

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

TESIS

**“EVALUACION DEL TIEMPO Y COSTO EN EL PROCESO
CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS Y FLEXIBLES
EN LA EJECUCIÓN DE VÍAS URBANAS, EN LA LOCALIDAD DE
PELEJO, DISTRITO DE EL PORVENIR, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO
DE SAN MARTÍN”**

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

ASESOR:

M.Sc. Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta

AUTORES:

PIPA LECCA, Jorge David

PIPA AMASIFUEN, Moisés

**TARAPOTO – PERÚ
2021**

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por amarme y bendecir mi camino siempre, a mis padres por sus consejos sabios que me ayudaron a mantenerme firme en mi proyecto, a mis hijos Milton Fervis Pipa Saavedra y Dafne Jazmín Pipa Mucushua, quienes con su infinita ternura y amor me dan fuerza para trabajar y estudiar, a mis hermanos por estar siempre presente, todos ustedes han hecho posible que pueda cumplir mis sueños.

PIPA LECCA, Jorge David

En primer lugar, a Dios por tenerme con vida, luego a mis padres por el alimento, salud, educación. Por estar día a día sembrando en mí consejos de superación siempre induciéndome, dándome ánimos para seguir siempre adelante y no claudicar desde mi formación escolar, colegial y universitaria.

A los docentes idóneos de enseñanza, sin mezquindad alguna transmitiéndome sus conocimientos y experiencias de existo; en las aulas universitarias para ser un buen profesional.

PIPA AMASIFUEN, Moisés

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me dio la vida, la inteligencia, sabiduría y la oportunidad de estudiar.

A mis hijos, padres, y hermanos quienes me dieron el apoyo moral y económico para mis estudios y en la elaboración de mi tesis.

A la Universidad Científica del Perú por acogerme en su casa de estudios y a sus excelentes docentes quienes me brindaron los conocimientos necesarios para la Carrera Profesional de Ingeniería Civil Gracias.

A mi asesor por guiarme en este proceso de formulación y desarrollo de tesis, y por su esmero para culminar de manera exitosa.

PIPA LECCA, Jorge David

A mis padres Winder y Eloybith por el apoyo constante, motivadores de siempre y por los buenos consejos que me inspiran a mi vida en esta etapa estudiantil.

A mi Hijo Sadrac Zuriel y Familia motor y motivo, en ustedes entraba las fuerzas que, necesitaba, por la paciencia y confianza que me dieron siempre.

A mis docentes por formarme profesionalmente, que han dedicaron su tiempo y experiencias vividas transformados en conocimiento para transmitir enseñanza en estos 5 años académicos.

PIPA AMASIFUEN, Moisés

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

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

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**"EVALUACION DEL TIEMPO Y COSTO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO,
ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS Y FLEXIBLES EN LA EJECUCIÓN DE VÍAS
URBANAS, EN LA LOCALIDAD DE PELEJO, DISTRITO DE EL PORVENIR,
PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN"**

De los alumnos: **PIPA LECCA JORGE DAVID Y PIPA AMASIFUEN MOISÉS**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **12% de plagio**.

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

San Juan, 14 de Octubre del 2021.



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

Urkund Analysis Result

Analysed Document: UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_JORGEPIPA_MOISESPIPA_V1.pdf
(D115054120)
Submitted: 10/12/2021 7:34:00 PM
Submitted By: revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Significance: 12 %

Sources included in the report:

UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LUZCAMACHO_RODOLFOPIZARRO_V1.pdf (D110619301)
UCP_INGENIERIACIVIL_2021_TESIS_HARRYFASANANDO_DARLYNGMEDINA_V1.pdf
(D113383654)
UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_SAÍSANGAMA_LAYNEPEZO_V1.pdf (D100815781)
UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_KEIKOPAREDES_MICHAELSALDAÑA_V1.pdf (D99484626)
FINAL_TT2_QUEZADA_LECCA_ABNER.docx (D110532328)

Instances where selected sources appear:

34

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° **225-2021-UCP-FCEI** del 26 de abril 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. Joel Padilla Maldonado, M.Sc. | Miembro |
| • Ing. Luis Paredes Aguilar. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 18:00 horas del día 30 de octubre 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 DEL TIEMPO Y COSTO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES EN LA EJECUCIÓN DE VÍAS URBANAS EN LA LOCALIDAD DE PELEJO, DISTRITO DE EL PORVENIR, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**.

Presentado por los sustentantes:

JORGE DAVID PIPA LECCA y MOISES PIPA AMASIFUEN

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

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

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

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

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



Presidente



Miembro



Miembro

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día 30 de octubre del 2021 a las 06.00 p.m.



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



M.Sc. Ing. JOEL PADILLA MALDONADO
MIEMBRO DEL JURADO



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



M.Sc. Ing. VICTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA
ASESOR

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
APROBACIÓN	iii
RESUMEN	1
ABSTRAC	2
1. CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN	3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Antecedentes del Problema.....	6
1.3. Exploración Preliminar Orientada a la Evaluación	6
1.4. Aspectos Generales del Estudio.....	7
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	9
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES:.....	9
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES:	11
2.2 BASES TEÓRICAS:	14
3. CAPITULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	57
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	57
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	58
3.2.1 PROBLEMA GENERAL	58
3.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	58
3.3 OBJETIVOS	58
3.3.1 OBJETIVO GENERAL	58
3.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	58
3.4 HIPÓTESIS	59
3.5 VARIABLES.....	59
3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	59
3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE	59
4. CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	60
4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	60
4.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	60
4.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	60
4.1.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	60
4.1.4 POBLACIÓN.....	60
4.1.5 MUESTRA	60

4.2 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	60
4.3 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	61
5. CAPÍTULO V: RESULTADOS	62
5.1 RESULTADOS	62
6. CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
6.1 CONCLUSIONES.....	128
6.2 RECOMENDACIONES.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Métodos de Diseño a emplear	31
Ilustración 2: Verificación de la calidad del concreto	34
Ilustración 3: Colocación del Concreto	35
Ilustración 4: Vibración para asentado del concreto	36
Ilustración 5: Acabado del Concreto	36
Ilustración 6: Proceso de Curado	37
Ilustración 7: Distribución de Juntas.....	38
Ilustración 8: Colocación de juntas.....	39
Ilustración 9: juntas de transferencia.....	39
Ilustración 10: Limpieza de pavimento y juntas	40
Ilustración 11: Sellado de Juntas	40
Ilustración 12: Fuerzas actuando en el pavimento rígido	41
Ilustración 13: Esquema de esfuerzos debido a las cargas.....	43
Ilustración 14: Corte Transversal	45
Ilustración 15: Sección Típica de un pavimento flexible	46
Ilustración 16: Elementos que conforman la estructura de pavimento.....	48
Ilustración 17: Distribución del IMDA	63
Ilustración 18: Distribución del IMDA.....	64
Ilustración 19: Volumen de Tráfico Diario.....	64
Ilustración 20: Análisis Químico del suelo	67
Ilustración 21: Elementos nocivos para la cimentación	68
Ilustración 22: Monograma para Pavimento Flexible	98
Ilustración 23: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible	98
Ilustración 24: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa	98
Ilustración 25: Sección Pavimento Flexible	112
Ilustración 26: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido	112
Ilustración 27: Sección del Pavimento Rígido	116
Ilustración 28: Programación de Obra Pavimento Flexible	121
Ilustración 29: Programación de Obra Pavimento Rígido	122
Ilustración 30: Comparación de Costos.....	126
Ilustración 31: Comparación de Plazos de Ejecución.....	127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la Serviciabilidad del Pavimento	17
Tabla 2: Categoría de Sub rasante	43
Tabla 3: Ensayos de Laboratorio de Cantera	78
Tabla 4: Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo	80
Tabla 5: Requerimiento de Agregado Fino.....	80
Tabla 6: Características del material de cantera	81
Tabla 7: Requerimiento de Agregado Fino.....	81
Tabla 8: Características del material de cantera	81
Tabla 9: Granulometría y Clasificación de material de Cantera.....	82
Tabla 10: Ensayos de Laboratorio de Canteras	83
Tabla 11: Propiedades Físicos – Mecánicas.....	83
Tabla 12: Resumen de las características Físicos – Mecánicas.....	84
Tabla 13: Característica del agua a usar.....	85
Tabla 14: Conteo Vehicular.....	87
Tabla 15: Factores de Crecimiento	89
Tabla 16: Configuración de ejes.....	91
Tabla 17: Relación de Cargas por Eje para determinar ejes equivalentes (Ee) para Pavimentos Flexibles	92
Tabla 18: Relación de cargas por Eje para determinar ejes equivalentes (Ee) para Pavimentos Rígidos.....	92
Tabla 19: Factor Camión C2 Y C3 para Pavimentos.....	93
Tabla 20: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para Ejes Equivalentes (Ee) ..	94
Tabla 21: EE día-carril para Pavimento Flexible	95
Tabla 22: EE día-carril para Pavimento Rígido	95
Tabla 23: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible.....	96
Tabla 24: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido.....	96
Tabla 25: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2tn, en el Carril de Diseño para Pavimento Flexible y Rígido.	96
Tabla 26: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico	99
Tabla 27: 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.....	100
Tabla 28: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico	102

Tabla 29: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico	103
Tabla 30: Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico	104
Tabla 31: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular.....	105
Tabla 32: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a1	106
Tabla 33: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje MI	107
Tabla 34: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular.....	108
Tabla 35: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente	110
Tabla 36: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante.....	113
Tabla 37: Módulo de Elasticidad (Ec).....	114
Tabla 38: Valores Recomendados de Resistencia del Concreto	115
Tabla 39: Módulo de Rotura del C ^o (S'c)	115
Tabla 40: Características de la vía con Pavimento Flexible	117
Tabla 41: Características de la vía con Pavimento Rígido	119
Tabla 42: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn	123
Tabla 43: Resumen Características del Sub - rasante	123
Tabla 44: Cuadro Comparativo entre Pavimentos.....	124
Tabla 45: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos	125
Tabla 46: Cuadro Comparativo Técnico – Económico	126
Tabla 47: Cuadro Comparativo Financiero.....	128
Tabla 48: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución	129
Tabla 49: Cuadro Resumen de Espesores de los dos Tipos de Pavimentos	129
Tabla 51: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero	130

RESUMEN

Este estudio tiene como finalidad hacer un comparativo entre el tiempo empleado en la ejecución de un proyecto de pavimentación y el costo por metro cuadrado que se obtendrá al costear dichas propuestas entre las alternativas de estudio seleccionadas.

Para ello, la metodología empleada por un lado es cuantitativa, por lo que se desarrollarán modelos técnicos y económicos equivalentes para ambas versiones de pavimentos las cuales serán comparadas. Por otro lado, la parte técnica, involucra el estudio de pavimentos equivalentes a sus versiones de rígidos y flexibles que se desarrollarán mediante una matriz que considere diseños equivalentes a partir de dos parámetros del tránsito y suelo.

Teniendo en cuenta que los pavimentos flexibles tienen menores periodos de vida útil al contrario de los pavimentos rígidos que tienen mayores periodos de vida útil.

Entre los resultados obtenidos podemos ver los espesores finales que nos muestran el cálculo de los pavimentos anteriormente posteriores, así como el costo de los mismos y el tiempo en que tardarían en construirse de decidirse por uno u otro.

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

Palabras claves: Pavimento Flexible, Pavimento Rígido.

ABSTRAC

The purpose of this study is to make a comparison between the time spent in the execution of a paving project and the cost per square meter that will be obtained when financing said proposals among the selected study alternatives.

For this, the methodology used on the one hand is quantitative, so equivalent technical and economic models will be developed for both versions of pavements which will be compared. On the other hand, the technical part involves the study of pavements equivalent to their rigid and flexible versions that will be developed through a matrix that considers equivalent designs based on two parameters of traffic and soil.

Taking into account that flexible pavements have shorter periods of useful life in contrast to rigid pavements that have longer periods of useful life.

Among the results obtained, we can see the final thicknesses shown by the calculation of the previously subsequent pavements, as well as their cost and the time it would take to build if deciding on one or the other.

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

Keywords: Flexible pavement, rigid pavement

1. CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En la presente tesis se presentan dos métodos aplicados a la evaluación del tiempo y costo en el proceso constructivo de los pavimentos rígidos y flexibles; teniendo, por un lado, el pavimento a base de asfalto conocido también como pavimento flexible, debido a su comportamiento ante las cargas ocasionadas por los vehículos que lo transitan. Dicho comportamiento se presenta de un modo plástico. Por otro lado, se tiene el pavimento construido con concreto hidráulico, llamado también pavimento rígido.

Siendo estos dos métodos constructivos vitales para la realización de una pavimentación, se considera de mucha importancia realizar un análisis comparativo de costos y tiempo de ejecución entre los mismos, haciendo mención de la función del pavimento y los diferentes elementos estructurales que lo conforman, el cual se entra a detalles respecto a los procesos de diseño, costos, ejecución y mantenimiento de cada uno de los pavimentos.

Aunque el diseño de pavimento ha evolucionado gradualmente de un arte a una ciencia, el empirismo continúa jugando un rol importante aún en el presente. Anteriormente, en los años 20 el espesor de pavimento estaba basado en la experiencia. El mismo espesor fue usado para cualquier sección de una pavimentación, a pesar de que los tipos de suelo, eran diferentes. Se fue ganando experiencia a través de los años y varios métodos fueron desarrollados por diferentes agencias para determinar el espesor requerido de un pavimento.

Una vez obtenida la estructuración de las capas del pavimento, es necesario conocer el comportamiento del pavimento durante su vida útil; por lo tanto, se debe planificar el tipo de intervención que sufrirá el pavimento, para mantener la calidad funcional y estructural del mismo. Dicha intervención consistirá en el mejoramiento inicial, el mantenimiento rutinario y la

rehabilitación; esta planificación se encuentra regida por el campo de la Ingeniería llamada Gestión de Pavimentos.

Con lo anterior es posible determinar un modelo de costos que se requerirán, tanto para la construcción del pavimento nuevo, como para las intervenciones en el pavimento a lo largo del período de análisis, con ésta se pretende realizar un análisis comparativo entre diferentes alternativas de pavimento; ya que, es de gran importancia en los proyectos viales comparar diferentes alternativas de estructura de pavimento con el objetivo de obtener o encontrar la opción más acertada desde el punto de vista técnico, económico y social.

La Mezcla Asfáltica sin lugar a duda, es uno de los materiales más versátiles y universales para la construcción de pavimentos en el mundo, debido a la gran variedad de propiedades y características que este material posee. Puede utilizarse como ligante con agregados, tanto en caliente como en frío, y también se puede usar para producir mezclas sin estructura de agregado pétreo.

La Mezcla Asfáltica puede dar como resultado mezclas muy estables, rígidas, flexibles, duras o frágiles, lo que permite dar solución a gran cantidad de problemas de construcción de pavimentos, y también soluciones de impermeabilizaciones y protección de superficies. Desde que se descubrió la mezcla asfáltica se han producido logros importantes en el ámbito de la construcción, por ejemplo, las plantas asfálticas, lugar donde se elaboran las mezclas bituminosas que cubren longitudes de terreno transformadas en carpetas de rodadura. De igual importancia, es el mantenimiento de la red vial pavimentada, realizándose obras como la recuperación y estabilización con emulsión asfáltica y haciéndose mención de los diferentes tipos de fallas que afectan a este tipo de pavimentos.

Por otro lado, se encuentran los pavimentos rígidos, los cuales pueden estructurarse por la capa de subrasante, base y losa de hormigón. Para el pavimento rígido, se trabajaron las mismas tres etapas mencionadas para el pavimento flexible. Inicialmente se tiene la etapa de diseño, que incluye el

método AASHTO, procediendo a su ejecución, donde se mencionan todos los aspectos que intervienen en el proceso de construcción. Además, se debe tomar en cuenta la preparación de la rasante, la construcción de la base y sub - base, llegándose así a los trabajos de preparación previos a la pavimentación con material afirmado,

Finalizando con un análisis comparativo de tiempo y costos en el proceso constructivo entre los pavimentos rígidos y flexibles, en la ejecución de vías urbanas, en la localidad de Pelejo, Distrito de El Porvenir, provincia y departamento de San Martín, los cuales se encuentran en ejecución actualmente.

En la actualidad, por uno u otro motivo los pavimentos se ven deteriorados por muchos factores, como la accidentada topografía del terreno y el desgaste propio producido por la circulación vehicular. Por este motivo, el análisis comparativo que se realizará, tiene como principal objetivo determinar el tiempo y costo, como material utilizado en la construcción de pavimentos, demostrando como el costo de su producción es preponderante al momento de optar por alguno de los dos, y conociendo sus principales características. Por otro lado, se conocerán sus virtudes y sus defectos, tratando de enfocarse en la ejecución de vías urbanas en la localidad de Pelejo – distrito de El Porvenir y contextualizando las dificultades que aquí se presentan.

Finalmente, se llega a las conclusiones respecto a la conveniencia del uso de cada tipo de pavimento, dependiendo de los tiempos y los costos, que la aplicación que cada método constructivo implicará.

1.2. Antecedentes del Problema

Los trabajos relacionados a pavimentación que vienen desarrollándose por varios años en la localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, San Martín, no cuenta con metodologías propias que se adecuen a las diferentes variedades climatológicas y técnicas que presenta la localidad. Por ello se han aplicado metodologías que fueron desarrollados por especialistas de nuestra entidad. En diversas partes del mundo se desarrollan investigaciones puntuales como problemas en las carreteras, vías urbanas que permiten generar métodos y metodologías apropiadas para tales condiciones que se asemejen a nuestra localidad. En general los diferentes proyectos de construcción de pavimentos se orientan a determinar una secuencia lógica en la evaluación de ambos pavimentos y dar así de esta forma una correcta evaluación del Tiempo y Costo en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la localidad de Pelejo.

1.3. Exploración Preliminar Orientada a la Evaluación

En la actualidad el país busca un desarrollo integral en base a la eficiencia y calidad de los servicios, garantizando para ello la seguridad de los inversionistas privados a fin de facilitar las condiciones de invertir en todos los campos de la actividad económica, y por lo tanto, el departamento de San Martín no está ajeno a esta realidad, por lo que es necesario e imprescindible estar acorde a la dinámica de desarrollo a fin de no quedarnos marginados, social, cultural y económicamente, y siempre estar al a vanguardia de los cambios estructurales que sufre el país en su conjunto. La localidad de Pelejo viene desarrollándose a pasos acelerados, ya que su economía es una de las más dinámicas en el departamento de San Martín, a la par que sus autoridades también hacen sus esfuerzos por el desarrollo de esta localidad, sobre todo en el ámbito del equipamiento urbano, como es el asfaltado de calles y sus autoridades se preocupan en generar fuentes de inversión y conseguir presupuestos que puedan realizar cambios significativos en el crecimiento de la localidad.

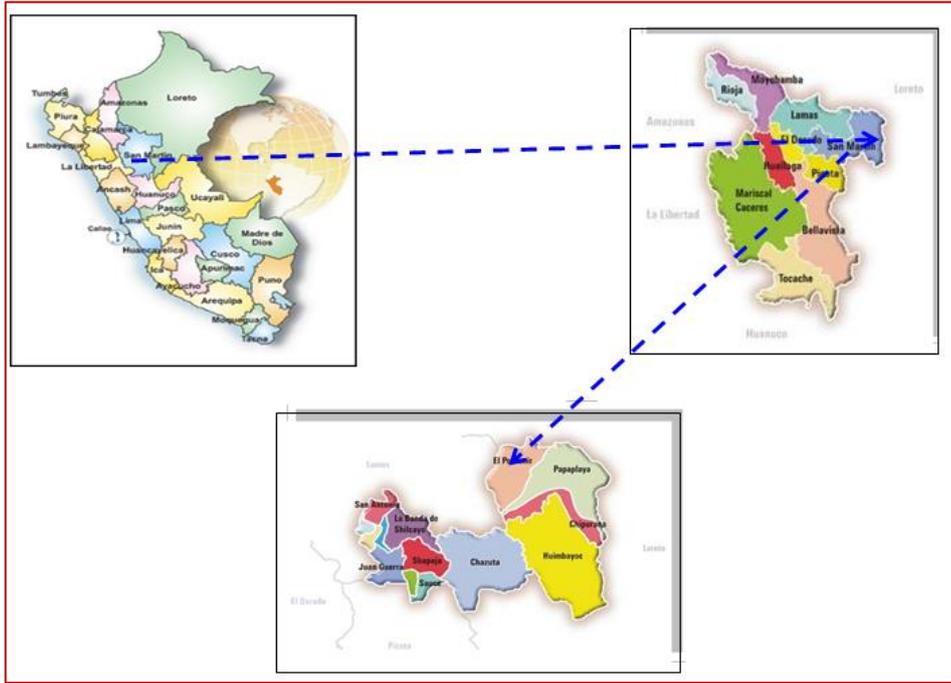
El tema de Investigación es la **EVALUACION DEL TIEMPO Y COSTO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS Y FLEXIBLES EN LA EJECUCIÓN DE VÍAS URBANAS, EN LA LOCALIDAD DE PELEJO, DISTRITO DE EL PORVENIR, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**, porque la construcción de pavimentos tiene un gran impacto en la población ya que incide en la salud y en el desarrollo socioeconómico, que comparado con años anteriores podemos decir que en la actualidad la localidad de Pelejo tiene un 40% de sus calles pavimentadas, de las cuales el 25% son de pavimento flexibles y el 10% son de pavimento rígidos y el 5% otros, según información de la propia Municipalidad.

La localidad de Pelejo, no es ajeno al desarrollo en las nuevas tecnologías sobre todo en sistema constructivo de Pavimentos Flexibles, siendo así por su Tiempo y Costo constructivo el que se emplea más en este tipo de proyectos (25% aproximadamente), es por eso que las autoridades optan por la construcción de sus calles con pavimentos flexibles, atendiendo a esas dos alternativas tiempo y costo.

1.4. Aspectos Generales del Estudio

El proyecto se encuentra ubicada en la Localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia de San Martín y Región San Martín, la localidad se encuentra situada a 135 msnm, convirtiéndola el punto más bajo de toda la región San Martín.

El Porvenir fue elevado a la categoría de "villa", mostrando los siguientes parámetros; altitud 190, latitud 06°13'00'', longitud 75°48'30''.



2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES:

Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos la Tesis del autor: Rafael Alejandro Torres Ziri3n, titulada **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE EL PAVIMENTO FLEXIBLE Y EL PAVIMENTO RÍGIDO”**, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que llegan a las 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. Además, tenemos una Tesis, del autor: Randy Eduardo Hurtado Acuña, titulada **“Análisis comparativo entre pavimento flexible y rígido para uso en ruta cantonal de El Guarco”**, de Instituto Tecnológico De Costa Rica, Lambayeque – Perú, que llegan a las siguientes conclusiones:
- Se estimó un valor de Tránsito Promedio Diario (TPD) o Intensidad Media Diaria (IMD) de 171 vehículos diarios. Mientras que los ejes equivalentes de diseño para los pavimentos flexibles de este proyecto son de 181 825, a un período de diseño de 15 años. Para el caso de los

pavimentos rígidos se obtuvo una cantidad de ejes equivalentes de 276 765, a un período de diseño de 20 años.

- En los tres escenarios de pavimento flexible se obtuvo un espesor de carpeta asfáltica de 10cm. En lo que respecta a la base granular, el escenario 1 mostró un espesor de 30cm, mientras que los escenarios 2 y 3 se presentó una disminución de 5cm en comparación con el escenario 1; con un espesor de 25cm. Se obtuvo un espesor de sub-base del escenario 1 de 40cm, y un espesor de 30cm para el escenario 2 y 3, es decir, una disminución de 10cm. La disminución de los espesores se debe al mejoramiento de la capacidad de la subrasante en los escenarios 2 y 3.
 - Del análisis mecanístico se encontró que en los tres escenarios de pavimento flexible rige la falla por fatiga de la carpeta asfáltica; se obtuvo que el escenario 2 es más susceptible a la falla por fatiga que el escenario 1; mientras que el escenario 3 presenta mayor susceptibilidad a la falla que el escenario 2. Lo anterior se debe a la disminución de los espesores de los escenarios 2 y 3 con respecto al escenario 1. En los tres escenarios los ejes equivalentes de diseño no superan los ejes equivalentes de falla.
 - El diseño de pavimento rígido para el escenario 1 mostró que el espesor de losa adecuado es de 24cm; mientras que el espesor óptimo para los escenarios 2 y 3 es de 22cm. Es decir, los escenarios 2 y 3 mostraron una disminución de 2cm de espesor de losa con respecto al escenario 1, lo anterior debido al aumento de la capacidad de la subrasante de los escenarios 2 y 3. Los espesores de losa de los tres escenarios no provocan esfuerzos de falla. En los tres escenarios se obtuvo un espesor de sub-base de 15cm.
- Farinango en su investigación compara los costos de los pavimentos rígido y pavimento flexible; que como objetivo principal tiene, comparar los

costos tomando en cuenta el desempeño y elementos de diseño para determinar cuál de los dos es menos costoso. (2014, Pág. 2)

Lonenar (2015) es su libro "Lecture Desing of Flexible Pavement informa que: Para diseñar un pavimento es una responsabilidad más que solo diseñar sus espesores, asimismo debe contener medidas y técnicas para asegurar durante un periodo de vida del pavimento suavidad, resistencia al desplazamiento y menorar el ruido. También debe tener encueta los efectos que estos producen. (pág.5)

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES:

Además, tenemos una Tesis, del autor: Cristian Adán Yovera Adanaqué, titulada "**Análisis Comparativo De Los Pavimentos Flexible, Rígido Y Articulado Para La A.V Ignacia Schaeffer – Distrito De Tambogrande – Departamento De Piura.**", de la Universidad Nacional de Piura, Piura – Perú, que llegan a las siguientes conclusiones:

- De acuerdo al estudio geológico-geotécnico nos muestra en los tramos 1 y 2, valores de CBR de 6% y 6.2% respectivamente (subrasante regular); y en los tramos 3 y 4 valores de CBR de 18.30% y 20% respectivamente (subrasante buena), lo cual repercute en los diseños de pavimentos, haciendo que en los tramos con valores bajos de CBR se aumente el espesor del pavimento y en los tramos con valores altos de CBR se disminuya el espesor, finalmente ante ello se han homogenizado los espesores obteniendo diseños equivalentes y con buen desempeño en cualquiera de los tramos.
- El pavimento rígido diseñado tendrá un mejor comportamiento estructural frente a los pavimentos flexible y articulado. Si bien ambos pavimentos se encuentran en la capacidad de tener un buen comportamiento estructural frente las cargas actuantes, el pavimento rígido sacara una gran ventaja debido a que distribuye mejor las cargas de tráfico.

- En cuanto a la comparación económica para el costo de construcción el pavimento flexible es 11.68% más barato respecto al diseño de pavimento rígido y de manera análoga también el pavimento articulado es 11.85% más barato que el mismo. Por lo tanto, el pavimento rígido resulta ser el más costoso para su construcción, de esta manera los pavimentos flexible y articulado sacan una ventaja económica a su favor. Además, tenemos una Tesis de Maestría, del autor: Mario Becerra-Salas, titulada “**Comparación Técnico-económica de las Alternativas de Pavimentación Flexible y Rígida a Nivel de Costo de Inversión**”, de la Universidad de Piura, Piura – Perú, que llegan a las siguientes conclusiones:
 - 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:
 - 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.

Esta comparación se limita sólo a los costos de construcción para pavimentos equivalentes de asfalto y concreto, por lo que sería interesante que otra tesis posterior analice los resultados en el ciclo de vida.

Para Becerra (2013), los criterios básicos vinculados con el diseño y la elección de opciones, indispensables para llegar con éxito la comparación economía y técnica entre los pavimentos rígido y flexible. La intención del tesista es saber cuál alternativa es más competitiva respecto a la otra, sabiendo que los dos pavimentos tienen un comportamiento adecuado para el lugar de estudio. (pág. 4).

Ramírez y Zavaleta, en su estudio comparativo del diseño de pavimento rígido, adoquín y flexible en el sector el milagro- Trujillo, hacen la comparación económica para determinar cuál de ellos es menos costoso y es la mejor alternativa para las calles en estudio.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES:

Tenemos la tesis **Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del centro del Distrito de Tarapoto - 2019**: 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.

2.2 BASES TEÓRICAS:

2.2.1 DEFINICIONES DE LOS PAVIMENTOS RIGIDO Y FLEXIBLE:

2.2.1.1 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

Los pavimentos son soluciones para la configuración de caminos, siendo éstos concebidos, diseñados y construidos pensando en mejorar y mantener condiciones óptimas de tránsito de personas, bienes y servicios a lo largo de su vida útil. Son estructuras formadas por un conjunto de capas granulares y carpeta de rodadura que descansan sobre el suelo de cimentación conocido con el nombre de subrasante.

La estructura está pensada para transferir y distribuir eficientemente las cargas vehiculares consideradas en el diseño y en su vida útil desde la carpeta de rodadura hasta el suelo de cimentación. Debido a que los esfuerzos producidos por el paso de las cargas vehiculares decrecen con la profundidad, se deben colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento del pavimento son: anchura, trazo horizontal y vertical y resistencia adecuada a las cargas, para evitar las fallas, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas.

El pavimento es aquella estructura conformada por un conjunto de capas de materiales seleccionados y superpuestos, que reciben en forma directa las cargas del tránsito y los transmiten al suelo en forma uniforme y disipada. Estas capas deben de estar adecuadamente compactadas hasta alcanzar la resistencia alcanzada.

Todo pavimento debe proporcionar una superficie de rodamiento de adecuado funcionamiento, capaz de resistir las cargas durante la vida útil del diseño. Las condiciones necesarias para su buen funcionamiento que son las siguientes: ancho apropiado, resistencia adecuada al deslizamiento y a las cargas impuestas por el tráfico, buena adherencia y desagüe eficiente. Además de proteger a la explanada de las precipitaciones y la intemperie.

Desde el punto de vista ingenieril se puede definir el pavimento como un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado sub rasante, el cual debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñada para soportar cargas externas durante un determinado periodo de tiempo.

Condiciones para el adecuado funcionamiento del pavimento.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: ancho, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Es importante considerar que el aspecto más importante en la estructura de un pavimento, es el que tiene que ver con la resistencia de las capas, la cual debe ser la adecuada para atenuar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor capacidad los que se colocan en las capas inferiores, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

Serviciabilidad del Pavimento

La serviciabilidad de los pavimentos, es la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento. Es por ello que la opinión de ellos es la que debe ser medida para calificar la serviciabilidad.

La medición de la serviciabilidad de los pavimentos, también puede ser considerada como una evaluación de la superficie, pero hay que tener presente que ésta no es una evaluación completa. La serviciabilidad de los pavimentos ha sido representada en un índice, derivado de los resultados de la prueba AASHTO, en la cual se realiza la evaluación mediante una escala que varía de 0 a 5, siendo 5 el valor para pavimentos con una superficie perfecta y 0 para un pavimento con una superficie en malas condiciones.

En la siguiente tabla se presenta la escala de calificación de la serviciabilidad según la norma AASHTO.

Tabla 1: Clasificación de la Serviciabilidad del Pavimento

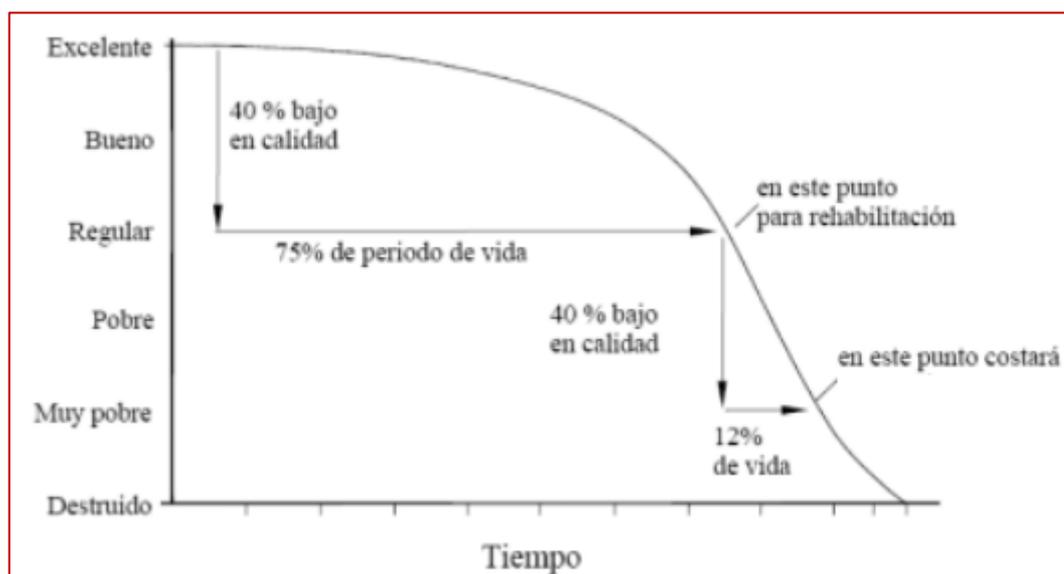
Calificación		Descripción
Númerica	Verbal	
5.0 – 4.0	Muy buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en su categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasifican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

Fuente: Armijos (2009)

Ciclo de vida de los pavimentos

Los pavimentos son inversiones importantes que exigen mantenimiento y reparación a lo largo de su vida. En la actualidad ha aumentado la necesidad de conservar los caminos en buen estado para su adecuado funcionamiento. Los pavimentos sufren deterioros constantes debido a las sollicitaciones externas (lluvia, tránsito, etc.), el efecto que estas producen es permanente y puede resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es por ello que los pavimentos se proyectan para que sirvan un determinado número de años, esta proyección es denominada ciclo de vida útil, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1: Ciclo de vida de un pavimento



Fuente: Gamboa (2009)

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

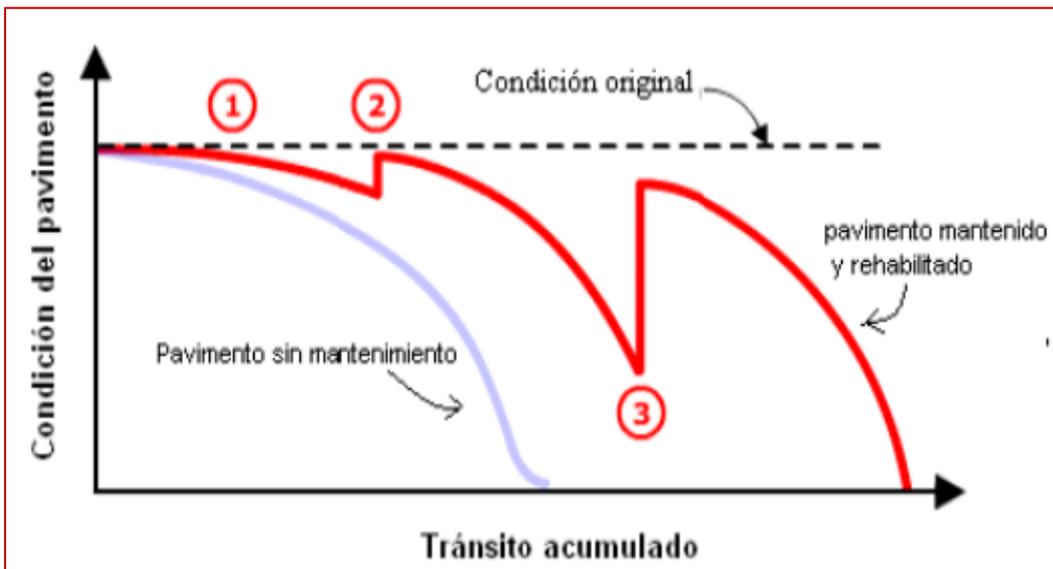
Etapla 1: Construcción. En esta etapa, el estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer a los usuarios. El costo en el que se ha incurrido hasta esta etapa es la construcción del paquete estructural.

Etapa 2: Deterioro imperceptible. El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe, pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente. El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios, el costo del mantenimiento anual este alrededor del 0,4 a 0,6% del costo de construcción. El estado del camino varía desde excelente a regular.

Etapa 3: Deterioro acelerado. Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre.

Etapa 4. Deterioro total. Esta última etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc. Los costos de operación de los vehículos aumentan y la vía se hace intransitable para autos. Es importante citar que con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento se puede determinar la condición. Asimismo, existen otras variables además del tiempo como el número de ejes equivalentes y el tránsito acumulado que nos permitirán graficar la degradación del pavimento. Asimismo, el ciclo de vida de los pavimentos puede alargarse si se realiza trabajos de mantenimiento y rehabilitación de manera oportuna, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

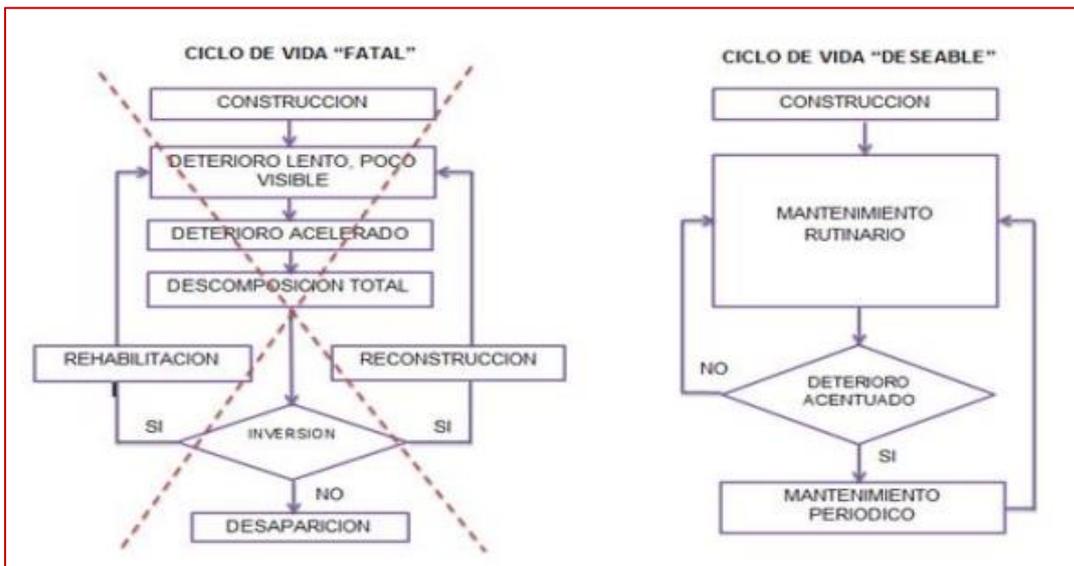
Figura 2: Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación



Ciclo de Vida deseable del pavimento

En nuestro país existen muchos caminos que han llegado a la última etapa, de deterioro total, la reconstrucción de caminos demanda mucha inversión económica, esto sin agregar el malestar que causa entre los usuarios. Esta etapa pudo evitarse con un adecuado mantenimiento. El ciclo de vida se inicia con un camino nuevo o rehabilitado, el estado del pavimento en estos casos es excelente. El mantenimiento progresivo hará que el desgaste natural del camino sea más lento, conservando así, el estado del pavimento en un nivel muy bueno y bueno. La duración de esta etapa en un camino no mantenido dura entre dos y tres años, en cambio, en un camino mantenido esta etapa puede prolongarse entre cuatro y cinco años. Cuando el estado del pavimento es regular se hace necesario un mantenimiento de tipo periódico, es decir, rehabilitar la superficie de rodadura, conservando el estado óptimo del camino. Un camino sin mantenimiento a los dos años ya presenta problemas en circulación de vehículos, en cambio un camino mantenido pues prolonga esta etapa hasta después de los seis años, como se detalla en la figura siguiente.

Figura 3: Diagrama de flujo del ciclo de vida del pavimento



Evaluación del Pavimento

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al transitar, esto significa que la plataforma debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada. La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

Importancia de evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima. Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto. La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera

gastos mayores. La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

Tipo de fallas en los pavimentos

Las fallas en los pavimentos pueden ser divididas en dos grandes grupos que son fallas de superficie y fallas estructurales:

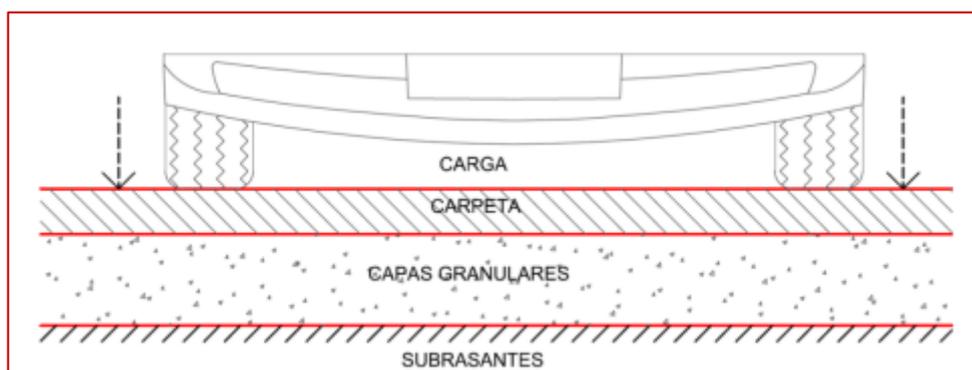
➤ **Fallas de superficie:**

Son las fallas en la superficie de rodamiento, debidos a las fallas en la capa de rodadura y que no guardan relación con la estructura de la calzada. La corrección de estas se fallas se efectúa con solo regularizar su superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad.

➤ **Fallas estructurales**

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de sollicitaciones que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos. Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado.

Figura 4: Esquema típico de una estructura de pavimento



Fuente: Propia

Podemos identificar a los tipos de pavimentos según al estudio para el desarrollo de la presente tesis, el cual se describe cada una de ellas:

Pavimento Rígido

Pavimento Flexible

Cada una de ellas se diferencia por la estructura y a las capas que lo conforman, asimismo como se transmiten los esfuerzos y deflexiones a las capas subsecuentes.

2.2.1.2 Pavimento Rígido

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.

Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento hidráulico. Recibe el nombre de pavimento rígido debido a las propiedades de la carpeta de concreto que absorbe en mayor grado las cargas vehiculares. Debido a la naturaleza rígida de la carpeta de rodadura las cargas vehiculares se distribuyen en una forma más eficiente. Por ello requieren una estructura con menor número de capas granulares entre la carpeta de rodadura y la subrasante para asegurar una adecuada transferencia de cargas. Generalmente, requieren una capa granular que recibe el nombre de sub base.

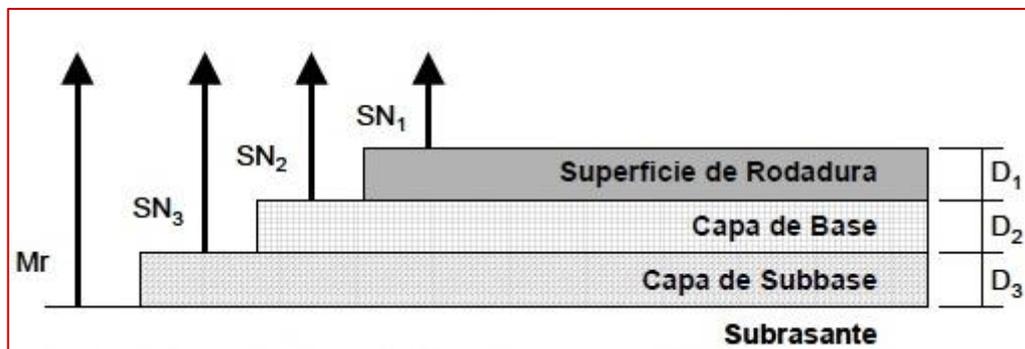
El pavimento rígido se compone de una losa de concreto hidráulico que puede o no incluir acero, este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores. La sección transversal de un pavimento rígido está compuesta por la losa de concreto hidráulico que va sobre la sub base y estas sobre la sub rasante (Medina & De La Cruz, 2015).

Tiene costos iniciales de construcción altos en comparación con los pavimentos flexibles y su periodo de vida varía entre 20 y 40 años. Aunque tiene un costo inicial alto, este no requiere de mayor un mantenimiento durante su vida útil a comparación del pavimento flexible. Este mantenimiento generalmente se orienta al tratamiento de juntas de losas (Leguía & Pacheco, 2016).

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub rasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido.

La implementación del pavimento rígido (Concreto Hidráulico) inicio a partir del año 2009, construyéndose principalmente en las zonas de tráfico pesado, y en zonas con suelos de baja capacidad soporte y en la zona urbana, donde se requiere que el pavimento brinde un mayor tiempo de vida.

Figura 5: Sección Típica de un pavimento rígido



Fuente: Descripción Propia

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.

Los pavimentos rígidos o hidráulicos como se les conoce también, defieren de los pavimentos de asfalto o flexibles, en que poseen una

resistencia considerable a la flexión, además de que se ven considerablemente afectados por los cambios de temperatura. Los pavimentos rígidos están sujetos a los siguientes esfuerzos:

- a) Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b) Esfuerzos directos de compresión y cortadura, causados por las cargas de las ruedas.

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

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

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

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

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.

2.2.1.2.1 Clasificación de un Pavimento Rígido

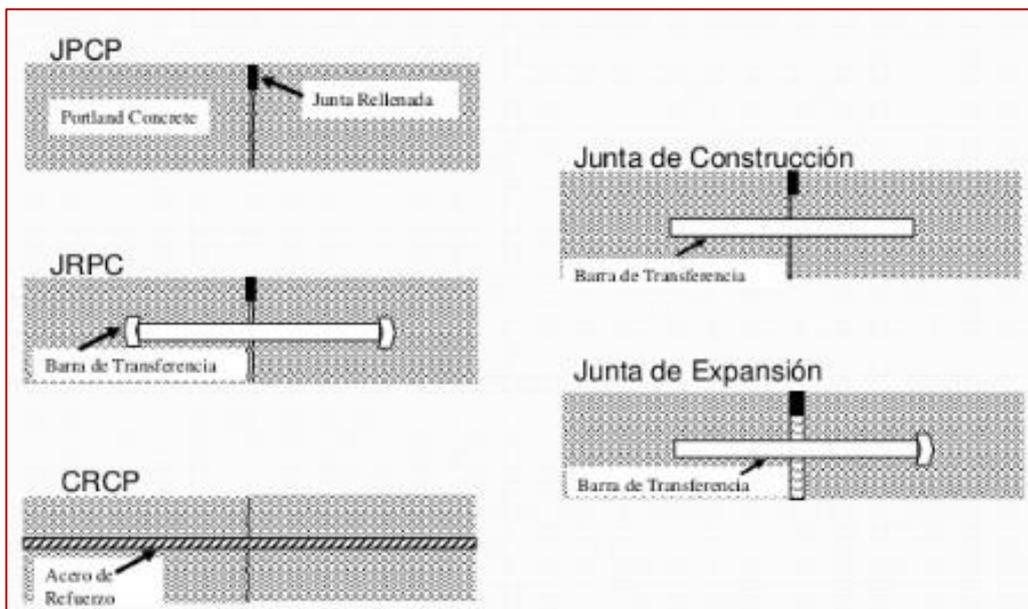
a) Pavimento Rígido sin refuerzo (concreto hidráulico simple)

No tiene armadura en losa y el espaciamiento entre juntas es pequeña entre 2.5 a 4.5m, las juntas pueden no tener dispositivos de transferencias de cargas dovelas.

b) Pavimento Rígido con esfuerzo

Consiste en losas de concreto con espaciamientos mayores entre juntas entre 6 y 36m, y llevan armadura distribuida en la losa en efectos de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

Figura 6: Tipos de pavimento rígido



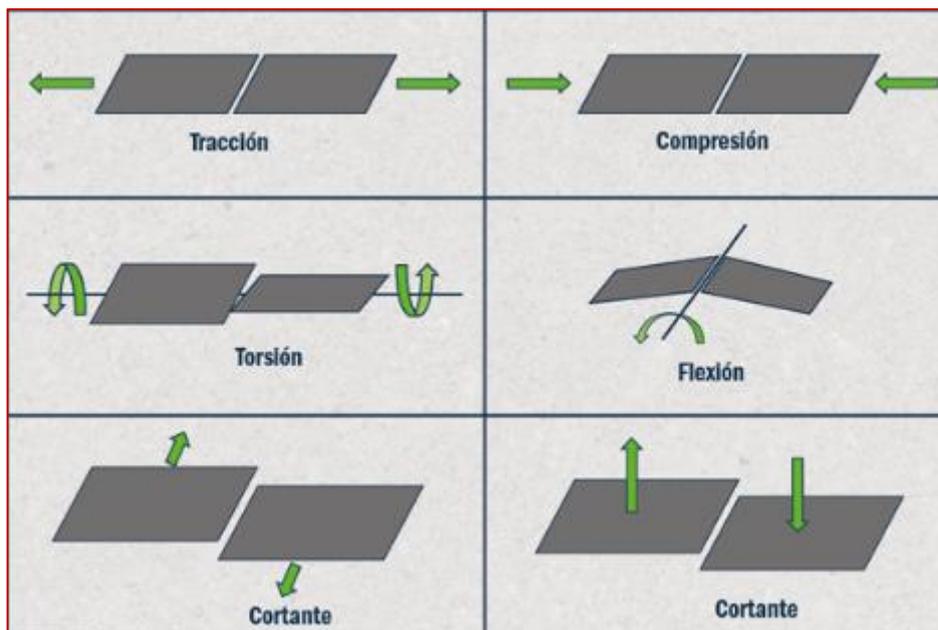
Fuente: Diseño de Estructuras

- **Losa de Concreto Simple (JPCP)**, pavimento construido con concreto simple y con juntas de contracción espaciadas de manera

continua, barras de refuerzo o mecanismos de agarre son usados para transferir la carga de una capa a otra.

- **Losa de Concreto Reforzado (JRCP)**, las losas son reforzadas con barras de acero, que, aunque no aumentan la capacidad portante de la losa, aumenta el espaciamiento de las juntas.
- **Pavimento Continuamente Reforzado (CRCP)**, proceso mecanizado en la cual se elimina las juntas de contracción.

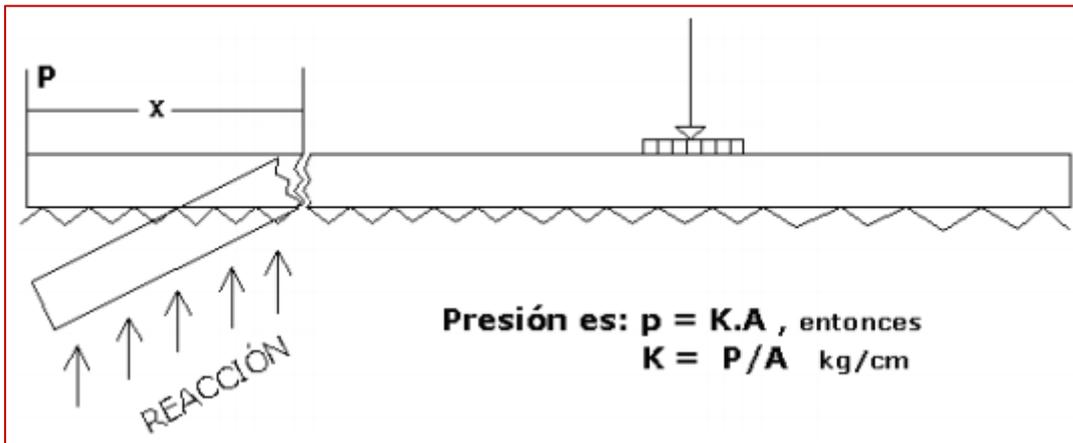
Figura 7: Tipos de esfuerzos presentes en juntas



Fuente: Diseño de Estructuras

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.

Figura 8: Esquema de esfuerzos debido a las cargas



Fuente: Diseño de Estructuras

2.2.1.2.2 Funciones de las distintas capas de un Pavimento Rígido

Sub Rasante:

Se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

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.

Base:

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

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 desificación que ocurre en las bases granulares bajo el tráfico.

Capa de Rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construido 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 sub rasante, dado que no usan capa de base.

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.

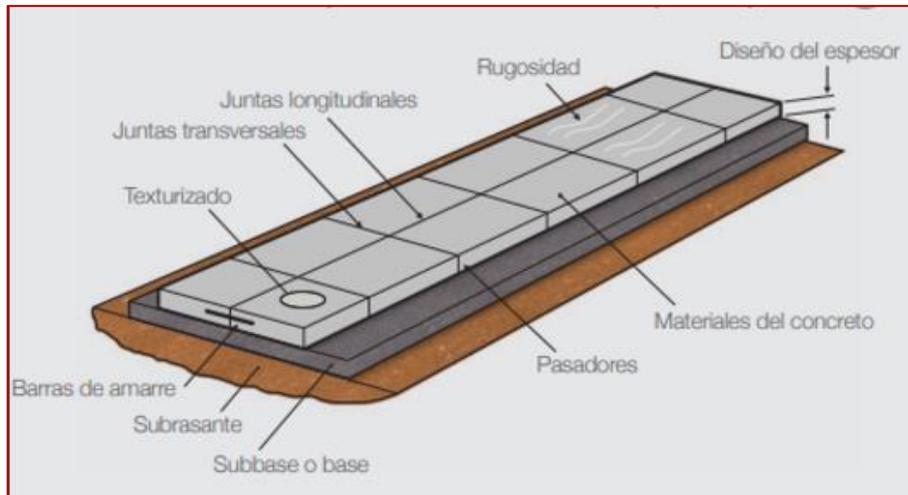
2.2.1.2.3 Patología de un Pavimento Rígido

Se entenderá entonces una patología estructural como la presencia o evidencia de fallas o comportamientos irregular en una pavimentación, con las cuales, no se puede garantizar la seguridad de la misma.

- Identificar cual es el comportamiento defectuoso.
- Realizar una investigación de las posibles causas de ese comportamiento irregular.
- Plantear acciones inmediatas.

2.2.1.2.4 Componentes principales de un Pavimento Rígido

Figura 9: Componentes principales del sistema



Para determinar que un pavimento tenga la durabilidad el cual tiene que estar reflejada en el costo se debe tener en cuenta el diseño del pavimento en base a los programas y guías para así determinar el buen material fabricado para su utilización en el proyecto.

Ilustración 1: Métodos de Diseño a emplear

Método AASHTO 1993.

Equación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): Reliability (R) [dropdown], So [input]

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial [input], PSI final [input]

Módulo resiliente de la subrasante: Mr [input] psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (ksi) [input] Coeficiente de transmisión de carga - JI [input]

Módulo de rotura del concreto - Sc (ksi) [input] Coeficiente de drenaje - ICd [input]

Tipo de Análisis: Calcular SN Número Estructural: SN = [input]

Calcular W18 W18 = [input]

Botones: Calcular, Salir

METODO CEMENTO PORTLAND

adocem

GUÍA PARA EL DISEÑO DE VÍAS DE ALTO VOLUMEN

PAVIMENTOS RÍGIDOS

civilgeeks.com

Preparado por: EPZA LABCO

En base a los cálculos de diseño se tiene que tener en cuenta todos los resultados y plasmar en campo el proceso constructivo que debe tener en cuenta todo trabajo.

Perfilado y Preparación de la Sub Rasante

Comprende todas las operaciones necesarias para obtener una superficie de apoyo de la estructura del pavimento (base granular drenante y losa) lisa, compacta y homogénea, que responda a los perfiles y a la nivelación del terreno.

Preparación de la Sub Base

El material selecto o de sub base consistirá de ripio o de material del tipo afirmado con arena, piedra desintegrada u otros, materiales similares aprobados por el inspector o supervisor, no deberá contener terrones de arcilla, materiales vegetales ni otras sustancias objetables.

El material selecto debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

- Porcentaje que pasa el tamiz de 76.2mm: 100%.
- Porcentaje que pasa el tamiz N°4: 35% mínimo y 80% máximo.
- Porcentaje que pasa el tamiz N°200: 25% máximo.
- Índice de plasticidad: no mayor de 10.
- Límite Líquido: no mayor de 40%.
- Equivalente de arena: mayor de 25%.
- Valor de Soporte (CBR) a densidad máxima y humedad óptima: mayor de 25%.

Compactación de la Base

La construcción de la base deberá ajustarse a los perfiles longitudinales y transversales del proyecto y cubriendo un ancho mayor al que la calzada de a lo menos 10cm a ambos costados.

Los materiales apilados deberán mezclarse por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesaria, tras lo cual se extenderán uniformemente. Durante el tendido, deberá cuidarse de evitar cortes en la capa subyacente. La operación deberá continuar hasta que el material haya alcanzado por lo menos un 95% de la densidad máxima seca dada por el ensaye del Proctor Modificado.

Colocación de Moldes o Formaletas (encofrado)

Los cuales se apoyarán perfectamente en sus bases, serán unidos entre si de manera rígida y efectiva y su fijación al terreno se realizará mediante clavos o estacas que impidan toda movilidad de los mismos.

Ensayos previos en el Laboratorio

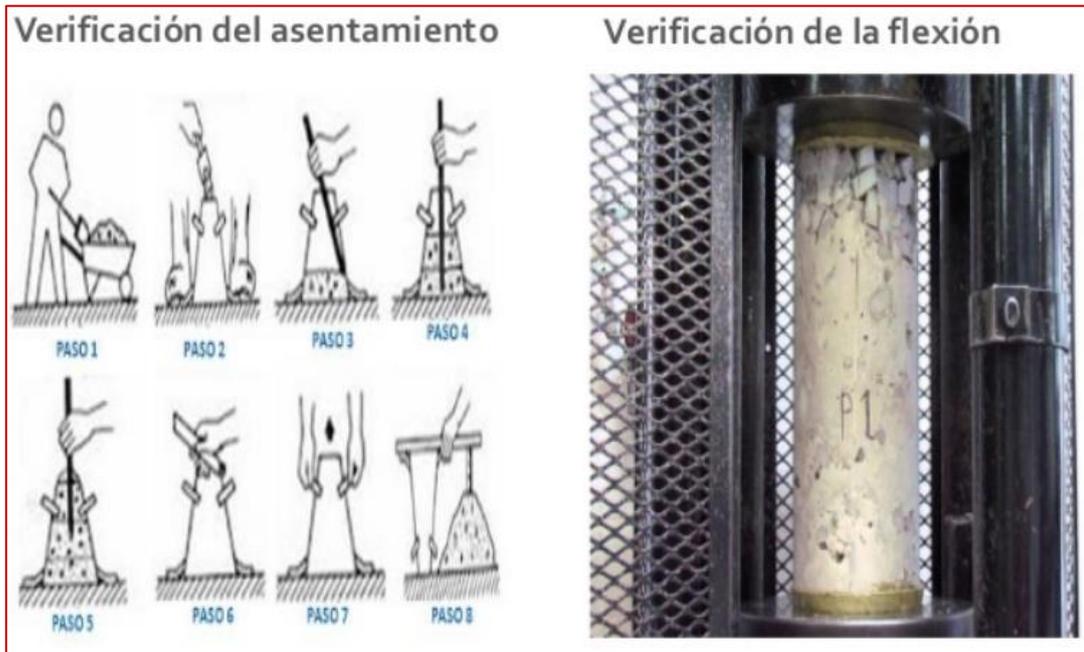
- Se realizará antes de comenzar con el vaceo del pavimento.
- Su objeto es establecer la dosificación que habrá de emplearse, teniendo en cuenta los materiales disponibles y las condiciones de ejecución prevista.

Ensayos característicos en obra (moldes – probetas)

- Estos ensayos serán preceptivos en todos los casos.
- Tienen por objeto comprobar que los medios disponibles en obra permiten obtener una mezcla con las características exigidas.

Calidad de Concreto

Ilustración 2: Verificación de la calidad del concreto



Colocación del Concreto

Sobre la base granular especificada, se colocará el concreto inmediatamente elaborado en la obra o recién llegado de la planta en camiones o mixell concreteros, en descargas sucesivas distribuyéndolo en todo el ancho de la calzada o faja a colocar el concreto y con un espesor tal que al compactarlo resulte el indicado en los planos del proyecto.

Ilustración 3: Colocación del Concreto



Distribución del Concreto

La distribución, vibración y consolidación, se ejecutarán en forma tal que una vez realizadas estas operaciones y las de terminación, la superficie del pavimento presenta la forma y niveles indicados en los planos y quede libre de zonas localizadas con depresiones o relieve.

Ilustración 4: Vibración para asentado del concreto



Micro texturizado del Concreto

Ilustración 5: Acabado del Concreto



Curado del Concreto

Se recomienda el uso de un compuesto de curado de marca aprobado que sea colocado con rociador mecánico en cuanto desaparezca el brillo (agua de sangrado), de la superficie del concreto, se homogeneizará en forma adecuada el compuesto de curado y se colocará en una capa uniforme en toda la superficie y los bordes de la losa.

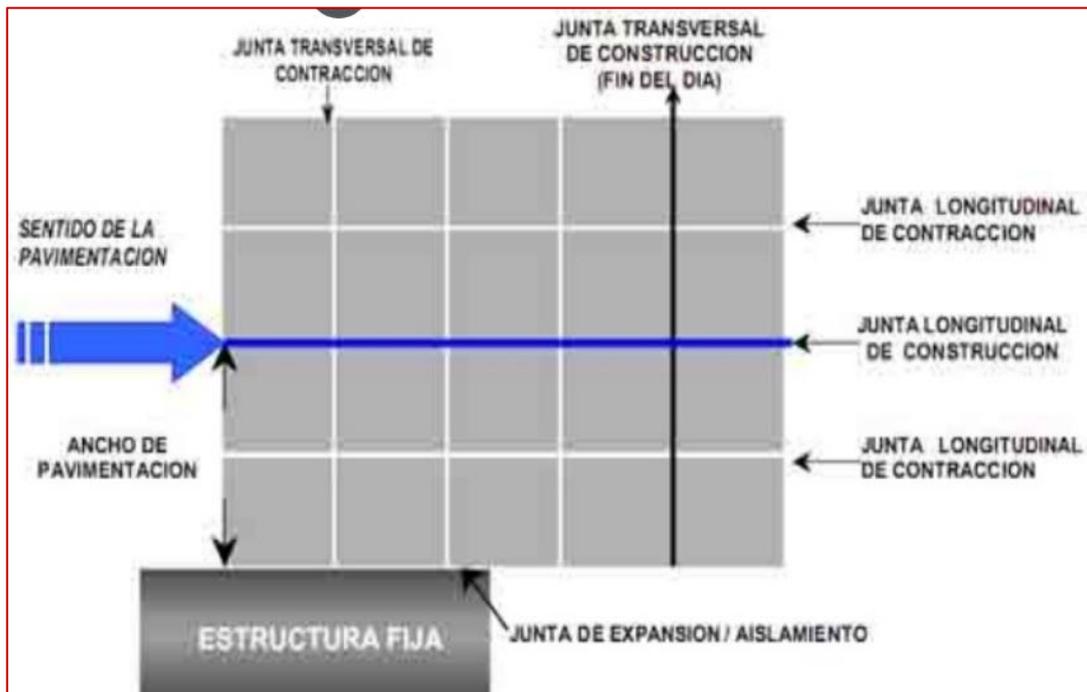
Ilustración 6: Proceso de Curado



Juntas

Las juntas a construir serán del tipo y dimensiones indicadas en los planos y demás documentos del proyecto, la junta longitudinal se construirá sobre el eje del pavimento, las juntas transversales forman ángulos rectos con dicho eje. Las juntas terminadas y controladas en la superficie del pavimento, deben ser rectas no admitiéndose desviaciones mayores de 3mm, en 3m de longitud.

Ilustración 7: Distribución de Juntas



Juntas Longitudinales – Transversales de Construcción

En la colocación de los pasadores el ejecutor dispondrá de canastillas armaduras subsidiarias que permitan afirmarlos cuidadosamente e impedir que la posición en que se exige sea colocada, sufra la menor variación durante el moldeo, compactación y vibrado del concreto de las losas del pavimento.

Ilustración 8: Colocación de juntas

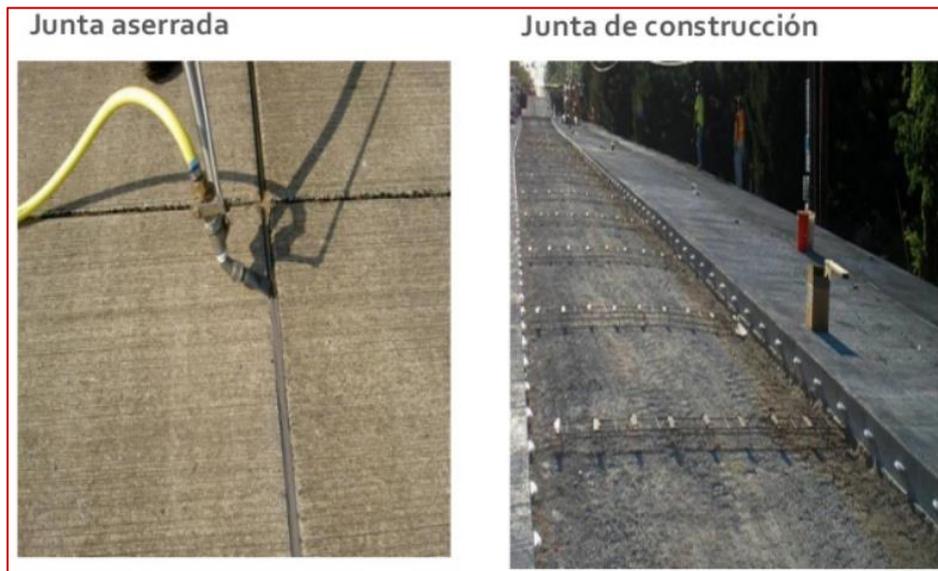


Ilustración 9: juntas de transferencia



Limpieza y Sellado de Juntas

Ilustración 10: Limpieza de pavimento y juntas

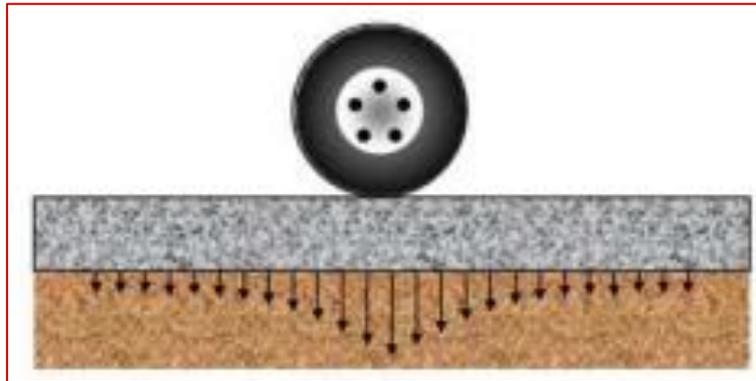


Ilustración 11: Sellado de Juntas



La alta rigidez del pavimento de concreto le permite mantenerse como una placa y distribuir las cargas sobre un área mayor de la sub rasante, transmitiendo presiones muy bajas a las capas inferiores. Por si misma, la losa proporcionará la mayor parte de la capacidad estructural del pavimento rígido.

Ilustración 12: Fuerzas actuando en el pavimento rígido



Método AASHTO

Este método se basa en el uso de una ecuación empírica, desarrollada por la observación de algunos pavimentos de hormigón estudiados durante ensayos de la AASHTO sobre carreteras. Para este método, la fórmula de diseño a emplear, haciendo uso de los nomogramas, es la siguiente:

Donde:

$$\text{Log}_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \text{Log}_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \times \text{Log}_{10} \left[\frac{M_i C_{dk} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right]$$

W82 = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño.

Zr = Desviación normal estándar.

So = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

Pt = Índice de serviciabilidad.

Mr = Resistencia media del concreto (en MPa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz).

Cd = Coeficiente de drenaje.

J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

Ec = Módulo de elasticidad del concreto, en MPa.

k = Módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, sub base o sub rasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

El método considera los siguientes factores de diseño:

- a. Aspectos ambientales
- b. Tráfico expresado en ejes equivalentes
- c. Características de la Subrasante
- d. Materiales del pavimento

a) Aspectos ambientales: Dos aspectos que influyen sobre el pavimento son la humedad y la temperatura. La humedad afecta al suelo y las capas granulares del pavimento. Y la temperatura puede afectar la capacidad de carga, especialmente cuando se tiene base tratada con asfalto, también cuando hay temperaturas frías bajo 0°C y a la vez humedad, el congelamiento y descongelamiento tiene efectos negativos en el pavimento.

b) Tráfico expresado en ejes equivalentes: Se describen los criterios a tener en cuenta en la determinación del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes para diseño. No obstante, el Ingeniero Proyectista podrá proponer este tipo de pavimentos con adoquines de concreto para un mayor Número de Repeticiones de EE previa justificación y sustento técnico.

c) Características de la Sub rasante: Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento, están definidas en seis (06) categorías de subrasante, en base a su capacidad de soporte CBR.

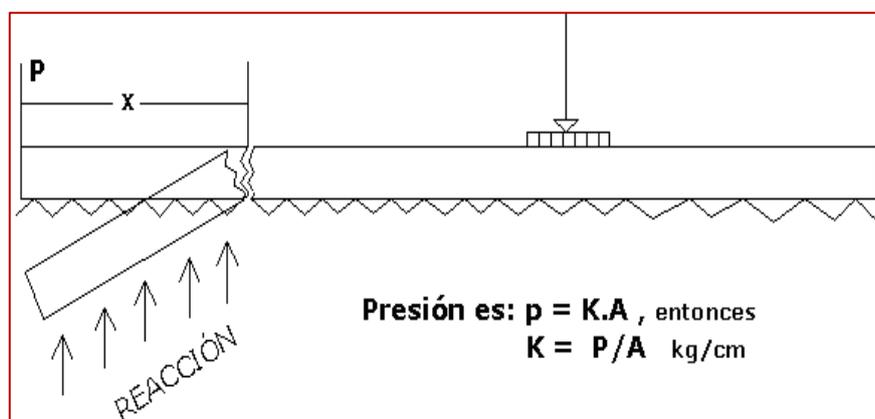
Tabla 2: Categoría de Sub rasante

CATEGORIAS DE SUB RASANTE	CBR
S_0 : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S_1 : Sub rasante Insuficiente	De CBR \geq 3% A CBR < 6%
S_2 : Sub rasante Regular	De CBR \geq 6% A CBR < 10%
S_3 : Sub rasante Buena	De CBR \geq 10% A CBR < 20%
S_4 : Sub rasante Muy Buena	De CBR \geq 20% A CBR < 30%
S_5 : Sub rasante excelente	CBR \geq 30%

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos – Pág, 120

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geo sintéticos u otros productos aprobados por el MTC, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.

Ilustración 13: Esquema de esfuerzos debido a las cargas.



2.2.1.3 Pavimento Flexible

Se denomina pavimento flexible a aquellas cuya estructura total se flexiona dependiendo de las cargas que transmiten sobre él.

Este tipo de pavimento está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

En general, están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub base las que usualmente son de material granular. Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante en las capas superiores donde los esfuerzos son mayores, se utilizan materiales con mayor capacidad de carga y en las capas inferiores donde los esfuerzos son menores, se colocan materiales de menor capacidad. El uso de materiales con menor requerimiento permite el uso de materiales locales, dando como resultado diseños más prácticos.

Pavimento flexible, está construido con materiales débiles y menos rígidos (que el concreto), más deformables, que transmiten a la subrasante las cargas de manera más concentrada, distribuyendo el total de la carga en menos área de apoyo. Por lo tanto, el pavimento flexible normalmente requiere más capas y mayores espesores para resistir la transmisión de cargas a la subrasante.

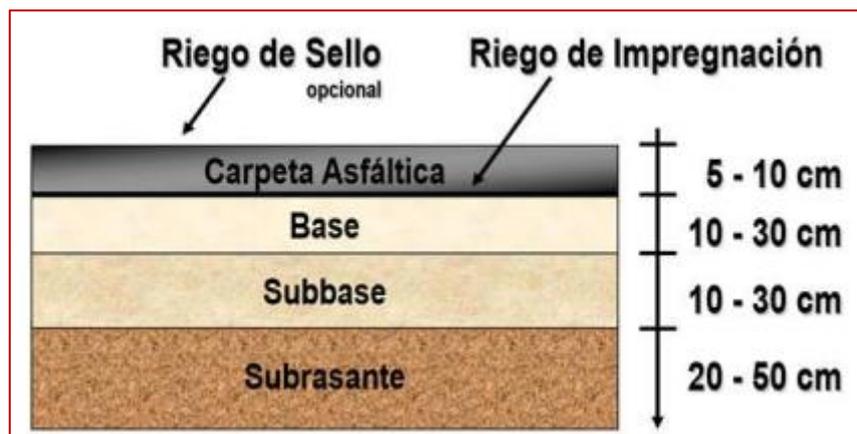
Está caracterizado por poseer una carpeta de ruedo elaborada con concreto asfáltico, o también llamada mezcla asfáltica en caliente, el cual es producido en plantas asfálticas. Además, está compuesta por una base granular y una sub base granular. En los pavimentos flexibles las capas están colocadas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

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

Un pavimento flexible es una carpeta asfáltica, la cual proporciona la superficie de rodamiento. Las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y de cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.

En general, están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular.

Ilustración 14: Corte Transversal

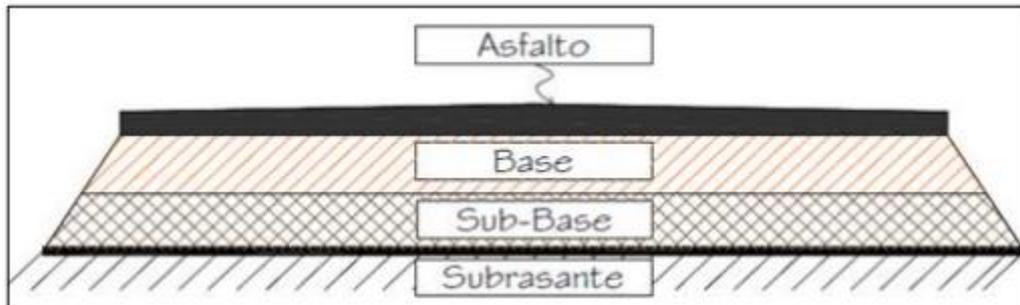


El diseño de pavimentos flexibles incluye la superficie con concretos o mezclas asfálticas. El concepto del diseño de pavimentos flexibles es determinar primero el espesor de la estructura, basado tanto en el nivel de tránsito como en las propiedades de los materiales.

Llamado también pavimento asfáltico, conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle; la base y la subbase todas apoyadas sobre la sub rasante. (Leguía & Pacheco, 2016). Resulta más económico el pavimento flexible durante su ejecución inicial, con un periodo de vida de entre 10 a 15 años, más

requiere de mayor mantenimiento para cumplir su vida útil en comparación con el pavimento rígido.

Ilustración 15: Sección Típica de un pavimento flexible



Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento asfáltico. En nuestro medio es conocido simplemente como asfalto. Recibe el nombre de pavimento flexible por las propiedades de la carpeta de asfalto que absorbe en menor grado las cargas vehiculares en comparación al pavimento rígido.

Debido a la naturaleza flexible de la carpeta de rodadura, las cargas vehiculares se distribuyen en una forma menos eficiente, por ello, requieren un mayor número de capas granulares para hacer eficiente la transmisión de cargas al suelo de cimentación. Usualmente, necesitan además de la sub base, una capa granular de mayor calidad que recibe el nombre de base.

El pavimento flexible se puede dividir de acuerdo a las características y composición de la mezcla, en frío o en caliente.

a) Mezclas Asfálticas en Caliente

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerante bituminoso minerales que deben cumplir con requisitos especificados en las normas mezclados mediante procedimientos controlados en caliente que darán como resultados un material con propiedades y características definidas, debido al uso en nuestro país será este tipo de mezclas la que abordaremos en este estudio.

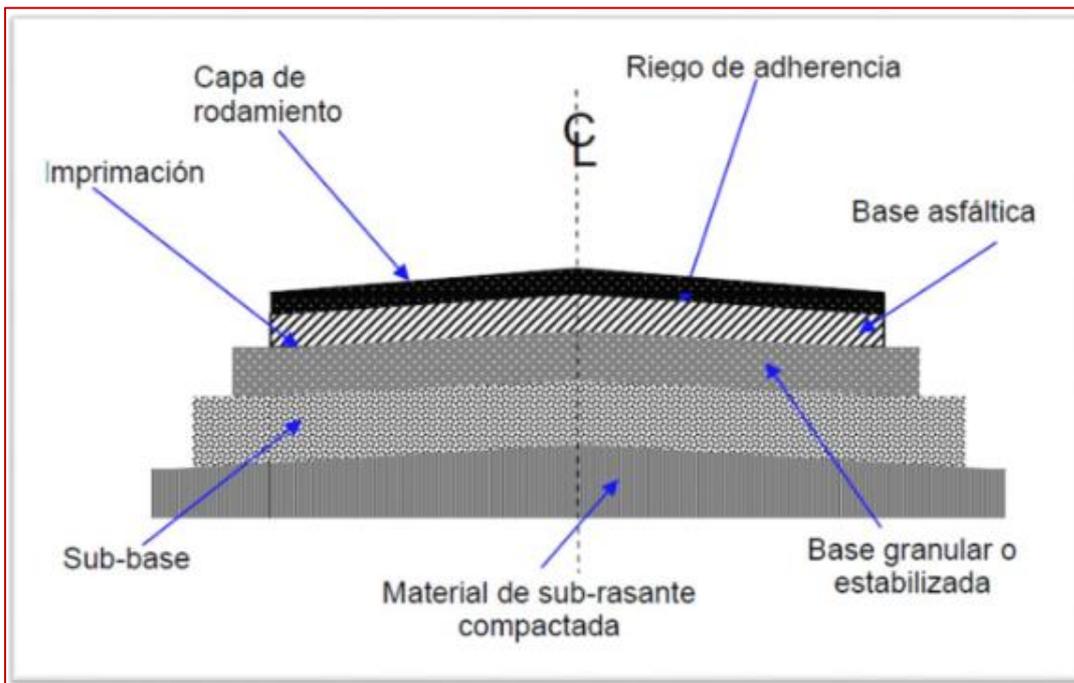
b) Mezcla Asfáltico en Frio

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminoso emulsificador o asfaltos rebajados. Es un tipo de pavimento construido por la combinación de agregados pétreos y un relleno mineral (filler), de ser necesario con un asfalto emulsionado catiónico o diluido con solvente, cuya mezcla, aplicación y compactación se realiza en frío (condiciones ambientales).

El ligante puede ser precalentado hasta no más de 600C, el resto de las operaciones, se llevan a cabo a temperatura ambiente. Los agregados pétreos no requieren secado ni calentado, es decir, que se emplean tal como se presentan en el acopio, con su humedad natural, estas mezclas también pueden ser elaboradas en la misma planta que se realizan las mezclas asfálticas en caliente, prescindiendo para ellas del sistema de calefacción para el secado de los áridos y el calentamiento circulación del asfalto.

Por otro lado, un pavimento flexible cuenta con una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Este pavimento está compuesto de una carpeta asfáltica, base granular y capa de sub base. **Es más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de 10 a 20 años.** Requiere de un mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

Ilustración 16: Elementos que conforman la estructura de pavimento



La capa de rodadura de un pavimento flexible puede construirse con un hormigón bituminoso, mezclas de arena y betún, o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos. Está sometida a los esfuerzos máximos y condiciones más severas impuestas por el clima y el tráfico.

La capa de base se compone generalmente de áridos, que han sido tratados o no con cemento portland, cal, asfalto u otros agentes estabilizantes. Esta capa tiene como principal función, la de soportar las cargas aplicadas y distribuir estas cargas a la sub base o al terreno.

La capa de sub base se compone de materiales menor calidad y costo que los empleados en la capa de base. Se componen de materiales estabilizados o no, o de terreno estabilizado.

Las sub bases transmiten cargas al terreno y en algunos casos pueden actuar de colaborador del drenaje de las aguas del subsuelo y para prevenir la acción destructiva de las heladas.

Elementos que integran el Pavimento Flexible

Este tipo de pavimento está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra y de acuerdo a la importancia de la carretera según la demanda del tránsito.

Superficie de rodadura o carpeta de rodamiento

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 superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por el impulso y las rodadas bajo la carga de tránsito. Además, sirve para impedir la entrada de cantidades excesivas del agua superficial a la base y las terracerías directamente desde arriba.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento absorbiendo cargas. La superficie de rodadura se puede construir a base de; mezclas asfálticas en frío, en calientes, riegos asfálticos, sellos asfálticos. La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

La capa superficial de una estructura flexible consiste de una mezcla de agregados y materiales bituminosos colocada en la parte superior y usualmente construida sobre una capa de base. Además de su función principal como una parte estructural del pavimento, debe también ser diseñada para resistir las fuerzas abrasivas del tráfico, reducir la cantidad de agua superficial que pueda penetrar en el pavimento, proveer una superficie resistente al patinaje y proporcionar una superficie de manejo lisa y uniforme.

El éxito de una capa superficial depende del grado con que se obtenga una mezcla con la óptima gradación de agregados y porcentajes de ligantes bituminoso, para ser durable y resistir la rotura y el desagüe superficial, sin volverse inestable bajo las cargas del tráfico y las condiciones climáticas esperadas. El uso de un procedimiento de laboratorio es esencial para asegurar que una mezcla sea satisfactoria.

Las capas superficiales son usualmente preparadas con cemento asfáltico en plantas de mezcla en caliente, aunque también se han obtenido comportamientos satisfactorios con las mezclas de planta en frío con asfaltos líquidos o con emulsiones asfálticas. Las mezclas de plantas en caliente, por ejemplo, el concreto asfáltico está recomendadas para ser usadas sobre carreteras de tráfico moderado o pesado.

Las especificaciones de construcción usualmente requieren que se aplique un material bituminoso sobre las capas de base de agregados no tratados, como un revestimiento primario, sobre las capas de bases tratadas y entre capas intermedias de la capa superficial, para servir como una capa de imprimación.

Es particularmente importante que las capas superficiales sean apropiadamente compactadas durante su construcción.

Una compactación inapropiada de la capa superficial originará una variedad de tipos de daños que tienden a reducir la vida y sobre todo el nivel de comportamiento del pavimento. Los tipos de daños que están con frecuencia relacionados con una compactación insuficiente durante la construcción incluyen ahuellamientos resultantes de una desinfección debido al tráfico, fallas estructurales resultantes de un exceso de infiltración de las aguas superficiales a través de la capa superficial y agrietamiento de la capa superficial como resultado del ligante bituminoso por exposición de la mezcla al aire y al agua.

Deben establecerse criterios específicos para la compactación en base a la experiencia local. Densidades máximas teóricas de 92% o más, son algunas veces especificadas para mezclas de gradación lenta.

Base

Es una capa (o capas) de muy alta estabilidad y densidad. Su principal propósito es el de distribuir o “repartir” los esfuerzos creados por las cargas rodantes que actúan sobre la superficie de rodamiento para que los esfuerzos transmitidos a la sub rasante no sean tan grandes que den por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de la capa de cimentación. Las características de la base no pueden permitir que sea dañada por el agua capilar ni por la acción de las heladas, ya sea que actúen por separado o en forma conjunta. Los materiales de que disponga la localidad se utilizarán ampliamente en la construcción de la base, y los materiales preferidos para este tipo de construcción varían de manera notable en las partes diferentes del país.

La capa de base es la porción de la estructura de pavimento inmediatamente debajo de la capa de superficie, se construye sobre la sub base directamente sobre la sub rasante, su función más importante en el pavimento es el soporte estructural, comúnmente consiste de agregados tales como piedra chancada, escoria chancada, grava chancada y arena o combinaciones de estos materiales.

Puede usarse tratada o sin tratar, con aditivos estabilizantes apropiados, tales como cemento portland, asfalto, cal, por ejemplo, las bases puzolánicas estabilizadas. Las especificaciones para material de base son generalmente apreciablemente más estrictas que las especificaciones para material de sub base, en lo que respecta a los requerimientos de resistencia, plasticidad y gradación.

Para el uso de este procedimiento de diseño, el material de base debe estar representado por un coeficiente de capa (a_2), de tal manera que su espesor actual puede ser convertido a un número estructural.

Sub Base

En muchos pavimentos de alta resistencia, es frecuente que se coloque una sub base de material seleccionado entre la base y la terracería. La superficie de rodamiento puede variar en un espesor desde menos de 1 pulgada en el caso del tratamiento bituminoso superficial usado por su bajo costo en caminos de tránsito ligero, hasta 6 pulgadas o más de concreto asfalto usado para caminos de tránsito pesado.

La capa de sub base es la porción de la estructura de pavimento flexible, entre el suelo de fundación preparado y la capa de base. Comúnmente consiste de una capa compactada de material granular, tratado con un aditivo apropiado. Además de su posición en el pavimento, se distingue el material de base por tener requerimientos menos críticos estrictos de especificación en la resistencia, plasticidad y gradación.

El material sub base deberá ser de mejor calidad que el suelo de fundación. Por razones de economía, la sub base es frecuentemente omitida si los suelos de fundación son de alta calidad.

Cuando los suelos de fundación son de relativamente pobre y el procedimiento de diseño indica que se requiere de un espesor considerable de pavimento, deberían prepararse algunas alternativas de diseño para la sección estructural, con o sin sub base. La solución de una alternativa puede entonces hacerse en base a la disponibilidad y costos relativos de materiales apropiados para base y sub base, debido a que los materiales de más baja calidad pueden usarse en las capas más inferiores de una estructura de pavimento flexible, el uso de una capa de sub base es frecuentemente la solución más económica para la construcción de pavimentos sobre suelos de fundación pobre.

Para su empleo en este procedimiento de diseño, el material de sub base si es que este presente requiere del uso de un coeficiente de capa (a_3), a fin de convertir su espesor actual a un número estructural (SN).

Sub Rasante

La sub rasante es la capa de cimentación, la estructura que debe soportar finalmente todas las cargas que corren sobre el pavimento. En algunos casos, esta capa estará formada solo por la superficie natural del terreno. La característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la sub rasante se conoce como módulo de Resiliencia. A cada uno de los elementos de la estructura del pavimento debemos conocer las Propiedades de los materiales para base, sub base y sub rasante. Los materiales utilizados para los elementos de la estructura del pavimento deben ser caracterizados de acuerdo a la norma ASTM (American State Test Materials).

El suelo de fundación preparado es una capa de suelo de fundación o de material de préstamo seleccionado que ha sido compactado a una densidad especificada.

Funciones de la capa de un pavimento flexible

a) Sub Base Granular

- **Función Económica:** Una de las principales funciones de esta etapa es netamente económico, en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la sub rasante sea igual o menor que su propia resistencia.
- **Capa de Transición:** La sub base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la sub rasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la sub rasante le contaminen y perjudica su calidad.
- **Disminución de las deformaciones:** Algunos cambios volumétricos de la capa sub rasante generalmente asociados a cambios en su contenido de agua o a cambios extremos de temperatura, el cual se reflejan en la superficie de rodamiento.

- **Resistencia:** La sub base debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidos a un nivel adecuado a la sub rasante.
- **Drenaje:** En muchos casos la sub base debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

b) La Base Granular

- **Resistencia:** La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que trasmita a la sub base y a la sub rasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
- **Función Económica:** Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la sub base respecto a la base.

c) Carpeta Asfáltica

- **Superficie de rodamiento:** La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- **Impermeabilidad:** Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- **Resistencia:** Su resistencia es la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

Tipos de fallas en los pavimentos flexibles

➤ Piel de Cocodrilo

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito.

El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas.

Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0,60 centímetros.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión (un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado de ahuellamiento.

Figura 10: Piel de cocodrilo con nivel de severidad



➤ **Niveles de Severidad**

Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.

Figura 11: Nivel de severidad



3. CAPITULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los trabajos relacionados a pavimentaciones que vienen desarrollándose por varios años en la Localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, San Martín, no cuentan con metodologías propias que se adecuen a las diferentes variedades tipos de evaluaciones con respecto al tiempo y costo de cada una de las obras que se ejecutan mediante pavimentos rígidos y flexibles, es por eso que han aplicado metodologías que fueron desarrollados por especialistas en diversas partes del mundo los cuales se desarrollaron investigaciones puntuales como problemas de tiempo y costo adecuadas a las condiciones que se asemejan a nuestra localidad.

En general los diferentes proyectos de construcción de pavimentos se orientan a determinar en secuencia lógica en la evaluación de ambos pavimentos y dar así de esta forma una correcta evaluación del tiempo y costo en el proceso constructivo, entre los pavimentos rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas en la Localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, San Martín, de esta manera se establece del porqué de las autoridades vienen elaborando diferentes proyectos en las diferentes calles de la localidad que se vienen ejecutando con pavimento flexible.

Entre los años 2010 y el 2018 se estableció como meta colocar pavimento rígido y flexible dentro de la localidad, priorizando las calles cercanas a la plaza con pavimento rígido por la influencia vehicular cercanas a ella y con pavimento flexibles por las calles y pasajes por tener tránsito livianos, y en general se estableció para este proyecto hacer una evaluación de ambos pavimentos y así tener un control de los tiempos y costos al momento de su ejecución, cabe entender que esta evaluación bien sea por la entidad como para terceros donde se podría evitar tiempos y costos en contra de la población y mano de obra.

3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo se determinará la Evaluación del Tiempo y Costo en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia y departamento de san Martín?

3.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál será el Tiempo que varía en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia y departamento de San Martín?

¿Cuál será el Costo que varía en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia y departamento de san Martín?

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el Tiempo y Costo que varía en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia y departamento de san Martín

3.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el Tiempo en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia y departamento de san Martín.
- Determinar el Costo que varía en el proceso constructivo, entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la

localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia y departamento de san Martín.

3.4 HIPÓTESIS

Si existe una relación significativa entre el tiempo y costo de los procesos constructivos entre los pavimentos: rígidos y flexibles en la ejecución de vías urbanas, en la localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia y departamento de san Martín.

3.5 VARIABLES

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Es el Tiempo y Costo en el proceso constructivo en ambos pavimentos (flexibles y rígidos).

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Proceso Constructivo.

4. CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

4.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo descriptivo.

4.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

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

4.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

4.2.1. POBLACIÓN

Las Vías Urbanas de la Localidad de Pelejo, Distrito de El Porvenir, provincia de San Martín, Región de San Martín.

4.2.2. MUESTRA

Para el presente estudio se tomará las muestras del Jr. Huallaga C1 – C3, Jr. San Martín C1 – C3, Jr. 28 de Julio C2, Jr. Loreto C2, de la localidad de Pelejo, Distrito de El Porvenir, Provincia de San Martín – Región San Martín”

4.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.3.1. TÉCNICAS

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

4.3.2. INSTRUMENTOS

Formatos, reglamentos y normas que se utilizan para la construcción de los dos tipos de pavimentos. (Flexible y Rígido).

4.3.3. PROCEDIMIENTOS

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

4.4. 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.

5. CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 RESULTADOS

5.1.1 ESTUDIO DE TRÁFICO

El estudio de Tráfico de los Jr. Huallaga C1 – C3, Jr. San Martín C1 – C3, Jr. 28 de Julio C2, Jr. Loreto C2, de la localidad de Pelejo, Distrito de El Porvenir, Provincia de San Martín – Región San Martín

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.

5.1.1.1 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 C1 – C3, Jr. San Martín C1 – C3, Jr. 28 de Julio C2, Jr. Loreto C2, 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 tesistas y el asesor.

5.1.1.2 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.

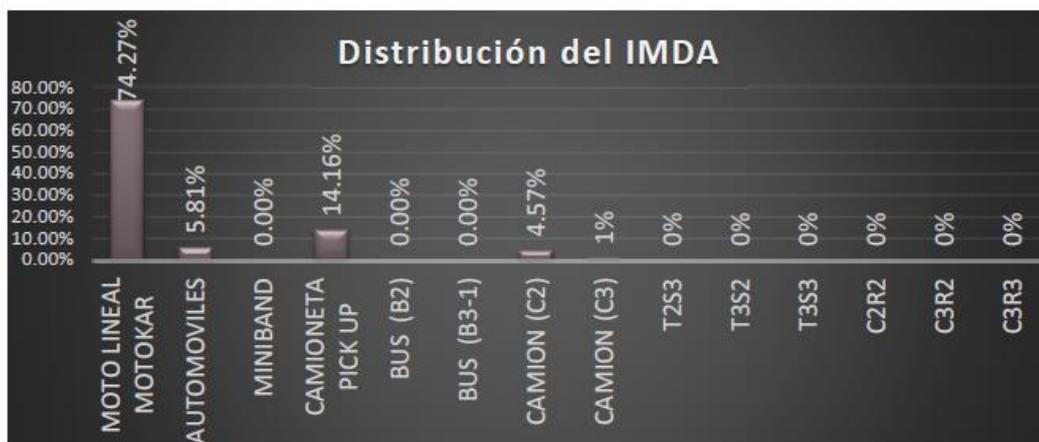
5.1.1.3 EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE CAMPO

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

5.1.1.4 RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de los datos obtenidos en los conteos y clasificación vehicular en campo, se procedió a analizar la consistencia de la misma. En el siguiente cuadro se resumen los recuentos de tráfico y la clasificación diaria para cada sentido y total en ambos sentidos.

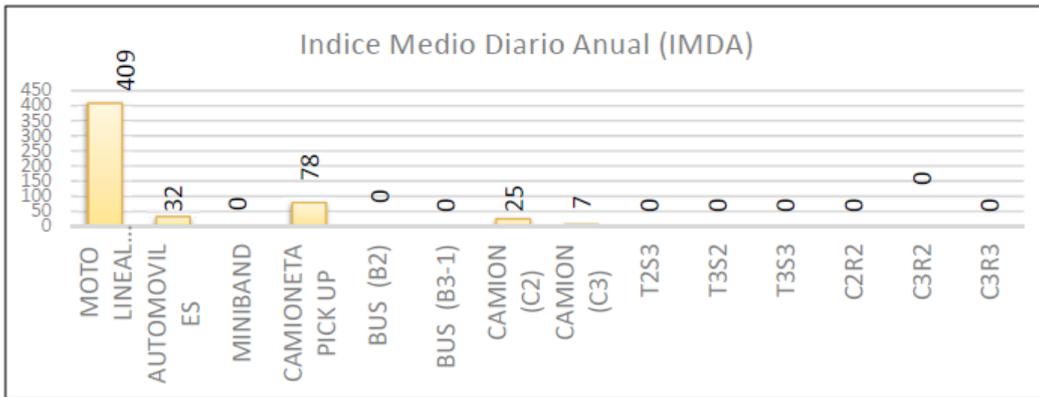
Ilustración 17: Distribución del IMDA



5.1.1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Jr. Huallaga C1 – C3, Jr. San Martín C1 – C3, Jr. 28 de Julio C2, Jr. Loreto C2, de la localidad de Pelejo, Distrito de El Porvenir, Provincia de San Martín – Región San Martín, se registró un Índice Medio Diario de 32 vehículos diarios.

Ilustración 18: Distribución del IMDA



5.1.1.6 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.

Ilustración 19: Volumen de Tráfico Diario



5.1.1.7 ÍNDICE DE TRÁFICO PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

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

El Índice Medio Diario Anual (IMDA), se obtiene multiplicando el promedio diario de la semana (obtenido del aforo en campo), por el

factor de corrección del mes de marzo el que realizó el trabajo de campo.

5.1.1.8 PROYECCIÓN DEL TRÁFICO

El tipo de intervención en proyectos viales por lo general ha obedecido a criterios relacionados con el diseño o con el tipo de intervención planteada en el proyecto (recuperación, mejoramiento, etc.). Para fines del presente análisis, dicha tipología resulta insuficiente, por lo que es necesario definir previamente una tipología basada en el impacto del proyecto sobre la demanda. A la ejecución del proyecto aparecerá una situación en la cual los únicos efectos que se producirán serán reasignaciones de flujos (tráfico desviado) de las vías aledañas. Esto será debido a que el proyecto busca mejorar sustancialmente las características físicas y operacionales de los Jr. Huallaga C1 – C3, Jr. San Martín C1 – C3, Jr. 28 de Julio C2, Jr. Loreto C2; dando origen a un cambio de ruta hacia el proyecto de un cierto número de usuarios que originalmente hacían uso de otras rutas. En este caso el tráfico en la situación con proyecto estará compuesto por el tráfico normal.

5.1.1.9 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Existen dos enfoques posibles para la determinación del volumen vehicular en un corte temporal futuro en un sector o tramo de una vía, dentro de estas tenemos las siguientes:

- La primera es la proyección directa del flujo en el arco, mediante la estimación de las tendencias observadas en el pasado.
- La segunda corresponde a la determinación de relaciones funcionales entre el flujo por arco y las variables socio-económicas y descriptoras del sistema económico.

Respecto del primer procedimiento, no existe información estadística o data histórica de tráfico de varios años los Jr. Huallaga C1 – C3, Jr. San Martín C1 – C3, Jr. 28 de Julio C2, Jr. Loreto C2. Por esta razón, se considera utilizar para las proyecciones de tráfico, el segundo procedimiento que es el método de aplicación de tasas de generación de viajes en función de las variables macroeconómicas, para esto utilizaremos la Tasa de Crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI), la Población y el PBI por Habitante. Este método considera la estructura de los flujos de transporte entre pares de zonas, aplicándose la siguiente expresión exponencial por tipo de vehículo

5.1.2 ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE SUELOS

El objetivo del presente, es la elaboración del Estudio de Mecánica de Suelos, Estudios de Canteras de los Agregados para los Diseños de Mezclas de Concreto, en la localidad que forma parte de la investigación, a fin de determinar al tipo de suelo, estratigrafía del suelo, granulometría, indicando de ser el caso el nivel de la napa freática, de tal forma que el trabajo sirva para efectuar al diseño hidráulico.

Los trabajos de campo se orientaron a explorar la superficie de rodadura y el sub suelo (sub rasante), mediante la ejecución de calicatas en el área de estudio. Se tomaron muestras disturbadas de cada una de las exploraciones ejecutadas, las mismas que fueron remitidas a un laboratorio especializado. Los trabajos en el laboratorio se orientaron a determinar las características físicas y mecánicas de los suelos obtenidos del muestreo, las que servirán de base para determinar las características de diseño.

5.1.2.1 EXPLORACIÓN DE SUELOS Y OBTENCION DE MUESTRAS

La mitología practica para conocer el terreno consiste en excavar un pozo a cielo abierto, donde se observan las capas en plena

estratificación, por lo tanto, se ha creído conveniente hacer excavaciones verticales, con el fin de obtener muestras inalteradas y representativas, así como también observar filtraciones, escurrimientos de agua y napa freática.

Se apoyará sobre un lomo inorgánico, semi compacto y de color marrón oscuro, de comprensibilidad media y de alta plasticidad, de expansión alta en condición normal, cuyas características de resistencia están dadas principalmente por el ángulo de fricción de (ϕ) y su cohesión (C) obtenidos del ensayo de Corte Directo.

Ilustración 20: Análisis Químico del suelo

muestra	pH	C.E	sales solubles (ppm)	cloruros (ppm)	sulfatos (ppm)	Prof. (ml)
Calicatas - Capa 02 (Jr. Loreto, San Martin, Arbolito)	4.18	0.31 1	0.00218	0.00315	0.00132	0.20-1.50
Calicatas - Capa 02 (Jr. Malecon Huallaga,etc)	4.23	0.31 9	0.00225	0.00327	0.00139	0.20-1.50

Ilustración 21: Elementos nocivos para la cimentación

elementos Nocivos	Límites Permisibles		Tipo de Cemento Recomendado	Grado de Alteración	Observaciones
	ppm	%			
Sulfatos (*)	0-1,000	0.00- 0.10		Leve	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
	1.000- 2,000	0.10- 0.20	II (IP)	Moderado	
	2,000- 20,000	0.20- 2.00	v	Severo	
	>20,000	>2.00	V mas púnzala	Muy Severo	
Cloruros (**)	>6,000	>0.60		Perjudicial	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación metálicos
Sales Solubles Totales(**)	>15,000	>1.50		Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de asistencia mecánica por problemas de lixiviación
* Comité 318-83 ACI					
** Experiencia Existente					

5.1.2.2 EVALUACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Basados en la vida e inspección del área, así como también apoyado en los resultados de los ensayos de laboratorio, se ha elaborado interpretativamente el perfil astrográfico para casa una de las calicatas.

De los trabajos realizados en el campo y el laboratorio, se deduce las siguientes conformaciones:

Calicata N° 01 (Jr. Loreto – Carretera a Papaplaya)

Un primer estrato de 0.00 a 020 mts. Conformado por materia orgánica o turba, con restos de raíces y palos, de color negro o gris. Suelo no favorable para cimentaciones.

Un segundo estrato de 0.20 a 1.50 mts. Conformado por un limo inorgánico semi compacto, de color marrón con manchas de color plomo, de compresibilidad media y de alta plasticidad con 99.58% de finos (Que pasa la malla N° 200), Lim, Lig,= 53.38% e Ind. Plast.= 18.69%, de expansión alta en condición normal, siendo su clasificación:

MH = A-7-5(20). Esguurrimiento y filtración de agua a partir de 1.50 m de profundidad.

Calicata N° 02 (Jr. San Martín / Jr. Arbolito):

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 mts. Conformado por materia orgánica o turba, con restos de raíces y palos, de color negro o gris. Suelo no favorable para cimentación.

Un segundo estrato de 0.20 a 1.50 mts. Conformado por un limo inorgánico semi compacto, de color marrón con mancha de color plomo, de compresibilidad media y de alta plasticidad con 99.36% de finos (Que pasa la malla N° 200), Lim. Lig.= 57.38% e Ind. Plast.= 19.26%, de expansión alta en condición.

MH = A-7-5(20). Esguurrimiento y filtración de agua a 2.00 m de profundidad.

Calicata N° 03 (Jr. Demetrio Tafur con Jr. Santiago Paredes):

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 mts. Conformado por materia orgánica o turba, con restos de raíces y palos, de color negro o gris. Suelo no favorable para cimentación.

Un segundo estrato de 0.20 a 1.60 mts. Conformado por un limo inorgánico semi compacto, de color marrón con manchas de color plomo, de compresibilidad media y de alta plasticidad con 99.78% de finos (Que pasa la malla N° 200), Lim. Lig. = 56.66% e Ind. Plast = 20.46%, de expansión alta en condición normal, siendo su clasificación:

MH = A-7-5(20). **Escorrimento y filtración de agua a 1.25 m de profundidad.**

Calicata N° 04 (Jr. Huallaga con Jr. 28 de Julio):

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 mts. Conformado por materia orgánica o turba, con restos de raíces y palos, de color negro o gris. Suelo no favorable para cimentaciones.

Un segundo estrato de 0.20 a 1.50 mts. Conformado por un limo inorgánico semi compacto, de color marrón oscuro, de compresibilidad media y de alta plasticidad con 99.43% de finos (Que pasa la malla N° 200), Lim. Lig. = 57.16% e Ind. Plast.= 19.94%, de expansión alta en condición normal, siendo su clasificación:

MH = A-7-5(20).

Calicata N° 05 (Jr. Huallaga con Jr. Arbolito):

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 mts. Conformado por materia orgánica o turba, con restos de raíces y palos, de color negro o gris. Suelo no favorable para cimientos.

Un segundo estrato de 0.20 a 1.40 mts. Conformado por un limo inorgánico semi compacto, de color marrón con manchas de color plomo, de compresibilidad media y de alta plasticidad con 99.83% de finos (Que pasa la malla N° 200), Lim. Lig. = 55.90% e Ind. Plast.= 18.83%, de expansión lata en condición normal, siendo su clasificación:

MH = -7-5(20). Escorrimento y filtración de agua a 1.00 m de profundidad

Calicata N° 06 (Jr. Demetrio Tafur con Jr. Santiago Paredes):

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 mts. Conformado por materia orgánica o turba, con restos de raíces o palos, de color negro o gris. Suelo no favorable para cimentaciones.

Un segundo estrato de 0.20 a 1.80 mts. Conformado por un limo inorgánico semi compacto, de color marrón con manchas de color

plomo, de compresibilidad media y de alta plasticidad con 99.52% de finos (Que pasa la malla N° 200), Lim. Lig. = 54.37% e Ind. Plast = 18.63%, de expansión alta en condición normal.

Siendo su clasificación:

MH = A-7-5(20).

MH = A-7-5(20). Ecurrimiento y filtración de agua a 1.10 m de profundidad.

Calicata N° 07 (Jr. 28 de Julio con Jr. Loreto):

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 mts. Conformado por material orgánica o turba, con restos de raíces y palos, de color negro o gris. Suelo no favorable para cimentaciones.

Un segundo estrato de 0.20 a 1.50 mts. conformado por un limo inorgánico semi compacto, de color marrón oscuro, de compresibilidad media y de alta plasticidad con 99.45% de finos (Que pasa la malla N° 200), Lim. Lig. = 58.34% e Ind. Plast.

= 20.15%, de expansión alta en condición normal, siendo clasificación: MH = A-7-5(20).

Calicata N° 08 (Bz. 12 Jr. San Martin con Jr. Santiago Paredes):

Un primer estrato de 0.00 a 0.20 mts. Conformado por materia orgánica o turba, con restos de raíces y palos, de color negro o gris. Suelo no favorable para cimentaciones.

Un segundo estrato de 0.20 a 3.50 mts. Conformado por un limo inorgánico semi compacto, de color marrón oscuro, de compresibilidad media y de alta plasticidad con 99.40% de finos (Que pasan la malla N° 200), Lim. Lig.= 57.42% e Ind. Plast.= 19.65%, de expansión de alta en condición normal, siendo su clasificación:

MH = A-7-5(20).

5.1.2.3 ANALISIS DE CIMENTACION

Verificado y realizada la exploración y la consistencia del suelo de compresibilidad media, se adoptó calcular la capacidad admisible por

corte local aplicando la teoría de KARL TERZAGHI, la fórmula modificada desde el punto de vista de la exploración superficial.

5.1.2.4 CAPACIDAD DE CERCA ADMISIBLE POR FALLA DE CORTE LOCAL

Capacidad de Cerca Admisible por Falla de Corte Local.

La capacidad última y capacidad admisible de carga serán determinadas aplicando la teoría de Karl Terzaghi, utilizando las siguientes expresiones.

$$q_u = \frac{2}{3} \cdot C \cdot N'_c + \gamma \cdot D_f \cdot N'_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N'_y$$

$$q_{adm.} = q_u / F_s$$

Donde:

- q_u : Capacidad Última de Carga.
- q_{adm} : Capacidad Administrativa de Carga.
- F_s : Factor de Seguridad.
- γ : Densidad Natural o Peso Unitario.
- B : Ancho de la Zapata.
- D_f : Profundidad de la Cimentación.
- C : Cohesión
- N'_c, N'_q, N'_y : Factores Adimensionales.

Calicata N° 01 – Capa N° 01 – A 1.50 m de profundidad:

- Angulo de fricción interna : $\phi = 11^\circ$
- Cohesión : $C = 0.26 \text{ Kg. /cm}^2$
- Detención Natural : $\gamma_n = 1.83 \times 10^{-3} \text{ Kg./cm}^3$
- Nivel Freático : $D_w = -$
- Profundidad de la Cimentación de Zapatas : $D_f = 1.50 \text{ m}$
- Factor de Carga : $N'_c = 8.32$
 $N'_q = 2.08$
 $N'_r = 0.30$
- Factor de Seguridad : $F_s = 3$

5.1.2.5 DETERMINAR LA CARGA DE ROTURA AL CORTE Y FACTOR DE SEGURIDAD.

Calicata N° 05 – Capa N° 05 – A 1.50 m de profundidad:

$$Q_{ad} = \frac{1}{3} \left(\frac{2}{3} \times 0.26 \times 0.32 + 0.00103 \times 250 \times 2.00 + 0.50 \times 0.00103 \times 100 \times 0.30 \right)$$

$$Q_{ad} = 0.81 \text{ Kg. / cm}^2$$

5.1.2.6 CALCULO DE ASENTAMIENTOS

Aplicando el método elástico. Se calculará en Base a la teoría de la elasticidad conociendo el tipo de cimentación superficial recomendado, el asentamiento inicial elástico para:

$$\delta = \frac{q \times B \times (1-u^2)}{Es} \times If$$

Donde:

δ = Asentamiento probable en cm.

q = Esfuerzo neto transmitido en T n/m²

B = Ancho de la cimentación zapata en m

Calicata N° 05 A 1.50 m de profundidad:

$$\delta = \frac{q \cdot B \cdot (1-u^2)}{Es} \times If$$

δ = Asentamiento probable

$$Q = 8.10 \text{ T n/m}^2$$

$$B = 1.00 \text{ m}$$

$$Es = 450 \text{ T n/ m}^2$$

$$u = 0.30$$

$$If = 0.82$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\delta = \frac{8.10 \times 100 \cdot (1-0.30^2)}{450} \times 0.82$$

$$\delta = 1.343 \text{ cm OK } < 2.54 \text{ cm.}$$

5.1.2.7 RESULTADOS OBTENIDOS

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)	

Calicata # Capa #	Calicata N° 03 Estrato N° 03	Calicata N° 04 Estrato N° 02	Calicata N° 05 Estrato N° 02	UNIDAD
Profundidad	1.60 - 4.00	0.20 - 2.20	0.20 – 2.00	Mts
Humedad Natural	34.59	20.33	24.29	%
Granulometría				
% que pasa la malla # 4	100.00	100.00	100.00	%
% que pasa la malla # 10	99.92	100.00	100.00	%
% que pasa la malla # 40	99.61	99.96	99.96	%
% que pasa la malla # 200	99.36	95.37	99.43	%
Limites de consistencia				
Limite Liquido	57.24	55.46	27.16	%
Limite Plástico	35.77	35.57	37.22	%
Indicé de Plasticidad	21.47	19.89	19.94	%
Clasificación SUCS	MH	MH	MH	
Clasificación AASHTO	A-7-5(20)	A-7-5(20)	A-7-5(20)	

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)	

5.1.2.8 AGRESIÓN DEL SUELO 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.

El agua para el uso de la obra, será de los ríos o quebradas adyacentes al proyecto.

5.1.2.9 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.

5.1.2.10 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 3: Ensayos de Laboratorio de Cantera

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
Contenido de Humedad		T265	D2216	Determina los Ensayos de contenido de humedad

Fuente: Expediente Técnico

5.1.3 DESCRIPCIÓN DE CANTERAS

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 (Afirmado, sub base y base), 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 orientaron 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.

Previo a la etapa de exploración se investigaron las canteras utilizadas en proyectos anteriores en la zona y aquellos utilizados por el Gobierno local que ha intervenido en el mantenimiento de la vía y vías adyacentes. Con dicha información se ha realizado el reconocimiento de campo, en toda el área de influencia del proyecto, fijándose las áreas donde existan depósito de materiales inertes cuyas características son aparentemente adecuadas para ser utilizadas como material de agregados para la construcción de las calles.

La cantera propuesta como materiales de construcción para los rellenos estructurales, sub base granular, base granular, concreto

asfáltico y concreto armado son: Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo.

Tabla 4: Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo

Ubicación	Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo.
Acceso	A 200m de la Carretera vía principal
Potencia	>10,000 m ³
Tiempo de Explotación	Tiempo de verano
Tipo de Explotación	Maquinaria convencional
Uso	Trabajos varios del proyecto
Tipo de material	Material de Relleno

Fuente: Expediente Técnico

Este trabajo de investigación tiene por objetivo presentar el estudio y resultado de la cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo, fue elaborado de acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales del proyecto.

Según el estudio realizado de la Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo, hormigón de cerro presenta con CLASF. AASHTO: A-1-a (0) y CLASF. SUCCS: SP – SM.

Tabla 5: Requerimiento de Agregado Fino

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento
Índice Plástico	MTC E 111	4 – 9 % máx.

Tabla 6: Características del material de cantera

Ensayo	Norma MTC	Valores		
		Exigidos	Obtenidos	Chequeo
Índice Plástico	MTC E 111	4 – 9 % máx.	3.40	Cumple

Fuente: Expediente Técnico

El presente trabajo de investigación y en base al expediente técnico del proyecto se realizó para la cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo, lo cual será producida y acopiada en obra, previa aprobación de las mismas.

El material que será usado es la Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo - Hormigón 100%.

Los materiales antes de su uso están siendo zarandeadas por la malla 2” de diámetro. y homogenizar el mezclado para tener una mejor gradación. Característica Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo – Base

Este informe tiene por objetivo presentar el estudio y resultado de la Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo, fue elaborado de acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales del proyecto.

Según el estudio realizado de la Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo - hormigón de cerro presenta con CLASF. AASHTO: A-1-a (0) y CLASF. SUCCS: GP – GM.

Tabla 7: Requerimiento de Agregado Fino

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento
Índice Plástico	MTC E 111	4 – 9 % máx.

Tabla 8: Características del material de cantera

Ensayo	Norma MTC	Valores		
		Exigidos	Obtenidos	Chequeo
Índice Plástico	MTC E 111	4 – 9 % máx.	N.P	Cumple

Fuente: Expediente Técnico

El presente trabajo de investigación y en base al expediente técnico del proyecto se realizó para la Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo, lo cual será producida y acopiada en obra, previa aprobación de las mismas.

El material que será usado es la Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo - Hormigón de Cerro 100%.

Los materiales antes de su uso están siendo zarandeadas por la malla 2” de diámetro. y homogenizar el mezclado para tener una mejor gradación.

Tabla 9: Granulometría y Clasificación de material de Cantera

Propiedades de la Cantera	Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo	Cantera Rio Huallaga – Sector Pelejo	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

Tabla 10: Ensayos de Laboratorio de Canteras

ENSAYO	USO	AASHTO	ASTM	PROPÓSITO
Análisis Granulométrico por tamizado	Clasificación	T27	C136	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 líquidos y plástico
índice plástico	Clasificación	T90	D4318	Hallar el rango contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico
Abrasión (los Ángeles)		T96	C131	Cuantificación de la dureza o resistencia al impacto de los agregados gruesos
Proctor modificado	Diseño de espesores	T180	D1557	Determinación del óptimo contenido de humedad y de la máxima densidad seca del material

Tabla 11: Propiedades Físicos – Mecánicas

Proctor modificado	2.109	Grs./cm3
Óptimo contenido de humedad	6.46	%
Abrasión	29.8	%
Limite liquido	19.31	%
Limite plástico	12.83	%
Índice de plasticidad	6.48	%
% que pasa la malla n°200	6.8	%
Uso propuesto	Relleno estructural	
Tratamiento	Zarandeado	

Tabla 12: Resumen de las características Físicos – Mecánicas

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Valores		
				Exigidos	Obtenidos	Chequeo
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	60 % máx.	29.80%	Cumple
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	35% máx.	19.31%	Cumple
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	9% máx.	6.48%	Cumple

Fuente: Expediente Técnico

5.1.3.1 FUENTES DE AGUA

La fuente de aguas para la producción del concreto será agua potable de la misma localidad y/o de agua de río que este cercano a la zona del Proyecto siempre y cuando se encuentran en buenas condiciones.

Propiedades Químicas

Los ensayos químicos efectuados a las muestras obtenidas, se realizaron con la finalidad de determinar los contenidos de:

- Sólidos en Suspensión
- Cloruros expresados como ion Cl
- Sulfatos expresados como ion SO₄
- Materia Orgánica
- Potencial de Hidrogeno (pH)

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados, con las respectivas tolerancias especificadas.

Tabla 13: 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 ha sido ensayada de acuerdo a normas establecidas. Concluyéndose de que la muestra de agua no contiene sustancias agresivas
Sales Solubles Totales	NTP 339.088	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

La fuente de agua más importante la constituyen los ríos de Pelejo y Huallaga, de los cuales el primero discurre paralelamente al distrito de El Porvenir, mientras que el segundo, se ubica a los márgenes de la Localidad.

Según las fuentes de información de **EMAPA SAN MARTIN**, el agua para concreto y el mezclado de los materiales para capas de relleno, Sub rasante natural, Sub Base, y Base; el **río Huallaga** cumple con las normas técnicas.

Del Estudio de Suelos y Canteras se reproducen los análisis físicos químicos efectuados a muestras de agua:

La alcalinidad se debe generalmente a la presencia de bicarbonatos. Carbonatos e hidróxidos y con menor frecuencia a boro, silicatos y fosfatos, dependiendo del tipo de agua obviamente.

5.1.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS

5.1.4.1 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 generalmente varía de 22°C a 35°C, rara vez baja a menos de 20°C o sube a más de 38°C.

De acuerdo con este criterio se toma como valor de intensidad promedio de lluvia 100.24 mm de agua con una duración de 01 hora que corresponde a las mediciones de los registros limnigráficos, lo que otorga un valor de diseño de 77.70 mm/hora

5.1.4.2 TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL Y ANÁLISIS DE TRÁFICO

5.1.4.2.1 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.

5.1.4.3 EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE CAMPO

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

5.1.4.4 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, el que fue realizado en el **mes de abril del 2021**, se obtuvieron los resultados siguientes:

5.1.4.5 CLASIFICACIÓN VEHICULAR DE IMD

A partir de los resultados de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra, la cual está conformada de la siguiente manera.

Vehículos Ligeros 94.24%

Vehículos Pesados 5.76%

Tabla 14: Conteo Vehicular

TIPO DE VEHICULO	CONTEO SEMANAL							TOTAL	IMDS	S	s	IMDA	DISTRIB.
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO						
VEHICULOS MENORES	409	409	409	409	409	409	409	2,863	409			409	74.27%
CATEGORIA " L"													
MOTO LINEAL MOTOKAR	409	409	409	409	409	409	409	2,863	409	0	0	409	74.27%
VEHIC. MAYORES	110	110	110	110	110	110	110	770	110			110	19.97%
CATEGORIA " M"													
AUTOMOVILES	32	32	32	32	32	32	32	224	32	0	0	32	5.81%
MINIBAND								0	0				
CAMIONETA PICK UP	78	78	78	78	78	78	78	546	78	0	0	78	14.16%
BUS (B2)								0	0				
BUS (B3-1)								0	0				
VEHICULOS PESADOS	36	32	29	13	20	25	23	178	25			32	5.76%
CATEGORIA " N"													
C=CAMION													
CAMION (C2)	28	28	23	9	14	19	19	140	20	7	3	25	4.57%
CAMION (C3)	8	4	6	4	6	6	4	38	5	2	1	7	1.19%
CATEGORIA " O"													
TS=TRACTO CAMIÓN + SEMIREMOLQUE													
T2S3								0	0				
T3S2								0	0				
T3S3								0	0				
CR=CAMION + REMOLQUE													
C2R2								0	0				
C3R2								0	0				
C3R3								0	0				
TOTAL	555	531	548	532	539	544	542	3,811	544			551	100.00%

Fuente: Expediente Técnico

5.1.4.6 FACTOR DE CRECIMIENTO ACUMULADO (FCA)

Para poder hacer un estudio comparativo del diseño de pavimento rígido y flexible, se establecerá un periodo de diseño de 15 años. La tasa de crecimiento promedio anual de la población que se considerará, será un valor del 4% 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).

Se puede el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

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

En la que:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base o en veh/día).

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La proyección puede también dividirse en dos partes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población. Y una proyección de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos datos sobre índices de crecimiento normalmente obran en poder de la región.

FACTOR DE CRECIMIENTO

$$FC = 0.5[1+(1+r)^P]$$

r = Tasa de crecimiento anual en decimales

P = Período de diseño en años

Tabla 15: Factores de Crecimiento

La AASHTO recomienda calcular el factor de crecimiento para el tráfico de todo el periodo de diseño

$$FC = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

tasa de crecimiento para vehículos de pasajeros = 2 % 10.95
 tasa de crecimiento para vehículos de carga = 4 % 12.01

Cuadro 2: Factor de Crecimiento

Periodo de diseño, años (n)	Tasa de crecimiento anual, g en porcentaje									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10	2.11
3	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.28	3.31	3.34
4	4.12	4.19	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.58	4.64	4.71
5	5.20	5.31	5.42	5.53	5.54	5.75	5.87	5.99	6.11	6.23
6	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.53	7.72	7.91
7	7.43	7.67	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.21	9.49	9.78
8	8.58	8.90	9.21	9.55	9.90	10.28	10.64	11.04	11.44	11.85
9	9.75	10.17	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.04	13.58	14.14
10	10.95	11.48	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.22	15.94	16.68
11	12.17	12.83	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	17.59	18.53	19.50
12	13.41	14.22	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	20.18	21.38	22.61
13	14.68	15.66	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	23.01	24.52	26.07
14	15.97	17.13	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	26.09	27.97	29.90
15	17.29	18.66	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	29.46	31.77	34.13
16	18.64	20.23	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	33.14	35.95	38.81
17	20.01	21.86	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	37.15	40.55	44.28
18	21.41	23.53	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	41.53	45.60	50.00
19	22.84	25.11	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	46.31	51.16	57.00
20	24.30	27.04	29.78	33.06	36.79	41.00	45.78	51.53	57.28	64.40
21	25.85	29.00	32.15	35.99	40.40	45.45	51.25	58.37	65.49	73.20
22	27.39	30.96	34.53	38.93	44.02	49.90	56.71	65.21	73.71	83.50
23	28.94	32.92	36.90	41.86	47.63	54.35	62.18	72.05	81.92	94.50
24	30.48	34.88	39.28	44.80	51.25	58.80	67.64	78.89	90.14	106.20
25	32.03	36.84	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	85.73	98.35	118.60
26	33.74	39.14	44.54	51.47	59.70	69.49	81.14	96.36	111.58	132.80
27	35.44	41.43	47.42	55.21	64.54	75.73	89.18	106.99	124.81	147.90
28	37.15	43.73	50.31	58.96	69.38	81.98	97.21	117.62	138.03	163.90
29	38.85	46.02	53.19	62.70	74.22	88.22	105.25	128.25	151.26	180.90
30	40.56	48.32	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	138.89	164.49	198.90
31	42.45	51.02	59.59	71.22	85.53	103.22	125.09	155.44	185.80	217.90
32	44.33	53.72	63.11	75.99	92.01	111.97	136.90	172.00	207.10	237.90
33	46.22	56.42	66.62	80.77	98.48	120.73	148.70	188.56	228.41	258.90
34	48.10	59.12	70.14	85.54	104.96	129.48	160.51	205.11	249.71	280.90
35	49.99	61.82	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	221.67	271.02	303.90

Fuente: Expediente Técnico

5.1.4.7 CÁLCULO DEL FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL (FD) Y DE CARRIL (FC):

5.1.4.7.1 DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5, ya que la mitad de los vehículos van en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. Lo más importante de esto, será la

diferencia de peso entre los vehículos que van en una y en otra dirección.

No. carriles en ambas direcciones	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 ó más	40

5.1.4.7.2 DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

En una pavimentación de dos carriles, uno en cada dirección, el carril de diseño es uno de ellos, por lo tanto, el factor de distribución por carril es 100%

No. carriles en cada dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 kips en el carril de diseño (F_c)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 ó más	50 – 75

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

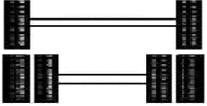
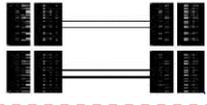
Número de carriles	=	2
F_c	=	0.9

Fuente: Expediente Técnico

5.1.4.8 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 16: Configuración de ejes

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

Nota:

RS: Rueda Simple

RD: Rueda Doble

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

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

Tabla 17: Relación de Cargas por Eje para determinar ejes equivalentes (Ee) para Pavimentos Flexibles

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 Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1} = [P/14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P/15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P/20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P/21.8]^{3.9}$
P= peso real por eje en toneladas	

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

Tabla 18: Relación de cargas por Eje para determinar ejes equivalentes (Ee) para Pavimentos Rígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8.2 \text{ ton}}$)
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2} = [P/8.2]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1} = [P/13.0]^{4.1}$
Eje Tandem (2 ejes ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P/13.3]^{4.1}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P/16.6]^{4.0}$
Ejes Tridem (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 19: Factor Camión C2 Y C3 para Pavimentos

Pavimento Flexible

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

5.1.4.9 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 20: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para Ejes Equivalentes (Ee)

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

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

Nota:

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

5.1.4.10 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 y rígido. Se calculará 2 diferentes EE día-carril porque el Factor Vehículo Pesado cambia en el caso de diseñar un pavimento Rígido.

Tabla 21: EE día-carril para Pavimento Flexible

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 22: 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

5.1.4.11 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 y rígido, se necesita el Factor de crecimiento acumulado obtenido anteriormente multiplicado por 365 días del año y por el EE día-carril.

Tabla 23: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible

	Nº rep. EE de 8.2 TN	
Ambos Sentidos	162,239.47	EAL o W18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido

	Nº rep. EE de 8.2 TN	
Ambos Sentidos	169,745.08	EAL o W18

Fuente: Elaboración propia

5.1.5 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 25: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2tn, en el Carril de Diseño para Pavimento Flexible y Rígido.

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.

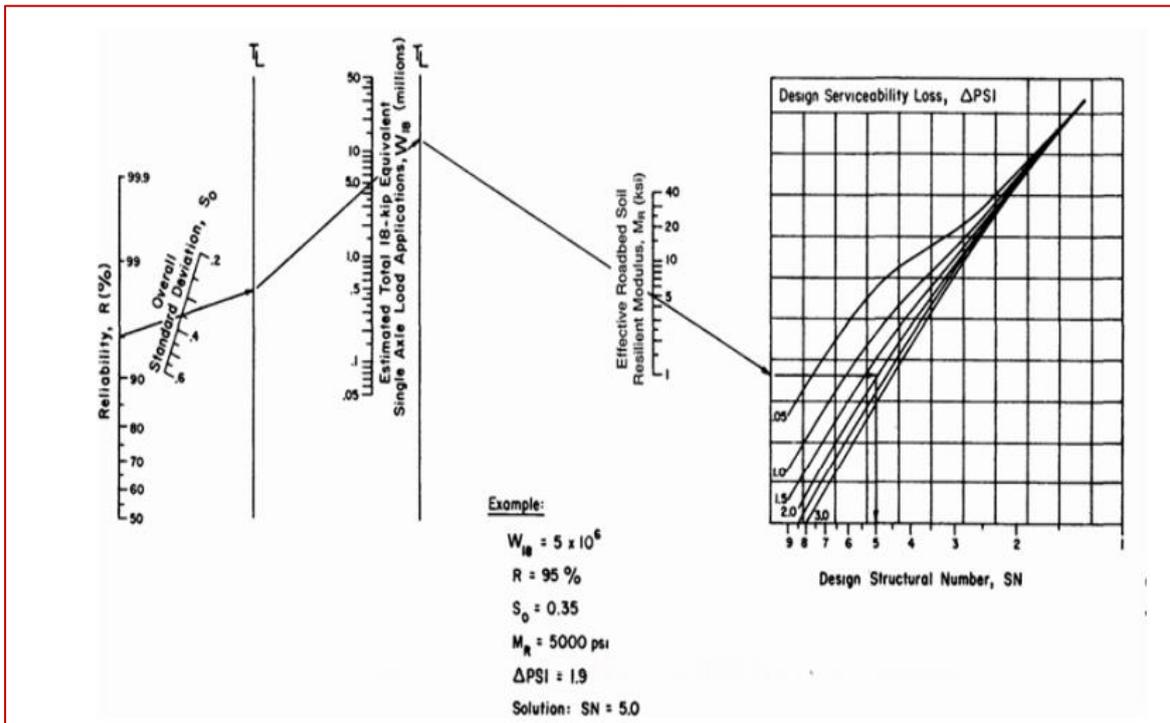
5.1.6 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE - MÉTODO AASHTO 93

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

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

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

Ilustración 22: 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 23: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible

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

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

Ilustración 24: 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:

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

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

Tabla 26: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONES	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T_{P0}	75,000	150,000	65%
	T_{P1}	150,000	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

5.1.7 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 $-0.524 = Z_r = -0.524$

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado			
	Urbana		Rural	
	R	F_R	R	F_R
Interestatales y vías rápidas	85	99.9	80	99.9
Arterias principales	80	99	75	95
Colectoras	80	95	75	95
Locales	50	80	50	80

$F_R = 10^{-Z_R S_o}$

Fuente: Expediente Técnico

Tabla 27: 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 CAMIONES	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL (Z_R)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T_{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T_{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T_{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T_{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T_{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036

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

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

5.1.8 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: $S_o = 0.45$

Determinación de la desviación estándar total S_o		$S_o =$	0.45
Tabla Valores de la desviación estándar normal, Z_r , correspondientes a los niveles de confiabilidad, R			
Confiabilidad, R, en porcentaje	Desviación estándar normal, Z_r		
50	0.000		
60	-0.253		
70	-0.524		
75	-0.674		
80	-0.841		
85	-1.037		
90	-1.282		
91	-1.340		
92	-1.405		
93	-1.476		
94	-1.555		
95	-1.645		
96	-1.751		
97	-1.881		
98	-2.054		
99	-2.327		
99.9	-3.090		
99.99	-3.750		

$S_o =$ debe estar entre los siguientes rangos
0.4 0.5 Pavimentos flexibles

5.1.9 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)

Es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento, 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 = Índice de Servicio Inicial = 3.80

p_t = Índice de Servicio Final = 2.00

Δ PSI = 1.80

Índice de Serviciabilidad, p		Clasificación
0	1	Muy mala
1	2	Mala
2	3	Regular
3	4	Buena
4	5	Muy Buena

Tabla 28: 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 29: 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 Camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	2.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	3.00
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T_{P15}	>30'000,000		3.00

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

Tabla 30: Diferencial de Serviabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONES	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
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.

5.1.10 Cálculo del Número Estructural (SN)

➤ De forma Analítica

$$Log_{10}W_{18} = Z_r S_o + 9.36 Log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{Log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{\frac{0.40 + 1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 Log_{10} M_r - 8.07$$

Tabla 31: 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%
T_p0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.136	1.871	1.557	1.392
T_p1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.470	2.165	1.809	1.625
T_p2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.702	2.367	1.979	1.780
T_p3 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			2.956	2.593	2.173	1.959
T_p4 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.107	2.725	2.283	2.059
T_p5 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.434	3.012	2.521	2.274
T_p6 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.866	3.395	2.841	2.561
T_p7 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.206	3.707	3.105	2.797
T_p8 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.63	4.103	3.449	3.107
T_p9 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.837	4.300	3.624	3.267
T_p10 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.092	4.552	3.869	3.501
T_p11 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.226	4.679	3.985	3.609
T_p12 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.341	4.883	4.173	3.786
T_p13 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			5.097	5.323	4.580	4.172
T_p14 25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.052	5.460	4.708	4.293

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

Tabla 32: 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	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico. 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: -Un control de calidad riguroso -Indicar un valor de Estabilidad Marshal, superior a 1000 kf-f -Alertar sobre la susceptibilidad al fisuramiento térmico y por fatiga (AASHTO 1993)
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Micro pavimento 25 mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considera por no tener aporte estructural			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 10'000,000$ EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $> 10'000,000$ EE

Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm^2)	a_{2b}	0.070 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm^2)	a_{2c}	0.080 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUB BASE			
Sub base 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.

5.1.11 COEFICIENTE DE DRENAJE

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

Tabla 33: 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.

5.1.12 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 34: 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: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	T_{P2}	300,001	500,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T_{P3}	500,001	750,000	Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T_{P4}	750 001	1,000,000	Micro pavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm

Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 130mm	250 mm
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 140mm	250 mm
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm

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

Tabla 35: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente

Período de diseño 20 años

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

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



Carpeta Asfáltica en Caliente
(CAC)



Base Granular



Subbase granular

Nota:

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

Para los espesores se planteó 3 Alternativas

Alternativa 1 2.17: 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

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

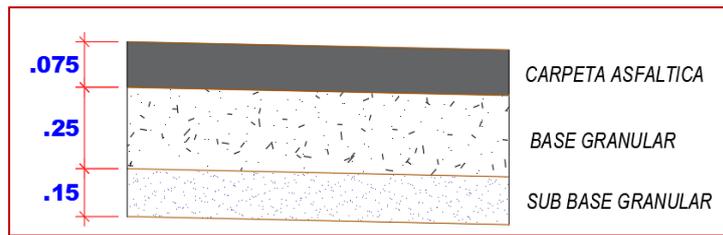
$$2.47 = 2.765$$

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 25: 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.

5.1.13 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 26: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido

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

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

5.1.14 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.

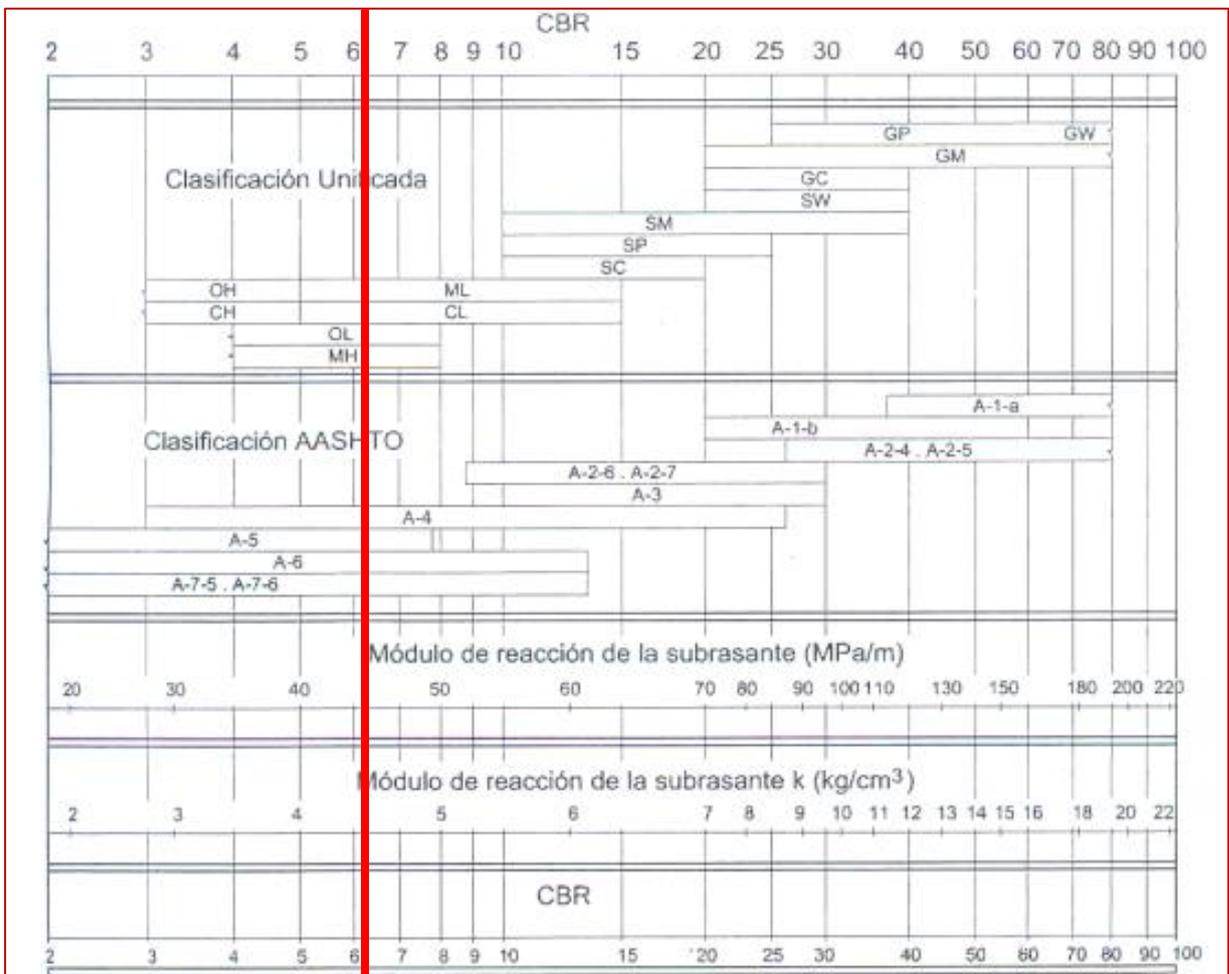
No obstante, se utilizará la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción K_c en función de la clasificación de suelos y el CBR.

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 36: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante



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

5.1.15 MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO (E_c)

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 37: Módulo de Elasticidad (E_c)

Ecuación = $57000 * (f'c)^{0.5}$		
Resistencia a la compresión	Módulo de Elasticidad	
	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2 (psi)
$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	2987	3115191
$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	3983	3597113
$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$	4978	4021694

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

Para el desarrollo del siguiente cálculo se utilizó un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ siendo su:

$$E_c (\text{psi}) = 3'597,113$$

5.1.16 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 38: Valores Recomendados de Resistencia del Concreto

RANGOS 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 39: 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:

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

5.1.17 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA DE DISEÑO, D (plgs)

De Forma Analítica

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

Datos:

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

Resolviendo la Ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Primer miembro} &= \text{Segundo miembro} \\ 5.23 &= -0.243 + 5.2069 + -0.0089 + 0.2769 \\ 5.23 &= 5.23 \end{aligned}$$

Por la iteración, el Espesor de la Losa es:

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

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

Ilustración 27: Sección del Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración Propia

5.1.18 PRESUPUESTO

5.1.18.1 Presupuesto Pavimento Flexible

Tabla 40: Características de la vía con Pavimento Flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE	
Longitud	Cantidad
Jr. Huallaga C1 – C3	341.80m
Jr. San Martin C1 – C3	370.19m
Jr. 28 de Julio C1	89.56m
Jr. Loreto C1	70.00m
Jr. Santiago Paredes C1	86.58m
Jr. Los Arbolitos C1	25.92m
Jr. Malecón Huallaga C1	25.56m
Total	1,049.26m
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Huallaga C1 – C3	6.00 m
Jr. San Martin C1 – C3	6.00 m
Jr. 28 de Julio C1	6.00 m
Jr. Loreto C1	6.00 m
Jr. Santiago Paredes C1	6.00 m
Jr. Los Arbolitos C1	6.00 m
Jr. Malecón Huallaga C1	6.00 m
Sección	
<p>Diagrama de la sección transversal del pavimento flexible. El diagrama muestra un perfil de la vía con una pendiente transversal de $S = 2.00\%$ en ambos lados. El pavimento está compuesto por tres capas principales: una CARPETA ASFÁLTICA de $E = 7.5$ cm, una BASE GRANULAR de $E = 25$ cm y una SUB BASE GRANULAR de $E = 15$ cm. A los extremos de la sección se encuentran CUNETAS PROYECTADAS de 0.40×0.40 m.</p>	

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto Pavimento Flexible

Presupuesto **EVALUACION DEL TIEMPO Y COSTO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS Y FLEXIBLES EN LA EJECUCIÓN DE VÍAS URBANAS, EN LA LOCALIDAD DE PELEJO, DISTRITO DE EL PORVENIR, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

Subpto **001 PAVIMENTO FLEXIBLE**

Cliente **PIPA LECCA, JORGE DAVID - PIPA AMASIFUEN, MOISES**

Costo al Mes de Abril

Lugar **SAN MARTIN - EL PORVENIR - PELEJO**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	OBRAS PROVISIONALES				84,550.72
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	1,783.48	1,783.48
01.02	COLOCACION DE PUNTOS PROVISIONALES DE AGUA	und	5.00	90.36	451.80
01.03	REUBICACION DE POSTES	und	3.00	2,500.00	7,500.00
01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIAS Y	glb	1.00	7,892.48	7,892.48
01.05	ALMACEN DE OBRA DE 10Mx15M	glb	1.00	2,500.00	2,500.00
01.06	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	2,000.00	12.02	24,040.00
01.07	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO	mes	8.00	5,047.87	40,382.96
02	OBRAS PRELIMINARES				80,751.02
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	10,912.30	3.05	33,282.52
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	10,912.30	4.35	47,468.51
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				138,358.69
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	5,222.82	9.35	48,833.37
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	m2	6,295.56	2.72	17,123.92
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	6,528.53	11.09	72,401.40
04	MATERIAL SELECCIONADO				295,531.18
04.01	SUB BASE GRANULA e=0.45 m	m3	3,558.30	47.32	168,378.76
04.02	BASE GRANULAR e=0.25 m	m3	2,143.50	59.32	127,152.42
05	PAVIMENTO FLEXIBLE				478,147.78
05.01	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2"	m2	6,295.56	65.75	413,933.07
05.02	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	6,295.56	6.70	42,180.25
05.03	SELLO DE ARENA	m2	6,295.56	3.50	22,034.46
06	SEÑALIZACION				47,324.45
06.01	PINTADO EN FRANJA EN ASFALTO - SEÑALIZACION	m2	1,943.35	23.82	46,290.60
06.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X 0.60	und	31.00	33.35	1,033.85
	COSTO DIRECTO				1,124,663.83
	GASTOS GENERALES (10.00%)				112,466.38
	UTILIDAD (10.00%)				112,466.38
	SUB TOTAL				1,349,596.60
	IMPUESTO IGV (18.00%)				242,927.39
	PRESUPUESTO TOTAL				1,592,523.99

SON : UN MILLON QUINIENTOS NOVENTA Y DOS MIL QUINIENTOS VEINTITRES Y 99/100 SOLES

Fuente: Elaboración propia

5.1.18.2 PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 41: Características de la vía con Pavimento Rígido

PAVIMENTO RIGIDO	
Longitud	Cantidad
Jr. Huallaga C1 – C3	341.80m
Jr. San Martin C1 – C3	370.19m
Jr. 28 de Julio C1	89.56m
Jr. Loreto C1	70.00m
Jr. Santiago Paredes C1	86.58m
Jr. Los Arbolitos C1	25.92m
Jr. Malecón Huallaga C1	25.56m
Total	1,049.26m
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Huallaga C1 – C3	6.00 m
Jr. San Martin C1 – C3	6.00 m
Jr. 28 de Julio C1	6.00 m
Jr. Loreto C1	6.00 m
Jr. Santiago Paredes C1	6.00 m
Jr. Los Arbolitos C1	6.00 m
Jr. Malecón Huallaga C1	6.00 m
Sección	

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto con Pavimento Rígido

Presupuesto

Presupuesto **EVALUACION DEL TIEMPO Y COSTO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS Y FLEXIBLES EN LA EJECUCIÓN DE VÍAS URBANAS, EN LA LOCALIDAD DE PELEJO, DISTRITO DE EL PORVENIR, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

Subpto **002 PAVIMENTO RIGIDO**
 Cliente **PIPA LECCA, JORGE DAVID - PIPA AMASIFUEN, MOISES**
 Lugar **SAN MARTIN - EL PORVENIR - PELEJO**

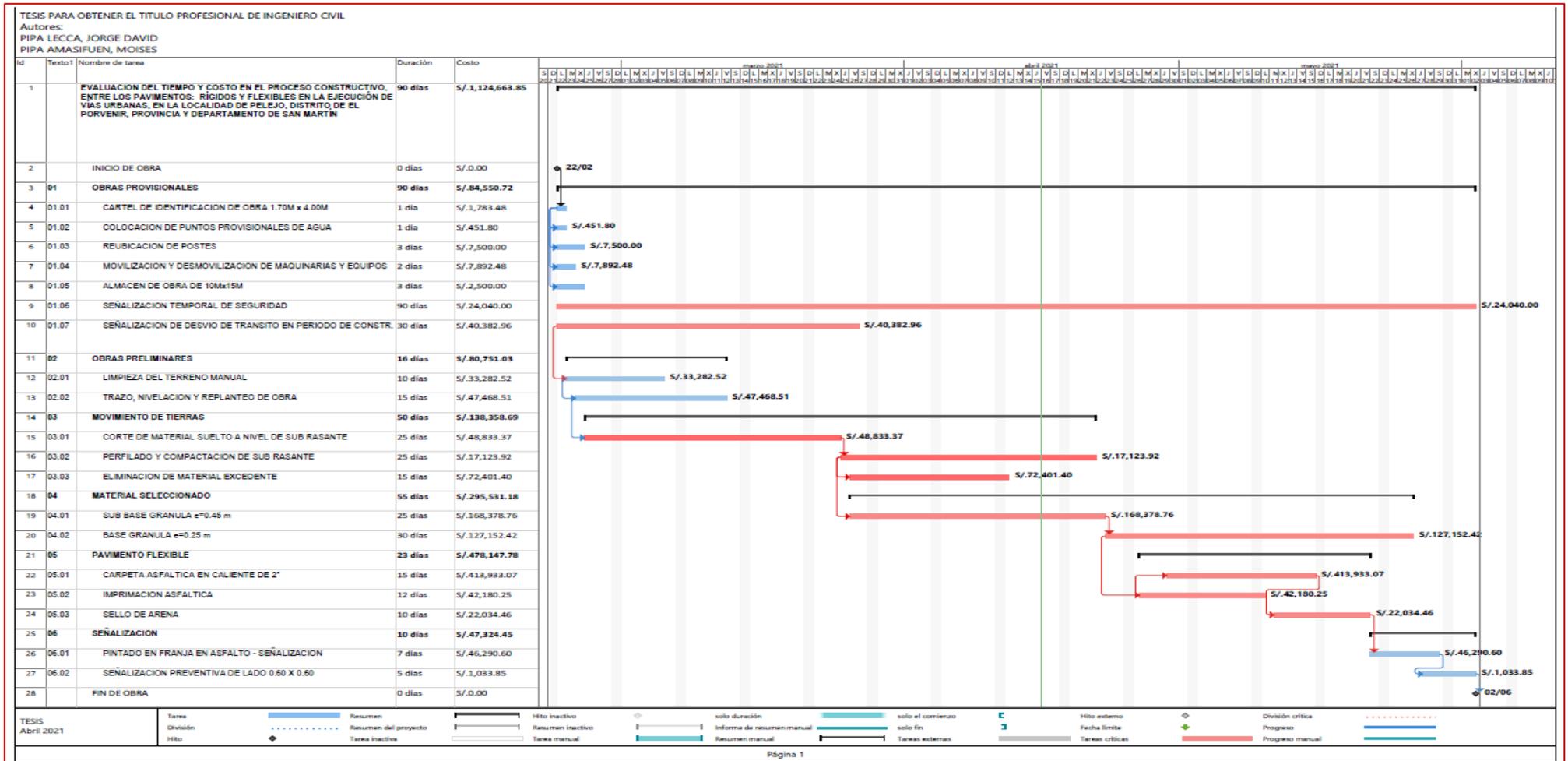
Costo al Mes de Abril

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	OBRAS PROVISIONALES				64,915.96
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	1,200.00	1,200.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	1,783.48	1,783.48
01.04	TRASLADO DE MAQUINARIAS, MATERIALES Y HERRAM.	vje	2.00	15,000.00	30,000.00
01.05	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	2,000.00	12.02	24,040.00
02	OBRAS PRELIMINARES				80,751.02
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	10,912.30	3.05	33,282.52
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	10,912.30	4.35	47,468.51
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				138,358.69
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB	m3	5,222.82	9.35	48,833.37
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	m2	6,295.56	2.72	17,123.92
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	6,528.53	11.09	72,401.40
04	PAVIMENTO RIGIDO				1,043,459.75
04.01	CONFORMACION DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA	m2	6,295.56	6.50	40,921.14
04.02	BASE DE AFIRMADO H=0.20 m	m2	6,295.56	38.90	244,897.28
04.03	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO PARA PAVIMENTO	m2	1,864.49	55.00	102,546.95
04.04	LOSA DE CONCRETO PRE MEZCLADO H=0.15cm,	m2	6,295.56	88.54	557,408.88
04.05	CURADO DE CONCRETO	m2	6,295.56	8.50	53,512.26
04.06	SELLO CON MEZCLA ASFALTICA E=5 mm.	m	4,749.81	9.30	44,173.23
05	SEÑALIZACION				47,324.45
05.01	PINTADO EN FRANJA EN PAVIMENTO - SEÑALIZACION	m2	1,943.35	23.82	46,290.60
05.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X 0.60	und	31.00	33.35	1,033.85
	COSTO DIRECTO				1,374,809.86
	GASTOS GENERALES (10.00%)				137,480.99
	UTILIDAD (10.00%)				137,480.99
					=====
	SUB TOTAL				1,649,771.84
	IMPUESTO IGV (18.00%)				296,958.93
					=====
	PRESUPUESTO TOTAL				1,946,730.77
SON : UN MILLON NOVECIENTOS CUARENTA Y SEIS MIL SETECIENTOS TREINTA Y 77/100 SOLES					

Fuente: Elaboración propia

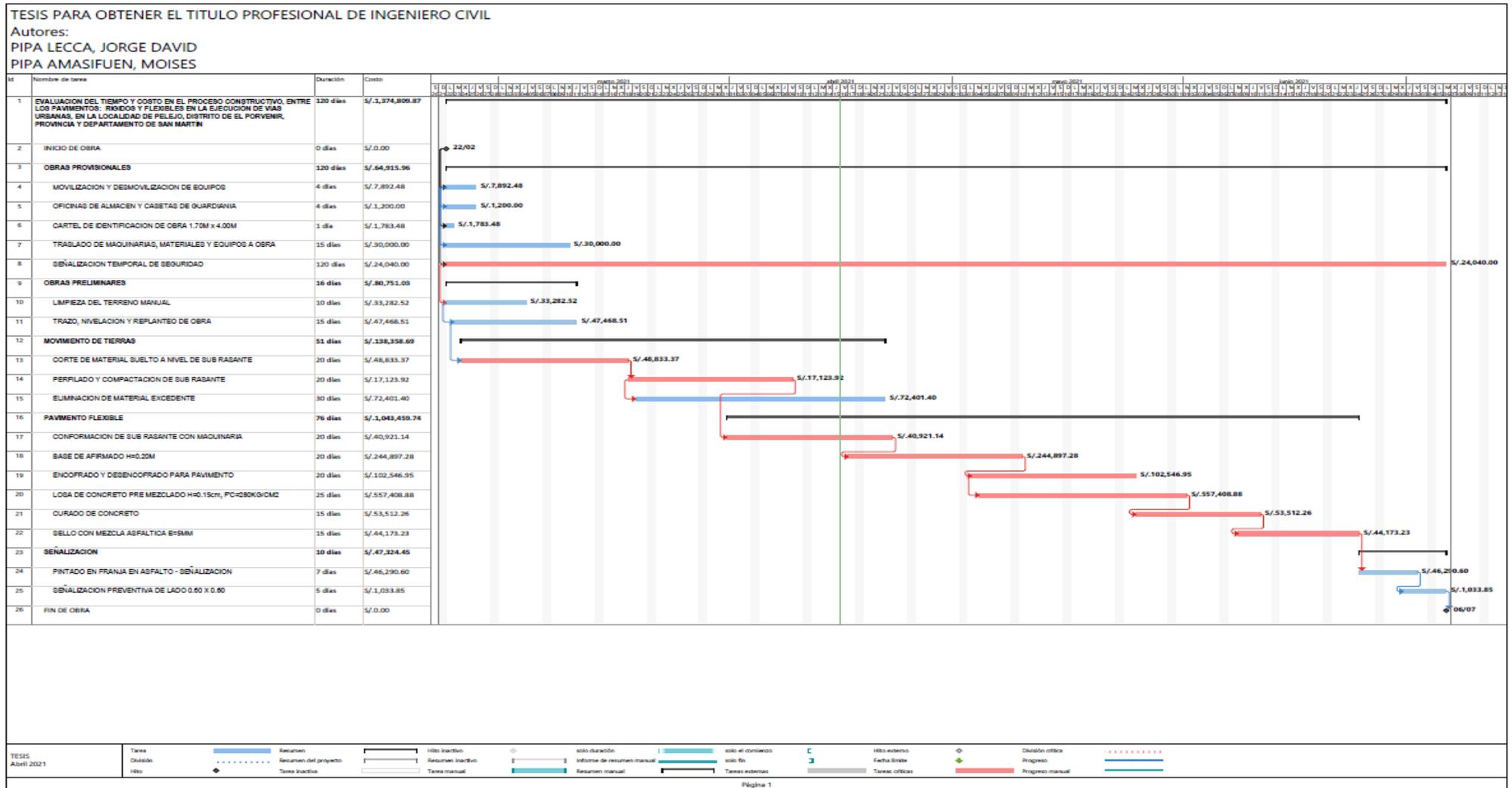
5.1.18.3 TIEMPO DE EJECUCIÓN

Ilustración 28: Programación de Obra Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29: Programación de Obra Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración propia

5.1.19 RESULTADOS OBTENIDOS

- El conteo de vehículos se tomó en 7 días calendarios, desde el día lunes 22 hasta el día domingo 28 de marzo 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 42: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn

Jr. Huallaga C1 – C3, Jr. San Martín C1 – C3, Jr. 28 de Julio C1, Jr. Loreto C1, Jr. Santiago Paredes C1, Jr. Los Arbolitos C1, Jr. Malecón Huallaga C1	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido
Nº repeticiones de EE 8.2 tn	162,239.47	169,745.08

Fuente: *Elaboración propia*

- Con respecto al estudio de mecánica de suelos con fines de pavimentación, se realizó 08 calicatas en todo el tramo con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico del área en estudio el cual se viene ejecutando, paralelamente se muestreo el registro de las calicatas bajo la Norma A.S.T.M. D 2488 anotándose las principales características de los tipos de suelos encontrados. Al mismo tiempo se tomaron muestras disturbadas de cada uno de los tipos de suelos encontrados en cantidad suficiente como para realizar los ensayos de clasificación e identificación de suelos.

Tabla 43: Resumen Características del Sub - rasante

Nº Calicata	Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	Humedad Optima (%)	CBR (%) 95%	CBR (%) 100%
C-1	1.904	16.09	9.07	10.41
C-2	1.0170	16.37	9.07	10.40
C-3	1.280	15.20	9.07	10.48

C-4	1.170	16.63	9.07	10.46
C-5	1.150	13.28	9.07	10.48
C-6	1.080	16.25	9.07	10.44
C-7	1.202	16.09	12.75	12.06
C-8	1.010	16.55	12.75	12.03

Fuente: Elaboración propia

Lo que resulta un CBR de diseño de 12.12%

- 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 y rígidos, siendo estos los siguientes:

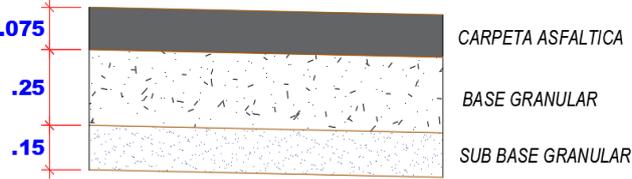
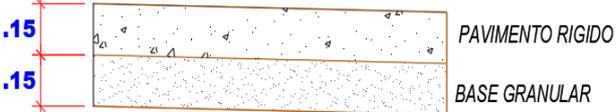
Tabla 44: Cuadro Comparativo entre Pavimentos

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

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

Fuente: Elaboración Propia

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

Pavimento Flexible : S/. 1'592,523.99

Pavimento Rígido : S/. 1'946,730.77

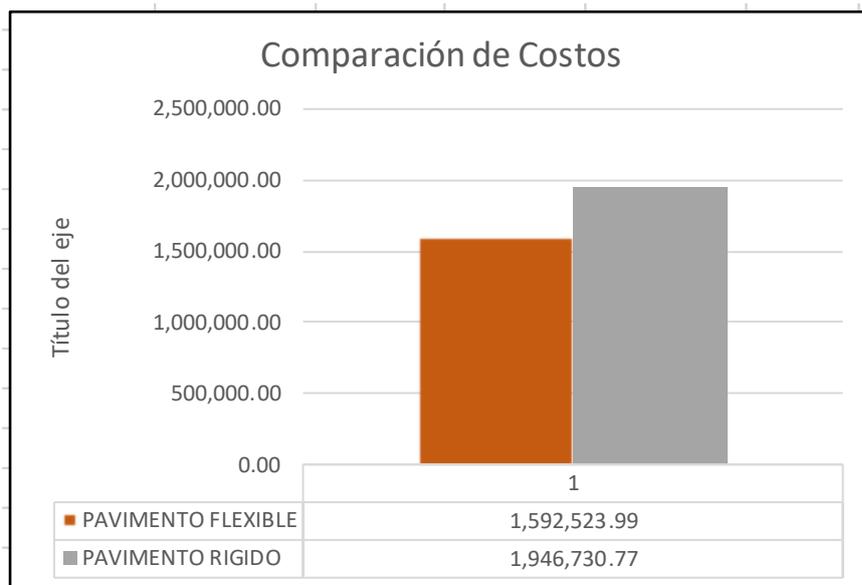
CUADRO COMPARATIVO TÉCNICO - ECONÓMICO

Tabla 46: Cuadro Comparativo Técnico – Económico

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	1'592,523.99	1'946,730.77
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	178.64	218.38
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	252.96	309.22
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	90	120
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	20-40

Fuente: Elaboración Propia

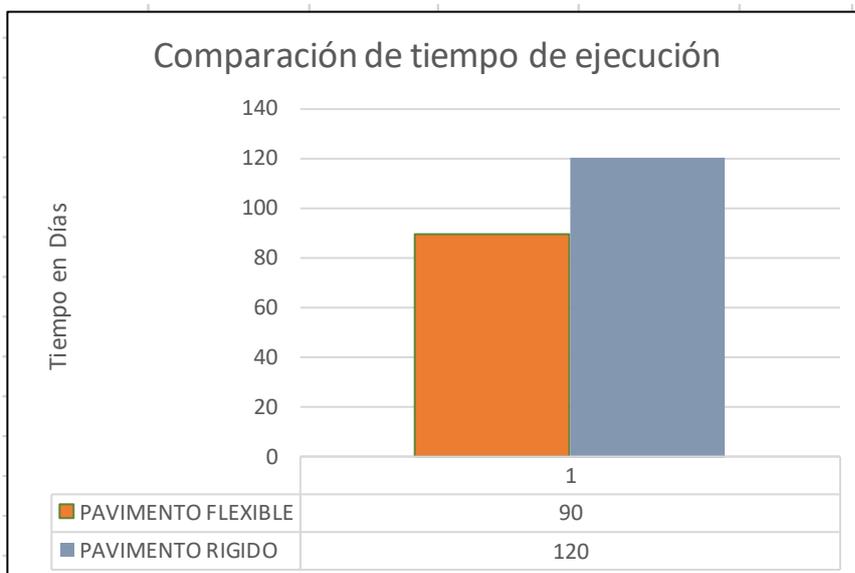
Ilustración 30: Comparación de Costos



Fuente: Elaboración Propia

- En el grafico se puede apreciar que el pavimento rígido es el que tiene un mayor costo con S/ 1'946,730.77 y seguido del pavimento flexible con S/ 1'592,523.99.

Ilustración 31: Comparación de Plazos de Ejecución



Fuente: Elaboración Propia

- En el gráfico se aprecia que el pavimento rígido tiene un mayor plazo de ejecución con 120 días y el Pavimento Flexible con 90 días, con respecto al pavimento rígido requiere de más tiempo por el curado del pavimento.

6. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Haciendo el análisis comparativo costo - tiempo de ejecución, concluimos que el diseño óptimo en la ejecución de Vías Urbanas, en la localidad de Pelejo, distrito de El Porvenir, provincia y región San Martín, es el Pavimento Flexible, al tener un costo menor del 18.19% respecto del pavimento rígido, en función al tiempo de ejecución el pavimento flexible se ejecuta 25.00% más rápido que el pavimento rígido ya que el pavimento flexible se ejecuta en 90 días calendarios y el pavimento rígido se ejecuta en 120 días calendarios.
- Al realizar el presupuesto de los pavimentos rígidos y pavimentos flexibles se concluyó que los costos por metro cuadro son:

Tabla 47: Cuadro Comparativo Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO
COSTO DIRECTO POR M2	S/	178.64	218.38
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/	252.96	309.22

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 48: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	90	120

Fuente: Elaboración propia

- El Diseño de la Estructura del Pavimento Rígido del presente proyecto, obedece a parámetros del comportamiento del lugar de emplazamiento, tomando como variables 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.
- Concluimos indicando que, dentro del diseño del Pavimento Flexible y Pavimento Rígido, siguiendo las recomendaciones del método AASTHO -93 se tiene las siguientes estructuras:

Tabla 49: Cuadro Resumen de Espesores de los dos Tipos de Pavimentos

Tipo	Espesores
Pavimento flexible	
Pavimento Rígido	

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 50: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	1'592,523.99	1'946,730.77
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	178.64	218.38
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	252.96	309.22
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	90	120
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	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; 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.

6.2 RECOMENDACIONES

- Los pavimentos en estudio tienen diferentes características considerables que pueden ser bien aprovechadas, cada proyecto debe ser analizado minuciosamente para determinar cuál es la mejor opción en cada caso, haciendo un análisis cuidadoso y a conciencia de todos los factores que intervienen en el proyecto.
- El pavimento rígido es también un tipo de pavimento recomendable para la zona de estudio ya que al hacer una comparativo de durabilidad tiene una mayor ventaja respecto al pavimento flexible.
- Hablar de qué tan económico resulta un pavimento respecto al otro, es muy relativo, si se toma en cuenta el costo total, el cual incluye la inversión inicial, 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

- [1] Norma Técnica CE.10 Pavimentos Urbanos.
- [2] Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.
- [3] AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. 1993. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- [4] Herrera Montealegre M. (2014). Determinación del Módulo Resiliente de Diseño de Pavimentos Mediante Criterios ASSHTO 1993 y 2002. Universidad de Piura. Lima, Perú.
- [5] Hurtado, R. (2016). Análisis comparativo entre pavimento flexible y rígido para uso en ruta cantonal de El Guarco. Instituto Tecnológico De Costa Rica.
- [6] Ing. Alfonso Montejo Fonseca. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- [7] Ing. Arturo Rafael Olguín Noriega. (2015). Pavimentación de Vías con Adoquines de Concreto en Ciudades del Norte del Perú. Instituto de la Construcción y Gerencia – ICG.
- [8] Ing. José Rafael Menéndez Acurio. (2013). Ingeniería de Pavimentos: Diseño y Gestión de Pavimentos. Instituto de La construcción y Gerencia – ICG.
- [9] Ing. José Rafael Menéndez Acurio. (2013). Ingeniería de Pavimentos: Materiales y Variables de Diseño. Instituto de La construcción y Gerencia – ICG.
- [10] Ing. Minaya y Ordoñez. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Instituto de La construcción y Gerencia. Lima, Perú.
- [11] Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección suelos y pavimentos. (2014). Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú.
- [12] Torres, R. (2007). Análisis Comparativo De Costos Entre El Pavimento Flexible y el Pavimento Rígido. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- [13] Yovera, C. (2018). Análisis Comparativo De Los Pavimentos Flexible, Rígido Y Articulado Para La A.V Ignacia Schaeffer – Distrito De Tambogrande – Departamento De Piura. Universidad Nacional De Piura