



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

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

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

ASESOR:

M.Sc. Ing. Joel Padilla Maldonado

AUTORES:

PIZARRO TUANAMA, Rodolfo

CAMACHO ALARCON, Luz Clarita

**TARAPOTO – PERÚ
2021**

DEDICATORIA

La presente tesis, quiero dedicar en primer lugar a Dios por haber permitido llegar hasta aquí hoy, por darme fuerza y salud para llevar a cabo mis metas y objetivos. Quiero darle las gracias por su amor infinito.

También la dedico a mis padres Noelia Alarcón Tello y Genri Camacho Sánchez, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos y enseñarme buenos valores, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional. A mis hermanos José Yorlis Dávila Alarcón y Jani Dávila Alarcón por su guía y consejos para no rendirme en este arduo camino.

A mis seres de luz, mis preciadas hijas Sophie Valerie y Sophia Berenice, quienes llegaron en el momento justo para enseñarme a ser valiente y no rendirme nunca, su amor ha sido mi consuelo en momentos difíciles. A mi mejor amiga Kerem Grandes López, que nunca me abandono y me apoyo en cada uno de mis aciertos y desaciertos.

A cada uno de mis docentes que fueron parte de mi formación académica durante los años en la universidad, quienes compartieron sus experiencias y conocimientos para ser un buen profesional.

Luz Clarita Camacho Alarcón

La presente tesis está dedicada en primer lugar a Dios nuestro creador por ser mi guía y luz en mis momentos de oscuridad, por la fuerza y el valor en mis momentos de tristeza.

A mi madre Elia Sofia Tuanama de Pizarro por su inculcarme valores, por enseñarme que nunca debe rendirse y seguir adelante a pesar de las adversidades. A mi esposa Paula Irene Padilla Cárdenas por el apoyo incondicional, por estar conmigo en mis noches de desvelo, en mis días buenos, malos y por ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante, para ser mejor cada día, como persona y profesional.

A mis hijos Sofía Isabel y Enzo Franchesko quienes me impulsaron a ser un profesional de bien y darles así un mejor futuro.

Rodolfo Pizarro Tuanama

AGRADECIMIENTO

La presente tesis, fue elaborada con mucha dedicación, insomnios, esfuerzo y compromiso. Por ende, quiero agradecer a Dios, porque siempre estuvo guiándome, dándome conocimiento, brindándome sabiduría, dándome su amor, sus bendiciones a diario, me dio la oportunidad de poder permitirme lograr esta meta, tan anhelada.

Agradezco a mis padres Noelia Alarcón Tello y Genri Camacho Sánchez, por estar dándome ánimos y apoyándome para salir adelante a pesar de las pruebas y dificultades que tuve durante todo este camino para lograr mi meta. Por enseñarme que en esta vida tienes que luchar y seguir perseverando, que una caída no significa derrota, sino es una nueva oportunidad para levantarse y ser más fuertes.

A mis hijas Sophie Valerie y Sophia Berenice Silva Camacho, quienes fueron mi soporte y mis ganas de seguir en este largo camino, a mis hermanos que siempre estuvieron conmigo en cada momento ya sea bueno o malo.

Asimismo, agradezco a mi asesor de tesis y a todas las personas que estuvieron en toda la elaboración de esta presente tesis, porque me ayudaron a pulirlo, a ser más entendible, con ideas innovadoras y correcciones, por la esperanza que tuvieron en mi persona de que podía hacer un buen trabajo y gracias a ello, lo logré.

Luz Clarita Camacho Alarcón

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a mi madrecita Elia Sofía Tuanama de Pizarro por confiar en mí y prepararme para enfrentar todos los obstáculos de la vida, gracias a su amor y dedicación hoy soy una persona fuerte y capaz.

A mi esposa por su amor incondicional, por estar conmigo en mis mejores y peores momentos y acompañarme en mis largas noches de desvelo.

Debo, necesito y quiero agradecer también a los muchos amigos, colegas, estudiantes y docentes, que contribuyeron a mi formación profesional.

Gracias a mi asesor de tesis por su paciencia y las correcciones necesarias para culminar el presente trabajo.

Rodolfo Pizarro Tuanama

**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:

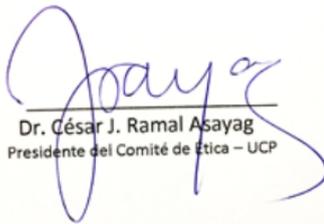
La Tesis titulada:

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

De los alumnos: **PIZARRO TUANAMA RODOLFO Y CAMACHO ALARCON LUZ
CLARITA**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la
revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **14% de plagio**.

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

San Juan, 27 de julio del 2021.



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

Urkund Analysis Result

Analysed Document: UCP_INGENIERÍA CIVIL_2021_TESIS_LUZCAMACHO_RODOLFOPIZARRO_
(D110619301)
Submitted: 7/20/2021 6:43:00 PM
Submitted By: revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Significance: 14 %

Sources included in the report:

UCP_INGENIERIA CIVIL_2020_T_IVANABAD_MARTHATORRES_V1.pdf (D79258831)
UCP_INGENIERÍA CIVIL_2021_TESIS_SAÍSANGAMA_LAYNEPEZO_V1.pdf (D100815781)
UCP_INGENIERÍA CIVIL_2021_TESIS_KEIKOPAREDES_MICHAELSALDAÑA_V1.pdf (D99484626)
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcib957a/doc/bmfcib957a.pdf>
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf

Instances where selected sources appear:

23

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 224-2021-UCP-FCEI del 07 de junio del 2021, 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 Rios Vargas, M.Sc. | Presidente |
| • Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta, M.Sc. | Miembro |
| • Ing. Luis Paredes Aguilar, M.Sc. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Joel Padilla Maldonado, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 20:00 horas del día 15 de diciembre del 2021, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“EVALUACIÓN DE COSTOS Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍDOS EN EL DISTRITO DE EL PORVENIR PELEJO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**.

Presentado por los sustentantes:

LUZ CLARITA CAMACHO ALARCÓN y RODOLFO PIZARRO TUANAMA

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 DIECISIETE (17)**.

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



Presidente



Miembro



Miembro

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día 15 de diciembre del 2021 a las 08:00 p.m.



M.Sc. Ing. CALEB RÍOS VARGAS
PRESIDENTE DEL JURADO



M.Sc. Ing. VÍCTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA
MIEMBRO DEL JURADO



M.Sc. Ing. LUIS PAREDES AGUILAR
MIEMBRO DEL JURADO



M.Sc. Ing. JOEL PADILLA MALDONADO
ASESOR

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
APROBACIÓN	iii
RESUMEN	1
ABSTRAC	2
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	3
1.1.1. Antecedentes internacionales	3
1.1.2. Antecedentes nacionales	6
1.1.3. Antecedentes Locales	10
1.2. BASES TEÓRICAS	11
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	72
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	72
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	72
2.2.1. Problema general	72
2.2.2. Problemas específicos	72
2.3. OBJETIVOS	73
2.3.1. Objetivo General	73
2.3.2. Objetivos específicos	73
2.4. HIPÓTESIS	73
2.5. VARIABLES	74
2.5.1. Variable Independiente	74
2.5.2. Variable Dependiente	74
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	75
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	75
3.1.1. Tipo de Investigación	75
3.1.2. Diseño de Investigación	75
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	75
3.2.1. Población	75
3.2.2. Muestra	75
3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	75
3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	76

CAPÍTULO IV: RESULTADOS	77
4.1 RESULTADOS	77
4.1.1 Estudio de tráfico	77
4.1.2 Estudio de la mecánica de suelos.....	79
4.1.3 Presencia de suelos orgánicos y expansivos	85
4.1.4 Canteras y fuentes de agua	86
4.1.5 Diseño de pavimentos	93
4.1.6 Tráfico promedio diario anual y análisis de tráfico.....	93
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	103
4.2.1 Diseño de pavimento flexible -método AASHTO 93.....	103
4.2.2 Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93.....	120
4.2.3 Diseño de Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto.....	128
4.3 PRESUPUESTO.....	131
4.3.1 Presupuesto Pavimento Flexible.....	131
4.3.2 PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO	133
4.3.3 Presupuesto de pavimento Semi - Rígido.....	135
4.4 TIEMPO DE EJECUCIÓN	137
4.4.1 Tiempo de Ejecución Pavimento flexible	137
4.4.2 Tiempo de Ejecución Pavimento Rígido	138
4.4.3 Tiempo de Ejecución Pavimento Semirrígido	139
4.5 RESULTADOS OBTENIDOS	140
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
5.1 CONCLUSIONES	145
5.2 RECOMENDACIONES	148
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Sección transversal del pavimento flexible	33
Ilustración 2: Gráfico para determinar Número Estructural requerido por capas asfáltic... 45	45
Ilustración 3: Sección Transversal Pavimento Rígido.....	46
Ilustración 4: Esquema de esfuerzos debido a las cargas	49
Ilustración 5: Sección de pavimento semirrígido con base.....	59
Ilustración 6: Variación del PSI vs. El tráfico acumulado o tiempo para pavimentos de concreto y asfalto.....	62
Ilustración 7: Influencia de la confiabilidad R en la curva de diseño	66
Ilustración 8: Número estructural para cada capa de pavimento	68
Ilustración 9: Modelo del comportamiento entre la losa de concreto y la capa subyacen .69	69
Ilustración 10: Prueba de resistencia a la flexión del concreto usando tres puntos.....	70
Ilustración 11: Monograma para Pavimento Flexible.....	104
Ilustración 12: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible.....	104
Ilustración 13: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la... 105	105
Ilustración 14: Monograma para Pavimento Flexible.....	111
Ilustración 15: Sección Pavimento Flexible	120
Ilustración 16: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido	120
Ilustración 17: Sección del Pavimento Rígido.....	128
Ilustración 18: catálogo de estructuras de pavimento de adoquín con base granular período de diseño 20 años	129
Ilustración 19: Sección Pavimento Semirrígido.....	130
Ilustración 20: Programación de Obra Pavimento Flexible.....	137
Ilustración 21: Programación de Obra Pavimento Rígido.....	138
Ilustración 22: Programación de Obra Pavimento Semirrígido.....	139
Ilustración 23: Comparación de Costos	143
Ilustración 24: Comparación de Plazos de Ejecución.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Grado del Hormigón Según Resistencia a la Compresión	54
Tabla 2: Grado del Hormigón / Elemento.....	55
Tabla 3: Cuadro de Valor de Soporte.....	57
Tabla 4: Condiciones Restrictivas en suelos in-situ para aplicación de suelo cemento	60
Tabla 5: Cuadro de drenajes	65
Tabla 6: Clasificación vehicular de IMD	78
Tabla 7: Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos	80
Tabla 8: Características de Sub rasante Jr. Huallaga C-01	83
Tabla 9: Agresividad del suelo Jr. Huallaga C-01	83
Tabla 10: Característica de la sub rasante Jr. San Juan C-02.....	84
Tabla 11: Agresividad del suelo Jr. San Martin C-01	84
Tabla 12: CBR de la Subrasante.....	85
Tabla 13: Ensayos de Laboratorio de Canteras.....	87
Tabla 14: Cantera El Porvenir	88
Tabla 15: Característica Cantera El Porvenir.....	89
Tabla 16: Diseño de Mezcla para sub base y base granular.....	90
Tabla 17: Granulometría y Clasificación de material de Cantera	91
Tabla 18: Característica del agua a usar	92
Tabla 19: Conteo Vehicular	94
Tabla 20: Factores de Crecimiento Acumulado (Fca) para el cálculo de Número de Repeticiones de EE	95
Tabla 21: Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño	96
Tabla 22: Configuración de Ejes	97
Tabla 23: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos	98
Tabla 24: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE)Para Pavimentos Rígidos.....	98
Tabla 25: Factor Camión C2 y C3 para Pavimentos	99
Tabla 26: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para ejes Equivalentes (EE) 100	
Tabla 27: EE día-carril para Pavimento Flexible y Semirrígido	101
Tabla 28: EE día-carril para Pavimento Rígido.....	102
Tabla 29: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible y Semirrígido.....	102
Tabla 30: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido.....	102
Tabla 31: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño Para Pavimentos Flexibles, Semirrígidos y Rígidos	103
Tabla 32: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico	106
Tabla 33: 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.....	107
Tabla 34: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico	108
Tabla 35: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico	109

Tabla 36: Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico	110
Tabla 37: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular	112
Tabla 38: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a1	114
Tabla 39: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje MI	115
Tabla 40: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular.....	116
Tabla 41: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente	118
Tabla 42: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante.....	121
Tabla 43: Módulo de Elasticidad (E_c)	122
Tabla 44: <i>Valores Recomendados de Resistencia del Concreto</i>	123
Tabla 45: Módulo de Rotura del C^o ($S'c$).....	123
Tabla 46: Coeficiente de Transferencia de Carga (J)	124
Tabla 47: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares.....	124
Tabla 48: Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i).....	125
Tabla 49: Valores recomendados de Espesores Mínimos	128
Tabla 50: Características de la vía con Pavimento Flexible.....	131
Tabla 51: Presupuesto	132
Tabla 52: Características de la vía con Pavimento Rígido	133
Tabla 53: Presupuesto	134
Tabla 54: Características de la vía con Pavimento Semi-Rígido.....	135
Tabla 55: Presupuesto	136
Tabla 56: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn	140
Tabla 57: Resumen Características del Sub rasante	140
Tabla 58: Cuadro Comparativo entre Pavimentos.....	141
Tabla 59: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos	142
Tabla 60: Cuadro Comparativo Técnico - Económico	143
Tabla 61: Cuadro Comparativo Financiero	145
Tabla 62: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución	146
Tabla 63: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos	146
Tabla 64: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero	147

RESUMEN

Este estudio tiene como finalidad hacer un comparativo entre el costo y tiempo empleado en la ejecución de un proyecto de pavimentación tipo concreto rígido, pavimento flexible y pavimento semirrígido, con la finalidad de conseguir un diseño óptimo en la pavimentación de calles en el distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y 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 valor inicial de cada alternativa, junto con el de conservación y rehabilitación de éstos durante un ciclo de vida determinado. Por otro lado, se expone el factor el funcional, mediante el cual se verificará cuál de los dos pavimentos 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, siendo el principal método de trabajo, la recolección de datos, consultando diferentes tipos de documentos, libros y tesis, tanto en medios físicos como digitales, estimándose el costo total de ejecución de cada proyecto, realizándose con cada uno de los tres pavimentos mencionados anteriormente, y concluyéndose en cuál es la mejor opción para realizar cada uno de los tres proyectos.

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

ABSTRACT

The purpose of this study is to make a comparison between the cost and time spent in the execution of a project of rigid concrete type paving, flexible pavement and semi-rigid pavement, in order to achieve an optimal design in the paving of streets in the district of El Porvenir Pelejo, province and department of San Martín.

Based on the behavior of each of these, starting from the basis that the three alternatives are satisfactory solutions for the paving project, and focusing the analysis on two preponderant factors; On the one hand, the economic factor, in which the initial value of each alternative is involved, together with the conservation and rehabilitation of these during a determined life cycle. On the other hand, the functional factor is exposed, by means of which it will be verified which of the two pavements is the most appropriate.

The project is based on a descriptive research, presenting the characteristics of rigid, flexible and semi-rigid pavements, as well as their cost analysis, their advantages and disadvantages, being the main work method, data collection, consulting different types of documents , books and theses, both in physical and digital media, estimating the total cost of execution of each project, being carried out with each of the three floors mentioned above, and concluding on which is the best option to carry out each of the three projects.

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

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

1.1.1. Antecedentes internacionales

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

❖ 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.

❖ Además, tenemos una Tesis, del autor: Esteban Javier Abel, titulada “Elaboración de expediente técnico proyecto: **“Rehabilitación de pavimentos asfálticos con la aplicación de capas de concreto “WHITETOPPING” – calle Moquegua, Omate–Moquegua, 2017”**”, de la Universidad Cesar Vallejo, que llegan a las siguientes conclusiones:

- En relación al objetivo específico 1 “OE1: Determinar la deformación vertical óptima que debe presentar el pavimento asfáltico existente para aplicar capas de concreto hidráulico tipo Whitetopping en la Calle Moquegua, distrito de Omate – 2017”. Se logró determinar que el pavimento existente en la vía mencionada se encuentra en condiciones para la aplicación de capas de concreto, esto debido a la evaluación que se le realizó con la viga Benkelman que los brazos están en proporción de 1 en 4 dando como resultado lecturas por debajo de límite máximo permitido.
- En relación al objetivo específico 2 “OE2: Determinar la Mejora del comportamiento mecánico del pavimento asfáltico con la aplicación de capas de concreto hidráulico Whitetopping en la Calle Moquegua, distrito de Omate – 2017”, se logró determinar que:

❖ 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.

- ❖ Además, tenemos una Tesis, del autor Laura Guzmán, M.S. Autor corporativo Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). Facultad de Ingeniería Agrícola Título **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DOS TIPOS DE PAVIMENTOS PARA EL CAMPUS DE LA UNALM** [Universidad Nacional Agraria La Molina] | Lima: UNALM, 2019

En el presente estudio, se ha determinado la alternativa de menor costo y de menor impacto ambiental negativo al entorno, del análisis comparativo entre las alternativas de diseño de pavimentos flexibles frente a pavimentos rígidos urbanos para las vías al interior del campus de la UNALM, durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento, en un período de análisis de 20 años. Para el análisis, se planteó el diseño de nuevos pavimentos en las vías del campus, ya que en la actualidad los pavimentos existentes registran fallas a nivel superficial en distintos tramos de vías, sin haber desarrollado trabajos de conservación de pavimentos, por lo que ya han cumplido con su ciclo de vida útil. Entonces, se calcularon los espesores de diseño de las capas estructurales que conforman cada tipo de pavimento (flexibles y rígidos), mediante la aplicación del método de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), para luego proceder al análisis de costos durante el proceso constructivo, operación y mantenimiento de ambas estructuras. Además, se desarrolló el estudio del impacto ambiental por acción de la variación de temperaturas sobre las superficies de pavimentos, para continuar con la evaluación del impacto ambiental (EIA) mediante el método de la Matriz de Leopold e identificar los posibles impactos significativos durante los trabajos de construcción, operación y mantenimiento en la ejecución de las dos alternativas de pavimentación en las vías de la zona de estudio. Con la finalidad, de determinar la mejor alternativa de diseño de pavimentos con materiales más “amigables” al medio ambiente.

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.

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 a 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 ruedo. 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. Por lo tanto, por medio de la estabilización de la base, se puede llegar a disminuir los espesores de base y/o carpeta de ruedo.

Las especificaciones para las bases son aún más rigurosas; ya que, según CR-2010 en su sección 301.03 el CBR mínimo para bases es de 80%. Por lo tanto, los materiales para las bases deben de ser de alta calidad.

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.

Básicamente el material que constituye a la base, en el pavimento flexible, debe ser friccionante y provisto de vacíos.

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 materiales utilizados para la base suelen someterse a procesos exigentes para su aprobación como lo es la trituración, produciendo efectos favorables para la resistencia y deformabilidad de la estructura a construir, ya que se obtienen partículas con formas convenientes para un reacomodo adecuado; además de esto, se deben llenar otras especificaciones por lo que es necesario tamizar dicho material.

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.

Los materiales de grava o piedra triturada, provienen de la explotación de minas, de roca o piedras naturales. Los materiales retenidos en el tamiz No. 4, son agregados gruesos; los que pasan el tamiz No. 4, agregados finos; y los que pasan el tamiz No. 200, forman el relleno mineral. El material de relleno deberá estar libre de sustancias deletéreas o talcosas, poseen propiedades ligantes tales que permitan una buena compactación y contribuyan formar una capa de base bien ligada y densa. Los finos, juntamente con el agregado mineral, deberán tener un límite líquido menor de 25, un índice plástico menor de 9, y el porcentaje que pase el tamiz No. 200 deberá ser igual o menor al que pasa el tamiz No. 40. En el caso que sea necesario agregar

material de relleno, para ajustarse a los requisitos de graduación o para obtener una cohesión satisfactoria del material, deberá mezclarse uniformemente todo el material de la base.

Materiales a base de arena - arcilla, son mezclas que, debidamente proporcionadas, tienen considerable resistencia a la desintegración, cuando han sido compactadas con la humedad óptima a su máxima densidad. En estas condiciones llegan a tener alto valor soporte arriba del 80% de CBR. Para que mantengan estas características, es necesario imprimirlas inmediatamente, después de construidas, aunque posteriormente se coloque la carpeta de rodadura. Son consideradas muy buenas bases mientras mantengan sus características de máxima densidad y humedad óptima, pero muy deficientes al perder humedad más allá de límites razonables, pues se desintegran rápidamente pierden de manera sensible su valor soporte. Sin son debidamente protegidas, con buenos drenajes, sub drenajes y una carpeta de rodadura, dan resultados excelentes y su construcción es económica.

Lo óptimo a requerir de estos materiales es que, si son arenas, sean duras, angulosas y preferiblemente silíceas; si son arcillas, deberán ser de calidad uniforme y estar libres de terrones, materias vegetales y sustancias dañinas.

La fracción que pasa por el tamiz No. 200, será menor del 50% de la fracción que pasa el tamiz No. 40. Además de los requisitos anteriores, la base terminada debe tener un valor soporte arriba del 80%, un límite líquido no mayor de 25 y un índice plástico igual o menor de 9.

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

Existen dos tipos de carpetas de ruedo: las elaboradas con mezcla asfáltica y las compuestas por concreto y acero. Igualmente, los requerimientos para los materiales son altamente exigentes.

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

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 rueda 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 Conformación

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base, las cuales se encuentran conformadas por materiales que deben llenar las especificaciones requeridas. La calidad de estas capas va disminuyendo con la profundidad.

1.2.3.1.2 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.

El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como pueden ser vías, aceras o estacionamientos.

La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas

por encima de la capa. Cuando la supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es poder soportar la carga total en el conjunto de capas.

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.



1.2.3.1.3 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. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior.

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) ira en la parte inferior.

1.2.3.1.4 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.

1.2.3.1.5 Reciclaje, Rehabilitación y futuro de los pavimentos flexible.

El volumen de tráfico cada vez mayor en las carreteras y la creciente demanda de los pavimentos más fuertes, más duraderos y más seguros han llevado a la búsqueda de nuevos materiales para pavimentos, procedimientos de diseño y soluciones más rentables. Como resultado de estas investigaciones, hay constantemente innovaciones en los procedimientos de diseño y técnicas de construcción. Una extensa red de carreteras y pistas de aterrizaje construidas con pavimentos de larga duración es esencial para el crecimiento y desarrollo de una economía, que depende en gran medida del transporte eficiente para el tráfico comercial y de personas, los pavimentos flexibles son el tipo más común de elección. Un número de factores que incluyen el clima y la carga de tráfico influyen en el rendimiento de Pavimento flexible. Hay una necesidad urgente de contar con la especificación basada en el desempeño y el uso de innovadores materiales de alto rendimiento para la construcción de pavimentos bituminosos. Al mejorar la resistencia y durabilidad de las mezclas, la reducción del espesor de la capa y el aumento de la vida media puede ser conseguida.

El reciclaje de Pavimentos flexibles ayuda a conservar las reservas de agregados pétreos y a preservar los recursos del petróleo. Las mezclas bituminosas convencionales han resultado inadecuadas para proporcionar mayor durabilidad

1.2.3.1.6 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)

Cementos Asfálticos

Los cementos asfálticos se designan por las letras CA, y su elaboración es a partir de una combinación de asfaltos refinados de consistencia apropiada. Es un material preparado especialmente para ser usado en trabajos de pavimentación, debido a sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes y además posee características de flexibilidad, durabilidad, y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis.

Es un material termoplástico, reológico, ideal para aplicaciones en trabajos de pavimentación, y su aplicación debe estar libres de agua y homogéneos en sus características. El cemento asfáltico es el ingrediente básico de la emulsión asfáltica, en la mayoría de los casos conforma alrededor de un 55 a un 70 % de esta.

La dureza del cemento asfáltico puede ser variada tanto como se desee, la mayoría de las emulsiones están desarrolladas con asfaltos con un rango de penetración de 100 – 250. En ocasiones las condiciones climáticas pueden dictar que se utilice un cemento asfáltico más duro o más blando. En cualquiera de los dos casos, la compatibilidad del agente emulsificante con el cemento asfáltico es esencial para la producción de una emulsión estable.

Los cementos asfálticos se han clasificado en varios rangos normalizados de consistencia. Hasta hace poco tiempo, estos rangos se basaban solamente en el ensaye de penetración. Así se disponía de cinco grados normalizados: C.A. 40-50; C.A. 60-70; C.A. 85-100; C.A. 120-150; y C.A. 200-300; donde los primeros números indican el rango de penetración para cada grado.

Una recomendación importante dentro de los cementos asfálticos es de no ser calentados sobre los 170°C, siendo la temperatura ideal la obtenida por la relación que se forma entre temperatura y viscosidad. Tampoco se deben aplicar con tiempo amenazante de lluvia, con temperaturas inferior a 10°C y en superficies húmedas y por último se debe evitar el recalentamiento del producto y calentamientos locales.

Si se llegan a producir calentamientos prolongados de altas temperaturas, alterara sensiblemente la constitución del asfalto, y esto va producir la modificación de la estructura del asfalto. Por esta razón se recomienda mantener los estanques de almacenamiento a temperaturas no superiores a 160 ° C, para así evitar los daños ya mencionados. El calentamiento no se debe efectuar nunca a través de llama directa, se debe utilizar, preferentemente, calentamiento a través de serpentines al interior de los estanques (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas son la dispersión de pequeñas micro partículas de asfalto dentro de una fase acuosa. Las emulsiones contienen entre un 40 % a 70 % de asfalto, el tamaño de la partícula está en un rango de 0,5 a 30 micrones de diámetro.

La utilización de emulsiones asfálticas para pavimentos tiene ventajas sobre otras formas de manejar asfalto, como la habilidad de poder ser empleada a temperatura ambiente, el utilizar agregados húmedos y la no-emisión de contaminantes o vapores tóxicos a la atmósfera.

Las emulsiones, dependiendo del agente emulsificante puede ser: catiónicas, tiene glóbulos de asfalto cargados electropositivamente; aniónicas, que tienen glóbulos de asfalto cargados electronegativamente y no aniónica, que tienen glóbulos de asfaltos neutros (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000). Las emulsiones asfálticas están compuestas principalmente por tres ingredientes que son: asfalto, agua y un agente emulsificante.

1.2.3.1.7 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

1.2.3.1.7.1 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.

Se ha demostrado que los Cutbacks de curado lento van a tender a separarse en fracciones cuando se van a utilizar como imprimación, especialmente si la superficie tratada es cerrada o tiene una granulometría densa, ósea las fracciones ligeras van a penetrar en los áridos superficiales, mientras que las fracciones más pesadas tienden a mantenerse formando una película sobre la superficie que es tratada. Por esta razón se utilizan generalmente en imprimación de bases los Cutbacks de curado medio.

La velocidad a que las emulsiones asfálticas rompen depende en gran manera de las operaciones de mezclado, y como la imprimación y otros tratamientos de penetración no exigen esta manipulación, lo más satisfactorio es utilizar emulsión de rotura rápida.

La cantidad de material bituminoso a usar puede variar desde, aproximadamente, 0,9 a 1,80 l/m² de superficie, dependiendo de la granulometría y la densidad de los áridos o del suelo que se va a imprimir. Un riego de imprimación dentro de la construcción de pavimentos cumple una serie de funciones que tiene una gran relevancia:

- Recubre y liga las partículas minerales sueltas en la superficie de la base.
- Endurece o refuerza la superficie de la base.
- Provee adhesión entre la base y la mezcla asfáltica.
- Impermeabiliza la superficie de la base obturando los vacíos capilares o que se encuentran interconectados.

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).

1.2.3.1.7.2 Riego de Liga para Pavimentos Flexibles

El Riego de Liga es una ligera aplicación de riego de emulsión asfáltica diluida. Este se 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. Para estar completamente seguros de que el agua a utilizar en la dilución es compatible con la emulsión, se recomienda hacer una dilución de prueba. Para poder evitar que se produzcan roturas prematuras, siempre se agrega el agua a la emulsión y no la emulsión al 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 aplicar una excesiva cantidad de riego de liga puede producir un plano resbaladizo entre dos capas de pavimento, la razón es que el asfalto trabaja como lubricante en vez de trabajar como adhesivo. El equipo necesario para su ejecución son barredoras comunes, barredoras mecánicas y un camión distribuidor.

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.

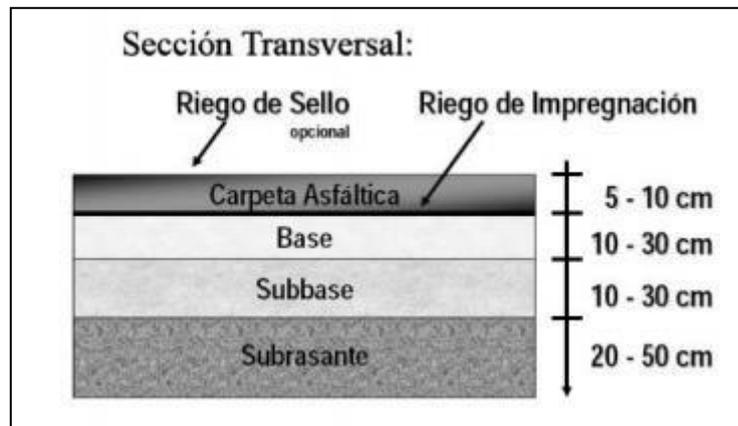
Un riego de liga es también esencial en una buena operación de bacheo. El área que va a ser bacheada debe ser limpiada completamente y todo el material que se encuentre suelto debe ser removido. Un riego de liga de emulsión asfáltica se aplica sobre la totalidad del área a ser bacheada, incluyendo los lados

verticales. El riego de liga ayuda a contener el bache y provee un sellado impermeable entre el bache y el pavimento que lo rodea (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

1.2.3.1.8 Clasificación de capas de un Firme Flexible

El Firme flexible o asfáltico está formado por varias capas, dentro de las cuales se encuentra la sub rasante, la sub base, la base, estas dos últimas son elementos estructurales, que al estar ligados con la superficie, tienen por objetivo distribuir las cargas del tránsito a las sub rasante, y por último encontramos la carpeta asfáltica, aquí se presentan las mezclas asfálticas utilizadas en los pavimentos, que están constituidas por gravas, arena y ligante, se pueden encontrar cementos asfálticos, emulsiones o asfaltos cortados (Cámara Nacional del Cemento. México, 2008).

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.

1.2.3.1.9 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. El pavimento flexible no solo está formado por la capa de rodado sino por todas las que conforman la estructura. También es importante decir que de acuerdo al tipo de tránsito y al tipo de suelo natural se pueden eliminar algunas de las siguientes capas, intermedia, base asfáltica y sub base granular.

La finalidad principal del diseño es la selección de los materiales disponibles más adecuados, para así se puedan combinar de la mejor manera y puedan soportar sin ningún problema las solicitaciones del tránsito en la forma más adecuada.

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 solicitación que se produce por la carga inicial disminuye con la profundidad.

Esto permite ordenar la solicitación así adecuarla a la magnitud de la capacidad de soporte del suelo de fundación. Al revés, la capacidad de soporte de la fundación puede ser incrementada mediante la superposición de capas de materiales de mejor calidad, en resumen, la calidad de los materiales es creciente hacia arriba (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

1.2.3.1.10 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, el cual se compone actualmente de nueve volúmenes. La metodología vigente en Perú en cuanto al diseño estructural para pavimentos flexibles se describe en el Volumen N°3 “Instrucciones y Criterios de Diseño” y corresponde a un procedimiento basado en el método propuesto en Estados Unidos en la guía de diseño AASHTO, versión 1993, adecuado a nuestra realidad y afecto a algunas variaciones.

Se presentan a continuación en forma detallada los datos de entrada requeridos por el método y su relación con el proceso para llevar a cabo el diseño estructural.

1.2.3.1.11 Diseño Estructura del Pavimento Flexible

Coeficiente estructural

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 (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

Diseño de Sub rasante

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 (M_r) 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. A pesar que los suelos tienen en ciertas ocasiones comportamientos no del todo elásticos, es necesario determinar su Módulo Resiliente teniendo en cuenta los requerimientos de los sistemas de análisis basados en sistemas multicapas. El Módulo Resiliente se determina a través de un ensayo triaxial consistente en someter una probeta a una carga cíclica durante un tiempo definido. Su resultado es altamente sensible al estado de esfuerzos en que se encuentra el suelo (grado de confinamiento), a su contenido de humedad y al espesor de la capa analizada.

La especialización del equipo y del operario para realizar el ensayo que determina el Módulo Resiliente, así como el tiempo que demanda su ejecución, llevaron a permitir el uso de relaciones para obtenerlo en forma indirecta, siendo la más común aquella que utiliza el valor del ensayo CBR, por lo tanto, debe tenerse presente que el parámetro obtenido es sólo una aproximación. El método

expuesto en el Manual de Carreteras ocupa las ecuaciones de correlación que dependen de los valores obtenidos del ensayo de CBR, determinadas en 1987 por el “Transport and Road Research Laboratory” (TRRL). Estas ecuaciones se aplican sólo para determinar el Módulo Resiliente del suelo de soporte.

El módulo elástico de las capas no ligadas es dependiente de las propiedades de la capa subyacente (en particular de su módulo), además de estar relacionada obviamente con el espesor, propiedades del material y grado de confinamiento de la capa bajo análisis. Por esta razón, se recomienda no ocupar capas contiguas con módulos muy diferentes, debido a lo cual se incluyen dos procedimientos que se deben utilizar en casos en que el CBR de la sub rasante no supere el 10 %, con el fin de minimizar en cierta medida las diferencias entre las características resistentes entre capas sucesivas. Ellos son, el uso de una tela geotextil bajo la sub base, la cual tiene la propiedad de desarrollar resistencia a la tracción, atenuando las sollicitaciones de este tipo desarrolladas en el pavimento o, alternativamente, incluir capas de mejoramiento en la sub rasante. Este último procedimiento consiste en incluir una capa de tipo granular de espesor mínimo 30 cm, que produce una mejora en el Módulo Resiliente, representado a través de un factor de aumento aplicado al valor inicial. En cuanto a la prospección de suelos para determinar las características típicas de la sub rasante, éstas deben ejecutarse en lugares apropiados y representativos, de modo de caracterizar el suelo de fundación de la mejor manera. A partir de esos datos se definen tramos con características homogéneas, definiendo un valor promedio de acuerdo a los valores con que se cuenta, sin embargo, no se consideran datos extremos (outliers) para el cálculo. En el caso de valores muy bajos, se deberán usar técnicas de mejoramiento como las expuestas anteriormente. El Módulo Resiliente adoptado para el diseño

corresponde al valor promedio entre la serie de muestras realizadas. (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

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.

La determinación de la serviciabilidad de un pavimento para un instante dado se representa por el Índice de serviciabilidad presente (P_a). Este indicador se obtuvo originalmente de relaciones matemáticas basadas en apreciaciones realizadas por un panel de usuarios, luego de lo cual se quiso buscar una alternativa como parámetro de caracterización del nivel de servicio. Esta alternativa corresponde a un indicador muy utilizado actualmente, denominado "International Roughness Index" (IRI), que resume de cierto modo la condición del pavimento que se busca representar, y cuya obtención es más objetiva pues no considera apreciaciones de los usuarios. Para efectos de diseño, en donde se requiere conocer el dato correspondiente a la serviciabilidad y no al IRI, existen correlaciones dadas por el Manual de Carreteras que llevan a la determinación del parámetro de serviciabilidad presente buscado a partir del valor del índice determinado.

El método de diseño nacional considera el factor de serviciabilidad inicial (P_i) propuesto por AASHTO, correspondiente a 4,2 en el caso de pavimentos flexibles y al cual le corresponde un IRI de

construcción de 1,41 m/km, según las relaciones expuestas en el Manual de Carreteras. 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 (Pf) 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.

La idea del uso de factores de seguridad basados en la experiencia del diseñador no es muy convincente pues no refleja fielmente la variabilidad de los datos al no contar con un fundamento teórico que lo respalde, ante lo cual surgió la idea de representar este fenómeno mediante el uso de la confiabilidad de diseño.

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.

La determinación del nivel de confiabilidad requerido depende del riesgo que se pretende tomar en el diseño de un determinado pavimento, siendo generalmente bajo para vías de mayor importancia o más transitadas. Por ello se relaciona la confiabilidad deseada con la desviación normal del error combinado (S_o), el cual involucra la ya citada variabilidad a través de la varianza en la predicción de todos los factores involucrados, principalmente en las solicitudes de tránsito y el valor de los suelos de soporte.

Debido a esto mismo los valores del parámetro S_o dependen de estas dos características implícitas en el diseño: Ejes Equivalentes solicitantes y el coeficiente de variación (desviación estándar dividida por el promedio) de los datos referentes al suelo de soporte.

Para el caso de sub rasantes con bajo nivel de soporte se debe usar la mayor confiabilidad del rango propuesto, pues en estas situaciones se tiene una mayor incerteza en la determinación del Número Estructural.

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.

En casos especiales, como vías de alto tránsito, túneles, viaductos u otros, se puede usar un valor de confiabilidad mayor al especificado en el Manual de Carreteras, siempre que esté justificado adecuadamente y aprobado por la autoridad pertinente (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

1.2.3.1.12 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:

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

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.
- So: Desviación estándar del error combinado de todas las variables del modelo.
- MR: Módulo Resiliente del suelo de la sub-rasante en MPa.
- pi: Índice de serviciabilidad inicial.
- pf: 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. Además, para acotar de algún modo el número de posibles soluciones se discretizan los espesores a colocar, redondeando a los 5 mm los correspondientes a capas de la carpeta asfáltica y a los 10 mm los de las capas granulares. Otra recomendación es que para las capas granulares se debe hacer una consideración con respecto a sus módulos elásticos: dos capas granulares sucesivas no deben tener una relación mayor a 4 entre sus módulos. Una mala estructuración en el pavimento puede generar deformaciones y esfuerzos que superen las capacidades de soporte estimadas. Es por ello que,

dentro de las disposiciones para asegurar una buena distribución de los espesores, se procede a separar el Número Estructural total requerido en dos partes: una aportada por las capas granulares y otra por las capas asfálticas. Se establece, por consiguiente, a través de un procedimiento de carácter teórico-empírico basado en experiencias nacionales, el Número Estructural mínimo requerido sobre la base granular, es decir, el aporte estructural necesario por parte de la carpeta asfáltica que se pretende colocar, a través del uso de tablas y gráficos que involucran el tránsito, el suelo de soporte y el factor climático TMAPA. A partir de ambos valores de Número Estructural calculados anteriormente (el total y el aportado por la carpeta asfáltica), se puede obtener por diferencia el Número Estructural mínimo requerido por las capas granulares de la estructura.

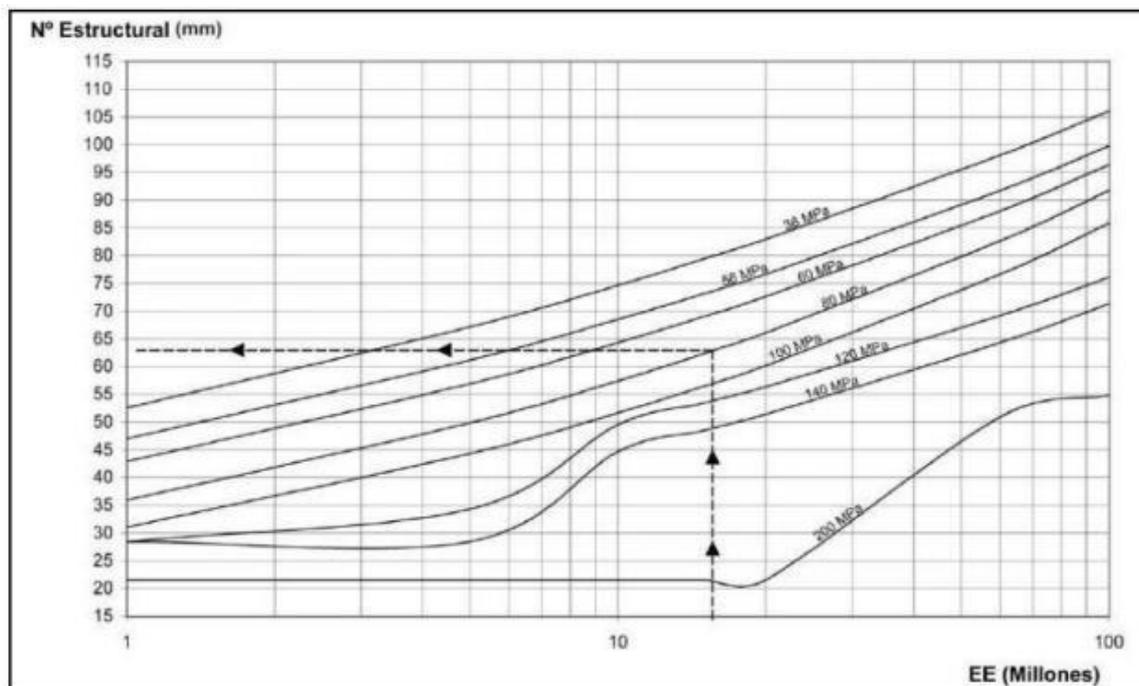
El método para determinar el Número Estructural mínimo que deben aportar las capas asfálticas parte con la determinación del parámetro climático TMAPA para el sitio donde se construirá la obra, a partir de datos disponibles de TMMA. En esta parte del método está inmersa la citada relación con el método de diseño propuesto por Shell en 1978. Habiendo calculado el valor de la TMAPA se necesita conocer la cantidad de Ejes Equivalente solicitantes previstos para el período de diseño considerado, calculados para un nivel de confianza del 50 % cuyo factor de confiabilidad, F_r , tiene un valor de 1. En caso de usar otro nivel de confianza se debe realizar el cálculo respectivo de F_r y multiplicarlo por el número de ejes solicitantes para encontrar el parámetro de tránsito a usar en este procedimiento.

El Número Estructural mínimo requerido sobre la base granular se encuentra a través de gráficos dados para tres valores de TMAPA: 6°C, 14°C y 19°C, los cuales contienen curvas para distintos valores del Módulo Resiliente de la sub rasante. La siguiente figura muestra el gráfico correspondiente a una TMAPA de 19°C y

contiene curvas para valores de Modulo Resiliente de la sub rasante que van en un rango de 36 MPa a 200 MPa. El eje de las abscisas corresponde a la sollicitación de tránsito, considerándose desde 1 hasta 100 millones de Ejes Equivalentes. (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

Una vez escogido el grafico que se presenta en la Figura 13 correspondiente a la TMAPA del lugar del proyecto se ingresa a él por el eje de las abscisas con el valor del parámetro de ejes solicitantes (o el valor modificado en el caso que se haya calculado de esa manera), se busca la curva para el valor del Módulo Resiliente de la sub--rasante que se tenga y finalmente se encuentra en el gráfico el Número Estructural necesario sobre la base.

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

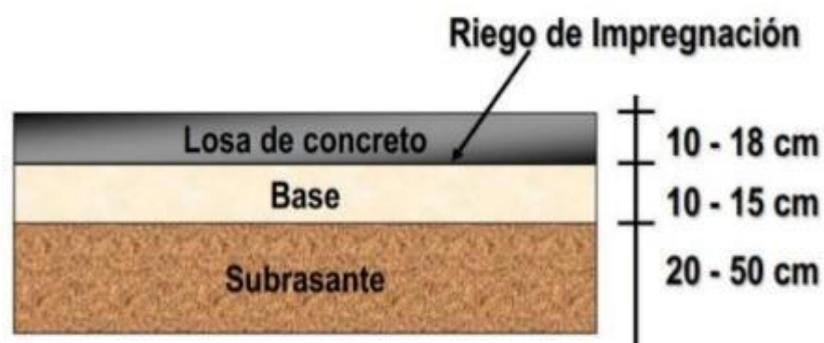
Estructural buscado se debe interpolar con los valores del Número Estructural obtenidos con las dos temperaturas más cercanas. El mismo criterio de interpolación debe ser usado en caso que el Módulo Resiliente de la sub rasante no corresponda a alguno de las curvas dadas en los gráficos. En caso que 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.

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: sub rasante, sub base y la losa de concreto. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

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, difieren 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.

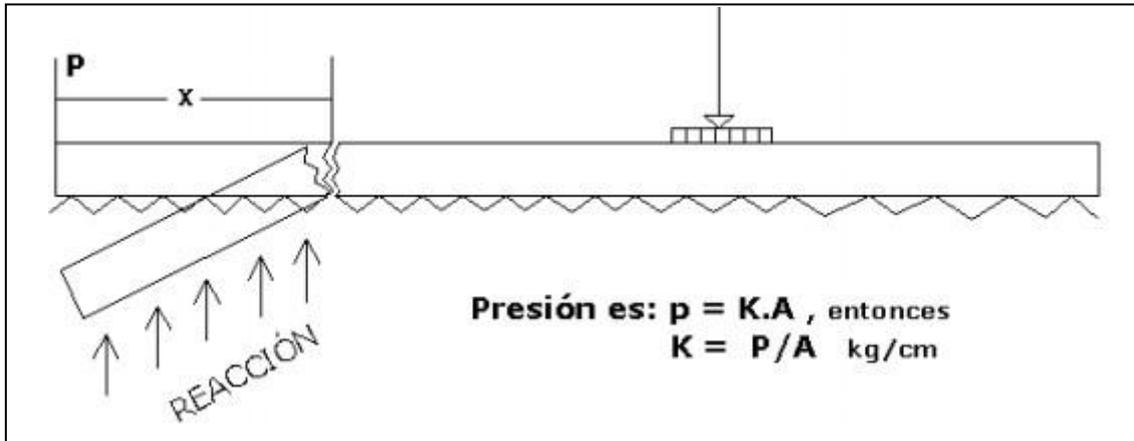
Debido a esto es muy importante toda recopilación de datos que se pueda obtener con relación al tránsito en el lugar; para esto puede recurrirse a los censos de tránsito en el lugar en estudio.

La realización de los censos de tránsito es muy relevante para estimar el tránsito futuro. Para esto debe realizarse un estudio de las características comerciales, turísticas, etc., de la región en la cual se realizará el proyecto, densidad poblacional, vinculación de la carretera con otras existentes y el estudio de los volúmenes de tránsito y cargas de ruedas sobre caminos de igual importancia existentes en otras zonas. Además de la información recopilada anteriormente, es necesario investigar sobre la existencia de fábricas, minas, etc., cuyo tránsito pueda valorarse, el cuál va a formar parte del nuevo proyecto.

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 Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido.

El hormigón es un material conformado fundamentalmente por una pasta de cemento y por los áridos, ocasionalmente contiene además una pequeña cantidad de aire y aditivos utilizados para modificar algunas de sus propiedades. La pasta de cemento está formada por la mezcla de cemento hidráulico y agua, y constituye el aglomerante activo del hormigón.

Los áridos utilizados son materiales granulares compuestos por partícula de origen pétreo de distintos tamaños y formas, duras y estables, cuyo objeto básico es constituir un esqueleto inerte para el hormigón. Generalmente se integra mediante dos o más fracciones, cada una de las cuales contiene una gama diferente de tamaños y partícula. Estos materiales se mezclan homogéneamente en cantidades adecuadas para constituir una masa plástica y trabajable, a la cual se le pueden conferir propiedades apropiadas para ser moldeada en la forma deseada.

El hormigón fresco puede ser fácilmente transportado y depositado en el lugar en donde pasara a formar parte constituyente, recibiendo a continuación un tratamiento adecuado de consolidación o compactación por medio de maquinaria vibratoria, para conferirle su máxima densidad. El cemento y el agua se combinan, generando un proceso fisicoquímico en cuya etapa

inicial se produce la hidratación de los componentes del cemento, es por esta razón que el cemento es llamado “Aglomerante Hidráulico”, del cual resulta como primera etapa el fraguado que se refiere al comienzo del endurecimiento del hormigón, luego su endurecimiento es gradual, que en condiciones adecuadas de humedad y temperatura prosigue indefinidamente en el tiempo, resultado de este proceso es un incremento en la capacidad resistente del hormigón.

El hormigón requiere de un estricto control si queremos que el elemento a construir sea de calidad, es necesario que una vez que comience a fraguar el hormigón se debe comenzar con los procedimientos de curado del hormigón, que permite que el hormigón no pierda agua en exceso por efecto del “Calor de Hidratación” que ocurre cuando el cemento y el agua se mezclan, los procesos de curado serán detallados más adelante.

Esta cualidad de resistencia y/o soporte de cargas es fundamental para el diseño y la construcción de obras de ingeniería y puede ser aproximadamente prevista en función de las características y proporciones de los materiales que conforman el hormigón. El hormigón es uno de los materiales más utilizado en las construcciones de todo tipo y las razones las podemos resumir en las siguientes:

- Excelente durabilidad y resistencia a la corrosión y a medios agresivos, y resistencia al fuego.
- Posibilidad de construcción utilizando recursos simples o complejos según los requerimientos de la obra.
- Gracias a su propiedad plástica es posible otorgarle un sin número de formas.

- Posibilidad de prever y adaptar sus características a cualquier tipo de obra.
- Su producción es posible de efectuar en cualquier país del mundo, ya que sus materiales son de amplia difusión.

Estas son algunas de las características que han hecho del hormigón un material de construcción ampliamente utilizado en obras de diferente índole, como dato estadístico el consumo de cemento a nivel mundial alcanza a 1550 millones de toneladas, sin embargo, su empleo requiere de un profundo conocimiento de las propiedades del hormigón (Pavimentos de Hormigón, Una Alternativa Inteligente).

1.2.3.2.6 Clasificación de Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido

1.2.3.2.6.1 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/cm²
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 previsible.
- Valor relativo de soporte y caracterización de la subrasante.

- El clima de la región.
- Resistencia y calidad del concreto a emplear.

1.2.3.2.7 Diseño de un Pavimento Rígido

1.2.3.2.7.1 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 tándem.

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

En términos amplios, un pavimento semirrígido ó compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. Es usual que un pavimento compuesto comprenda una capa de base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico.

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) y o 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.

1.2.4. 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.

Como menciona Huang (2004), el procedimiento de diseño recomendado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) está basado en los resultados de la AASHTO Road Test realizado en Ottawa, Illinois a finales de los años 50's y principios de los años 60's.

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.

El segundo consiste en realizar conteos diarios de los vehículos que transitan de acuerdo al tipo de vehículo, por ejemplo, liviano, C2, C3. Por lo tanto, mediante factores camión se transforman los diferentes tipos de vehículos en ejes equivalentes.

Los factores camión tienen su origen en los LEF, ya que, para obtenerlos es necesario, realizar mediciones de peso de cada eje por vehículo en estaciones de pesaje, luego se obtienen los LEF para los ejes de un determinado vehículo, el factor camión es la suma de los LEF de cada eje por vehículo.

Posteriormente a los ejes equivalentes se les aplica factores de dirección y factor carril con el fin de obtener los ejes equivalentes del carril de diseño.

1.2.4.1.2 Índice de Servicio (PSI)

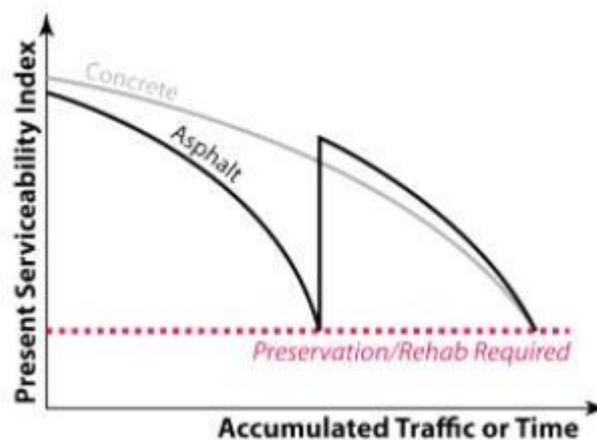
El Índice Presente de Servicialidad (PSI) es un indicador de la calidad funcional del pavimento, que determina la confortabilidad de un pavimento al tránsito.

EL PSI está basado en el AASTO Road Test PSR. El PSR o Present Serviciability Rating 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.

Posteriormente se buscó la transición de PSR (evaluado por panelistas), a PSI (no evaluado por panelistas); por lo tanto, se realizaron evaluaciones de PSR en tramos experimentales en Illinois, Minnessota e Indiana, entre los años entre 1958 y 1960.

Estas mediciones se empezaron a correlacionar con deterioros de pavimentos como rugosidades, roderas, baches y agrietamiento, a partir de aquí se obtuvieron las primeras ecuaciones empíricas de PSI.

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. (Huang, 2004).

Según Huang (2004), el módulo elástico basado en deformaciones recuperables bajo repeticiones de carga es llamado módulo resiliente.

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 humedad en los suelos no es constante y ésta tiene un gran impacto en módulo resiliente, ya que disminuye cuando la humedad es alta y viceversa; por lo tanto, es importante recopilar variaciones del módulo por cada época del año o por cada mes del año.

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. Fue desarrollado por la California División of Highways aproximadamente en los años 30.

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. Esta prueba está regida por las normas AASHTO T 193: The California Bearing Ratio y ASTM D1993: Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils.

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 rueda ya que éstas no están compuestas de drenajes.

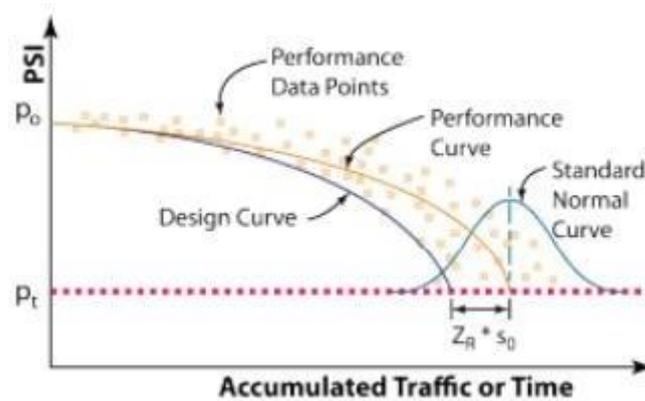
1.2.4.1.6 Confiabilidad

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 S_0

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.

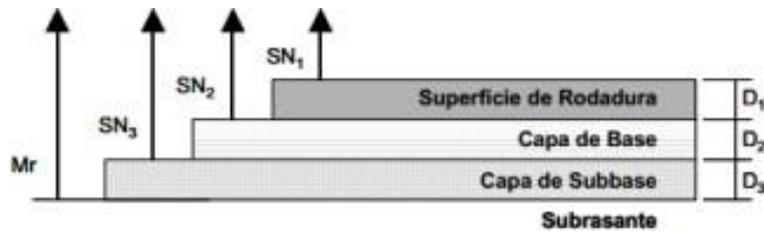
El coeficiente estructural es únicamente utilizado durante el procedimiento del diseño de pavimentos flexibles, mientras en que el diseño de los rígidos no es considerado.

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



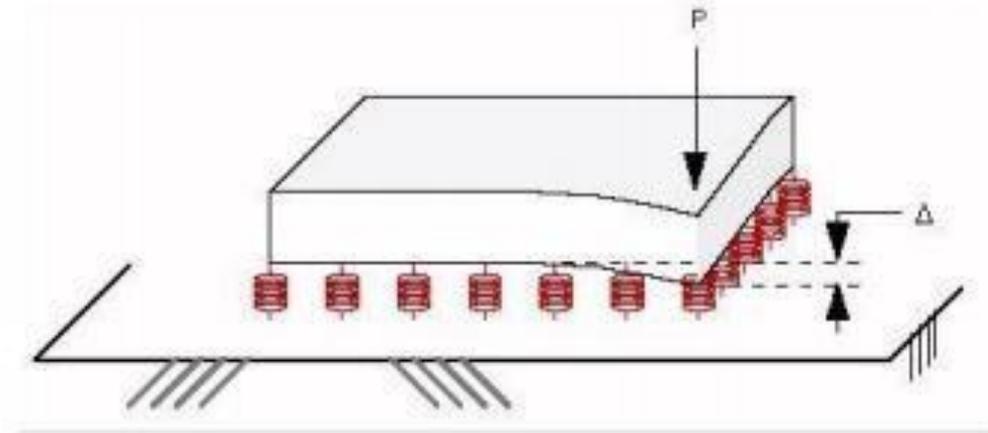
Fuente: SIECA, 2002

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.

Según ACPA (2012), el módulo de reacción k es determinado por la prueba del plato de carga y esta normado por AASHTO T235 o ASTM D1194 (Nonrepetitive Static Plate Load for Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements). El modelo de dicha prueba está basado en que la reacción entre la losa y el suelo es como una cama de resortes entre ambas y el valor k es la constante elástica del resorte. La prueba está compuesta por un plato de unas 30 pulgadas (762mm) de diámetro colocado sobre el suelo. Éste es sometido a cargas altas por medio del plato de carga, el cual distribuye la carga al 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

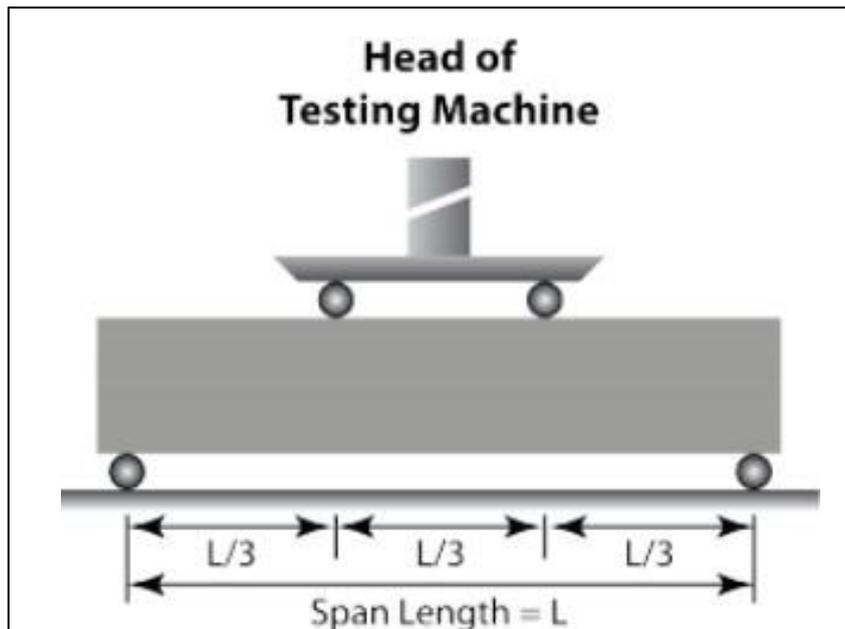
El módulo de elasticidad del concreto E_c representa que tanto se comprime el concreto al estar sometido a cargas. Un concreto con un módulo de elasticidad alto indica que el concreto es rígido y, por lo tanto, tiene deformaciones bajas; mientras que un concreto con un módulo de elasticidad bajo es un 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. Éste es usualmente estimado a partir de la resistencia a la compresión f'_c , o la resistencia a la flexión S'_c . (ACPA, 2012).

1.2.4.1.12 Módulo de rotura del concreto

Según ACPA (2012), 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.

Existe otra prueba para obtener la resistencia a la flexión, la cual es la AASHTO T177 o ASTM C293 (Flexural Strength of Concrete using Center-Point Loading), en esta prueba la carga es colocada en el centro del claro de la viga, este punto generalmente no es el punto más susceptible a la falla. El hecho de forzar a la viga a la

falla en su centro provoca que se obtengan resistencias a la flexión mayores que la prueba del tercer punto en un 15% adicional. (ACPA, 2012).

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

Uno de los problemas que aqueja a las ciudades de nuestro país y sobre todo a las poblaciones de la Selva Peruana, consiste en la emisión de partículas de polvo denominado material particulado, proveniente de las calles sin pavimentar, la que provoca la conocida enfermedad de la fibrosis pulmonar, siendo esta una de las principales causas de muerte en el mundo. Esta problemática podría ser muy bien resuelta con solo pavimentar las vías urbanas, si bien es cierto el Estado tiene un Programa de Mejoramiento de Pueblos y Barrios del Ministerio de Vivienda y Construcción, este esfuerzo no ha sido suficiente para cubrir la brecha de pavimentación de vías urbanas, faltan más recursos para lograr cubrir esta brecha al 100%.

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

¿Cuál es el diseño más óptimo, en costo y tiempo de ejecución para la construcción del pavimento en las calles del distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y departamento de San Martín?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el costo por m² de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y departamento de San Martín?
- ¿Cuál es el tiempo de ejecución de un proyecto de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y departamento de San Martín?

- ¿Cuáles son las diferencias al comparar el pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y departamento de San Martín?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo General

Determinar el diseño más óptimo, en costo y tiempo de ejecución, para la construcción del pavimento en las calles del distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y departamento de San Martín.

2.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el costo por m² de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y departamento de San Martín.
- Determinar el tiempo de ejecución de un proyecto de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y departamento de San Martín.
- Establecer las diferencias al comparar el pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de El Porvenir Pelejo, provincia y departamento de San Martín.

2.4. HIPÓTESIS

El estudio comparativo de costo-tiempo de ejecución, entre pavimento rígido, pavimento flexible y pavimento semirrígido, permite conocer la mejor alternativa de pavimentación de los Jr. Huallaga Cdra. 01-03, Jr. San Martín Cdra. 01-03, Jr. 28 de Julio Cdra. 02 y Jr. Loreto Cdra. 02, en el distrito de El Porvenir Pelejo.

2.5. VARIABLES

2.5.1. Variable Independiente

Evaluación de Costo y tiempo

2.5.2. Variable Dependiente

Ejecución del pavimento

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo descriptivo.

3.1.2. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación corresponde a un estudio descriptivo cuyo esquema está dedicado al tipo de pavimento.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

El conjunto de todas las calles, jirones, avenidas, etc., que se encuentran en el distrito de El Porvenir Pelejo.

3.2.2. Muestra

Se tomará los Jr. Huallaga Cdra. 01-03, Jr. San Martín Cdra. 01-03, Jr. 28 de Julio Cdra. 02 y Jr. Loreto Cdra. 02, en el distrito de El Porvenir Pelejo.

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

El recojo de los datos de campo se hará en forma manual y luego se hará un procedimiento computarizado.

El análisis e interpretación de datos se realizará de acuerdo a la Norma técnica CE.10 para pavimentos Urbanos que son parámetros establecidos en nuestro país.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Estudio de tráfico

El estudio de Tráfico de los jirones: Jr. Huallaga Cdra. 01-03, Jr. San Martín Cdra. 01-03, Jr. 28 de Julio Cdra. 02 y Jr. Loreto Cdra. 02, en el distrito de El Porvenir Pelejo., 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 Jr. Huallaga Cdra. 01, Jr. San Martín Cdra. 03, 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. Se tomaron datos según la hora de paso, sentido y tipo de vehículos. El equipo para la ejecución de la labor de campo estuvo conformado por los tesisistas y el asesor.

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 el JR. Huallaga y San Juan, 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

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: Expediente técnico

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: Expediente técnico.

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: Expediente técnico.

4.1.2.1.1 Características generales

Jr. Huallaga C-01

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 92.73% de finos (Que pasa la malla N°200).

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

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

Fuente: Expediente Técnico

Tabla 9: Agresividad del suelo Jr. Huallaga C-01

Fuente: Expediente Técnico Calles del distrito de El Porvenir Pelejo

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 perdida 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)		

Jr. San Martín 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 98.13% de finos (Que pasa la malla N°200), Lím. Líq.= 36.40% e Ind. Plast.= 15.74%.

Tabla 10: Característica de la sub rasante Jr. San Juan C-02

Característica	Valor	Interpretación
Índice de consistencia I _c (C.R)	1.34	Suelo Duro
Colapsabilidad	1.34	Leve (Suelo No Colapsable)
Índice de Liquidez I _L	0.000	Suelo Pre consolidado
Índice de Compresión C _c	0.238	Compresibilidad Media

Fuente: Expediente Técnico

Tabla 11: Agresividad del suelo Jr. San Martin C-01

AGRESIVIDAD DEL SUELO		
MUESTRA N°02 PARAMETROS	RESULTADOS UNIDADES	INTERPRETACIÓN
pH (MTC E129)	3.06	Fuertemente acido
Materia orgánica (NTP 339.072)	0.902 ppm	Bajo
Sales Solubles Totales (NTP 339.152 - BS 1377)	0.0796 ppm	Leve (no ocasiona problemas de perdida de resistencia por problema de lixiviación)
Cloruros (Cl, K) (NTP 339.177 AASHTO T291)	0.00811 ppm	Leve (no ocasiona problemas de corrosión, armaduras o elementos metálicos)
Sulfatos (So ₄ , Ba) (NTP 339.178 AASHTO T290)	0.00967 ppm	Leve (no ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación)
<p>Observación: De acuerdo a los resultados de Agresividad del suelo se clasifica como un suelo de poca agresividad a la cimentación. No se recomienda usar: Cemento Portland Tipo I (NTP: 334.009 - ASTM C 150 - 99a)</p>		

Fuente: Expediente Técnico

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)	6.91	12.16
2	C-2	0.10 - 1.50	CL	A-6(12)	6.91	12.16

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 asfaltadas, base, subbase, obras de concreto y específicamente 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
Limite liquido	clasificación	T89	D4318	Hallar el contenido de agua entre los estados líquidos y plástico
Limite 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 Optimo 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: Expediente Técnico

4.1.4.3 Descripción de canteras

Las canteras propuestas como materiales de construcción para los rellenos estructurales, sub base granular, base granular, concreto asfáltico y concreto armado son: Cantera tramo El Porvenir - Pelejo

Tabla 14: Cantera El Porvenir

LIGANTE DE LA CANTERA EL PORVENIR DE CERRO NATURAL	
Ubicación	Tramo: Carretera Shapaja - Chazuta en el km 10+000
Acceso	Carretera Asfaltada hacia la cantera
Potencia	>10,000 m ³
Tiempo de Explotación	Tiempo de verano
Tipo de Explotación	Maquinaria convencional
Uso	Material para Ligante
Tipo de material	Arcilla arenosa de color marrón claro.

Fuente: Expediente Técnico

Tabla 15: Característica Cantera El Porvenir

CANTERA EL PORVENIR	
Ubicación	Tramo: Carretera a FBT Sur (Distrito El Porvenir Pelejo)
Acceso	Carretera Asfaltada hacia la cantera
Potencia	>35,000 m3
Propietario	Propiedad privada
Uso	Hormigón zarandeado para base, subbase, relleno, mejoramiento y/o afirmado Arena natural zarandeada para concreto, asfalto.
Tipo de material	Hormigón y arena.

Fuente: Expediente Técnico

Tabla 16: 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 Especifico	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: Expediente Técnico

Tabla 17: Granulometría y Clasificación de material de Cantera

Propiedades de las Canteras	Material Granular:	Ligante: Cantera de Cerro Natural	Combinación: 60% de hormigón canto rodado tamaño máximo 2"+40% de ligante de arena limosa a arcillosa	Espec.	Und.
GRANULOMETRIA				Suelo Tipo I Gradación "B" (ASTM D 1241)	
% pasa malla 2"	100.00	100.00	100.00	100-100	%
% pasa malla 1"	94.84	97.99	88.43	75-95	%
% pasa malla 3/8"	64.63	91.11	67.72	40-75	%
% pasa malla N° 04	51.55	82.26	55.03	30-60	%
% pasa malla N° 10	36.27	70.73	39.90	20-45	%
% pasa malla N° 40	14.44	50.69	27.54	15-30	%
% pasa malla N° 200	3.71	25.20	11.29	5-15	%
Sistema Clasificación AASHTO	A1-a(1)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	-	-
Sistema de Clasificación SUCCS	GP	SM-SC	GP-GC	-	-

Fuente: Expediente Técnico

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 18: Característica del agua a usar

Descripción del agua	Norma empleada	Resultados	Especificaciones	Observación	Observación
Materia orgánica	NTP 339.088	7.95 ppm	10 ppm	Riesgo bajo	El agua tomada a sido ensayada de acuerdo a normas establecidas. Concluyéndose de que la muestra de agua no contiene sustancias agresivas
Sales Solubles Totales	NTP 339.088	61.48 ppm	1500 ppm	Normal	
Sulfato de Magnesio	NTP 339.088	74.61 ppm	150 ppm	Normal	
Cloruros	NTP 339.088	102.40 ppm	300 ppm	Normal	
Sulfatos	NTP 339.088	105.51 ppm	300 ppm	Normal	
Sólidos en suspensión	NTP 339.088	150.04 ppm	1500 ppm	Normal	
PH	NTP 339.088	8.16	> 7	Normal	

Fuente: Expediente Técnico

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

El clima comprende básicamente en el análisis de las variables climatológicas como es la precipitación y la temperatura, tomando siempre la precipitación media, temperatura media y sus componentes: máxima y mínima, factores que pueden afectar el comportamiento del pavimento, su resistencia, durabilidad y capacidad de carga del sistema estructural; Es en esta situación que se caracteriza toda la vía como homogéneo. La zona del estudio presenta un clima Cálido con lluvias abundantes, registrándose temperaturas promedio de 28 °C. La vía proyectada se encuentra a una altitud aproximada de 209 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 marzo del 2019, se obtuvieron los resultados siguientes:

4.1.6.4 Clasificación vehicular de IMD

Tabla 19: Conteo Vehicular

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

Fuente: Expediente Técnico

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 20: 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 21: 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 sentidos	1	0.50	1.00	0.50

2 calzadas con separador central (para IMDa total de dos calzadas)	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	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 22: 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 TRÍDEM (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 23: 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 Tándem (2 ejes ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P/15.1]^{4.0}$
Ejes Trípode (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P/20.7]^{3.9}$
Ejes Trípode (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 24: 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 Tándem (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 25: 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 26: 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 pensiones 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 27: 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 28: 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 29: 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 30: 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 31: 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 ≤ 500,000 EE
T_{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T_{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE
T_{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T_{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T_{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T_{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 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

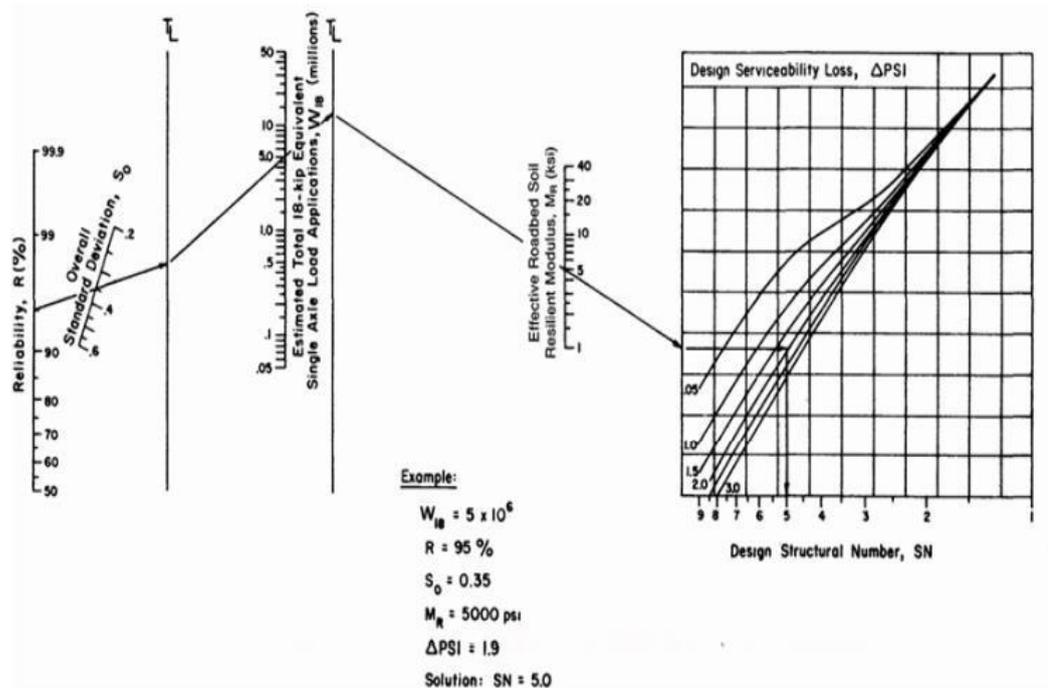
Una vez determinado el CBR y el Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn de la zona de estudio, siendo estos los parámetros más importantes, se procederá a realizar el diseño de pavimento por el

Método AASHTO 93. Este método proporciona una expresión analítica que, dada su complejidad, se hace uso de nomogramas para efectos más prácticos.

$W_{18}=162,239.47$ $CBR=6.91$

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

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_{R O} S_o + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} (4.2 - 1.5)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} (M_R) - 8.07$$

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 32: 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%
Resto de camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	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 33: 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
Resto de Camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	-1.645
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T_{P15}	>30'000,000		-1.645

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos 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 34: Índice de Serviciabilidad 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 35: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (P_T)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T_{P0}	75,000	150,000	2.00
	T_{P1}	150,001	300,000	2.00
	T_{P2}	300,001	500,000	2.00
	T_{P3}	500,001	750,000	2.00
	T_{P4}	750,001	1,000,000	2.00
Resto de Camions	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	3.00
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T_{P15}	>30'000,000		3.00

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

Tabla 36: Diferencial de Serviabilidad (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

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

Datos:

W18=162,239.47

R = 70%

Zr=-0.524

So=0.45

Mr(psi)=8,803.53

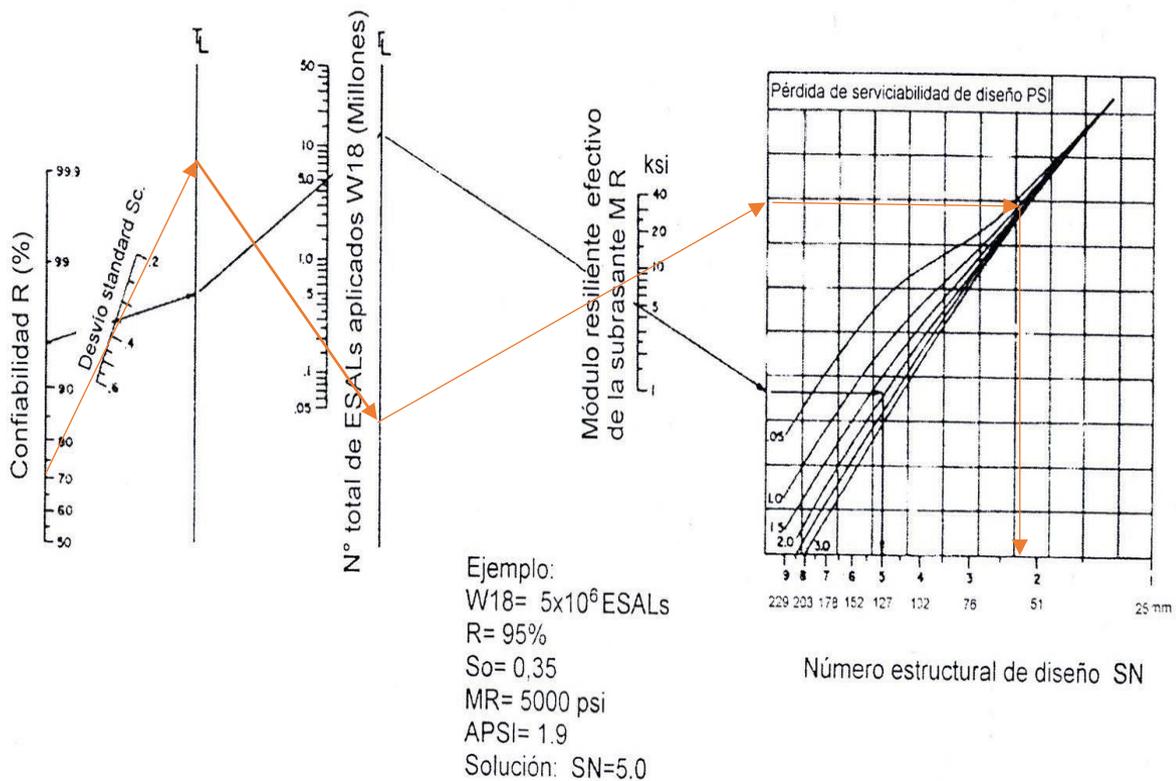
ΔPSI = 1.80

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

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

FIPO DE SUB RASANTE CLASE DE TRANSITO	INADECUADA CBR < 3% (*)	INSUFICIENTE 3% ≤ CBR < 6% (*)	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	ESCELENTE
			6% ≤ CBR < 10%	10% ≤ CBR < 20%	20% ≤ CBR < 30%	CBR ≥ 30%
<i>T_{p0}</i> 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.136	1.871	1.557	1.392
<i>T_{p1}</i> 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.470	2.165	1.809	1.625
<i>T_{p2}</i> 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.702	2.367	1.979	1.780
<i>T_{p3}</i> 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			2.956	2.593	2.173	1.959
<i>T_{p4}</i> 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.107	2.725	2.283	2.059
<i>T_{p5}</i> 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.434	3.012	2.521	2.274
<i>T_{p6}</i> 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.866	3.395	2.841	2.561
<i>T_{p7}</i> 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.206	3.707	3.105	2.797
<i>T_{p8}</i> 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.63	4.103	3.449	3.107
<i>T_{p9}</i> 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.837	4.300	3.624	3.267
<i>T_{p10}</i> 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.092	4.552	3.869	3.501
<i>T_{p11}</i> 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.226	4.679	3.985	3.609
<i>T_{p12}</i> 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.341	4.883	4.173	3.786
<i>T_{p13}</i> 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			5.097	5.323	4.580	4.172
<i>T_{p14}</i> 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.

Coefficientes Estructurales de las Capas de Pavimentación Basados en lo señalado según la norma: Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2014, 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 38: 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	(*)	<p>Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE.</p> <p>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</p>
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	a_1	(*)	<p>Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE</p> <p>No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos</p>
(*) 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 al100% 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.

- **Coefficiente 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 39: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje M_i

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 40: 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 Frio: 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 Frio: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T_{P3}	500,001	750,000	Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T_{P4}	750 001	1,000,000	Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 130mm	250 mm

	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 140mm	250 mm
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm

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

Tabla 41: 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 %	$2555 * CBR^{0.64}$	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	9 cm
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	25 cm	28 cm	20 cm	20 cm	20 cm	25 cm	25 cm	30 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 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
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 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
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 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 ≥ 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

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

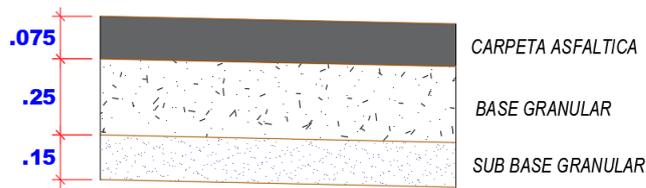
$$2.47 = 2.765$$

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

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

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

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.

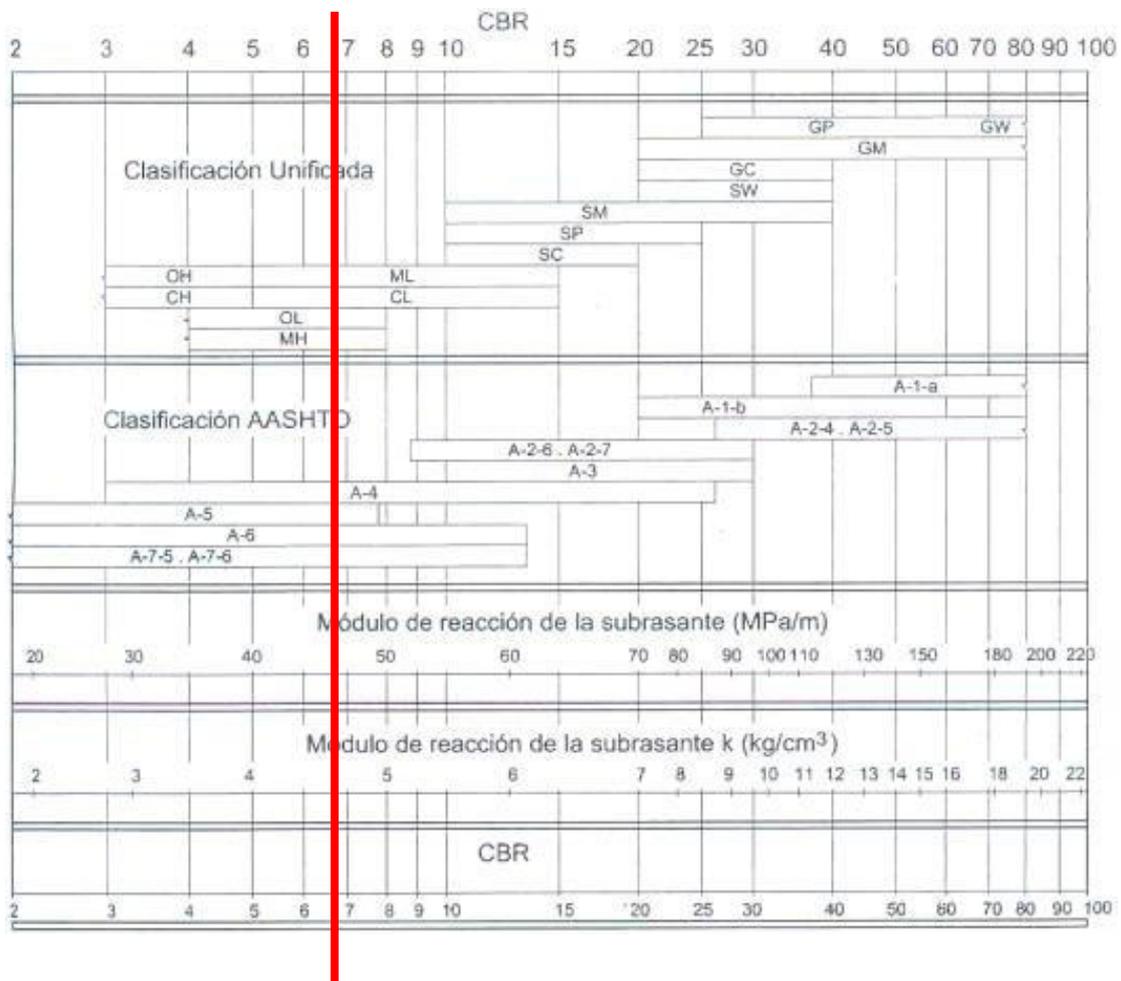
No obstante, se utilizará la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción K_c en función de la clasificación de suelos y el CBR.

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

$$K_c(\text{MPa}/m) = 46.10$$

$$K_c(\text{PSI}) = 169.83$$

Tabla 42: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Subrasante



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 43: 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 44: 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 45: 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/cm ²	Lbs/pulg ² (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 46: 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 47: 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 48: 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 SERVICIABILIDAD 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
	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

Resto de Caminos	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

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

$$* \log_{10} \frac{F \left[\frac{s_c * c_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 * J [D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}}]} \right]}{1}$$

Datos:

	169.83				
K =	515.75	Psi	So =	0.35	Zr= -0.524
Ec =	3597113		R =	70 %	
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:

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

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 (Interlocking Concrete Pavement Institute), este es un proceso simplificado que toma en cuenta las siguientes guías de diseño: Structural Design of Concrete Block Pavement y la Guide for Design of Pavement Structures.

Espesores Mínimos de Adoquines de Concreto y Cama de Arena

Tabla 49: 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 (*)
≥ 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
≥ 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
≥ 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 ≥ 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:

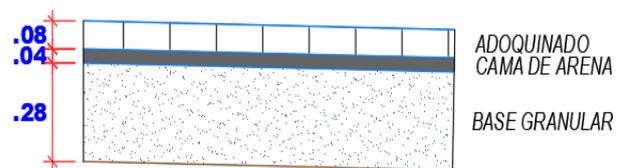
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y período de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:

- 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 50: Características de la vía con Pavimento Flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE	
Longitud	Cantidad
Jr. Huallaga C01 - C03	381.00m
Jr. San Martin C01 - C03	370.00m
Jr. 28 de Julio C02	90.00m
Jr. Loreto C02	70.00m
Total	911.41m
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Huallaga C01 - C03	6.00 m
Jr. San Martin C01 - C03	6.00 m
Jr. 28 de Julio C02	6.00 m
Jr. Loreto C02	6.00 m
Sección	
<p>Diagrama de la sección transversal de un pavimento flexible. El diagrama muestra un perfil de la vía con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> CARPETA ASFÁLTICA: E=7.5 cm. SUB BASE GRANULAR: E=15 cm. BASE GRANULAR: E=25 cm. Pendientes: S = 2.00% en ambos lados. CUNETAS PROYECTADAS: (0.40 x 0.40 m) a los extremos. 	

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto Pavimento Flexible

Tabla 51: Presupuesto

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				43,174.20
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	gb	1.00	7,892.48	7,892.48
01.02	OFICINAS DE ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANA	gb	1.00	700.00	700.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60X7.20m	und	1.00	1,731.72	1,731.72
01.04	TRASLADO MAQUINARIA, MATERIALES Y HERRAMIENTAS MANUALES	vje	2.00	15,000.00	30,000.00
01.05	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD EN OBRA	gb	1.00	2,850.00	2,850.00
02	OBRAS PRELIMINARES				2,491.19
02.01	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO INICAL DE OBRA	m2	1,431.72	1.00	1,431.72
02.02	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO DURANTE LA OBRA	m2	1,431.72	0.74	1,059.47
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				55,499.54
03.01	CORTE HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	619.76	7.04	4,363.11
03.02	SUB-BASE GRANULAR E=0.15 m	m2	1,431.72	13.60	19,471.39
03.03	BASE GRANULAR E=0.25 m	m2	1,431.72	15.51	22,205.98
03.04	PREPARACION DE LA SUB RASANTE CON MOTONIVELADORA	m2	1,431.72	2.91	4,166.31
03.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	619.76	8.54	5,292.75
04	PAVIMENTO FLEXIBLE				83,268.84
04.01	BARRIDO DE BASE PARA IMPRIMACION	m2	1,431.72	0.76	1,088.11
04.02	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	1,431.72	2.39	3,421.81
04.03	RIEGO DE LIGA	m2	1,431.72	3.15	4,509.92
04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 3"	m2	1,431.72	51.86	74,249.00
05	SEÑALIZACION				1,141.46
05.01	PINTADO DE PAVIMENTOS (SIMBOLOS Y LETRAS)	m2	4.06	15.62	63.42
05.02	PINTADO DE PAVIMENTOS (LINEAS DISCONTINUAS - AMAR N° CARRIL)	m	63.00	2.34	147.42
05.03	PINTADO DE PAVIMENTOS (LINEAS CONTINUAS - BLANCO)	m	397.70	2.34	930.62
06	VARIOS				685.48
06.01	NIVELACION DE TECHO DE BUZONES	und	2.00	342.74	685.48
	COSTO DIRECTO				186,260.71
	GASTOS GENERALES (10%CD)				18,626.07
	UTILIDADES (10%CD)				18,626.07
	*****				*****
	SUB TOTAL				223,512.85
	IMPUESTOS IGV 18%				40,232.31
	*****				*****
	PRESUPUESTO TOTAL				263,745.16

SON : DOSCIENTOS SESENTITRES MIL SETECIENTOS CUARENTICINCO Y 16/100 NUEVOS SOLES

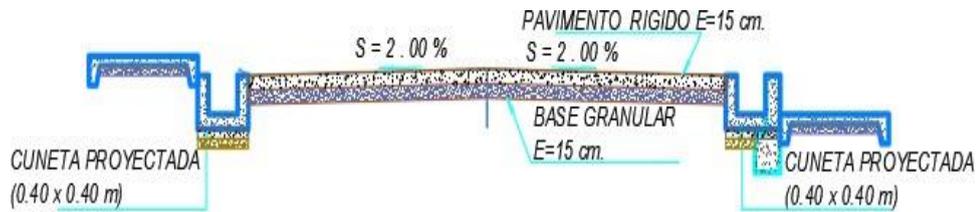
Fuente: Elaboración propia

4.3.2 PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 52: Características de la vía con Pavimento Rígido

PAVIMENTO RIGIDO	
Longitud	Cantidad
Jr. Huallaga C01 - C03	381.00m
Jr. San Martin C01 - C03	370.00m
Jr. 28 de Julio C02	90.00m
Jr. Loreto C02	70.00m
Total	911.41 m
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Huallaga C01 - C03	6.00 m
Jr. San Martin C01 - C03	6.00 m
Jr. 28 de Julio C02	6.00 m
Jr. Loreto C02	6.00 m

Sección



Fuente: Elaboración propia

Presupuesto con Pavimento Rígido

Tabla 53: Presupuesto

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				43,174.20
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	glb	1.00	7,892.48	7,892.48
01.02	OFICINAS DE ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANA	glb	1.00	700.00	700.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60X7.20m	und	1.00	1,731.72	1,731.72
	TRASLADO MAQUINARIA, MATERIALES Y HERRAMIENTAS MANUALES	vje	2.00	15,000.00	30,000.00
01.05	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD EN OBRA	glb	1.00	2,850.00	2,850.00
02	OBRAS PRELIMINARES				2,491.19
02.01	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO INICIAL DE OBRA	m2	1,431.72	1.00	1,431.72
02.02	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO DURANTE LA OBRA	m2	1,431.72	0.74	1,059.47
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				8,195.86
	CORTE HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	526.05	7.04	3,703.39
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	526.05	8.54	4,492.47
04	PAVIMENTO RIGIDO				147,081.39
04.01	CONFORMACION DE SUBRASANTE CON EQUIPO	m2	1,431.72	4.83	6,915.21
04.03	BASE AFIRMADO EN PISTA E=0.15m	m2	1,431.72	13.93	19,943.86
04.04	LOSA DE CONCRETO PRE-MEZCLADO H=15cm F'c=280 kg/cm2	m2	1,431.72	76.74	109,870.19
04.05	CURADO DEL CONCRETO	m2	1,431.72	2.99	4,280.84
04.06	SELLADO DE JUNTAS EN PAVIMENTO RIGIDO	m	676.09	8.98	6,071.29
05	SEÑALIZACION				1,141.46
05.01	PINTADO DE PAVIMENTOS (SIMBOLOS Y LETRAS)	m2	4.06	15.62	63.42
05.02	PINTADO DE PAVIMENTOS (LINEAS DISCONTINUAS - AMAR N° CARRIL)	m	63.00	2.34	147.42
05.03	PINTADO DE PAVIMENTOS (LINEAS CONTINUAS - BLANCO)	m	397.70	2.34	930.62
06	VARIOS				685.48
06.01	NIVELACION DE TECHO DE BUZONES	und	2.00	342.74	685.48
	COSTO DIRECTO				202,769.58
	GASTOS GENERALES (10%CD)				20,276.96
	UTILIDADES (10%CD)				20,276.96
	*****				*****
	SUB TOTAL				243,323.50
	IMPUESTOS IGV 18%				43,798.23
	*****				*****
	PRESUPUESTO TOTAL				287,121.73

SON : DOSCIENTOS OCHENTISIETE MIL CIENTO VEINTIUNO Y 73/100 NUEVOS SOLES

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Presupuesto de pavimento Semi – Rígido

Tabla 54: Características de la vía con Pavimento Semi-Rígido

Fuente: Elaboración propia

PAVIMENTO SEMIRRIGIDO	
Longitud	Cantidad
Jr. Huallaga C01 - C03	381.00m
Jr. San Martin C01 - C03	370.00m
Jr. 28 de Julio C02	90.00m
Jr. Loreto C02	70.00m
Total	911.41m
Ancho de Via	Cantidad
Jr. Huallaga C01 - C03	6.00 m
Jr. San Martin C01 - C03	6.00 m
Jr. 28 de Julio C02	6.00 m
Jr. Loreto C02	6.00 m
Sección	
<p>The diagram illustrates the cross-section of the pavement structure. It features a central roadway with a 2.00% slope on both sides. The pavement layers are: ADOQUIN (E=08 cm), BASE GRANULAR (E=28 cm), and CAMA DE ARENA (E=4.0 cm). On both sides of the roadway, there are CUNETAS PROYECTADAS (0.40 x 0.40 m).</p>	

Presupuesto con Pavimento Semirrígido

Tabla 55: Presupuesto

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				43,174.20
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	glb	1.00	7,892.48	7,892.48
01.02	OFICINAS DE ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANA	glb	1.00	700.00	700.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60X7.20m	und	1.00	1,731.72	1,731.72
	TRASLADO MAQUINARIA, MATERIALES Y HERRAMIENTAS MANUALES	vje	2.00	15,000.00	30,000.00
01.05	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD EN OBRA	glb	1.00	2,850.00	2,850.00
02	OBRAS PRELIMINARES				2,491.19
02.01	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO INICIAL DE OBRA	m2	1,431.72	1.00	1,431.72
02.02	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO DURANTE LA OBRA	m2	1,431.72	0.74	1,059.47
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				6,361.78
	CORTE HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	408.33	7.04	2,874.64
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	408.33	8.54	3,487.14
04	PAVIMENTO SEMIRIGIDO				132,176.39
04.01	CONFORMACION DE SUBRASANTE PARA ADOQUINES	m2	1,431.72	4.83	6,915.21
04.02	BASE GRANULAR e=28m COMPACTADO CON EQUIPO LIVIANO	m2	1,431.72	21.75	31,139.91
04.03	CONFORMACION DE CAMA DE ARENA PARA ASENTADO DE ADOQUINES e=4cm	m2	1,431.72	8.25	11,811.69
04.04	PISO DE ADOQUIN DE CONCRETO e=0.08m	m2	1,431.72	53.86	77,112.44
04.05	SELLO Y COMPACTADO FINAL DE PAVIMENTO DE ADOQUINES	m2	1,431.72	3.63	5,197.14
05	SEÑALIZACION				994.04
05.01	PINTADO DE PAVIMENTOS (SIMBOLOS Y LETRAS)	m2	4.06	15.62	63.42
05.02	PINTADO DE PAVIMENTOS (LINEAS DISCONTINUAS - AMAR N° CARRIL)	m	397.70	2.34	930.62
06	VARIOS				685.48
06.01	NIVELACION DE TECHO DE BUZONES	und	2.00	342.74	685.48
	COSTO DIRECTO				185,883.06
	GASTOS GENERALES (10%CD)				18,588.31
	UTILIDADES (10%CD)				18,588.31
	=====				=====
	SUB TOTAL				223,059.70
	IMPUESTOS 18% IGV				40,150.75
	=====				=====
	PRESUPUESTO TOTAL				263,210.45

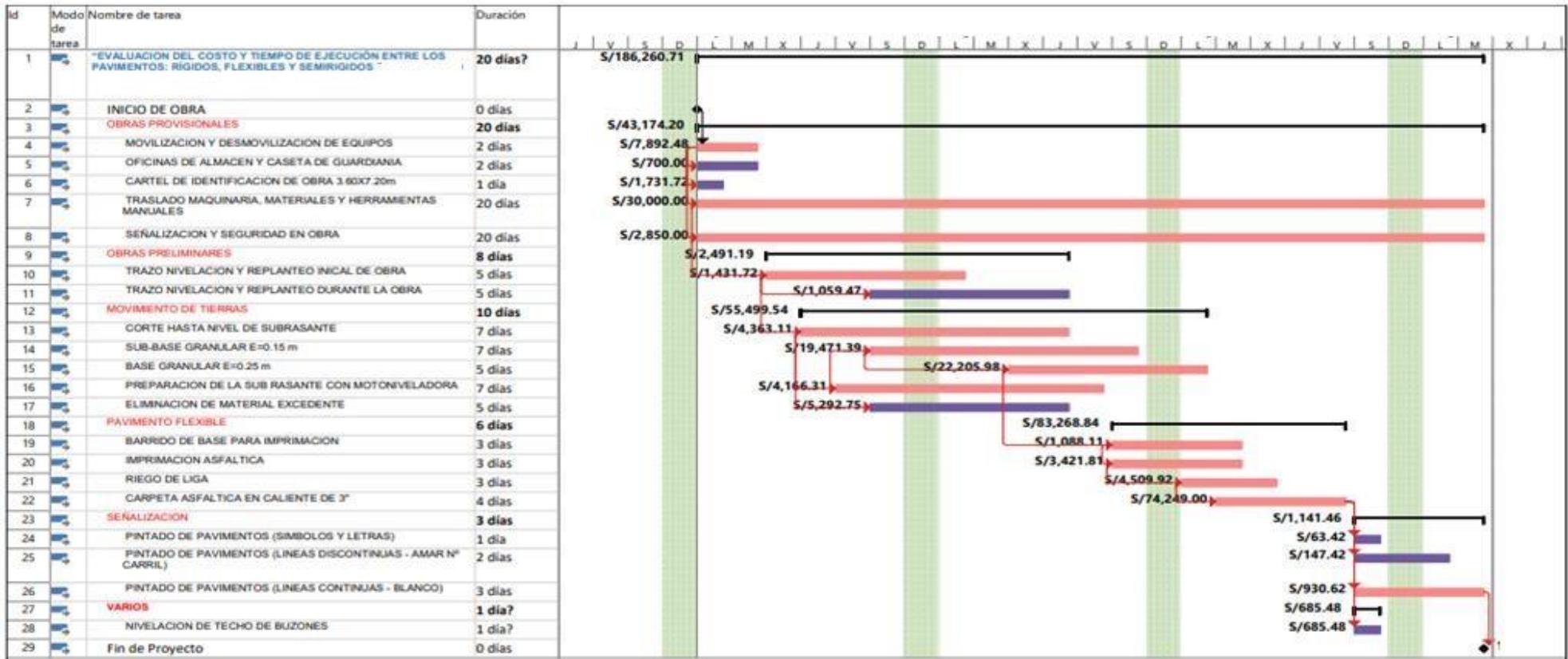
SON : DOSCIENTOS SESENTITRES MIL DOSCIENTOS DIEZ Y 45/100 NUEVOS SOLES

Fuente: Elaboración propia

4.4 TIEMPO DE EJECUCIÓN

4.4.1 Tiempo de Ejecución Pavimento flexible

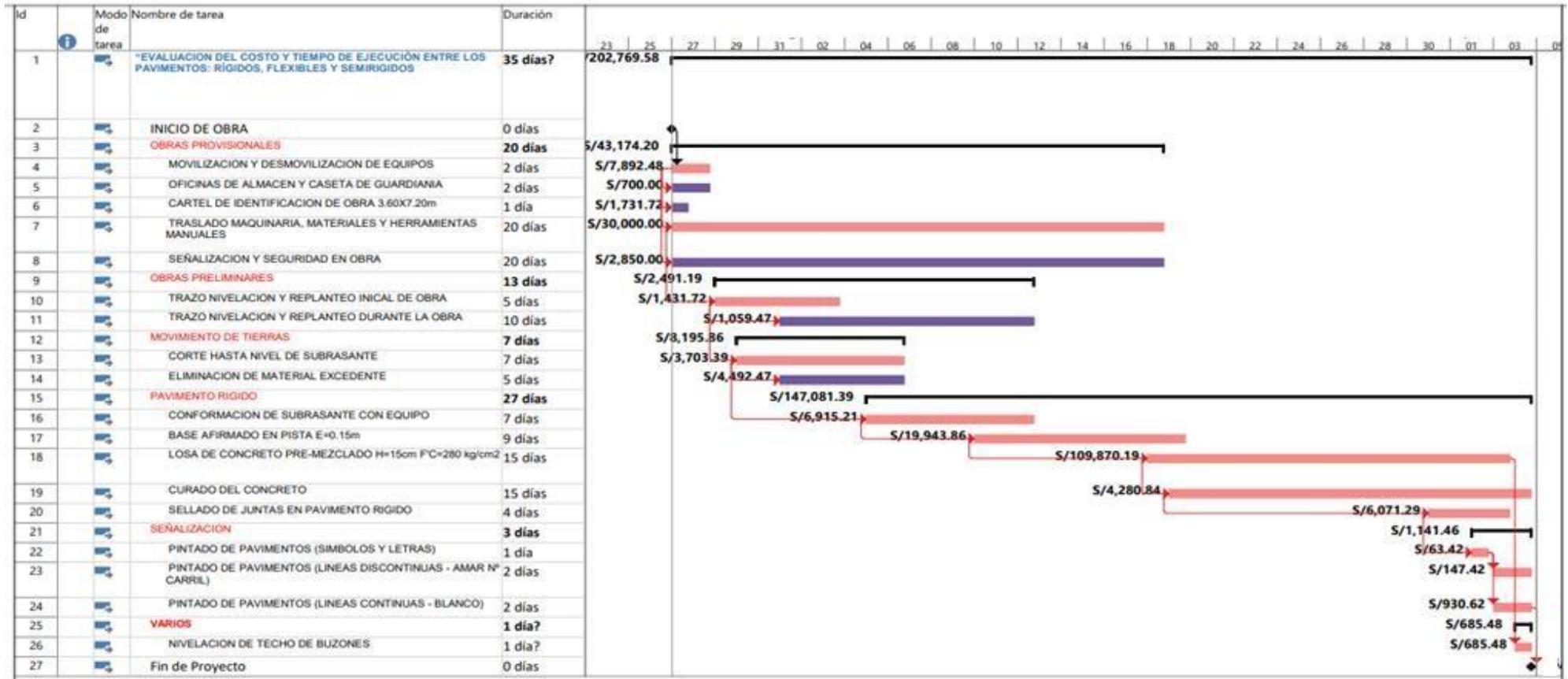
Ilustración 20: Programación de Obra Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Tiempo de Ejecución Pavimento Rígido.

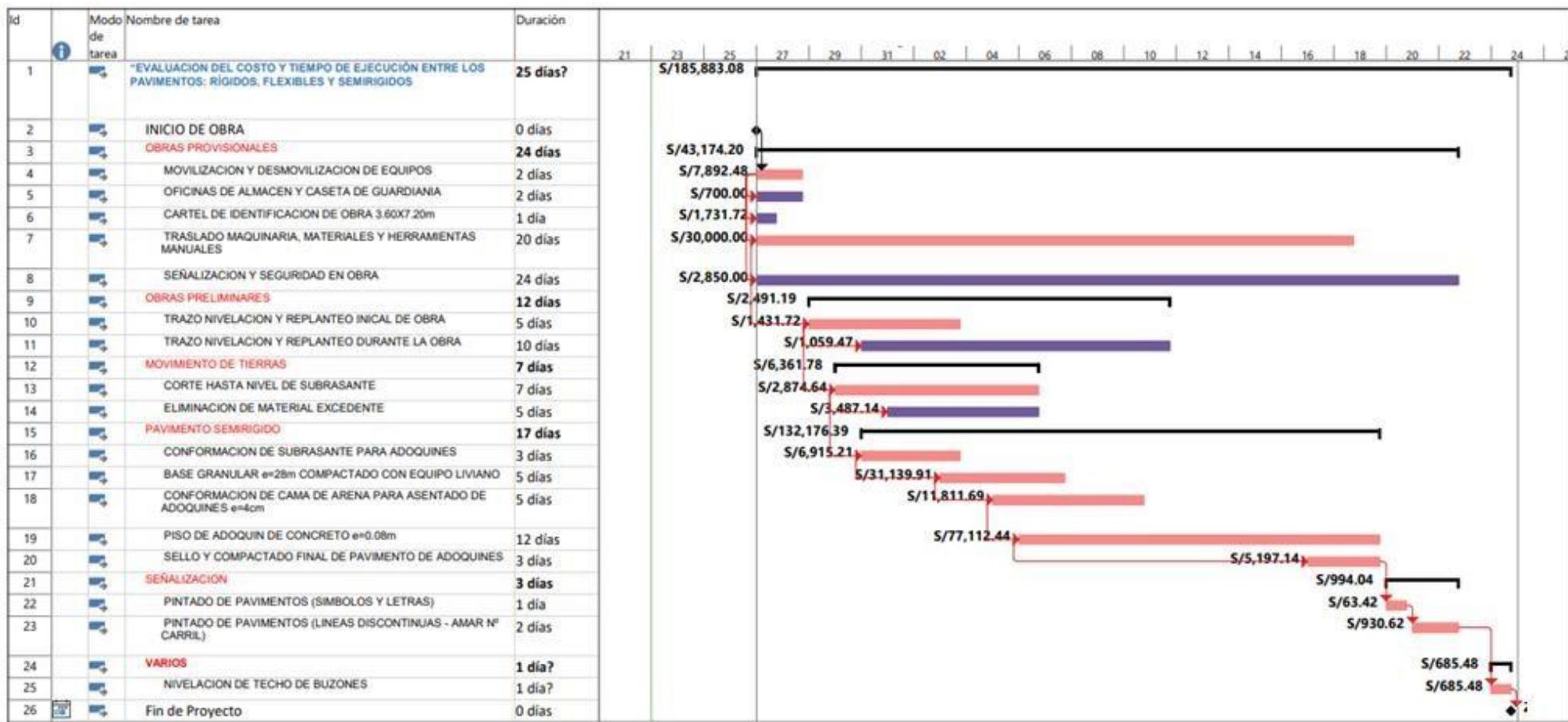
Ilustración 21: Programación de Obra Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Tiempo de Ejecución Pavimento Semirrígido

Ilustración 22: Programación de Obra Pavimento Semirrígido



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 abril 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 56: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn

Jr. Huallaga, Jr. San Martin, Jr. 28 de Julio, Jr. Loreto	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 57: 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:

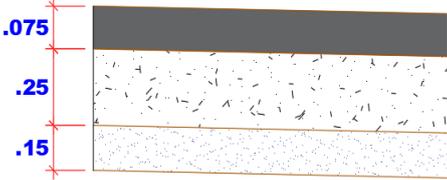
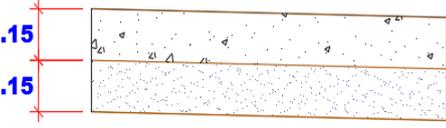
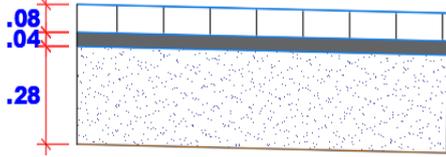
Tabla 58: Cuadro Comparativo entre Pavimentos

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	-
Coefficiente 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 59: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos

Tipo	Espesores
<p>Pavimento flexible</p>	 <p>CARPETA ASFALTICA BASE GRANULAR SUB BASE GRANULAR</p>
<p>Pavimento Rígido</p>	 <p>PAVIMENTO RIGIDO BASE GRANULAR</p>
<p>Pavimento Semi-Rígido</p>	 <p>ADOQUINADO CAMA DE ARENA BASE GRANULAR</p>

Fuente: Elaboración Propia

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

Pavimento Flexible : S/ 263,745.16

Pavimento Rígido : S/ 287,121.73

Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto : S/ 263,210.45

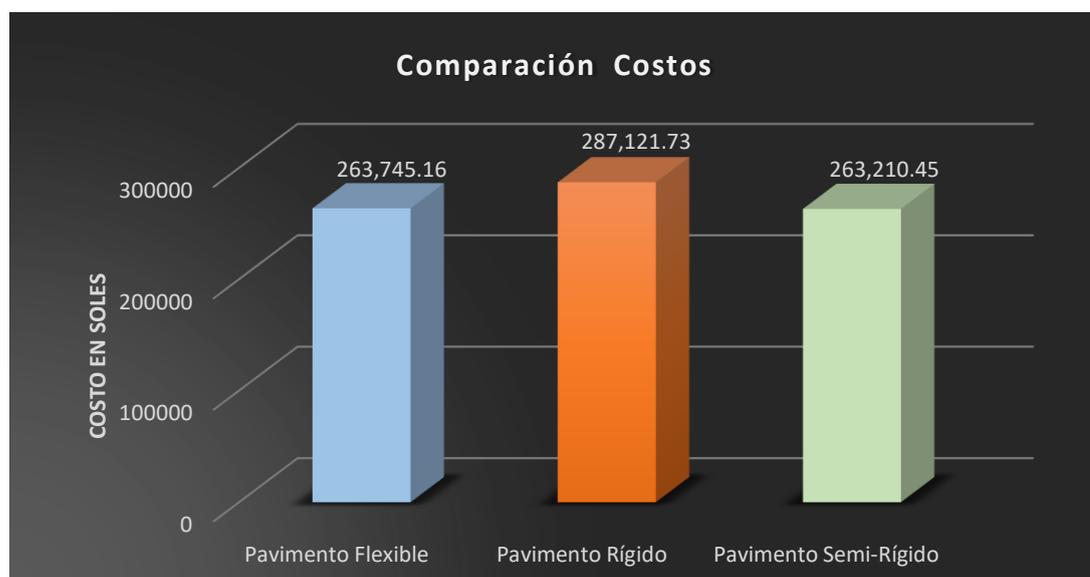
CUADRO COMPARATIVO TÉCNICO- ECONÓMICO

Tabla 60: Cuadro Comparativo Técnico – Económico

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	263,745.16	287,121.73	263,210.45
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	130.10	141.63	129.83
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	184.22	200.54	183.84
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	20	35	25
MANTENIMIENTO PERIODICO RUTINARIO	AÑOS	5	10	10
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	20-40	20-40

Fuente: Elaboración Propia

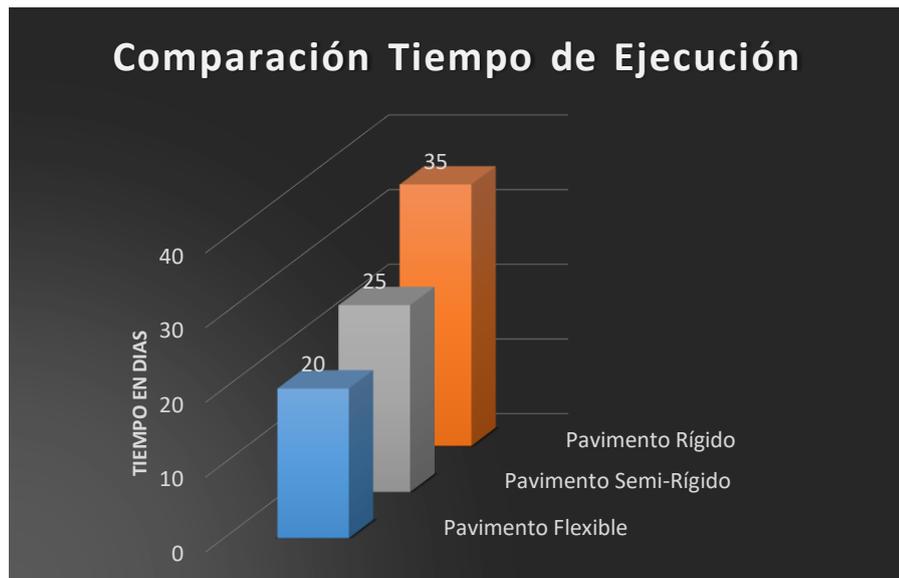
Ilustración 23: Comparación de Costos



Fuente: Elaboración Propia

- En el gráfico se puede apreciar que el pavimento rígido es el que tiene un mayor costo con S/ 287,121.73, seguido del pavimento flexible con S/ 263,745.16 y por último el de menor costo es el pavimento semirrígido con S/ 263,210.45.

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 35 días, seguido del pavimento semirrígido con 25 días y por último se encuentra el Pavimento Flexible con 20 días.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Haciendo el análisis comparativo costo-tiempo de ejecución, concluimos que el diseño óptimo para la pavimentación de los Jr. Huallaga Cdra. 01 -03, Jr. San Martín Cdra. 01-03, Jr. 28 de Julio C01 y Jr. Loreto Cdra. 01 del distrito de El Porvenir Pelejo, es el Pavimento Flexible, al tener un costo menor del 8.14% respecto del pavimento rígido, y un costo mayor del 0.2% respecto del pavimento semirrígido, 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.
- Al realizar el presupuesto de los pavimentos rígidos, pavimentos flexibles y pavimento semirrígido se concluyó que los costos por metro cuadro son:

Tabla 61: Cuadro Comparativo Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
COSTO DIRECTO POR M2	S/	130.10	141.63	129.83
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/	184.22	200.54	183.84

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:

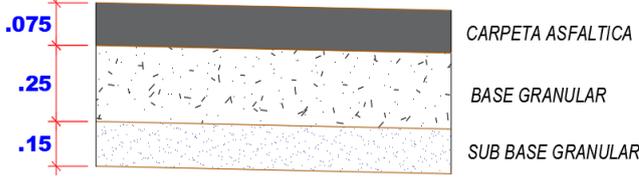
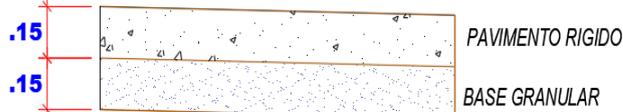
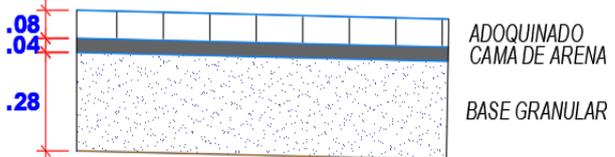
Tabla 62: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	20	35	25

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 63: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos

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

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 64: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	263,745.16	287,121.73	263,210.45
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	130.10	141.63	129.83
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	184.22	200.54	183.84
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	20	35	25
MANTENIMIENTO PERIODICO RUTINARIO	AÑOS	5	10	10
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	20-40	20-40

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. Así como las condiciones del entorno, los estudios de ingeniería de tránsito, geotécnicos, de drenaje y subdrenaje, la disponibilidad de materiales y equipo de construcción.
- 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.
- 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. Por lo tanto, dependerá de las autoridades respectivas tomar la decisión acerca de qué tipo de pavimento emplear en un proyecto determinado, contando con los fondos y financiamiento necesarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armando Medina Palacios y Marcos de la Cruz Puma. Evaluación de Pavimentos Flexibles aplicando el método del PCI. Tesis UPC - Lima - 2015.

Análisis del costo del ciclo de vida: Una herramienta para evaluar mejor las inversiones y decisiones técnicas en pavimentación. Boletín Técnico ACPA (American Concrete Pavement Association).

Barrantes, R., Badilla, G., & Sibaja, D. (2010). Definición de rangos para la clasificación estructural y funcional de la Red Vial Nacional de Costa Rica. Ingeniería, 109- 119.

Burgos R. Nicolás (2008) "Comparación de varias estructuras de pavimentos flexibles y rígidos, sector Polpaico - La Trampilla", Santiago de Chile.

Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas, (2012) "Instrucciones y Criterios de Diseño" Manual de Carreteras

Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.

Ministerio De Transportes Y Comunicaciones (2014) Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos- Sección Suelos y Pavimentos.

Norma Técnica CE.10 Pavimentos Urbanos.

PAVIMENTO RÍGIDO." Autor: Prof. Villanueva M. Ronald. Link: <http://es.slideshare.net/PedroFiguroa8/ppt-pavimento-rigido>

Reglamento Nacional de Edificaciones Norma CE.010 Aceras y Pavimentos (2013), Lima -Perú.

TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO" Autor: Civilgeeks Link: <http://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>