles pavimentadas, jirones y avenidas que se encuentran en el distrito de Shamboyacu.

3.2.2. Muestra

Calles a intervenir en el barrio la Unión.

3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Técnicas

Conocimiento del proceso de construcción de los tres tipos de pavimentos.

3.3.2. Instrumentos

Formatos, reglamentos y normas que se utilizan para la construcción de los tres tipos de pavimentos.

3.3.3. Procedimientos.

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

3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

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

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Estudio de tráfico

El estudio de Tráfico del barrio Unión, distrito de Picota, se ha realizado de acuerdo a las características y condiciones que se requieren para este tipo de estudio.

El análisis del tráfico se sustenta principalmente en la información recopilada en el trabajo de campo, conteo volumétrico.

4.1.1.1 Planificación del estudio de campo

Para efectuar el trabajo, se realizó un recorrido de reconocimiento del tramo para establecer el lugar de la estación de conteo; para este estudio y con las características del tramo se ha considerado efectuar conteos en dos estaciones, ubicada al inicio de los tramos que es Av. Loreto Cdra. 01, Jr. Juan Amasifuén Cdra. 01, estos lugares son puntos estratégicos para el presente estudio de tráfico. De acuerdo a los requerimientos del estudio, se preparó un itinerario de tráfico, programando en la primera estación establecida un conteo de tráfico durante 14 horas al día por espacio de siete días consecutivos, y para la segunda estación un conteo de tráfico durante 14 horas al día por espacio de siete días.

4.1.1.2 Metodología de Cálculo del Volumen Promedio Diario

Para calcular el volumen diario se ha tomado en cuenta el resultado obtenido del conteo de los días lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo.

4.1.1.3 Ejecución del estudio de campo

Estos conteos de volumen y clasificación vehicular se realizaron para cada sentido del tránsito, durante 14 horas al día.

4.1.1.4 Resultados obtenidos

Habiéndose realizado en gabinete la consolidación y consistencia de la información recogida de los conteos, y tomando como conteo de tráfico promedio diario el que nos dio mayor volumen, se obtuvieron los resultados siguientes:

Clasificación vehicular de IMD

Tabla 6: Clasificación vehicular de IMD

IMD	Automóvil	Camionetas	Micros	Ómnibus	Camión C2	Camión C3
32	20	4	4	0	3	1

Fuente: Elaboración propia

Composición vehicular del IMD

Vehículos Ligero : **87.50 %**

Autos y Camionetas : 75.00 %

Micros y Ómnibus : 12.50 %

Vehículos Pesados : **12.50 %**

Camión C2 : 9.37 %

Camión C3 : 3.13 %

Se observa que el tráfico ligero es del 87.50 % (autos, camionetas, micros y Ómnibus) del total de vehículos, y el tránsito pesado es de 12.50 % (Camiones C2 y Camiones C3) del total de vehículos.

4.1.1.5 Análisis de resultados

En la Av. Loreto y Jr. Juan Amasifuén, se registró un Índice Medio Diario de 32 vehículos diarios. Se observó en estos tramos que el transporte de pasajeros a través de autos es de 62.50 %, de Camionetas 12.50%, de

Micros es de 12.50 y Ómnibus de 0.00 %. El tráfico Pesado es de 12.5%, los cuales transportan artículos diversos.

4.1.1.6 Análisis de la variación horaria

La variación horaria vehicular considerada es el volumen medio – alto; donde el tráfico mayor es durante el día en el horario de 11.00 a.m. A 12.00 p.m. Siendo esta la hora punta. Y el de menos tráfico es durante la noche.

En la hora punta se registra un volumen de tránsito de 6 vehículos con un 18.75 % del IMD.

4.1.1.7 Índice de tráfico para el diseño del pavimento

IT = 31, menor a 50 por lo tanto es un tránsito liviano

4.1.2 Estudio de la mecánica de suelos

El objetivo principal de este estudio es de realizar las pruebas del terreno de fundación (T.D.F.) y/o sub rasante natural, así como también el estudio del material de préstamo calificado para capa subbase, estudio de canteras de los agregados para la utilización en concreto y los diseños de mezclas de concreto.

4.1.2.1 Evaluación de campo y ensayos de laboratorio

Se han realizado 02 calicatas de 1.50 metros de profundidad y se han extraído muestras para obtener sus propiedades en laboratorio. A continuación, se presentan los resultados:

Tabla 7: Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos del Jr. Juan Amasifuén Cdra. 2

Calicata # Capa #	Calicata N° 01 Estrato N° 02	Calicata N° 02 Estrato N° 02	Calicata N° 03 Estrato N° 02	UNIDAD
Profundidad	0.20 - 1.50	0.20 - 1.50	0.20 - 1.60	Mts
Humedad Natural	30.42	30.31	31.62	%
Granulometría				
% que pasa la malla # 4	100.00	100.00	100.00	%
% que pasa la malla # 10	99.98	100.00	100.00	%
% que pasa la malla # 40	99.81	99.95	99.98	%
% que pasa la malla # 200	99.58	99.36	99.78	%
Limites de consistencia				
Limite Liquido	53.38	57.38	56.66	%
Limite Plástico	34.69	38.12	36.2	%
Indicé de Plasticidad	18.69	19.26	20.46	%
Clasificación SUCS	MH	MH	MH	
Clasificación AASHTO	A-7-5(20)	A-7-5(20)	A-7-5(20)	

Fuente: Elaboración propia

Calicata # Capa #	Calicata N° 06 Estrato N° 02	Calicata N° 07 Estrato N° 02	Calicata N° 08 Estrato N° 02	UNIDAD
Profundidad	0.30 – 1.80	1.80 - 4.50	0.20 – 3.00	Mts
Humedad Natural	22.32	25.73	30.29	%
Granulometría				
% que pasa la malla # 4	100.00	100.00	100.00	%
% que pasa la malla # 10	100.00	99.52	100.00	%
% que pasa la malla # 40	99.95	97.82	99.94	%
% que pasa la malla # 200	99.35	95.97	99.23	%
Limites de consistencia				
Limite Liquido	55.90	52.50	57.63	%
Limite Plástico	37.07	35.18	37.88	%
Indicé de Plasticidad	18.83	17.32	19.75	%
Clasificación SUCS	MH	MH	MH	
Clasificación AASHTO	A-7-5(20)	A-7-5(20)	A-7-5(20)	

Fuente: Elaboración propia

Calicata # Capa #	Calicata N° 09 Estrato N° 02	Calicata N° 10 Estrato N° 02	UNIDAD
Profundidad	0.20 – 3.00	0.20 – 4.00	Mts
Humedad Natural	33.46	28.47	%
Granulometría			
% que pasa la malla # 4	100.00	100.00	%
% que pasa la malla # 10	100.00	100.00	%
% que pasa la malla # 40	99.93	99.97	%
% que pasa la malla # 200	99.45	99.40	%
Limites de consistencia			
Limite Liquido	58.34	57.42	%
Limite Plástico	38.19	37.77	%
Indicé de Plasticidad	20.15	19.65	%
Clasificación SUCS	MH	MH	
Clasificación AASHTO	A-7-5(20)	A-7-5(20)	

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1.1 Características generales

Jr. Juan Amasifuén C-02

Arcilla Inorgánica de consistencia dura y de color marrón con puntos blancos, con resistencia de regular a deficiente, de expansión elevada en estado saturado y de mediana plasticidad con 82.90% de finos (Que pasa la malla N°200).

Tabla 8: Características de Sub rasante Jr. Juan Amasifuén C-01

Característica	Valor	Interpretación
Índice de consistencia Ic (C.R)	1.15	Suelo Duro
Colapsabilidad	1.41	Leve (Suelo No Colapsable)
Índice de Liquidez IL	0.000	Suelo Pre consolidado
Índice de Compresión Cc	0.202	Compresibilidad Media

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Agresividad del suelo Jr. Juan Amasifuén C-01

AGRESIVIDAD DEL SUELO		
MUESTRA N°2 PARAMETROS	RESULTADOS UNIDADES	INTERPRETACIÓN
pH (MTC E129)	3.74	Fuertemente ácido
Materia orgánica (NTP 339.072)	0.805 ppm	Bajo
Sales Solubles Totales (NTP 339.152 – BS 1377)	0.0960 ppm	Leve (no ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación)
Cloruros (Cl, K) (NTP 339.177 AASHTO T291)	0.00754 ppm	Leve (no ocasiona problemas de corrosión, armaduras o elementos metálicos)
Sulfatos (So ₄ , Ba) (NTP 339.178 AASHTO T290)	0.00725 ppm	Leve (no ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación)
Observaciones: De acuerdo a los resultados de Agresividad del suelo se clasifica como un suelo de poca agresividad a la cimentación. Se recomienda no usar: Cemento Portland Tipo I (NTP: 334.009 – ASTM C 150 – 99a)		

Fuente: Elaboración propia

Jr. Loreto C-1

Arcilla inorgánica de consistencia dura y de color marrón con puntos blancos, con resistencia de regular a deficiente, de expansión elevada en estado

saturado y de mediana plasticidad con 84.37% de finos (Que pasa la malla N°200), Lím. Líq.= 38.23% e Ind. Plast. = 17.18%.

Tabla 10: Característica de la sub rasante Jr. Loreto C-01

van a estar cubiertos por material bituminoso:

ENSAYO	NORMA MTC	NORMA ASTM	NORMA AASHTO	REQUERIMIENTO	OBTENIDO	CUMPLE
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50% máx.	39.20	SI
CBR I"	MTC E 132	D 1883	T 193	40% mín.	74.97	SI
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	28.19	SI
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	7.62	SI
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	29	SI
Sales Solubles	MTC E - 219	-	-	1%	0.24	SI

- El ensayo de granulometría de la Combinación Cantera Rio Huallaga - Sector Codo (Localidad de Picota) 60% + Afirmado Existente (Grava limoso arcilloso) 40%, se acerca a las especificaciones del Tipo I (Para tipo de tráfico TO y/o TI del manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, para un IMD <50 vehículos), considerando de bueno para capas superficiales que no serán cubiertas con tratamientos superficiales bituminosos.
- El material es no expansivo.
- El sistema de clasificación AASHTO dice, que es un suelo: **A-2-4(D)**
- El sistema de clasificación SUCS dice, que es un suelo: **GC**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Agresividad del suelo Jr. Loreto C-01

Se recomienda realizar los ensayos con frecuencia de acuerdo a la siguiente Tabla:

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de Ensayo	Norma		Frecuencia (I)	Lugar de Muestreo
			ASTM	AASHTO		
Subbase Granular	Granulometría	MTC E 204	D 422	T 88	750 m3	Cantera
	Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	750 m3	Cantera
	Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	750 m3	Cantera
	Desgaste Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	2000 m2	Cantera
	Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	2000 m3	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	2000 m3	Cantera
	Densidad - Humedad	MTC E 115	D 1557	T 180	750 m3	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T 191 T 238	250 m2	Pista

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Presencia de suelos orgánicos y expansivos

4.1.3.1 Suelos Orgánicos

La verificación de la presencia de suelos orgánicos en el terreno de fundación se realizó al momento de ejecutar las prospecciones de campo. De dicha inspección se concluye que no existen suelos orgánicos en la superficie de las calles del proyecto.

4.1.3.2 Suelos Expansivos

Un suelo expansivo es aquel que muestra un cambio volumétrico significativo bajo la acción del agua. La presencia de suelos expansivos se determinó después de realizar los ensayos de laboratorio de las diferentes muestras obtenidas. De dicha evaluación se concluye que el suelo en ambos jirones es de expansión elevada en estado saturado.

4.1.3.3 Capacidad de soporte del suelo

Para la determinación del CBR de la subrasante se ha considerado la variación de los diferentes tipos de suelos encontrándose según el perfil estratigráfico, seleccionado para cada tipo de suelo muestras representativas para ser sometidas a ensayos de CBR.

Las pruebas a las que fueron sometidas las muestras se encuentran dentro de lo establecido en las normas, y los valores han sido obtenidos para un 95% y 100% de la MDS según el Proctor Modificado. En el Cuadro “CBR de la subrasante”, se muestra los valores de CBR obtenidos al 95% y 100% de la MDS.

Tabla 12: CBR de la Subrasante

Nº	Calicata	Profundidad	Clasificación		CBR	
			SUCS	AASHTO	95%	100%
1	C-1	0.20 – 1.50	CL	A-6(16)	9.76	14.65
2	C-2	0.10 – 1.50	CL	A-6(14)	7.24	12.66

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Canteras y fuentes de agua

Los trabajos de mecánica de suelos realizados en canteras se desarrollaron con la finalidad de investigar las características de los materiales que permitan establecer que canteras serán utilizadas en las distintas capas estructurales del pavimento, áreas de préstamo de material para conformar los rellenos, así como agregados pétreos para la elaboración de concretos hidráulicos. Seleccionando únicamente aquellas que demuestren que la cantidad y calidad del material existente sean los adecuados y suficientes para la construcción de la vía.

Los trabajos de campo se orientan a explorar el sub suelos, mediante la ejecución de calicatas en el área en estudio de las canteras. Se tomaron muestras disturbadas de cada una de las exploraciones ejecutadas, las mismas que han sido remitidas al laboratorio especializado para los análisis correspondientes.

Los trabajos de laboratorio se orientarán a determinar las características físicas y mecánicas de los suelos obtenidos del muestreo, las que servirán de base para determinar las características de cada tipo de cantera y definir su uso.

4.1.4.1 Metodología del estudio de canteras

Para el desarrollo de este ítem, se ha utilizado los estudios de canteras de zonas que actualmente son utilizadas en la construcción de vías, todas las obras donde intervengan agregados de calidad competente que, en nuestro proyecto, han sido identificados como lechos de ríos, los mismos que tienen una potencia de explotación renovable, ya que con cada periodo de crecidas y lluvias arrastran material y recargan las zonas explotadas.

4.1.4.2 Ensayos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio permitieron evaluar las propiedades de las canteras mediante ensayos físicos mecánicos y químicos. Las muestras

disturbadas son sometidas a ensayos de acuerdo a las recomendaciones de la American Society of Testing and Materials (ASTM).

Los ensayos de laboratorio para determinar las características físicas, químicas y mecánicas de los materiales de cantera; se efectúan de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras el MTC (EM-2000) y son:

Tabla 13: Ensayos de Laboratorio de Canteras

Ensayo	Uso	AASHTO	ASTM	Propósito
Análisis Granulométrico por tamizado	clasificación	T88	D422	Determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo
Límite líquido	clasificación	T89	D4318	Hallar el contenido de agua entre los estados líquidos y plástico
Límite plástico	clasificación	T90	D4318	Hallar el contenido de agua entre los estados plástico y semisólido
Índice plástico	clasificación	T90	D4318	Hallar el rango contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico.
Equivalente de Arena	Calidad Agregado	T176	D2419	Determinación rápida de la cantidad de finos en los agregados
Abrasión (los Ángeles)		T96	C131 C535	Cuantificación de la dureza o resistencia al impacto de los agregados gruesos.
Proctor modificado	Diseño de espesores	T180	D1557	Determinación del Óptimo Contenido de Humedad y de la máxima densidad seca del material.
CBR	Diseño de espesores	T193	D1883	Determina la capacidad de soporte del suelo, el cual permite inferir el módulo resiliente del suelo

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.3 Descripción de canteras

Las canteras propuestas como materiales de construcción para los rellenos estructurales, sub base granular, base granular son de la Cantera Río Ponaza – sector la Unión.

Tabla 14: Cantera Río Ponaza

8. Descripción de Cantera:

a. CANTERA RIO PONAZA

Se trata de un cauce de río

Ubicación	:	Sector Barrio La Unión
Potencia	:	10,000 m ³
Propietario	:	Privada
Tiempo de Explo.	:	Tiempo de verano
Tipo de Explota.	:	Maquinaria Convencional
Uso	:	Material para afirmado y relleno
Tipo de material	:	Conglomerado canto rodado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Diseño de Mezcla para sub base y base granular

Propiedades de las Canteras	Material Granular: Cantera El Porvenir Pelejo	Ligante: Cantera de Cerro Natural	Combinación: 60% de hormigón canto rodado tamaño máximo 2” +40% de ligante de arena limosa a arcillosa	Espec.	Und.
C.B.R.					
C.B.R. AL 100% de compactación			88.38	40% Mín.	%
C.B.R. al 95% de compactación			63.67		%
Proctor Modificada					

Máxima Densidad			2.16		gr/cm3
Humedad Óptima			8.80		%
Desgaste de Abrasión			35	50% Máx.	%
Equivalente de Arena			29	25% Mín.	%
Sales Solubles en Agregados			0.08	1 máx.	%
Peso Específico	2.65		2.65		gr/cm3
Humedad Natural	3.14	6.21	2.29		%
Límites de Consistencia					
Límite Líquido	NL	22.40	29.53	25% Máx.	%
Límite Plástico	NP	16.25	21.54		%
Índice de Plasticidad	ND	6.16	7.99	6% Máx.	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Granulometría y Clasificación de material de Cantera

4. Resultados Obtenidos en el Laboratorio:

PROPIEDADES DE LAS CANTERAS	Cantera Río Ponaza Conglomerado (Mezcla de grava, arena, limo y arcilla) con gravas mayores a 2" (100%)	ESPECIFICACIONES	UNIDADES
C.B.R.			
C.B.R. AL 100% de compactación	74.97	40% Mínimo	%
C.B.R. AL 95% de compactación	56.25	-	%
Proctor Modificado			
Máxima Densidad	2.16	-	grs./cm ³
Humedad Óptima	7.55	-	%
Desgaste de Abrasión	39.20	50% Máximo	%
Equivalente de Arena	29	25% Mínimo	%
Salas Solubles en Agregados	0.24	1 Máximo	%
Peso Especifico	2.60	-	grs./cm ³
Humedad Natural	7.44	-	%
Límites de Consistencias			
Límite Líquido	28.19	25% Máximo	%
Límite Plástico	20.57		%
Índice de Plasticidad	7.62	6% Máximo	%
Granulometría		GRADACIÓN "B" (ASTM D 1241)	
% pasa la malla 2"	100.00	100 - 100	%
% pasa la malla 1"	82.36	75 - 95	%
% pasa la malla 3/8"	64.69	40 - 75	%
% pasa la malla N° 04	55.80	30 - 60	%
% pasa la malla N° 10	43.89	20 - 45	%
% pasa la malla N° 40	25.59	15 - 30	%
% pasa la malla N° 200	14.62	5 - 15	%
Sistema Clasificación AASHTO	A-2-4(0)	-	-
Sistema de clasificación SUCCS	GC	-	-

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.4 Fuentes de agua

Se realizó el muestreo, extracción y transporte del agua, de la fuente Ubicada en la Quebrada Pelejo, para determinar sus propiedades químicas, para su utilización como agua para la fabricación de concreto o en la mezcla para la capa de mejoramiento, sub base y base.

Conclusiones: El agua tomada ha sido ensayada de acuerdo a normas establecidas. Concluyéndose de que la muestra de agua no contiene sustancias agresivas hacia el concreto o en la mezcla para la capa de mejoramiento, sub base y base.

Recomendaciones: Se recomienda utilizar el agua de la fuente ubicada en la Quebrada Pelejo, como agua para la fabricación de concreto o en la mezcla para la capa de mejoramiento, sub base y base.

Tabla 17: Característica del agua a usar

ANALISIS DE AGUA

Norma ASTM D512 y D516 - NTP 339.088

TESIS : "Estudio comparativo entre costo y tiempo de ejecución entre los pavimentos: rígidos, flexibles y semirrígidos en el Barrio la Unión, Distrito de Shamboyacu Provincia de Picota, Departamento de San Martín".

UBICACIÓN : **Provincia** : Picota
Región : San Martín
Distrito : Shamboyacu

MUESTRA : Fuente de Agua – Río Ponaza

COLOR : Normal

OLOR : Normal

FECHA : Octubre del 2,022

Descripción del Ensayo	Norma Empleada	Resultados	Especificaciones	Observación	Observación
Materia Orgánica	NTP 339.088	8.10 ppm	10 ppm	Riesgo Bajo	El agua tomada ha sido ensayada de acuerdo a normas establecidas. Concluyéndose de que la muestra de agua no contiene sustancias agresivas.
Sales Solubles Totales	NTP 339.088	125.10 ppm	1500 ppm	Normal	
Sulfato de Magnesio	NTP 339.088	85.96 ppm	150 ppm	Normal	
Cloruros	NTP 339.088	124.77 ppm	300 ppm	Normal	
Sulfatos	NTP 339.088	135.63 ppm	300 ppm	Normal	
Sólidos en Suspensión	NTP 339.088	285.74 ppm	1500 ppm	Normal	
PH	NTP 339.088	8.47	> 7	Normal	

Observación:

Muestra extraída y colectada de acuerdo a normas vigentes en nuestro País. La muestra de agua ha sido recolectada y transportada por el personal técnico del solicitante hacia el Laboratorio, por lo cual el Laboratorio no se responsabiliza del método de colección de la muestra.

Fuente: Elaboración propia

Observación: Muestra extraída y colectada de acuerdo a normas vigentes en nuestro País. La muestra de agua ha sido recolectada y transportada por el personal técnico del solicitante hacia el Laboratorio, por lo cual el Laboratorio no se responsabiliza del método de colección de la muestra.

4.1.5 Diseño de pavimentos

4.1.5.1 Caracterización climática y altitud

En general el clima es clima seco y cálido, manifiesta un índice de aridez alrededor de 40% y presenta limitaciones para las actividades agropecuarias, por la deficiencia de lluvias. En esta zona se presenta precipitaciones pluviales de 295 mm. Tiene un clima tropical, su temperatura es variable entre los 28° y 33° de calor y los 18° y 28° de humedad relativa. La vía proyectada se encuentra a una altitud aproximada de 240 msnm.

4.1.6 Tráfico promedio diario anual y análisis de tráfico

4.1.6.1 Metodología de Cálculo del Volumen Promedio Diario

Para calcular el volumen diario se ha tomado en cuenta el resultado obtenido del conteo de los días lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo en el sentido de Sur a Norte y viceversa.

4.1.6.2 Ejecución del estudio de campo

Estos conteos de volumen y clasificación vehicular se realizaron para cada sentido del tránsito, durante 14 horas al día.

4.1.6.3 Resultados obtenidos

Habiéndose realizado en gabinete la consolidación y consistencia de la información recogida de los conteos, y tomando como conteo de tráfico promedio diario el que nos dio mayor volumen, el que fue realizado en el mes de noviembre del 2022, se obtuvieron los resultados siguientes:

4.1.6.4 Clasificación vehicular de IMD

Tabla 18: Conteo Vehicular

IMD	Automóvil	Camionetas	Micros	Ómnibus	Camión C2	Camión C3
32	20	4	4	0	3	1

Fuente: Elaboración propia

Composición vehicular del IMD

Vehículos Ligero : 87.50 %

Automóvil ; 62.50 %

Camionetas : 12.50 %

Micros : 12.50 %

Vehículos Pesados : 12.50 %

Camión C2 : 9.37 %

Camión C3 : 3.13 %

Se observa que el tráfico ligero es del 87.50 % (autos, camionetas, micros y Ómnibus) del total de vehículos, y el tránsito pesado es de 12.50% (Camiones C2, Camiones C3) del total de vehículos.

4.1.6.5 Factor de Crecimiento Acumulado (Fca)

Para poder hacer un estudio comparativo del diseño de pavimento rígido, semirrígido con adoquines de concreto y flexible, se establecerá un periodo de diseño de 20 años. La tasa de crecimiento promedio anual de la población que se considerará, será un valor del 5% anual. El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos – R.D. N° 10-2014-MTC/14 establece los valores para el factor de crecimiento acumulado (Fca), donde se obtuvo un valor de Fca = 33.06.

Tabla 19: Factores de Crecimiento Acumulado (Fca) para el cálculo de Número de Repeticiones de EE

Periodo de análisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa anual de crecimiento ®							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	3.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.27
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

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

4.1.6.6 Cálculo del Factor de Distribución Direccional (Fd) y de Carril (Fc):

Estos factores se determinaron en base al número de calzadas que se pretenden diseñar para el pavimento, como también involucra el número de sentidos para las calzadas y el número de carriles por sentido. En nuestro diseño se va a realizar una calzada de dos sentidos, con un carril por sentido. El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos – R.D. N° 10-2014-MTC/14 establece los valores para los factores de Distribución Direccional (Fd) y de Carril (Fc) ver Tabla N°7 y en base con lo que pretendemos diseñar el factor Direccional fue de 0.50 y el de Carril de 1.00.

Tabla 20: Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40

central (para IMDa total de dos calzadas)	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

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

4.1.6.7 Cálculo de Factores de Ejes Equivalentes (E.E) y Factor Vehículo Pesado (Fvp)

Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.

Tabla 21: Configuración de Ejes

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

Nota:

RS: Rueda Simple

RD: Rueda Doble

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

Para el cálculo de los EE, se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados y tipo de pavimento:

Tabla 22: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8.2 \text{ ton}}$)
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.0}$
Eje Tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1} = [P/14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P/15.1]^{4.0}$
Ejes Trídem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P/20.7]^{3.9}$
Ejes Trídem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P/21.8]^{3.9}$
P= peso real por eje en toneladas	

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

Tabla 23: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Pavimentos Rígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8.2 \text{ ton}}$)
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1} = [P/13.0]^{4.1}$
Eje Tandem (2 ejes ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P/13.3]^{4.1}$
Ejes Trídem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P/16.6]^{4.0}$
Ejes Trídem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P/17.5]^{4.0}$
P= peso real por eje en toneladas	

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

El Factor Vehículo Pesado (Fvp), se define como el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo la sumatoria de ejes equivalentes (E.E.) entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.

Tabla 24: Factor Camión C2 y C3 para Pavimentos

Pavimento Flexible y Semirrígido

CAMIÓN C2		
Ejes	E1	E2
Carga (tn)	7	10
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble
Factor E.E.	1.265	2.212
Total, Factor Camión	3.477	

Pavimento Rígido

CAMIÓN C2		
Ejes	E1	E2
Carga (tn)	7	10
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble
Factor E.E.	1.273	2.256
Total, Factor Camión	3.529	

CAMIÓN C3		
Ejes	E1	E2
Carga (tn)	7	16
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Tándem
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble
Factor E.E.	1.265	2.261
Total, Factor Camión	2.256	

CAMIÓN C3		
Ejes	E1	E2
Carga (tn)	7	10
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Tándem
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble
Factor E.E.	1.273	2.134
Total, Factor Camión	3.406	

Fuente: Elaboración propia

4.1.6.8 Factor de Ajuste por Presión de Neumáticos (Fp)

Otro de los factores a ser considerados en la determinación del Número de Repeticiones de EE es el efecto de la presión de contacto de los neumáticos. Para el presente caso, se consideró un factor igual a 1.0, siguiendo las recomendaciones del Manual de carreteras “Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, se utilizó como presión inicial 80 psi para un pavimento flexible.

Tabla 25: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para ejes Equivalentes (EE)

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

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

Nota:

- EE= Ejes Equivalentes
- Presión de inflado del neumático (Pin): está referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto de Neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículos pesados.
- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el factor de ajuste igual al espesor de 50 mm.

4.1.6.9 Cálculo de EE día-carril

Para el cálculo se necesita los Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado por día para el carril de diseño. Al hacer un estudio comparativo de pavimento flexible, semirrígido y rígido. Se calculará 2 diferentes EE día-

carril porque el Factor Vehículo Pesado cambia en el caso de diseñar un pavimento Rígido. Este valor obtenido de multiplicar el IMDa por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, Factor Carril, Factor Vehículo Pesado y Factor de Ajuste Por Presión de Neumático obtenidos anteriormente.

Tabla 26: EE día-carril para Pavimento Flexible y Semirrígido

VEHICULO	IMD	FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	FACTOR CARRIL (Fc)	FACTOR VEHICULAR PESADO (Fvp)	FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO (Fp)	EE-día-carril
Automóvil	20	0.50	1.00	0.001	1.00	0.010
Camionetas	4	0.50	1.00	0.001	1.00	0.002
Micro	4	0.5	1.00	3.477	1.00	6.954
Camiones C2	3	0.50	1.00	3.477	1.00	5.216
Camiones C3	1	0.50	1.00	2.526	1.00	1.263
Total						13.445

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: EE día-carril para Pavimento Rígido

VEHICULO	IMD	FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	FACTOR CARRIL (Fc)	FACTOR VEHICULAR PESADO (Fvp)	FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO (Fp)	EE-día-carril
Automóvil	20	0.50	1.00	0.001	1.00	0.010
Camionetas	4	0.50	1.00	0.001	1.00	0.002
Micro	4	0.50	1.00	3.529	1.00	7.058
Camiones C2	3	0.50	1.00	3.529	1.00	5.294
Camiones C3	1	0.50	1.00	3.406	1.00	1.703
Total						14.067

Fuente: Elaboración propia

4.1.6.10 Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn

Al final se obtuvo el número de repeticiones de eje equivalente de 8.2 tn, que representa el parámetro que deseamos saber para el diseño del pavimento flexible, semirrígido y rígido, se necesita el Factor de crecimiento acumulado obtenido anteriormente multiplicado por 365 días del año y por el EE día-carril.

Tabla 28: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible y Semirrígido

	Nrep EE de 8.2 TN	
Ambos Sentidos	162,239.47	EAL o W18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido

	Nrep EE de 8.2 TN	
Ambos Sentidos	169,745.08	EAL o W18

Fuente: Elaboración propia

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según el análisis del número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 tn, el tipo de tráfico Pesado es TP1 con un rango entre >150,000 EE < 300,000 EE. Este datos nos ayudara para el diseño de pavimento.

Tabla 30: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño Para Pavimentos Flexibles, Semirrígidos y Rígidos

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE
T_{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T_{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T_{P2}	> 300,000 EE

	$\leq 500,000$ EE
T_{P3}	$> 500,000$ EE $\leq 750,000$ EE
T_{P4}	$> 750,000$ EE $\leq 1'000,000$ EE
T_{P5}	$> 1'000,000$ EE $\leq 1'500,000$ EE
T_{P6}	$> 1'500,000$ EE $\leq 3'000,000$ EE
T_{P7}	$> 3'000,000$ EE $\leq 5'000,000$ EE
T_{P8}	$> 5'000,000$ EE $\leq 7'500,000$ EE

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

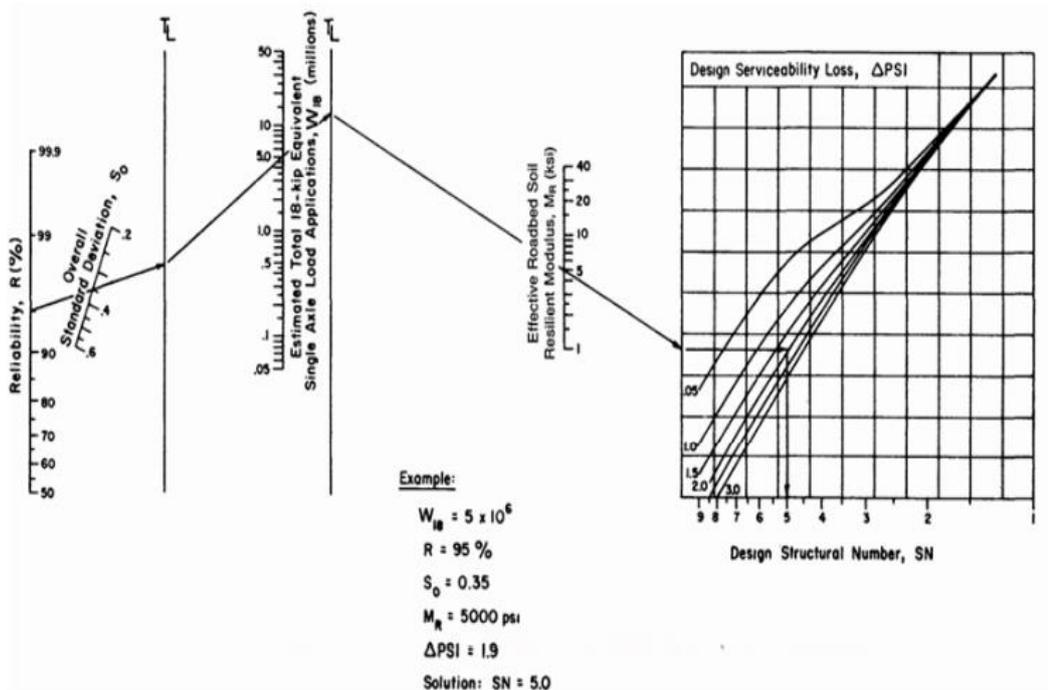
4.2.1 Diseño de pavimento flexible -método AASHTO 93

Una vez determinado el CBR y el Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn de la zona de estudio, siendo estos los parámetros más importantes, se procederá a realizar el diseño de pavimento por el Método AASHTO 93. Este método proporciona una expresión analítica que, dada su complejidad, se hace uso de nomogramas para efectos más prácticos.

$$W18=162,239.47, \quad CBR=6.91$$

Este método proporciona una expresión analítica que, dada su complejidad, se hace uso de nomogramas para efectos más prácticos.

Ilustración 11: Monograma para Pavimento Flexible



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

Pero cabe recalcar, para efectos de cálculo computarizados o programados la solución matemática es sumamente útil. Dicha formulación se presenta a continuación.

Ilustración 12: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible

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

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

Ilustración 13: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa

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

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

- Número de Repeticiones de EE de 8.2 ton (W18) De acuerdo a nuestra zona de estudio, se determinó que para el pavimento flexible el: $W18=162,239.47$
- Módulo de Resiliencia (MR). - El módulo de Resiliencia está en función a un CBR de 6.91% el cual se puede observar que pertenece a la categoría S2 (Sub rasante regular) cabe resaltar que se escogió el valor promedio de CBR.

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

Reemplazando se obtuvo:

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

$$Mr_{(psi)} = 8803.53$$

Pero con ayuda del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos – R.D. N°10-2014-MTC/14”, nos proporciona un valor más exacto con relación al Rango de Tráfico en el cual le estimamos un valor de 70 % de confiabilidad.

R=70%

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico.

Tabla 31: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T_{P0}	75,000	150,000	65%
	T_{P1}	150,001	300,000	70%
	T_{P2}	300,001	500,000	75%
	T_{P3}	500,001	750,000	80%
	T_{P4}	750,001	1,000,000	80%
	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	85%

Resto de camiones	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	85%
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	95%
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T_{P15}	>30'000,000		95%

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

- Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_r)

Este representa el valor de confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. Con ayuda del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos”, nos proporciona un valor más exacto con relación al Rango de Tráfico en el cual le estimamos un valor de -0.524.

$$Z_r = -0.524$$

Tabla 32: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_R) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL (Z_R)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T_{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T_{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T_{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T_{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T_{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036

Resto de Camiones	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	-1.645
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T_{P15}	>30'000,000		-1.645

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

- Desviación Estándar Combinada (S_o)

La Guía AASTHO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S_o comprendidos entre 0.40 y 0.50. En la etapa de diseño del pavimento flexible se recomienda el valor de:

$$S_o = 0.45$$

- Índice de Serviciabilidad (ΔPSI) Con ayuda del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos”, nos proporciona un valor más exacto con relación al Rango de Tráfico en el cual le estimamos un valor de:

$$p_0 = \text{Índice de Servicio Inicial} = 3.80$$

$$p_t = \text{Índice de Servicio Final} = 2.00$$

$$\Delta PSI = 1.80$$

Tabla 33: Índice de Serviabilidad Inicial (P_i) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_i)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T_{P0}	75,000	150,000	3.80
	T_{P1}	150,001	300,000	3.80
	T_{P2}	300,001	500,000	3.80
	T_{P3}	500,001	750,000	3.80
	T_{P4}	750,001	1,000,000	3.80
Resto de Camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	4.00
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	4.00
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	4.00
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	4.00
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	4.00
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	4.00
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	4.00
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	4.20
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	4.20
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	4.20
	T_{P15}	>30'000,000		4.20

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

Tabla 34: Índice de Serviabilidad Final (P_f) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (P_f)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T_{P0}	75,000	150,000	2.00
	T_{P1}	150,001	300,000	2.00
	T_{P2}	300,001	500,000	2.00
	T_{P3}	500,001	750,000	2.00
	T_{P4}	750,001	1,000,000	2.00
	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50

Resto de Camiones	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	3.00
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T_{P15}	>30'000,000		3.00

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

Tabla 35: Diferencial de Serviciabilidad (ΔPSI) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T_{P0}	75,001	1500,000	1.80
	T_{P1}	150,001	300,000	1.80
	T_{P2}	300,001	500,000	1.80
	T_{P3}	500,001	750,000	1.80
	T_{P4}	750,001	1,000,000	1.80
Resto de Camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	1.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	1.50
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	1.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	1.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	1.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	1.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	1.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	1.20
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	1.20
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	1.20
	T_{P15}	>30'000,000		1.20

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

- Cálculo del Número Estructural (SN)

- De forma Analítica

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

Datos:

W18=162,239.47

R = 70%

Zr=-0.524

So=0.45

Mr(psi)=8,803.53

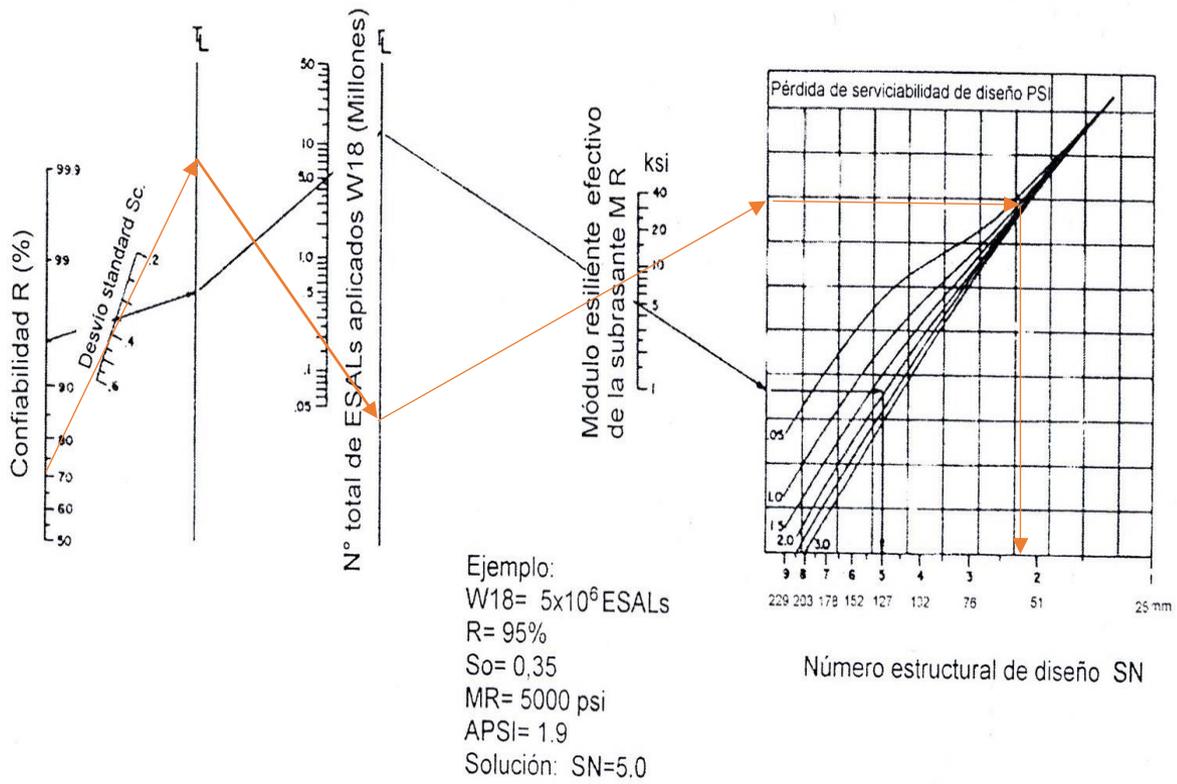
$\Delta PSI = 1.80$

$$4.57 = 9.36 \log_{10}(SN + 1) - \frac{0.176091259}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

$$SN = 2.12$$

- Con uso de Nomograma

Ilustración 14: Monograma para Pavimento Flexible



Fuente: Guía AASHTO 1993 Para el Diseño de Estructuras de Pavimento
 SN = 2.20

Tabla 36: Catálogo de números estructurales (SN) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular

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

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

Según el catálogo de números estructurales (SN) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante se determina que el SN es 2.47 debido a que tenemos un tránsito Tp1 y la sub rasante tiene un CBR de 6.91.

Para el diseño de pavimento se tomará el SN correspondiente al catálogo de números estructurales debido que este nos dará una mayor seguridad por ser el mayor valor encontrado en comparación del método analítico y el monograma.

Coeficientes Estructurales de las Capas de Pavimentación Basados en lo señalado según la norma: Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, los coeficientes estructurales de capa considerados para el cálculo del Número Estructural de diseño son los siguientes:

$a_1 = 0.170$ (Capa Superficial recomendada para todos los tipos de tráfico)

$a_2 = 0.052$ (Capa de Base recomendada para tráfico < 1000000 EE)

$a_3 = 0.047$ (Capa de Sub Base recomendada)

Tabla 37: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a_1

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a_1	0.170 / cm	<p>Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico.</p> <p>Este ES un valor Máximo y de utilizarse como tal, El expediente de ingeniería debe ser explícito en cuanto a pautas de cumplimiento obligatorio como realizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un control de calidad riguroso - Indicar un valor de Estabilidad Marshal, superior a 1000 kf-f - Alertar sobre la susceptibilidad al fisuramiento térmico y por fatiga (AASHTO 1993)

Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Micro pavimento 25 mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considera por no tener aporte estructural			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 10'000,000$ EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $> 10'000,000$ EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm^2)	a_{2b}	0.070 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm^2)	a_{2c}	0.080 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUB BASE			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

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

- **Coeficiente de drenaje**

Para las condiciones propias de la zona, donde las precipitaciones son frecuentes, se estima que el tiempo de exposición de la estructura a nivel de humedad próxima a la saturación es mayor a 25%. En base a lo anterior y teniendo en cuenta que la vía tendrá un buen sistema de drenaje por corresponder a una construcción nueva, los coeficientes de drenaje para este caso $m_2 = 1.0$ y $m_3 = 1.0$

Tabla 38: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje M_1
Para Bases y Sub Bases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 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
Insuficiente	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	.80 – 0.60	0.60
Muy Insuficiente	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

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

Cálculo de los Espesores

Aplicando la ecuación que relaciona al número estructural con los espesores del pavimento para los parámetros indicados y un periodo de 20 años, se obtuvieron los siguientes valores: Con el $SN = 2.47$

se ingresa a la fórmula.

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

Tabla 39: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micropavimento:25m Carpeta Asfáltica en Frío: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	T_{P2}	300,001	500,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T_{P3}	500,001	750,000	Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T_{P4}	750 001	1,000,000	Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 130mm	250 mm
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 140mm	250 mm
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm

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

Tabla 40: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente
Período de diseño 20 años

EE		T_{P0}	T_{P1}	T_{P2}	T_{P3}	T_{P4}	T_{P5}	T_{P6}	T_{P7}
		75,001 – 150,000	150,001 – 300,000	300,001 – 500,000	500,001 – 750,000	750,001 – 1'000,000	1'000,001 – 1'500,000	1'500,001 – 3'000,000	3'000.001 – 5'000,000
CBR %	M_R $2555 * CBR^{0.64}$	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	9 cm
CBR < 6%	$\leq 8,040$ psi (55.4 MPa)	25 cm	28 cm	20 cm	20 cm	20 cm	25 cm	25 cm	30 cm
		(*)	(*)	15 cm	16 cm	16 cm	17 cm	23 cm	24 cm
$\geq 6\%$ CBR < 10%	$> 8,040$ psi (55.4 MPa) $\leq 11,150$ psi (76.9 MPa)	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	9 cm
		25 cm	28 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	25 cm	30 cm
		(*)	(*)	15 cm	16 cm	16 cm	17 cm	23 cm	24 cm
$\geq 10\%$ CBR < 20%	$> 11,150$ psi (76.9 MPa) $\leq 17,380$ psi (119.8 MPa)	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	10 cm
		20 cm	23 cm	26 cm	27 cm	27 cm	20 cm	23 cm	26 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	15 cm	15 cm	15 cm
$\geq 20\%$ CBR < 30%	$> 17,380$ psi (119.8 MPa) $\leq 22,530$ psi (155.3 MPa)	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	10 cm
		15 cm	16 cm	19 cm	19 cm	19 cm	23 cm	26 cm	28 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
CBR $\geq 30\%$	$> 22,530$ psi (155.3 MPa)	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	10 cm
		15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	18 cm	20 cm	22 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

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



Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)



Base Granular



Subbase granular

Nota:

1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y período de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
 - a. Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
 - b. Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
 - c. Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos, previo tratamiento del Pavimento existente

Para los espesores se planteó 2 Alternativas

Alternativa 12.17: h1=5cm, h2=15cm, h3=15

$$2.47 = 0.170*5+0.052*15*1+0.047*15*1$$

$$2.47 = 2.34$$

Alternativa 2 Carpeta Asfáltica en Caliente 12.8: h1=6cm, h2=25cm, h3=15

$$2.47 = 0.170*6+0.052*20*1+0.047*15*1$$

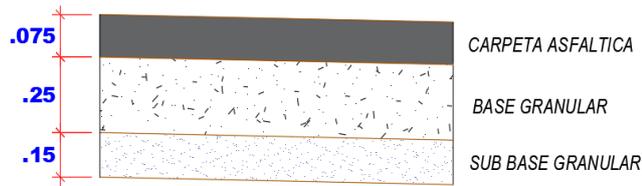
$$2.47 = 2.765$$

Alternativa 3 Carpeta Asfáltica en Caliente 12.8: h1=6cm, h2=28cm, h3=0

$$2.47 = 0.170*6+0.052*28*1+0.047*0*1$$

$$2.47 = 2.476$$

Ilustración 15: Sección Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia

Adoptaremos la alternativa 2

De acuerdo al tipo de tránsito pesado calculado para nuestra zona de estudio nos indica un espesor de 6cm para la carpeta asfáltica, pero por razones constructivas asumiremos 7.5 cm (3")

El valor del CBR de la zona de estudio es regular por eso se optó por colocar una subbase de 15 cm.

4.2.2 Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93

Mediante un proceso iterativo, se asumen espesores de losa de concreto hasta que la ecuación AASHTO 93 llegue al equilibrio.

Ilustración 16: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido

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

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

4.2.2.1 Módulo de Reacción del Terreno (Kc)

La determinación directa del valor de “k” mediante ensayos de placa es difícil y costosa, teniendo la desventaja de que normalmente se analiza el suelo en estado seco y sin considerar los efectos de la humedad.

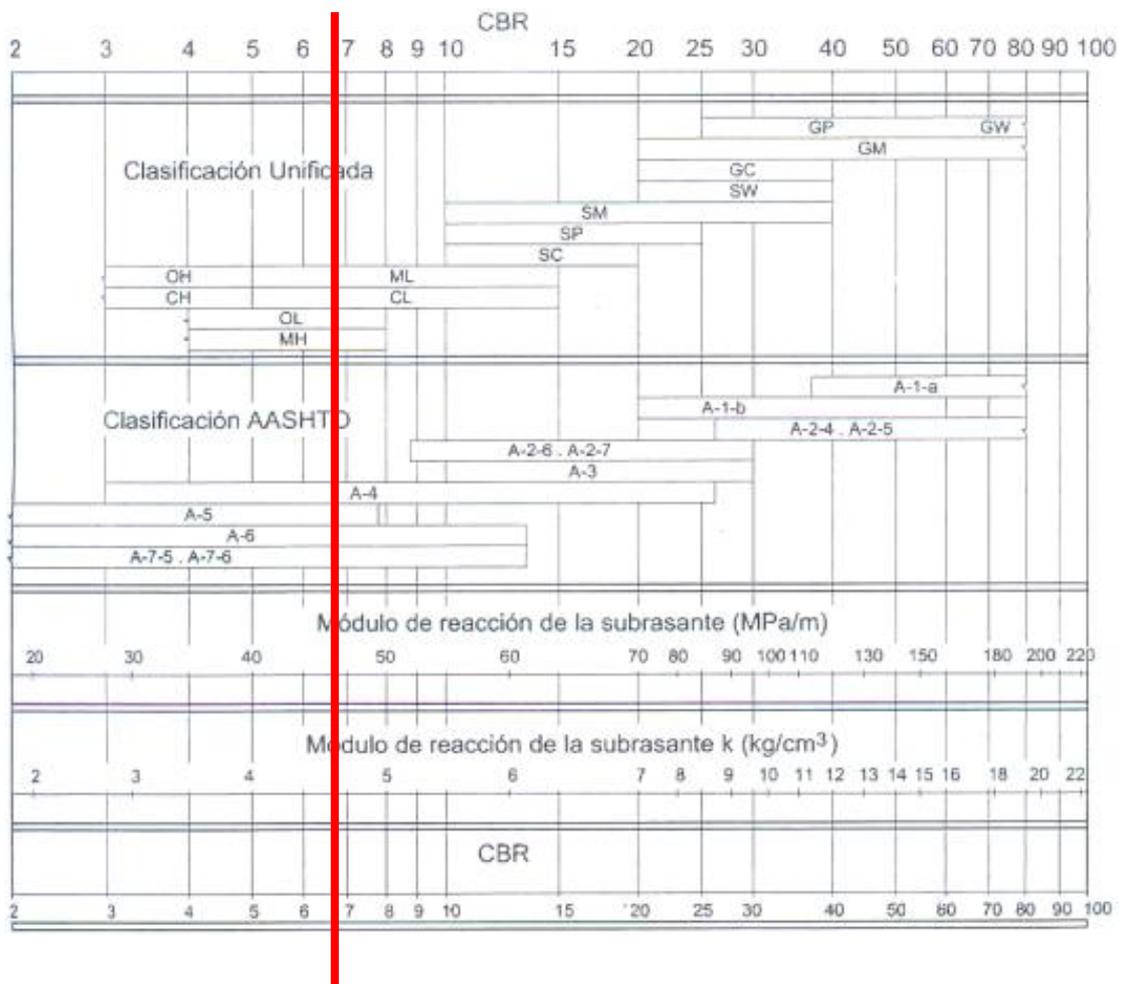
No obstante, se utilizará la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción K_c en función de la clasificación de suelos y el CBR.

Por lo tanto, el K_c según la correlación es de:

$$K_c(MPa/m) = 46.10$$

$$K_c(PSI) = 169.83$$

Tabla 41: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante



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

4.2.2.2 Módulo Elástico del Concreto (Ec)

AASHTO 93 indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación, precisando la correlación recomendada por el ACI:

$$E = 57,000 * (f'c)^{0.5}; (f'c \text{ en PSI})$$

Tabla 42: Módulo de Elasticidad (Ec)

Ecuación = 57000 * (f'c)^0.5		
Resistencia a la compresión	Módulo de Elasticidad	
	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2 (psi)
f'c = 210 kg/cm2	2987	3115191
f'c = 280 kg/cm2	3983	3597113
f'c = 350 kg/cm2	4978	4021694

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

Para el desarrollo del siguiente cálculo se utilizó un f'c = 280 kg/cm2 siendo su:

$$Ec (psi) = 3'597,113$$

4.2.2.3 Módulo de Rotura del Concreto (S'c)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es que se introduce este parámetro a la ecuación AASHTO 93.

Para determinar la resistencia mínima a la compresión del concreto (f'c) se obtendrá de acuerdo al rango de Tráfico Pesado Expresado en EE.

Tabla 43: Valores Recomendados de Resistencia del Concreto

ANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (Mr)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'C)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
> 5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
> 15'000,000 EE	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²

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

El módulo de rotura de concreto se correlaciona con el módulo de compresión del concreto mediante la siguiente expresión:

$$Mr = a\sqrt{f'c} \text{ (Valores en kg/cm}^2\text{), según el ACI 363}$$

Donde los valores de “a” varían entre 1.99 y 3.18

Tabla 44: Módulo de Rotura del C° (S'c)

Ecuación = 3.18 * (f'c)^0.5		
Resistencia a la compresión del C° (f'c)	Módulo de Rotura del C°	
	Kg/cm2	Lbs/pulg2 (psi)
f'c = 210 kg/cm ²	46.1	655
f'c = 280 kg/cm ²	53.2	757
f'c = 350 kg/cm ²	59.5	846

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

El Módulo de Rotura del Concreto (S'c) para un f'c = 280 kg/cm² será:

$$S'c \text{ (psi)} = 757$$

4.2.2.4 Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

Es un parámetro empleado para el diseño de pavimentos de concreto que expresa la capacidad de la estructura como transmisora de cargas entre juntas y fisuras.

Tabla 45: Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

TIPO DE BERMA	J			
	GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
VALORES J	SI (con pasadores)	NO (sin pasadores)	SI (con pasadores)	NO (sin pasadores)
	3.2	3.8 – 4.4	2.8	3.8

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

El Coeficiente de Transferencia de Carga (J) será:

$$J = 3.8$$

4.2.2.5 Coeficiente de Drenaje (Cd)

En este caso se usa un coeficiente de drenaje Cd que puede variar entre 0.70 y 1.25 según sea la calidad del drenaje, a mayor Cd, mejor drenaje.

Tabla 46: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares

Calidad de drenaje	% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 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
Insuficiente	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy insuficiente	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

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

Para el presente proyecto se está considerando un coeficiente de drenaje de:

$$cd = 1.00$$

4.2.2.6 Perdida de Serviciabilidad (Δ PSI)

La Serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía, y se magnifica en una escala de 0 a 5.

Con ayuda del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos”, nos proporciona un valor más exacto con relación al Rango de Tráfico en el cual le estimamos un valor de:

$$pi = \text{Índice de Servicio Inicial} = 4.10$$

$$pt = \text{Índice de Servicio Final} = 2.00$$

$$\Delta PSI = 2.10$$

Tabla 47: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)
Índice de Serviciabilidad Final o Terminal (Pt)
Diferencial de Serviciabilidad Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (PI)	ÍNDICE DE SERVICIABILIDA FINAL O TERMINAL (PT)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P2}	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P3}	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P4}	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80

	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P15}	>30'000,000		4.50	3.00	1.50

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

4.2.2.7 Confiabilidad (%R) y Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr)

Al igual que en el diseño del Pavimento Flexible se está considerando una Confiabilidad del 85 %, por lo tanto, $Z_r = -0.524$

$$R = 70\%$$

$$Z_r = -0.524$$

4.2.2.8 Desviación Estándar Total (So)

La Guía AASTHO recomienda adoptar para los pavimentos rígidos, valores de S_o comprendidos entre 0.30 y 0.40.

En la etapa de diseño del pavimento rígido se recomienda el valor de:

$$S_o = 0.35$$

4.2.2.9 Número de Repeticiones de EE de 8.2 ton (W18)

De acuerdo a nuestra zona de estudio se determinó que para el pavimento rígido el:

$$W_{18} = 169,745.08$$

4.2.2.10 Cálculo del Espesor de la Losa de Diseño, D (plgs)

De Forma Analítica

$$\log_{10} W_{10} = Z_R * S_O + 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t)$$

$$* \log_{10} \left[\frac{s_c * c_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 * J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

Datos:

	169.83				
K =	515.75	Psi	So =	0.35	
Ec =	3597113		R =	70 %	Zr = -0.524
S'c =	755	Psi	Pt =	2.0	
J =	3.80		ΔPSI =	2.1	
Cd =	1.00	Psi	W80 =	169,745.08	

Resolviendo la Ecuación:

Primer miembro = Segundo miembro

$$5.23 = -0.243 + 5.2069 + -0.0089 + 0.2769$$

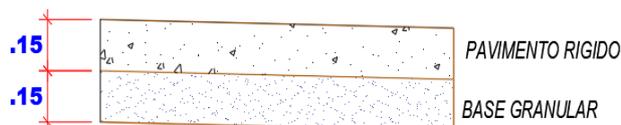
$$5.23 = 5.23$$

Por la iteración, el Espesor de la Losa es:

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

Para el diseño de pavimento se tomará el D=4.11plg analítico porque es mucho más exacto dicho valor. El espesor para la losa de concreto será de 6". Y para la base (afirmado) 6" como mínimo así lo especifica AAHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Ilustración 17: Sección del Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración Propia

4.2.3 Diseño de Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto

Para el diseño de pavimento con adoquines de concreto se propone el método de diseño IPCI, este es un proceso simplificado.

Espesores Mínimos de Adoquines de Concreto y Cama de Arena

Tabla 48: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Adoquín de Concreto y Cama de Arena

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

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

El espesor mínimo constructivo para base granular es de 100 mm, para bases tratadas con asfalto 90 mm y para bases tratadas con cemento es de 100 mm.

De la misma manera el manual del MTC en el catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular período de diseño 20 años, nos indica que el espesor del adoquinado debe ser 6cm, la cama de arena 4cm y la base granular de 28cm esto debido a que tenemos un tráfico de la clase Tp1 y un CBR de 6.91%.

Ilustración 18: catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular período de diseño 20 años

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

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



Adoquín de Concreto



Capa de Arena



Base Granular



Sub Base Granular

Nota:

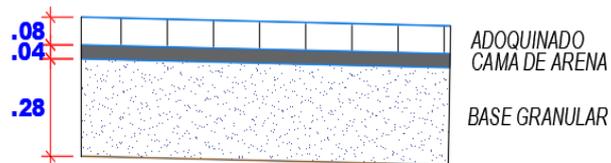
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y período de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:

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

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

La cama de arena de 4cm y base granular de 28 cm como indica el catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular período de diseño 20 años

Ilustración 19: Sección Pavimento Semirrígido



Fuente: Elaboración propia

4.3 PRESUPUESTO

4.3.1 Presupuesto Pavimento Flexible

Tabla 49: Características de la vía con Pavimento Flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE	
Longitud	Cantidad
Av. Loreto C01 – C03	285.00m
Jr. Juan Amasifuén C01 – C03	300.00m
Total	585.00m
Ancho de Vía	Cantidad
Av. Loreto C01 – C03	6.00 m
Jr. Juan Amasifuén C01 – C03	6.00 m

Sección	

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto Pavimento Flexible

Tabla 50: Presupuesto

Presupuesto

Presupuesto ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS, RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL BARRIO LA UNIÓN, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Subpresupuesto 001 PAVIMENTO FLEXIBLE

Tesistas MARIÑAS PEREZ, Daniel Alejandro - DEL AGUILA ROJAS, Harold Víctor
Lugar BARRIO UNION - SHAMBOYACU - PICOTA - SAN MARTIN

Costo al 25/11/2022

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	OBRAS PROVISIONALES				135,271.49
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	2,226.27	2,226.27
01.02	COLOCACION DE PUNTOS PROVISIONALES DE AGUA	und	8.00	175.45	1,403.60
01.03	REUBICACION DE POSTES	und	5.00	3,800.00	19,000.00
01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIAS Y	glb	1.00	71,420.14	71,420.14
01.05	ALMACEN DE OBRA DE 10Mx15M	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
01.06	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	1,500.00	12.02	18,030.00
01.07	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE	mes	4.00	5,047.87	20,191.48
02	OBRAS PRELIMINARES				26,711.10
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	3,510.00	3.52	12,355.20
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	3,510.00	4.09	14,355.90
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				81,824.78
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	2,047.50	9.24	18,918.90
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	m2	3,510.00	4.25	14,917.50
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	2,559.38	18.75	47,988.38
04	MATERIAL SELECCIONADO				173,929.28
04.01	SUB BASE GRANULAR e=0.45 m	m3	1,579.50	62.70	99,034.65
04.02	BASE GRANULAR e=0.25 m	m3	877.50	85.35	74,894.63
05	PAVIMENTO FLEXIBLE				387,188.10
05.01	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2"	m2	3,510.00	95.50	335,205.00
05.02	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	3,510.00	8.20	28,782.00
05.03	SELLO DE ARENA	m2	3,510.00	6.61	23,201.10
06	SEÑALIZACION				44,183.50
06.01	PINTADO EN FRANJA EN ASFALTO - SEÑALIZACION	m2	1,500.00	28.82	43,230.00
06.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X 0.60	und	10.00	95.35	953.50
	COSTO DIRECTO				849,108.24
	GASTOS GENERALES (10.00%)				84,910.82
	UTILIDAD (10.00%)				84,910.82
					=====
	SUB TOTAL				1,018,929.89
	IMPUESTO IGV (18.00%)				183,407.38
					=====
	PRESUPUESTO TOTAL				1,202,337.27

SON : UN MILLON DOSCIENTOS DOS MIL TRESCIENTOS TREINTA Y SIETE Y 27/100 SOLES

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 51: Características de la vía con Pavimento Rígido

PAVIMENTO RIGIDO	
Longitud	Cantidad
Av. Loreto C01 – C03	285.00m
Jr. Juan Amasifuén C01 – C03	300.00m
Total	585.00 m
Ancho de Vía	Cantidad
Av. Loreto C01 – C03	6.00 m
Jr. Juan Amasifuén C01 – C03	6.00 m
Sección	

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto con Pavimento Rígido

Tabla 52: Presupuesto

Presupuesto

Presupuesto **ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS, RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL BARRIO LA UNIÓN, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

Subpresupuesto **002 PAVIMENTO RÍGIDO**

Cliente **MARIÑAS PEREZ, Daniel Alejandro - DEL AGUILA ROJAS, Harodl Víc** Costo al **25/11/2022**
Lugar **BARRIO UNION - SHAMBOYACU - PICOTA - SAN MARTIN**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	OBRAS PROVISIONALES				135,271.49
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x	und	1.00	2,226.27	2,226.27
01.02	COLOCACION DE PUNTOS PROVISIONALES DE	und	8.00	175.45	1,403.60
01.03	REUBICACION DE POSTES	und	5.00	3,800.00	19,000.00
01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE	glb	1.00	71,420.14	71,420.14
01.05	ALMACEN DE OBRA DE 10Mx15M	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
01.06	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	1,500.00	12.02	18,030.00
01.07	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN	mes	4.00	5,047.87	20,191.48
02	OBRAS PRELIMINARES				26,711.10
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	3,510.00	3.52	12,355.20
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	3,510.00	4.09	14,355.90
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				81,824.78
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB	m3	2,047.50	9.24	18,918.90
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB	m2	3,510.00	4.25	14,917.50
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	2,559.38	18.75	47,988.38
04	PAVIMENTO RIGIDO				904,732.60
04.01	CONFORMACION DE SUB RASANTE CON	m2	3,510.00	9.24	32,432.40
04.02	BASE DE AFIRMADO H=0.20 m	m2	3,510.00	65.75	230,782.50
04.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA	m2	2,029.60	59.50	120,761.20
04.04	LOSA DE CONCRETO PRE MEZCLADO	m2	3,510.00	135.25	474,727.50
04.05	CURADO DE CONCRETO	m2	3,510.00	7.20	25,272.00
04.06	SELLO CON MEZCLA ASFALTICA E=5 mm.	m	2,035.00	10.20	20,757.00
05	SEÑALIZACION				44,183.50
05.01	PINTADO EN FRANJA EN PAVIMENTO -	m2	1,500.00	28.82	43,230.00
05.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X	und	10.00	95.35	953.50
	COSTO DIRECTO				1,192,723.47
	GASTOS GENERALES (10.00%)				119,272.35
	UTILIDAD (10.00%)				119,272.35
					=====
	SUB TOTAL				1,431,268.16
	IMPUESTO IGV (18.00%)				257,628.27
					=====
	PRESUPUESTO TOTAL				1,688,896.43

SON : UN MILLON SEISCIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL OCHOCIENTOS NOVENTAY SEIS Y 43/100 SOLES

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Presupuesto de pavimento Semi – Rígido

Tabla 53: Características de la vía con Pavimento Semi-Rígido

PAVIMENTO SEMIRRIGIDO	
Longitud	Cantidad
Av. Loreto C01 – C03	285.00m
Jr. Juan Amasifuén C01 – C03	300.00m
Total	585.00 m
Ancho de Vía	Cantidad
Av. Loreto C01 – C03	6.00 m
Jr. Juan Amasifuén C01 – C03	6.00 m
Sección	

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto con Pavimento Semirrígido

Tabla 54: Presupuesto

Presupuesto

Presupuesto **ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS, RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN EL BARRIO LA UNIÓN, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

Subpresupuesto **003 PAVIMENTO SEMIRRIGIDO**

Cliente **MARIÑAS PEREZ, Daniel Alejandro - DEL AGUILA ROJAS, Harold Víctor**

Costo al **25/11/2022**

Lugar **BARRIO UNION - SHAMBOYACU - PICOTA - SAN MARTIN**

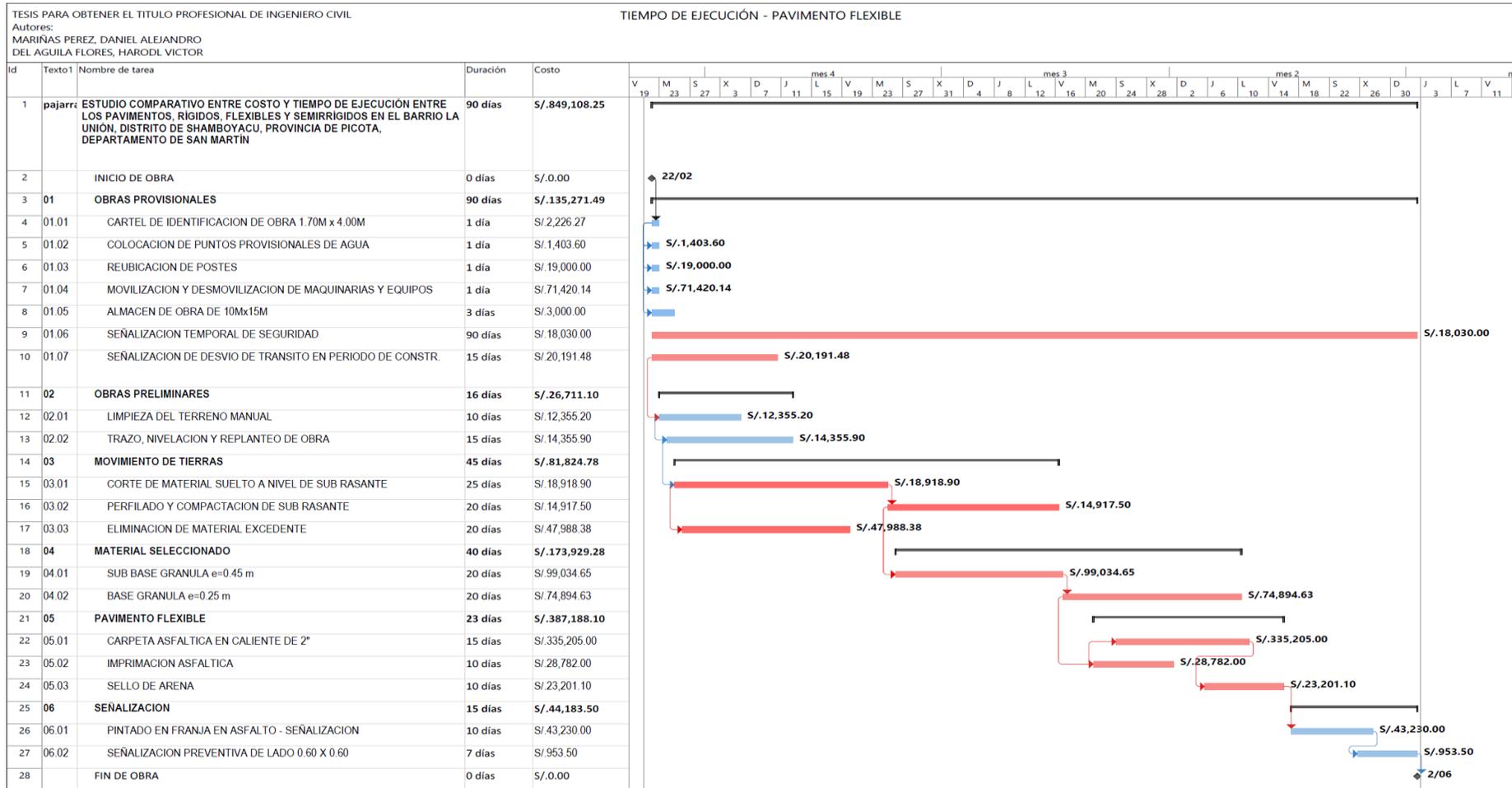
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	OBRAS PROVISIONALES				135,271.49
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	2,226.27	2,226.27
01.02	COLOCACION DE PUNTOS PROVISIONALES DE AGUA	und	8.00	175.45	1,403.60
01.03	REUBICACION DE POSTES	und	5.00	3,800.00	19,000.00
01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQ. Y EQUIPOS	glb	1.00	71,420.14	71,420.14
01.05	ALMACEN DE OBRA DE 10Mx15M	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
01.06	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	1,500.00	12.02	18,030.00
01.07	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO	mes	4.00	5,047.87	20,191.48
02	OBRAS PRELIMINARES				26,711.10
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	3,510.00	3.52	12,355.20
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	3,510.00	4.09	14,355.90
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				81,824.78
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB	m3	2,047.50	9.24	18,918.90
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	m2	3,510.00	4.25	14,917.50
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	2,559.38	18.75	47,988.38
04	PAVIMENTO SEMIRRIGIDO				462,161.70
04.01	CONFORMACION DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA	m2	3,510.00	9.24	32,432.40
04.02	BASE DE AFIRMADO H=0.20 m	m2	3,510.00	62.75	220,252.50
04.03	CONFORMACIÓN DE CAMA DE ARENA	m2	3,510.00	7.35	25,798.50
04.04	PISO DE ADOQUIN DE CONCRETO 0.08M	m2	3,510.00	48.23	169,287.30
04.05	SELLO Y COMPACTACIÓN FINAL DE ADOQUINES	m2	3,510.00	4.10	14,391.00
05	SEÑALIZACION				44,183.50
05.01	PINTADO EN FRANJA EN PAVIMENTO - SEÑALIZACION	m2	1,500.00	28.82	43,230.00
05.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X 0.60	und	10.00	95.35	953.50
	COSTO DIRECTO				750,152.57
	GASTOS GENERALES (10.00%)				75,015.26
	UTILIDAD (10.00%)				75,015.26
					=====
	SUB TOTAL				900,183.08
	IMPUESTO IGV (18.00%)				162,032.95
					=====
	PRESUPUESTO TOTAL				1,062,216.03
SON : UN MILLON SESENTA Y DOS MIL DOSCIENTOS DIECISEIS Y 03/100 SOLES					

Fuente: Elaboración propia

4.4 TIEMPO DE EJECUCIÓN

4.4.1 Tiempo de Ejecución Pavimento flexible

Ilustración 20: Programación de Obra Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia

4.5 RESULTADOS OBTENIDOS

- El conteo de vehículos se tomó en 7 días calendarios, desde el día lunes 19 hasta el día domingo 25 de octubre del presente año, también se tomó como periodo de diseño 20 años, para así poder hacer un análisis comparativo de los pavimentos, lo cual nos dio como resultado un EAL anual de:

Tabla 55: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn.

Av. Loreto y Av. Juan Amasifuén	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido	Pavimento Semi-Rígido
Nrep de EE 8.2 tn	162,239.47	169,745.08	162,239.47

Fuente: Elaboración propia

- Con respecto al estudio de mecánica de suelos con fines de pavimentación, se realizó 2 calicatas a una profundidad de 1.50 m, y se encontró como material predominante CL. Además de contar con:

Tabla 56: Resumen Características del Sub rasante

Nº Calicata	Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	Humedad Óptima (%)	CBR (%)
C-1	1.85	15.15	6.91
C-2	1.86	13.95	6.91

Fuente: Elaboración propia

Lo que resulta un CBR de diseño de 6.91%

- El diseño del pavimento se realizó con el Método de AASHTO-93, con el cual se determinaron los parámetros de diseño para los pavimentos flexibles, rígidos y semirrígidos, siendo estos los siguientes:

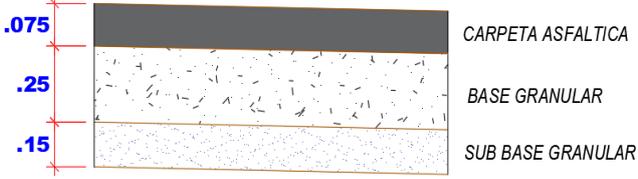
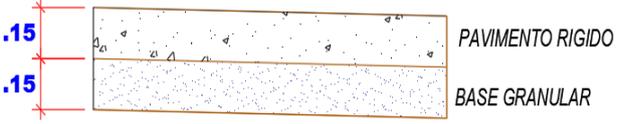
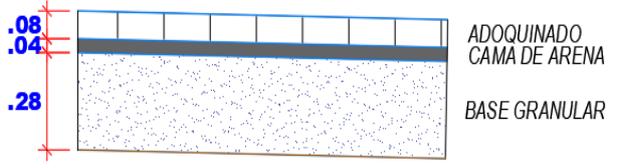
Tabla 57: Cuadro Comparativo entre Pavimentos

Parámetros	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido	Pavimento Semi-Rígido
EAL	162,239.47	169,745.08	162,239.47
Periodo de Diseño	20 años	20 años	20 años
CBR	6.91%	6.91%	6.91%
Serviciabilidad Inicial	3.80	4.10	3.80
Serviciabilidad Final	2.00	2.00	2.00
Factor de Confiabilidad	70%	70%	70%
Desviación Estándar	0.45	0.35	0.45
Número Estructural	2.47	-	2.47
Módulo de Reacción del Terreno	-	169.83 psi	-
Módulo de Rotura del Concreto	-	757 psi	-
Módulo de Elasticidad del Concreto	-	3'597,113 psi	-
Coeficiente de Drenaje	1.00	1.00	1.00
Transferencia de Carga	-	3.80	-

Fuente: Elaboración propia

- Para determinar los espesores, nos apoyamos del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos”, de lo cual se obtuvo los siguientes espesores:

Tabla 58: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos

Tipo	Espesores
<p>Pavimento flexible</p>	
<p>Pavimento Rígido</p>	
<p>Pavimento Semi-Rígido</p>	

Fuente: Elaboración Propia

- En presupuesto obtenido no se tomó en consideración el costo de mantenimiento:

Pavimento Flexible : S/ 1,202,337.27

Pavimento Rígido : S/ 1,688,896.43

Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto : S/ 1,062,216.03

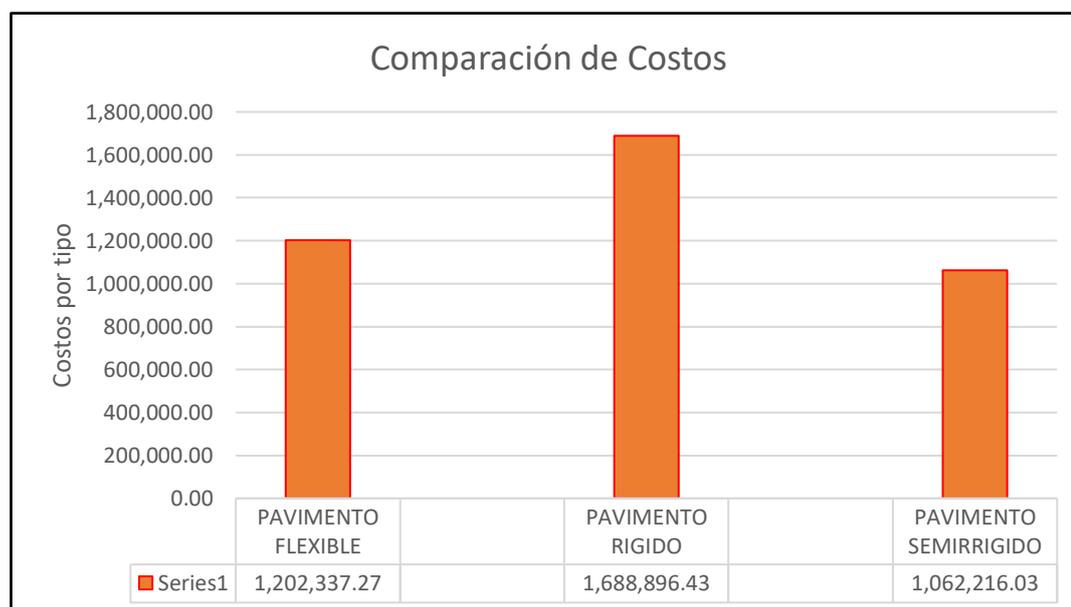
CUADRO COMPARATIVO TÉCNICO- ECONÓMICO

Tabla 59: Cuadro Comparativo Técnico – Económico

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	1,202,337.27	1,688,896.43	1,062,216.03
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	241.91	339.81	213.72
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	342.55	481.17	302.63
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	120	150	90
MANTENIMIENTO PERIODICO RUTINARIO	AÑOS	5	10	5
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	20-40	10-20

Fuente: Elaboración Propia

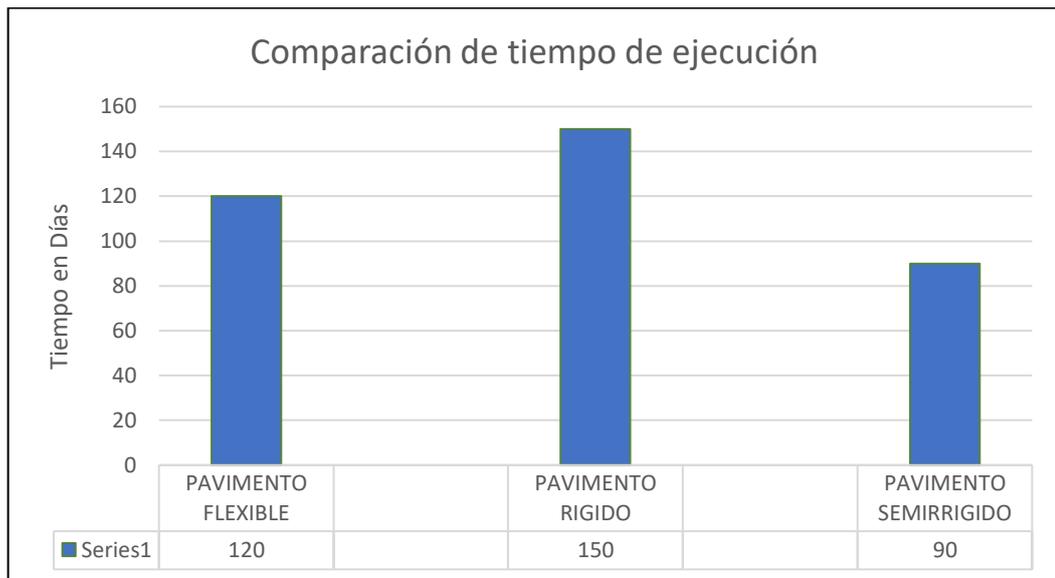
Ilustración 23: Comparación de Costos



Fuente: Elaboración Propia

- En el grafico se puede apreciar que el pavimento rígido es el que tiene un mayor costo con S/ 1,688,896.43, seguido del pavimento flexible con S/ 1,202,337.27 y por último el de menor costo es el pavimento semirrígido con S/ 1,062,216.03.

Ilustración 24: Comparación de Plazos de Ejecución



Fuente: Elaboración Propia

- En el gráfico se aprecia que el pavimento rígido tiene un mayor plazo de ejecución con 150 días, seguido del pavimento flexible con 120 días y por último se encuentra el Pavimento Semirrígido con 90 días.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Haciendo el análisis comparativo costo-tiempo de ejecución, concluimos que el diseño óptimo para la pavimentación de la Av. Loreto Cdra. 01 - 03 y Jr. Juan Amasifuén Cdra. 01 - 03 del barrio Unión, distrito de Shamboyacu, es el **Pavimento Semirrígido**, al tener un costo menor respecto del pavimento rígido, y un costo también respecto del pavimento flexible, en función al tiempo de ejecución el pavimento flexible se ejecuta en 120 días, el pavimento semirrígido en 90 días y el pavimento rígido en 150 días.
- Al realizar el presupuesto de los pavimentos rígidos, pavimentos flexibles y pavimento semirrígido se concluyó que los costos por metro cuadro son:

Tabla 60: Cuadro Comparativo Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
COSTO DIRECTO POR M2	S/	241.91	339.81	213.72
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/	342.55	481.17	302.63

Fuente: Elaboración propia

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

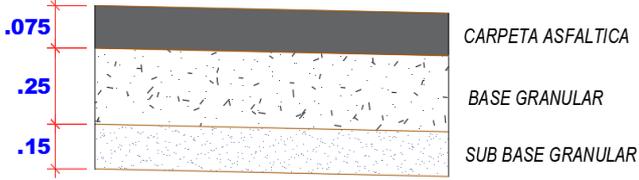
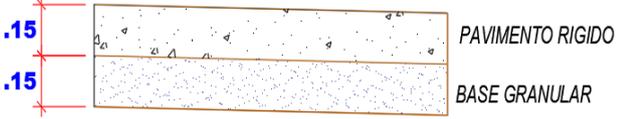
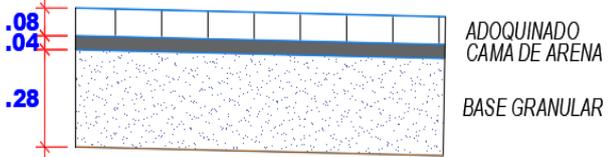
Tabla 61: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	120	150	90

Fuente: Elaboración propia

- El Diseño de la Estructura del Pavimento Rígido, Semirrígido con Adoquines de Concreto y Flexible, del presente proyecto, obedece a parámetros del comportamiento del lugar de emplazamiento, tomando como variables de entrada, la caracterización del tránsito, las propiedades mecánicas de los materiales y del terreno de fundación, las condiciones climáticas, las condiciones de drenaje y los niveles de serviciabilidad y confiabilidad.
- Concluimos indicando que, dentro del diseño del Pavimento Flexible, Pavimento Rígido y del Pavimento Semirrígido, siguiendo las recomendaciones del método AASTHO -93 se tiene las siguientes estructuras:

Tabla 62: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos

Tipo	Espesores
Pavimento flexible	
Pavimento Rígido	
Pavimento Semi-Rígido	

Fuente: Elaboración propia

Según el diseño y cálculo de volúmenes de obra se obtuvo el siguiente cuadro comparativo del pavimento flexible, pavimento rígido y pavimento semirrígido:

Tabla 63: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	1,202,337.27	1,688,896.43	1,062,216.03
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	241.91	339.81	213.72
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	342.55	481.17	302.63
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	120	150	90
MANTENIMIENTO PERIODICO RUTINARIO	AÑOS	5	10	5
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	20-40	10-20

Fuente: Elaboración propia

- Puede verse, en el análisis realizado, que el costo del pavimento rígido es más alto que el del pavimento flexible y pavimento semirrígido; en cuanto a ejecución se refiere. Para ello debe de tomarse en cuenta que se realizó la comparación tomando en consideración los mismos parámetros de diseño.

5.2 RECOMENDACIONES

- Los pavimentos en estudio tienen diferentes características considerables que pueden ser bien aprovechadas, cada proyecto debe ser analizado minuciosamente para determinar cuál es la mejor opción en cada caso, haciendo un análisis cuidadoso y a conciencia de todos los factores que intervienen en el proyecto.
- El pavimento rígido es también un tipo de pavimento recomendable para la zona de estudio ya que al hacer un comparativo de durabilidad y mantenimiento periódico rutinario tiene una mayor ventaja respecto al pavimento flexible y semirrígido.
- Para obtener un análisis completo del estudio comparativo de costos realizado en el presente trabajo, deberá tomarse en cuenta, además de los costos de ejecución, incluidos anteriormente, los costos de mantenimiento, para ambos pavimentos.
- Hablar de qué tan económico resulta un pavimento respecto al otro, es muy relativo, ya que, si se toma en cuenta el costo total, el cual incluye la inversión inicial más el costo de mantenimiento, no se obtendrá una alternativa definitiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Norma Técnica CE.10 Pavimentos Urbanos.
- (2) Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.
- [3] AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
Aparicio Mijares, F. J. (1996). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México D.F.: LIMUSA S.A.
- [4] Canahui, R. (2021). Análisis comparativo técnico – económico entre pavimento flexible y rígido por los métodos instituto de asfalto y AASHTO-93, en Jr Abraham Valdelomar, urbanización Tambopata, distrito Juliaca, provincia San Román – Puno. Universidad Cesar Vallejo.
- [5] MTC (2003). REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS DECRETO SUPREMO N° 058. Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma OS.060 drenaje pluvial urbano.
- [6] Norma C-10 de Pavimentos Urbanos.
- [7] Paredes, F. y Delgado, J. (2019). “Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del centro del Distrito de Tarapoto”. Universidad Nacional de San Martín.
- [8] Ruiz, M. y Rodríguez, J. (2016). “Comparación Técnico - Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas - Mulukuku. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- [9] Ruiz Urrutia, M., & Rodríguez Peralta, J. (2016). Comparación técnica-económica del uso de pavimento rígido y pavimento flexible en Nicaragua.
- [10] Rojas, J. (2021). “Análisis De Alternativas Para El Diseño De Pavimentos En Las Calles De Acceso Al Mercado Mayorista José Olaya, Distrito De Nueva Cajamarca, Departamento San Martín, 2020”. Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo.

- [11] Torres, R. Ziri3n. (2007). "An3lisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y El Pavimento R3gido" Universidad de San Carlos de Guatemala.
- (12] V3lchez, C.F (2020). "An3lisis Comparativo de Costos entre Pavimento R3gido y Flexible de las V3as Alternas Carretera Marginal Tramo 3valo Rondero - Bajo Portillo, Satipo". Universidad Peruana Los Andes.