



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

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“EVALUACION DEL TIEMPO DE EJECUCIÓN Y COSTO EN EL
PROCESO CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS:
RÍGIDO Y FLEXIBLE, EN VÍAS URBANAS EN EL DISTRITO DE
JUANJUÍ, PROVINCIA DE MARISCAL CÁCERES,
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

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

ASESOR:

M.Sc. Ing. Joel Padilla Maldonado

AUTORES:

**PEZO TENAZOA, Layne Minter
SANGAMA SAJAMÍ, Saí Omar**

**TARAPOTO – PERÚ
2021**

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, por darme fuerzas para continuar con mis metas trazadas.

A mis padres, **José Y Clara** a mi hermano, **Loninanter Del Carmen** y a mi inspiración para seguir adelante a mi hija **Zoe Alexandra Ximena**, en especial a mi mama que ahora se encuentra en el cielo. Quienes me brindaron su apoyo incondicional, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron durante el desarrollo de este proyecto. **LAYNE MINTER PEZO TENAZOA**

Agradezco especialmente a Dios, por brindarme la vida, salud y seguir siempre adelante en cumplir mis metas para el bienestar de mi familia.

A mi esposa e hijos, que día a día me apoyaron para seguir adelante y bríndame el amor incondicional en cumplir con mis metas para ser un profesional, a mis padres por la perseverancia el apoyo solidario y fraterno, les dedico este proyecto. **SAÍ OMAR SANGAMA SAJAMÍ**

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater “Universidad Científica Del Perú” por haberme permitido formarme en sus aulas, compartiendo ilusiones y anhelos.

Mi más profundo agradecimiento a mis padres e hija:

JOSE DEL CARMEN PEZO SHUÑA, hombre de valores y virtudes por haberme apoyado incondicionalmente. - **CLARA TENAZOA UPIACHIHUA** mujer virtuosa, llena de sabios consejos, gracias doy por sus inmensurables muestras de amor y dedicación hacia mi persona, por su comprensión, apoyo incondicional que sin duda marcaron mi vida y es uno de los motivos por los cuales decidí estudiar ingeniería civil y que siempre creyeron en mí.

ZOE ALEXANDRA XIMENA VELA PEZO, mi hija la inspiración para seguir la carrera de ingeniería civil.

Mis más sinceros agradecimientos a nuestro asesor M.Sc. Ing. Joel Padilla Maldonado quien nos ha guiado a la materialización de la tesis en referencia y por la confianza depositada en nosotros.

A mi hermano, docentes y amigos que me brindaron su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a DIOS. **LAYNE MINTER PEZO TENAZOA.**

Mi más profundo agradecimiento a mi esposa e hijos. Me brindaron su apoyo, me comprendieron, tuvieron tolerancia e infinita paciencia y cedieron su tiempo para que “Papá” continuara con sus estudios, para permitir así llevar un proyecto que paso de ser una meta familiar a otro emprendimiento más de familia y que sigan mis hijos el ejemplo en ser un profesional. A ellos mi eterno amor y gratitud, **LORENA DA SILVA PIZANGO, MEL, SAÍ, MARICIELO Y VICTORIA.**

Mi total agradecimiento a nuestro asesor M.Sc. Ing. Joel Padilla Maldonado, quien con su experiencia y conocimiento nos ha sabido guiar en este proceso de la tesis y por la confianza depositada en nosotros, gracias por su apoyo, consejos y enseñanzas durante todo este proceso.

Agradezco a Dios. **SAÍ OMAR SANGAMA SAJAMÍ.**



"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

**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 DE EJECUCIÓN Y COSTO EN EL PROCESO
CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDO Y FLEXIBLE, EN VÍAS
URBANAS EN EL DISTRITO DE JUANJUÍ, PROVINCIA DE MARISCAL CÁCERES,
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN"**

De los alumnos: **SANGAMA SAJAMÍ SAÍ OMAR Y PEZO TENAZOA LAYNE
MINTER**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la
revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **21% de plagio**.

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

San Juan, 18 de febrero del 2021.



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

Urkund Analysis Result

Analysed Document: UCP_INGENIERIACIVIL_2021_TESIS_SAISANGAMA_V1.pdf
(D95616572)
Submitted: 2/15/2021 4:25:00 PM
Submitted By: revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Significance: 21 %

Sources included in the report:

UCP_INGENIERIACIVIL_2020_T_IVANABAD_MARTHATORRES_V1.pdf (D79258831)
<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5704/EVALUACION%20DE%20DETERIOROS%20EN%20PAVIMENTO%20DE%20CONCRETO%20HIDRAULICO%20EN%20EL%20BARRIO%20ALTOS%20DEL%20PE%20C3%91%20C3%93N%20DESDE%20LA%20CARRERA%2012%20AA%20%252337%20-%2093%20HA2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

Instances where selected sources appear:

7

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 132-2021-UCP-FCEI del 15 de marzo de 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|--|------------|
| • Ing. Caleb Rios Vargas, M.Sc. | Presidente |
| • Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta, M. Sc. | Miembro |
| • Ing. Isaac Duhamel Castillo Chalco. | Miembro |

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

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 16:00 horas del día 12 de mayo 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 DE EJECUCIÓN Y COSTO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDO Y FLEXIBLE, EN VÍAS URBANAS EN EL DISTRITO DE JUANJUÍ, PROVINCIA DE MARISCAL CÁCERES, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”.

Presentado por los sustentantes:

LAYNE MINTER PEZO TENAZOA y SAI OMAR SANGAMA SAJAMI

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 (14) CATORCE.

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



Presidente



Miembro



Miembro

Contáctanos:

Iquitos – Perú
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto – Perú
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compañón 933

Universidad Científica del Perú
www.ucp.edu.pe

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día 12 de mayo a las 4:30 p.m. del 2021



ING. M.Sc. CALEB RIOS VARGAS
PRESIDENTE DEL JURADO



ING. M.Sc. VICTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA
MIEMBRO DEL JURADO



ING. ISAAC DÚHAMEL CASTILLO CHALCO
MIEMBRO DEL JURADO



M.Sc. ING. JOEL PADILLA MALDONADO
ASESOR

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	1
ABSTRAC	2
1. INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I: MARCO TEORICO	4
1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	4
1.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES:	4
1.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES:	5
1.2. BASES TEÓRICAS:.....	9
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	54
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	57
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	57
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	58
2.2.1. PROBLEMA GENERAL	58
2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	58
2.3. OBJETIVOS	58
2.3.1. OBJETIVO GENERAL	58
2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	59
2.4. HIPÓTESIS	59
2.5. VARIABLES	59
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	59
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	59
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	60
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	60
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	60
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	60
3.2.1. POBLACIÓN	60
3.2.2. MUESTRA	60

3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	
61	
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	62
3.1. RESULTADOS.....	62
3.1.1. ESTUDIO DE TRÁFICO	62
3.1.2. ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE SUELOS.....	65
3.1.3. CANTERAS Y FUENTES DE AGUA.....	71
3.1.4. DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	81
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	92
3.2.1. Diseño de pavimento flexible - método AASHTO 93.....	93
3.2.2. Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr)	95
3.2.3. Desviación Estándar Combinada (So).....	97
3.2.4. Índice de Serviciabilidad (Δ PSI).....	97
3.2.5. Cálculo del Número Estructural (SN)	100
3.2.6. Coeficiente de drenaje	105
3.2.7. Cálculo de los Espesores	105
3.2.2. Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93.....	109
1.3. PRESUPUESTO	118
1.3.1. Presupuesto Pavimento Flexible	118
1.3.2. PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO	120
1.4. TIEMPO DE EJECUCIÓN: Pavimento Flexible.....	122
1.4.1. Tiempo de Ejecución Pavimento Rígido.	123
1.5. RESULTADOS OBTENIDOS	124
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	130
4.1. CONCLUSIONES	130
4.2. RECOMENDACIONES	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
ANEXOS.....	135
LOCALIZACION	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Estructura de Pavimento.....	17
Ilustración 2: Parámetros de Diseño para 10 años.....	18
Ilustración 3: Calculo Estructural para 10 años.....	19
Ilustración 4: Estructura de pavimento flexible para 10 años.....	19
Ilustración 5: Parámetros de Diseño para 20 años.....	20
Ilustración 6: Calculo Estructural para 20 años.....	21
Ilustración 7: Estructura de pavimento flexible para 20 años.....	22
Ilustración 8: Esquema de las cargas por rueda para diseño (ruedas duales).....	32
Ilustración 9: Sección Transversal Pavimento Rígido.....	47
Ilustración 10: Esquema de esfuerzos debido a las cargas.....	52
Ilustración 11: Distribución del IMDA.....	63
Ilustración 12: Distribución del IMDA.....	64
Ilustración 13: Volumen de Trafico Diario.....	64
Ilustración 14: Plano ubicación de Calicatas.....	65
Ilustración 15: Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos-Calicatas.....	67
Ilustración 16: <i>Monograma para Pavimento Flexible</i>	93
Ilustración 17: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible.....	94
Ilustración 18: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa.....	94
Ilustración 19: Monograma para Pavimento Flexible.....	101
Ilustración 20: Sección Pavimento Flexible.....	109
Ilustración 21: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido.....	109
Ilustración 22: Sección del Pavimento Rígido.....	117
Ilustración 23: Programación de Obra Pavimento Flexible.....	122
Ilustración 24: Programación de Obra Pavimento Rígido.....	123
Ilustración 25: Comparación de Costos.....	128
Ilustración 26: Comparación de Plazos de Ejecución.....	129

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Períodos de diseño	22
Tabla 2: Espesores mínimos sugeridos:	25
Tabla 3: Factor de distribución por carril.....	27
Tabla 4: Normas AASHTO y ASTM.....	28
Tabla 5: Valor percentil por nivel de tránsito	29
Tabla 6: Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima.....	30
Tabla 7: Espesores mínimos de capas asfálticas sobre base	30
Tabla 8: Tipos, manifestaciones y causas de fallas en pavimento flexible.....	45
Tabla 9: Principales factores fallas de un pavimento flexible.....	46
Tabla 10: Categoría de Sub rasante	52
Tabla 11: AGRESION DEL SUELO	69
Tabla 12: LIMITE DE INDICE DE PLASTICIDAD	70
Tabla 13: INDICE PLASTICO DE CALICATAS	70
Tabla 14: CBR de la Sub rasante.....	71
Tabla 15: Ensayos de Laboratorio de Canteras.....	73
Tabla 16: Cantera Santa Polonia (cerro – privado)	75
Tabla 17: Requerimiento de Agregado Fino	76
Tabla 18: Características del material de cantera.....	76
Tabla 19: Requerimiento de Agregado Fino	77
Tabla 20: Características del material de cantera.....	77
Tabla 21: Granulometría y Clasificación de material de Cantera	77
Tabla 22: Ensayos de Laboratorio de Canteras.....	78
Tabla 23: Propiedades Físicos – Mecánicas	79
Tabla 24: Resumen de las características Físicos – Mecánicas	79
Tabla 25: Característica del agua a usar	80
Tabla 26: Conteo Vehicular	83
Tabla 27: Factores de Crecimiento	84
Tabla 28: CONFIGURACIÓN DE EJES.....	86
Tabla 29: RELACIÓN DE CARGAS POR EJE PARA DETERMINAR EJES EQUIVALENTES (EE) PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	87
Tabla 30: RELACIÓN DE CARGAS POR EJE PARA DETERMINAR EJES EQUIVALENTES (EE) PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	87
Tabla 31: FACTOR CAMIÓN C2 Y C3 PARA PAVIMENTOS	88
Tabla 32: FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO (FP) PARA EJES EQUIVALENTES (EE).....	89
Tabla 33: EE día-carril para Pavimento Flexible.....	90
Tabla 34: EE día-carril para Pavimento Rígido	91
Tabla 35: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible	91
Tabla 36: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido	91

Tabla 37: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2tn, en el Carril de Diseño para Pavimento Flexible y Rígido.	92
Tabla 38: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico.....	95
Tabla 39: 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	96
Tabla 40: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico	98
Tabla 41: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico.....	98
Tabla 42: Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI) Según Rango de Tráfico.....	99
Tabla 43: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular.....	102
Tabla 44: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a1	103
Tabla 45: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje MI	105
Tabla 46: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular	106
Tabla 47: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente	107
Tabla 48: Módulo de Elasticidad (Ec)	111
Tabla 49: Valores Recomendados de Resistencia del Concreto	112
Tabla 50: Módulo de Rotura del Cº (S'c).....	112
Tabla 51: Coeficiente de Transferencia de Carga (J).....	113
Tabla 52: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares.....	113
Tabla 53: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)	114
Tabla 54: Características de la vía con Pavimento Flexible.....	118
Tabla 55: Características de la vía con Pavimento Rígido	120
Tabla 56: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn.....	124
Tabla 57: Resumen Características del Sub - rasante	125
Tabla 58: Cuadro Comparativo entre Pavimentos.....	126
Tabla 59: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos	127
Tabla 60: Cuadro Comparativo Técnico – Económico	128
Tabla 61: Cuadro Comparativo Financiero	130
Tabla 62: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución.....	131
Tabla 63: Cuadro Resumen de Espesores de los dos Tipos de Pavimentos.....	132
Tabla 64: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero.....	132

RESUMEN

Los pavimentos son los elementos estructurales vitales que intervienen en la construcción de carreteras; este estudio tiene como finalidad hacer un comparativo entre el tiempo y costo por metro cuadrado empleado en la ejecución de un proyecto de pavimentación, que se obtendrá al costear dichas propuestas entre las alternativas de estudio seleccionadas.

Dentro de los mismos podemos encontrar los pavimentos flexibles, los cuales se encuentran conformados por las capas de sub rasante, sub base, base y carpeta asfáltica, tienen menores periodos de vida útil el proceso de diseño del mismo, el cual se auxilia de dos métodos muy reconocidos dentro de esta área, como lo son el método AASHTO y el método del Instituto del Asfalto.

Se tienen los pavimentos rígidos, los cuales pueden estructurarse por la capa de sub rasante, base y losa de concreto, que tienen mayores periodos de vida útil. para el proyecto de pavimento rígido se trabajaron las tres etapas mencionadas anteriormente para el pavimento flexible. Inicialmente se tiene la etapa de diseño, que incluye el método AASHTO y el método PCA (Pórtland Cement Association).

Como caso de aplicación se tomará en vías urbanas en el distrito de JUANJUÍ, PROVINCIA DE MARISCAL CÁCERES, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”, esto nos permitirá identificar cuál de las alternativas se ejecutará en el menor tiempo y la más económica, lo cual permitirá a las autoridades y proyectistas decidir por una de las alternativas estudiadas para la ejecución de los diferentes proyectos.

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

Palabras claves: Pavimento Flexible, Pavimento Rígido.

ABSTRAC

Pavements are the vital structural elements involved in road construction; The purpose of this study is to make a comparison between the time and cost per square meter used in the execution of a paving project, which will be obtained by financing said proposals among the selected study alternatives.

Within them we can find flexible pavements, which are made up of the layers of sub-grade, sub-base, base and asphalt folder, they have shorter periods of useful life the design process of the same, which is assisted by two very recognized methods within this area, such as the AASHTO method and the Asphalt Institute method.

There are rigid pavements, which can be structured by the subgrade layers base and concrete slab, which have longer periods of useful life. For the rigid pavement project, the three stages mentioned above for the flexible pavement were worked. Initially, there is the design stage, which includes the AASHTO method and the PCA method (Portland Cement Association).

As a case of application, it will be taken on urban roads in the district of JUANJUÍ, PROVINCE OF MARISCAL CÁCERES, DEPARTMENT OF SAN MARTÍN", this will allow us to identify which of the alternatives will be executed in the shortest time and the most economical, which will allow authorities and designers decide on one of the alternatives studied for the execution of the different projects.

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. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de titulación se presentan dos métodos aplicados a la construcción de carreteras; teniéndose, 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 carretera, se considera de mucha importancia realizar un análisis comparativo de costos entre los mismos; deduciéndose de dicha comparación la conveniencia de la realización de un proyecto determinado, aplicando uno de los dos procesos constructivos mencionados anteriormente. Inicialmente se realiza una breve introducción sobre cada uno de los dos tipos de pavimentos tratados en el presente trabajo de investigación, haciendo mención de la función del pavimento y los diferentes elementos estructurales que lo conforman. Seguidamente se entra en detalle respecto a los procesos de diseño, ejecución y mantenimiento de cada uno de los pavimentos. Finalizando con un análisis comparativo de diseño y costos, Finalmente, se llega a las conclusiones respecto a la conveniencia del uso de cada tipo de pavimento, dependiendo de las condiciones del proyecto y los costos, que la aplicación que cada método constructivo implicará.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

1.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES:

Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos una Tesis, del autor: Rafael Alejandro Torres Ziri3n, titulada “ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE EL PAVIMENTO FLEXIBLE Y EL PAVIMENTO RÍGIDO. Guatemala, octubre de 2015 siguientes conclusiones:

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

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

se refiere a inversión inicial, y que cumple satisfactoriamente con las condiciones de diseño, en comparación con el pavimento rígido que presenta una conservación más económica pero de un costo de implementación muy por encima del pavimento flexible.

1.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES:

También, tenemos una Tesis, del autor para el grado de magister: titulada: “COMMPARACIÓN TÉCNICOECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN FLEXIBLE Y RÍGIDA A NIVEL DE COSTO DE INVERSIÓN”, Lima, junio del 2017

que llegan a las siguientes conclusiones:

- Ambos pavimentos tienden a incrementar espesores a medida que el tránsito aumenta y que el suelo empeora.
- Sin embargo, resulta interesante ver como AASHTO 93 castiga a los espesores de pavimentos flexibles si están expuestos a sub rasantes con CBR bajos. - Los pavimentos rígidos, son menos susceptibles a los valores de CBR, pero se comportan bien, bajo condiciones estables de suelos de fundación. - En cuanto al análisis económico, que establece una comparación relativa de costos de inversión (construcción inicial), entre alternativas equivalentes de pavimentos flexibles y rígidos se puede ver una variación entre ellos de +/- 20%
- En lo que respecta a evaluación de resultados, a partir del análisis desarrollado en los capítulos anteriores, la comparación entre pavimentos de asfalto y de concreto permite concluir; que ambas alternativas de pavimentación presentan buenos resultados, sin embargo, la brecha de conocimientos y tecnológica hace que no se aprovechen las ventajas de los pavimentos rígidos; para afrontar los retos futuros, se requiere un trabajo de capacitación y generación de data de largo plazo.

- Los pavimentos de concreto, para condiciones de suelo con CBR de 3% (malo), son más económicos.
- Los pavimentos de asfalto, para condiciones de suelo con CBR de 25% (buenos), son más económicos.
- Los pavimentos de concreto con suelos con CBR del orden de 10% presentan costos similares a los de asfalto.
- En general, la variación de costos para pavimentos equivalentes, diseñados con AASHTO 93 y construidos con tecnologías equivalentes, está por el orden de más o menos 20% dependiendo de las condiciones de suelo y tránsito.

Además, tenemos una Tesis, del autor Laura Guzmán, M.S. Autor corporativo Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Facultad de Ingeniería Agrícola Título Análisis comparativo entre dos tipos de pavimentos para el campus de la UNALM [Universidad Nacional Agraria La Molina] I Lima: UNALM, 2019

En el presente estudio, se ha determinado la alternativa de menor costo y de menor impacto ambiental negativo al entorno, del análisis comparativo entre las alternativas de diseño de pavimentos flexibles frente a pavimentos rígidos urbanos para las vías al interior del campus de la UNALM, durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento, en un período de análisis de 20 años. Para el análisis, se planteó el diseño de nuevos pavimentos en las vías del campus, ya que en la actualidad los pavimentos existentes registran fallas a nivel superficial en distintos tramos de vías, sin haber desarrollado trabajos de conservación de pavimentos, por lo que ya han cumplido con su ciclo de vida útil. Entonces, se calcularon los espesores de diseño de las capas estructurales que conforman cada tipo de pavimento (flexibles y rígidos), mediante la aplicación del método de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials),

para luego proceder al análisis de costos durante el proceso constructivo, operación y mantenimiento de ambas estructuras. Además, se desarrolló el estudio del impacto ambiental por acción de la variación de temperaturas sobre las superficies de pavimentos, para continuar con la evaluación del impacto ambiental (EIA) mediante el método de la Matriz de Leopold e identificar los posibles impactos significativos durante los trabajos de construcción, operación y mantenimiento en la ejecución de las dos alternativas de pavimentación en las vías de la zona de estudio. Con la finalidad, de determinar la mejor alternativa de diseño de pavimentos con materiales más “amigables” al medio ambiente.

1.1.3 ANTECEDENTES LOCALES:

Tenemos la tesis Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del centro del distrito de Tarapoto son las veintiún cuadras, jurisdicción del Barrio Centro , en el distrito de Tarapoto, provincia de San Martín, región San Martín periodo 2017: Concluimos que el pavimento flexible es el más económico, de acuerdo al presupuesto elaborado por el tesista, por lo tanto, es el que tiene mayor probabilidad de propuesta para los proyectos de pavimentación de vías urbanas, esto debido a los escasos recursos públicos, se trata de hacer más con menos. Concluimos también que el pavimento flexible tiene un menor tiempo de ejecución de las partidas contractuales, considerando las características y procedimientos constructivos de los materiales empleados, a diferencia del concreto rígido que necesitamos más tiempo en la ejecución, esto se puede observar en la programación Gantt elaborado por el tesista. Podemos concluir también que, de acuerdo al periodo de diseño, los pavimentos rígidos son los de mayor vida útil, esto se puede apreciar visualmente en la ciudad de Tarapoto ya que tenemos pavimentos alrededor de la Plaza de Armas con 50 años de servicio aproximadamente y que todavía están funcionando.

También podemos concluir indicando que, el pavimento rígido es el que requiere menor costo de mantenimiento durante su vida útil. Al realizar el estudio de mecánica de suelos se obtuvo un CBR= 12.00%, por lo que se concluye el terreno posee una capacidad portante de regular a mala, y debido a esto el terreno de fundación va tener que ser mejorado. La topografía de la zona en estudio es plana y alineada, lo cual constituye una ventaja para el diseño geométrico vial, de acuerdo a la norma E-010 de Pavimentos Urbanos. Concluimos finalmente, que los valores de espesores de las diferentes capas obtenidos en los diseños, tanto para pavimento rígido y flexible, están dentro de los parámetros que manejamos en la zona del proyecto.

1.2. BASES TEÓRICAS:

1.2.1 PAVIMENTO FLEXIBLE:



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

- a. Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito. El pavimento flexible debe estar constituido de manera tal que las cargas, producidas por el tránsito, no provoquen deformaciones de ningún tipo en su estructura, siendo de mucha importancia el espesor que el mismo tenga.

Están formados por cemento asfáltico, que es un material cementante de color café oscuro o negro, de consistencia sólida o semisólida en que sus principales constituyentes son betunes o mezclas de hidrocarburos, que se presentan en la naturaleza como tales o se obtienen en la refinación del petróleo. Se dice que el asfalto es un material bituminoso ya que contiene bitumen, es decir, un hidrocarburo soluble en disulfuro de carbono (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

- b. Tener la impermeabilidad necesaria. Este pavimento debe ser lo suficientemente impermeable para impedir la infiltración que puede darse por parte del agua, afectando la capacidad soporte del suelo.

De esto se concluye que es de mucha importancia la existencia de un drenaje adecuado.

- c. Resistir la acción destructora de los vehículos. El pavimento debe ser resistente respecto al desgaste y desprendimiento de partículas que se obtiene como consecuencia del paso de los vehículos.
- d. Resistir los agentes atmosféricos. Como un efecto continuo de su presencia, los agentes atmosféricos provocan la meteorización y alteración de los materiales que componen el pavimento, reflejándose este problema, en la vida económica y útil del mismo. Por lo tanto, deben procurarse materiales de mayor calidad y resistentes a los agentes físicos y químicos.
- e. Poseer una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y comodidad hacia el tránsito de vehículos. La superficie del pavimento, debe proporcionar un aspecto agradable, seguro y confortable, de manera que el deslizamiento de los vehículos sea óptimo. Esta superficie, que debe ser lisa, también debe ser antideslizante en caso de estar húmeda.
- f. Ser flexible para adaptarse a ciertas fallas de la base o sub - base. La flexibilidad del pavimento es muy importante en caso de presentarse asentamiento en alguna de sus capas; pudiendo así adaptarse a las pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

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

1.2.1.2 Función del pavimento, el pavimento debe ofrecer una superficie buena y resistente, con la rugosidad necesaria para

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

Las características de resistencia y deformabilidad son necesarias para la distribución de esfuerzos, de modo que lleguen a la sub rasante a niveles tolerables que no produzcan fallas, asentamientos u otras deformaciones perjudiciales. La base, en los pavimentos flexibles, estará formada por materiales friccionantes, cuya capacidad de carga es baja, debido a la falta de confinamiento, por lo que se requiere que sobre la base exista una capa de material cohesivo y resistente a la tensión, como lo es la capa asfáltica.

1.2.1.3 Funciones de las distintas capas de un Pavimento Flexible

1.2.1.3.1 La función de la sub base

En un pavimento flexible, es puramente económica, buscando así obtener un espesor utilizando el material más barato posible. Podría construirse dicho espesor con materiales de alta calidad como en el caso de la base, pero usualmente se hace aquella más delgada y se sustituye en parte por la sub base que es de menor calidad, trayendo como resultado un aumento en el espesor total del pavimento, pues es un hecho que cuando menor es la calidad del material utilizado, mayor será el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos. Otra función de la sub base es la de servir de transición entre la base y la sub rasante; ya que el material de la base es granular más o menos grueso y el de la sub base es más fino que le anterior, de esta manera sirve como filtro para evitar que el material de la base se incruste en la sub rasante. La sub base sirve también para absorber las deformaciones que provienen de la sub rasante y que pueden ser perjudiciales para el pavimento en general. Así también lo son los

cambios volumétricos asociados a los cambios de humedad. La sub base sirve también como drenaje para desalojar el agua que se infiltre en el pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la terracería. De las funciones mencionadas anteriormente, la estructural y la económica son las que más se proyectan en la construcción de pavimentos, el resto dependen de las circunstancias y de los materiales con los que se cuente para la sub base. Generalmente las dos cualidades que se buscan en el material de sub base son: la resistencia friccionante y la capacidad de drenaje; teniendo cada una, en su razón de ser, la importancia de su preferencia. La resistencia friccionante contribuirá a la resistencia en conjunto del pavimento, garantizando buen comportamiento en cuanto a deformabilidad se refiere, como resultado de una buena compactación. La capacidad de drenaje, igualmente importante, es necesaria debido a la doble función que realiza tanto con el agua que se infiltra de la superficie, como la que asciende por capilaridad. Los espesores de sub base, son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 a 15cm como la dimensión mínima constructiva. Los materiales consistirán en materiales de tipo granular con las siguientes propiedades mínimas: un valor soporte (CBR) del 30% sobre muestra saturada y compactada al 100% del Proctor Modificado u otra compactación que el diseñador especifique; un índice plástico (IP) no mayor de 9 y un límite líquido (LL) no mayor de 40%. Los materiales de sub base deben ser de fácil compactación para alcanzar la densidad máxima determinada. En el caso de que contengan gravas o rocas, éstas no deben ser mayores de los $\frac{2}{3}$ del espesor de la sub base. Cuando la compactación de la sub base resulte difícil por falta de finos, pueden seguirse dos alternativas: se le agregan los finos o, si esta operación resulta cara en valor y/o trabajo, deben buscarse otros bancos de material que reúnan las especificaciones. Cuando existan alternativas para el uso de varios bancos, dentro de los límites razonables de acarreo y/o calidad, se escogerá el que disponga de

menor porcentaje de material que pase el tamiz 200, que tenga mayor CBR y menor índice plástico (IP). Es muy importante que los bancos de materiales para sub base, llenen las especificaciones requeridas y se encuentren libres de materia vegetal, basura o terrones de arcillas y otras materias perjudiciales. Debe tenerse presente y tomar en cuenta que un gran número de fallas en los pavimentos se debe a sub bases que no llenan las especificaciones requeridas, que han sido mal compactadas o que se han contaminado debido a la falta de un adecuado drenaje o por falta de control de la sub rasante.

1.2.1.3.2 Función primordial de la Base

Es la de proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub base y sub rasante, en una intensidad adecuada. Esta también reduce el espesor de la carpeta más costosa. Muchas veces la base también debe trabajar como la sub base, respecto a la doble función de drenaje mencionada anteriormente. Básicamente el material que constituye a la base, en el pavimento flexible, debe ser friccionante y provisto de vacíos. La primera garantizará la resistencia adecuada y la permanencia de dicha resistencia con la variación de las condiciones que se puedan presentar, como podría ser el contenido de agua. Es lógico que no basta sólo con emplear material friccionante para garantizar la resistencia deseada, es necesaria también una compactación adecuada, necesaria para adquirir la compacidad y trabazón estructural requerida para una buena base. Los materiales utilizados para la base suelen someterse a procesos exigentes para su aprobación como lo es la trituración, produciendo efectos favorables para la resistencia y deformabilidad de la estructura a construir, ya que se obtienen partículas con formas convenientes para un reacomodo adecuado; además de esto, se deben llenar otras especificaciones por lo que es necesario tamizar dicho material. Los espesores de las bases son muy variables de acuerdo con el proyecto de que se trate, pero suele

considerarse que 12 o 15 centímetros, es el espesor mínimo que conviene construir. Los materiales de grava o piedra triturada, provienen de la explotación de minas, de roca o piedras naturales. Los materiales retenidos en el tamiz No. 4, son agregados gruesos; los que pasan el tamiz No. 4, agregados finos; y los que pasan el tamiz No. 200, forman el relleno mineral. El material de relleno deberá estar libre de sustancias deletéreas o talcosas, poseen propiedades ligantes tales que permitan una buena compactación y contribuyan formar una capa de base bien ligada y densa. Los finos, juntamente con el agregado mineral, deberán tener un límite líquido menor de 25, un índice plástico menor de 9, y el porcentaje que pase el tamiz No. 200 deberá ser igual o menor al que pasa el tamiz No. 40. En el caso que sea necesario agregar material de relleno, para ajustarse a los requisitos de graduación o para obtener una cohesión satisfactoria del material, deberá mezclarse uniformemente todo el material de la base. Materiales a base de arena - arcilla, son mezclas que, debidamente proporcionadas, tienen considerable resistencia a la desintegración, cuando han sido compactadas con la humedad óptima a su máxima densidad. En estas condiciones llegan a tener alto valor soporte arriba del 80% de CBR. Para que mantengan estas características, es necesario imprimirles inmediatamente, después de construidas, aunque posteriormente se coloque la carpeta de rodadura. Son consideradas muy buenas bases mientras mantengan sus características de máxima densidad y humedad óptima, pero muy deficientes al perder humedad más allá de límites razonables, pues se desintegran rápidamente pierden de manera sensible su valor soporte. Sin son debidamente protegidas, con buenos drenajes, sub drenajes y una carpeta de rodadura, dan resultados excelentes y su construcción es económica. Lo óptimo a requerir de estos materiales es que, si son arenas, sean duras, angulosas y preferiblemente silíceas; si son arcillas, deberán ser de calidad uniforme y estar libres de terrones, materias vegetales y sustancias dañinas. La fracción que pasa por el

tamiz No. 200, será menor del 50% de la fracción que pasa el tamiz No. 40. Además de los requisitos anteriores, la base terminada debe tener un valor soporte arriba del 80%, un límite líquido no mayor de 25 y un índice plástico igual o menor de 9. En resumen, la base debe proporcionar una superficie de rodadura adecuada, con textura y color conveniente, además de resistir los efectos abrasivos del tránsito. Es muy importante mencionar que esta capa debe impedir, hasta donde sea posible, la infiltración del agua al interior del pavimento.

1.2.1.3.3 Capa de rodadura

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. La capa de rodadura también contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros).

1.2.1.4 Diseño de un Pavimento Flexible

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.

Para el diseño de espesores de pavimentos flexibles, se conocen dos métodos, que son:

- ❖ Método de AASHTO
- ❖ Método del Instituto de Asfalto

1.2.1.4.1 Método de AASHTO Para la implementación del presente método se debe hacer uso de la siguiente fórmula:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

En donde:

Donde:

W18: Número de repeticiones de eje equivalente (ESAL)

ZR: confiabilidad

So: desviación estándar

SN: número estructural

ΔPSI: Pérdida de Serviciabilidad

MR: Módulo resiliente de la sub - rasante.

Ya conocido el número estructural, se procede a estructurar el pavimento conformado por las capas de sub - base granular, base granular y carpeta asfáltica, mediante la siguiente expresión:

$$SN = \sum_{i=1} a_i D_i m_i$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

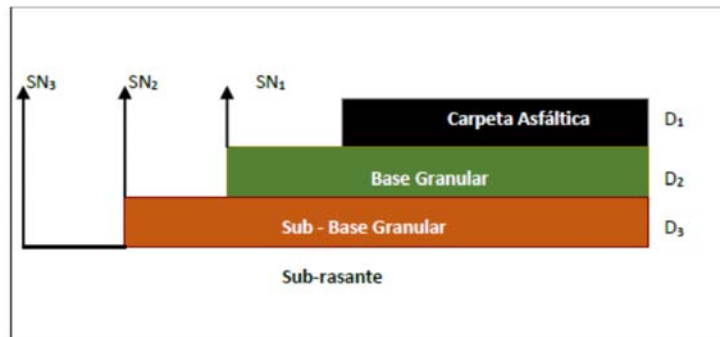
Donde:

ai: coeficiente de capa en función de las propiedades de los materiales

Di: espesores

mi: coeficientes de drenaje

Ilustración 1: Estructura de Pavimento



La estructura del pavimento se diseñará para los siguientes periodos:

Para 20 años en dos etapas de 10 años; Carpeta Asfáltica.

Para 20 años en una etapa; Carpeta Asfáltica.

De acuerdo al período de diseño

DISEÑO 1: 10 AÑOS

Se muestran todos los parámetros de diseño requeridos para el cálculo del número estructural y la estructuración del pavimento.

Ilustración 2: Parámetros de Diseño para 10 años

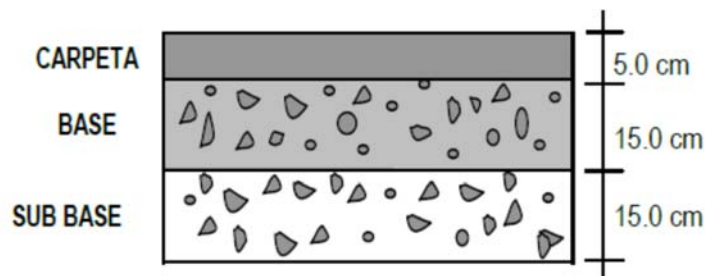
Parámetros de Diseño				0-10 años
Número de Ejes Equivalentes				1.795E+05
CBR diseño subrasante				12.0%
Módulo Resiliente, Mr (psi)				12533
Nivel de Confianza, R (%)				90%
Factor de confiabilidad, Zr				-1.282
Desviación estándar, So				0.45
Serviciabilidad Inicial				4.2
Serviciabilidad Final				2.0
Δ PSI				2.2
Número Estructural Requerido			SN	2.12
Carpeta Asfáltica	---	a1 = 0.44	D1 (pulg.)	2.0
Base	m2 = 1.0	a2 = 0.13	D2 (pulg.)	6.0
Sub-Base	m3 = 1.0	a3 = 0.12	D3 (pulg.)	6.0
Espesor total del pavimento			(pulg.)	14.0
Número Estructural Propuesto			SN	2.38

Ilustración 3: Calculo Estructural para 10 años

Tabla 29: La estructura del Pavimento flexible para 10 años

Estructura	Espesor
Carpeta Asfáltica	5.0 cm (2.0 pulg.)
Base Granular	15.0 cm. (6.0 pulg.)
Sub Base Granular	15.0 cm. (6.0 pulg.)
SN (Real)	2.38

Ilustración 4: Estructura de pavimento flexible para 10 años



Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO 2: 20 AÑOS EN UNA ETAPA

Se muestran todos los parámetros de diseño requeridos para el cálculo del número estructural y la estructuración del pavimento.

Ilustración 5: Parámetros de Diseño para 20 años

Parámetros de Diseño				0-20 años
Número de Ejes Equivalentes				5.062E+05
CBR diseño sub-rasante				12.0%
Módulo Resiliente, Mr (psi)				12533
Nivel de Confianza, R (%)				80%
Factor de confiabilidad, Zr				-0.841
Desviación estándar, So				0.45
Serviciabilidad Inicial				4.2
Serviciabilidad Final				2.0
Δ PSI				2.2
Número Estructural				
Requerido			SN	2.33
Carpeta Asfáltica	---	a1 = 0.44	D1 (pulg.)	2.5
Base	m2 = 1.0	a2 = 0.13	D2 (pulg.)	6.0
Sub-Base	m3 = 1.0	a3 = 0.12	D3 (pulg.)	6.0
Espesor total del pavimento			(pulg.)	14.5
Número Estructural				
Propuesto			SN	2.60

Se adjunta el cálculo del Número Estructural:

Ilustración 6: Calculo Estructural para 20 años

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 80 % $Z_r = -0.841$ So = 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial = 4.2 PSI final = 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr = 12533 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis: Calcular SN **W18 = 506200** Calcular W18

Número Estructural: **SN = 2.33**

Calcular Salir

Tabla 31: La estructura del Pavimento flexible para 20 años

Estructura	Espesor
Carpeta Asfáltica	6.4 cm (2.5 pulg.)
Base Granular	15.0 cm. (6.0 pulg.)
Sub Base Granular	15.0 cm. (6.0 pulg.)
SN (Real)	2.60

Ilustración 21: Estructura del pavimento flexible – Periodo 20 años.

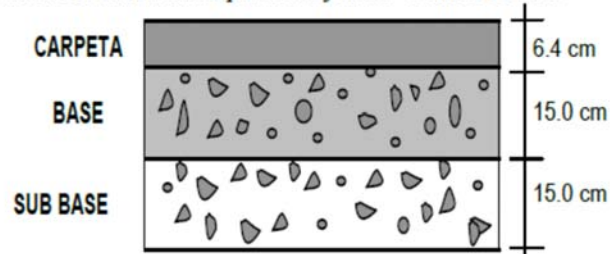


Ilustración 7: Estructura de pavimento flexible para 20 años

La vida útil del pavimento El período de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. La vida útil del pavimento, es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el tiempo en el que alcanza el mínimo de serviciabilidad. El período de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento, en los casos en que se consideren reconstrucciones ó rehabilitaciones a lo largo del tiempo. El período de diseño comprende varios períodos de vida útil que son: el de pavimento original y el de las rehabilitaciones.

Tabla 1: Períodos de diseño

Tipo	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales Sub Urbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Sub Urbanas	10 - 20 años
Colectoras Rurales	

- ❖ **Variables en función del tránsito**, es el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) ó ESAL´s.
- ❖ **Confiabilidad (R)**, este valor se refiere al grado de seguridad de que el diseño de la estructura de un pavimento, pueda llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones.
- ❖ **Sub rasantes expansivas**, en el caso de existir las mismas por efecto de saturación, es necesario analizar la pérdida de serviciabilidad debido a esta causa, haciendo los análisis de laboratorio a los materiales existentes en el proyecto.

- ❖ **Criterios para determinar la serviciabilidad**, la serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto). Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final; la inicial es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera; al final va en función de la categoría del camino y se adopta en base al criterio del diseñador.

Serviciabilidad inicial:

Po = 4.5 para pavimento rígidos

Po = 4.2 para pavimento flexibles

Serviciabilidad final:

Pt = 2.5 ó más para caminos principales

Pt = 2.0 ó más para caminos de tránsito menor

- ❖ **Propiedades de los materiales**, son las que se valoran para el módulo de resiliencia, ya que en función de este se llega a los coeficientes de los números estructurales.
- ❖ **Drenajes los coeficientes de capa**, son los que se ajustan con factores mayores o menores que la unidad para tomar en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad cerca de la saturación.
- ❖ **Determinación de espesores en los pavimentos de mezclas asfálticas, por medio de la fórmula de diseño**, se obtiene el número estructural y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman la estructura. El diseño está basado en la identificación del número estructural del pavimento flexible y la cantidad de ejes de carga transitado.

- ❖ **Determinación del número estructural**, requerido Las variables para determinarlo son las siguientes:
 - La cantidad estimada de ejes equivalentes por carril, para el período de diseño.
 - La confiabilidad (R).
 - El conjunto total de las desviaciones estándar. Se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:
 - Para pavimentos flexibles 0.40 – 0.50
 - En construcción nueva 0.35 – 0.40
 - En sobre - capas 0.50
 - El módulo de resiliencia efectivo (que tome en cuenta las variaciones a lo largo del año) de la sub rasante (M_r).
 - La pérdida de serviciabilidad.

- ❖ **Estabilidad y factibilidad de la construcción**, en la práctica no deben colocarse capas con espesores menores a los mínimos requeridos, pues las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el fin de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones para absorber los efectos que producen los suelos expansivos. Cuando se utilicen, como capa de rodadura, tratamientos superficiales, no se debe considerar aporte estructural de esta capa; pero tiene un gran efecto en la base y sub base, ya que impermeabiliza la superficie y no permite la entrada de agua a la estructura de pavimento. Algunos valores de espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito, son dados en la siguiente tabla.

Tabla 2: Espesores mínimos sugeridos:

Número de ESAL´s	Capas Asfálticas (cm)	Base Granular (cm)
Menos de 50,000	3.0	10
50,000 - 150,000	5.0	10
150,000 - 500,000	6.5	10
500,000 - 2,000,000	7.5	15
2,000,000– 7,000,000	9.0	15
Más de 7,000,000	10.0	15

Fuente propia

Tales mínimos dependen de las prácticas locales y está condicionado el usarlos; los diseñadores pueden encontrar necesario modificar hacia arriba los espesores mínimos, debido a la experiencia obtenida; estos valores son sugeridos y se considera su uso tomando en cuenta que son capas asfálticas sobre bases granulares sin tratar.

- ❖ **Espesores mínimos en función del número estructural**, basándose en las capas granulares no tratadas, deben estar perfectamente protegidas de presiones verticales excesivas, que lleguen a producir deformaciones permanentes. Para evitar las deformaciones excesivas, los materiales son seleccionados para cada capa así: superficie de rodadura, base granular y sub base con buen CBR, límites entre otros. Para cada uno de los materiales se deben conocer los Módulos de Resiliencia.

1.2.1.4.2 Método del Instituto de Asfalto, en este procedimiento de diseño, la estructura de pavimento es considerada como un sistema elástico de capas múltiples. El material en cada una de las capas se caracteriza por su módulo de elasticidad. Este procedimiento es usado para el diseño de pavimentos de asfalto compuesto de combinaciones de capa asfáltica, base y sub base sin ningún tratamiento; la sub rasante es

la capa subyacente más baja y es asumida infinita en el sentido vertical de arriba hacia abajo y en dirección horizontal; las otras capas de espesor finito, se asumen infinitas hasta cierto punto, en el sentido horizontal. Una continuidad ó fricción total, es asumida en la unión entre cada una de las capas para efectos de diseño. En la metodología adoptada por este método, las cargas sobre la superficie de pavimento producen dos esfuerzos de tensión, que son críticos para propósitos de diseño, estos son:

- a. El esfuerzo de tensión horizontal sobre el lado de abajo en el límite de la capa asfáltica, y;
- b. El esfuerzo de compresión vertical en la superficie de la sub rasante. Si la fuerza de tensión es excesiva, pueden resultar grietas en la capa; si la fuerza de compresión vertical es excesiva, resultan deformaciones permanentes en la superficie de la estructura de pavimento por las sobrecargas en la sub rasante. Las deformaciones excesivas, en las capas tratadas, pueden ser controladas por las calidades a que están sujetas las propiedades de los materiales. Todos los materiales se caracterizan por el Módulo de Elasticidad del cual son seleccionados valores específicos, basados en estudios experimentales realizados. El Módulo de Elasticidad de las mezclas asfálticas, es altamente dependiente de la temperatura que se encuentre sobre el pavimento. El Módulo de Elasticidad es función del tiempo de fraguado. El Módulo de Resiliencia de los materiales granulares sin tratar, puede variar con las condiciones de esfuerzo en el pavimento. Valores usados en el desarrollo de las tablas de diseño dadas, varían poco desde 103 MPa (15,000 psi) hasta más de 345 MPa (50,000 psi). En adición a los efectos de cambio mensuales de la temperatura a través del año sobre el módulo dinámico de la capa asfáltica, las curvas de diseño también toman consideraciones sobre el efecto de la temperatura sobre el módulo de resiliencia de la sub rasante y los materiales de la base.

Estimación del tránsito, se define la diferencia entre “Período de Diseño” y “Período de Análisis”, de la siguiente forma:

Un pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos acumulados del tránsito en cualquier período de tiempo. El período seleccionado, en años, se define como “Período de Diseño”; al término de éste, es posible que el pavimento necesite de una acción de rehabilitación mayor, lo cual debe ser una sobre carpeta de refuerzo para restaurarlo a su condición normal. La “vida útil de un pavimento” o “Período de Análisis”, es el tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que éste alcanza las mínimas condiciones de transitabilidad y se puede extender de forma indefinida por medio de la colocación de sobre carpetas u otras acciones de rehabilitación, hasta que la carretera sea obsoleta debido a cambios significativos como:

- Pendientes
- Alineamiento geométrico
- Otros factores

Debido a que los camiones son los que más daño ocasionan a las carreteras, se debe considerar este tipo de flujo vehicular sobre el carril de diseño, por lo que se utilizan los valores dados en la siguiente tabla.

Tabla 3: Factor de distribución por carril

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6	ó más 40

Fuente propia

El método del Instituto de Asfalto, incorpora factores de ajuste de los ejes equivalentes de diseño, para diferentes presiones de contacto de las

llantas sobre el pavimento, en función de la presión de inflado y los espesores de la capa asfáltica. Este factor de ajuste de los ejes equivalentes, es un dato que caracteriza la importancia que tiene la presión de inflado sobre el espesor de una estructura de pavimento, pues a mayor presión de inflado y menor espesor de capa de rodadura, incrementa en buena medida el número de ejes equivalentes y por lo tanto, es mayor el daño a una estructura determinada.

Materiales Respecto al diseño, de espesores de un pavimento flexible, el método del Instituto de Asfalto, considera como parámetro fundamental la evaluación de los materiales para obtener el Módulo de Resiliencia (Mr). Se han establecido valores de correlación entre el módulo y la prueba del CBR (AASHTO T-193); los valores obtenidos son bastante aproximados, sin embargo, para obtener resultados más precisos es necesario llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia (Mr) de la sub rasante. Para calcular el módulo de resiliencia a partir del CBR, se han desarrollado las siguientes fórmulas:

$$\text{Mr (MPa)} = 10.3 \times \text{CBR}$$

$$\text{Mr (psi)} = 1,500 \times \text{CBR}$$

Es necesario, para aplicar la metodología descrita, que se incluyan métodos de prueba normados por AASHTO y ASTM, los cuáles deben de considerar los parámetros indicados en la tabla número 4.

Tabla 4: Normas AASHTO y ASTM

Prueba	Uso	AASHTO	ASTM
Límite líquido	Clasificación	T-89	D-4318
Límite plástico	Clasificación	T-90	D-4318
Granulometría	Clasificación	T-88	D-422
Compactación	Relación humedad-densidad	T-180	D-1557

CBR	Básico para diseño de espesores	T-193	D-1883
Valor R	Básico para diseño de espesores	T-190	D-2844
Equivalente de arena	Clasificación	T-176	C-293-79
Pasa tamiz No. 200	Clasificación	T-11 Y T-27	C-117-89 y C-293-79
Módulo de resiliencia (Mr)	Básico para diseño de espesores	Se utiliza el método MS-1 del propio Instituto de Asfalto	

Fuente Manual de Carreteras

En función del tránsito esperado, sobre el pavimento en estudio, el método del Instituto de Asfalto recomienda los siguientes valores percentiles, para calcular el Módulo de Resiliencia de diseño de la capa de sub rasante.

Tabla 5: Valor percentil por nivel de tránsito

Nivel de tránsito	Valor percentil para diseño de sub rasantes
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87.5

Con los valores obtenidos en el laboratorio, del Módulo de Resiliencia, de las muestras de campo, se deberá calcular el Mr de diseño de la capa de la sub rasante usando los percentiles de la tabla anterior. Para que el diseño de los espesores de una estructura de pavimento, cumpla con su función, es necesario que los requerimientos de compactación de las capas de base y sub base, se adapten a las siguientes recomendaciones:

- ❖ Las capas de base y sub base, que son formadas por materiales granulares sin ningún tratamiento (no estabilizadas), se deben compactar con un contenido de humedad de más o menos de 1.5% de

la humedad óptima, para alcanzar la densidad mínima del 100% de la densidad seca máxima de laboratorio; para tal efecto se recomiendan algunos valores para las diferentes pruebas a realizarse con materiales de sub base y base.

- ❖ Es importante señalar también, que el método incluye factores de medio ambiente y diferentes clases de tipos de asfalto; para tal caso se consideran tres diferentes temperaturas, dependiendo de la región en donde se pretenda construir el pavimento: climas fríos (7°C), templados (15.5°C) y cálidos (24°C); en los cuales se utilizan cementos asfálticos desde el AC-5 hasta el AC-40, por lo que se recomienda la siguiente clasificación:

Tabla 6: Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima

Clima	Temperatura media anual del aire (TMAA)	Grado de asfalto
Frío	Menor o igual a 7°C	AC-5, AC-10
Templado	Entre 7° y 24°C	AC-10, AC-20
Cálido	Mayor de 24°C	AC-20, AC-40

Para espesores mínimos, en función de la cantidad de tránsito de ejes equivalentes, este método recomienda los siguientes valores para superficies de rodadura construidas sobre bases granulares normales, sin ningún proceso de estabilización.

Tabla 7: Espesores mínimos de capas asfálticas sobre base

Cantidad de ejes equivalentes	Condición del tránsito	Espesores mínimos de la capa asfáltica, en centímetros
Hasta 10,000	Ligero	7.5
Entre 10,000 y 1,000,000	Mediano	10
Mayor de 1,000,000	Pesado	12.5 o más

Espesores de diseño, para el diseño final de los espesores de una estructura de pavimento, el método del Instituto de Asfalto, proporciona diversos nomogramas para los sistemas métrico, decimal e inglés; los cuales abarcan todas las variables que se puedan involucrar en el diseño y que fueron analizadas anteriormente. Los nomogramas son presentados a escala logarítmica para los siguientes parámetros:

- Las tres condiciones climáticas consideradas en la temperatura media anual del aire.
- Total, de ejes equivalentes acumulados durante el período de diseño.
- Módulo de resiliencia de la sub rasante.
- Capa de concreto asfáltico de una sola capa.
- Para cuando se tiene una capa de base sin estabilizar de 15 centímetros.
- Para cuando se tiene una capa de base sin estabilizar de 30 centímetros.

Tráfico y cargas de diseño, dentro de los diferentes factores influyentes para las cargas de tránsito, pueden mencionarse los siguientes: Factores principales:

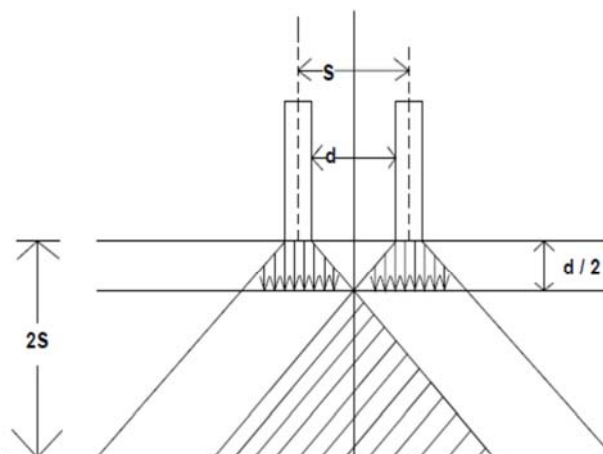
- Carga transmitida por la rueda.
- Área de influencia de la carga.
- Número de repeticiones de la carga.
- Velocidad. Factores secundarios:
- Área de contacto de la llanta, que determina la presión de contacto.
- Número de llantas en el arreglo.
- Espaciamiento entre ejes.

El tipo de vehículos que transitan por un camino, varían dependiendo del tipo de camino que se trate; por ejemplo, es diferente el vehículo utilizado en un camino turístico en donde se podrían observar automóviles de pasajeros, al vehículo utilizado en un camino minero, que serían vehículos de carga de diversos tonelajes dependiendo de las condiciones. Habrá

caminos en los cuales el tránsito será mixto, como en las regiones agrícolas. Se puede decir que el tránsito de vehículos es un factor de mucha relevancia en el proyecto de un camino determinado, ya que influye directamente con el diseño geométrico. Las cargas por rueda para diseño, la profundidad a la cual los esfuerzos resultantes, dados por ruedas duales, son iguales a los de una rueda sencilla, dependen de la separación entre las mencionadas ruedas duales. Cerca de la superficie, las ruedas duales actúan independientemente. Sin embargo, a profundidades mayores, los esfuerzos provocados por ellos se traslapan, pero ellos son menores a medida que la profundidad crece, llegando a un punto en que dichos esfuerzos son despreciables.

Por medio de análisis teóricos y por medidas directas de los esfuerzos en pavimentos, sea establecido la relación que hay entre la profundidad y la separación de las ruedas duales, teniéndose que a la profundidad aproximada de $d/2$, las ruedas dejan de actuar independientemente y los esfuerzos bajo el pavimento comienzan a combinar sus efectos debido a las dos ruedas, haciéndose despreciable este efecto a la profundidad de $2s$.

Ilustración 8: Esquema de las cargas por rueda para diseño (ruedas duales)



Los cálculos para determinar la carga por rueda equivalente, pueden basarse ya sea en el criterio de la igualdad de deformación o en el criterio de la igualdad de esfuerzos. Es decir, que si se conoce la máxima deflexión que ocurre bajo un conjunto de ruedas duales, una deflexión que ocurra de la misma cantidad bajo una rueda sencilla, indica que esa rueda es equivalente a las ruedas duales. Lo mismo se puede decir, aproximadamente, acerca de lo que ocurre con los esfuerzos. A profundidades pequeñas, las máximas deflexiones ocurren bajo una rueda, mientras que a mayores profundidades las deflexiones mayores ocurren bajo el centro del conjunto de las dos ruedas.

1.2.1.4.3 Ejecución de un Pavimento Flexible

- ❖ Tratamientos para los Pavimentos Flexibles, haciendo referencia a los pavimentos de asfalto, se pueden tener diferentes tipos de aplicaciones, conformándose así, una amplia variedad del uso de dicho método constructivo, como los mencionados a continuación.
- ❖ Tratamientos superficiales, Utilizados frecuentemente en la ciudad de Guatemala, debido a su bajo costo y eficiencia. Está conformado por una superficie de desgaste, formada por grava triturada, con un riego de Cut Back RC2 o similar.
- ❖ Descripción Es la colocación de una capa de revestimiento de poco espesor, formada por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos. La que no da un refuerzo de estructura sino simplemente protege la base de la acción del tiempo y del desgaste. Los tratamientos superficiales no corrigen depresiones, ni deformaciones, ni agrietamientos fuertes, solamente logran una capa impermeable.
- ❖ Propósito dotar al pavimento de mejores condiciones de impermeabilidad, suavidad para el manejo, prolongar la vida útil del paquete estructural, dar una solución técnica – económica al problema del mantenimiento.

- ❖ Criterio Se puede realizar un tratamiento superficial para tratar una superficie amplia de carretera donde la misma este desgastada en gran parte la capa de rodadura, pero su estructura está en condiciones de recibir cargas. Cuando la superficie impermeable esta agrietada y permite la entrada de agua en la estructura del camino, la textura de la superficie es inadecuada y se ha reducido la resistencia al deslizamiento.

1.2.1.4.3.1 Procedimientos de ejecución, el procedimiento de ejecución del Pavimento Flexible, consiste en las siguientes etapas:

- a. Señalización adecuada en el área de los trabajos.
- b. Barrer la superficie total de calzada, con esto se evita que el transito circulante por el carril libre levante polvo que luego se ira a depositar en el riego impidiendo el ligamento entre el betún y el árido. También se debe mantener siempre húmedo el hombro por el mismo motivo, hasta que esté perfectamente limpia.
- c. Marcar la superficie de la calzada con una cuerda a lo largo de la misma, donde empieza la obra, para asegurar la correcta alineación del borde de la superficie a tratar.
- d. Fuera del sector de la obra se verifica el funcionamiento del regador de asfalto, y la temperatura en que se encuentra el ligante. Se debe usar bidones partidos para recoger el ligante soltado en la prueba de riego de los picos, de manera de no contaminar el ambiente. Así mismo se debe calibrar el distribuidor de áridos el cual se hace generalmente donde esta apilado el material.

De esa manera se le puede recuperar. Esta calibración se hace de la siguiente forma: se da una abertura y velocidad del distribuidor determinada y se le hace pasar por encima de una lona de 1m x 1m, de esta manera se determina la cantidad de kilogramos que distribuye por metro cuadrado, variando la abertura del distribuidor y manteniendo la velocidad se calibra la cantidad de material por metro cuadrado.

- e. Concluida con la tarea anterior se ajusta la altura de la barra de riego de modo que cada punto de la superficie reciba ligante de tres salidas diferentes, además se ajusta el ángulo de la barra para obtener un riego uniforme en toda la calzada.
- f. Se debe ajustar la anchura cubierta por la barra de riego de modo que 1/3 del rociado aportado por la última salida de la barra pasa por el centro de la calzada. Esto hará posible que la zona del centro de la calzada reciba la cantidad correcta de asfalto después del tratamiento de la otra mitad de la carretera.
- g. Una vez realizados todos estos ajustes se hace una prueba de dotación real de asfalto y con ello una gráfica de calibrado de tasa de reparto.
- h. Se hace la misma operación anterior en la otra mitad de la calzada.
- i. Colocación de bandas de papel fuerte en posición que asegure juntas transversales limpias en el comienzo y fin tramo. La longitud "L" estará determinada por la capacidad de los camiones que se utilicen para el tendido del material pétreo.
- j. El asfalto debe aplicarse sólo en superficie completamente seca (se debe evitar, en todo lo posible, la aplicación de tratamientos superficiales durante la estación lluviosa).
- k. El regador se coloca a unos 15 m antes del comienzo del tramo a regar, con el propósito de que entre al sector con la velocidad calculada para la cantidad de litros necesarios por metro cuadrado. Cuando llega a la zona de las bandas de papel el operario que va en la cola del camión regador abre la barra de riego y la cierra cuando pasa por la otra banda, en todo el transcurso el camión debe ir a la misma velocidad siempre.
- l. La distribución de la gravilla comienza inmediatamente después de la aplicación de asfalto, en la primera mitad se deja sin cubrir una faja de 20 centímetros a lo largo de la línea central, la que se cubre cuando se ejecuta la segunda mitad, para el tratamiento simple, si se ejecuta doble o triple es recomendable cubrir toda el área regada. La distancia entre el distribuidor de áridos y camión regador de asfalto nunca debe ser superior a 75 m (preferiblemente 30m).

- m. A la vez que se va cubriendo la superficie con grava, se procede a revisar la misma completando los lugares donde falta grava o sacándola si existiera de más, para ello se debe usar cepillo, palas, etc.
- n. Se pasan los dos rodillos neumáticos, que hacen el recorrido hacia atrás y adelante a una distancia de 50 m del distribuidor de áridos, a velocidad no mayor de 8 km/h.
- o. Si el tratamiento superficial fuera doble o triple se repite la operación antes descrita, pero con la salvedad de colocar la última capa de grava. Se hace un riego de sellado (el total de ligante regado debe ser el determinado por el pliego de especificaciones técnicas).
- p. De acuerdo al tipo de ligante utilizado se debe mantener cerrado al tránsito entre 48 y 72 horas, tiempo en que se produce el curado. Una vez cumplido estos plazos se hacen 7 pasadas completas de rodillo neumático.
- q. Después de este tiempo se puede abrir al tráfico, dejando en el lugar señales preventivas de material suelto y límites de velocidad.
- r. Luego de siete días se procede a retirar el exceso de pedrín con barrido ligero a mano o con barredora mecánica. Si se deja en la calzada puede dañar los vehículos o romper parabrisas.
- s. En lugares donde se haya producido exudación, será necesario el extendido de arena gruesa.
- t. Se retiran los dispositivos de señalización temporal.

1.2.1.4.3.2 Macadam de penetración, este tipo de tratamiento es utilizado en lugares en donde es muy común el tráfico pesado; conformándose por una capa de superficie de 5 centímetros de espesor, compactada sobre una base de grava triturada, preparada con anterioridad; por lo general se usa asfalto Cut Back RC2 de curado medio.

1.2.1.4.3.3 Riegos de sello, corresponde al sistema de riego que se ha separado, tomando en cuenta la función que desempeña. Este tratamiento tiene los siguientes objetivos:

- ❖ Impermeabilizar los pavimentos contra el agua y la humedad.
- ❖ Mejorar las características antiderrapantes de los pavimentos construidos.
- ❖ Mejorar la visibilidad nocturna o formar señales de tránsito por medio de cambios de colores.

1.2.1.5 Carpeta de arena – asfalto

Tratamientos comúnmente utilizados en las ciudades, debido a que son silenciosos, uniformes y fáciles de limpiar. Son conformados por una proporción de asfaltos y agregados finos. Como material aglutinante se utilizan asfaltos del grado de penetrabilidad a razón de 5, 6 o 7% máximo por peso del agregado. El mezclado se realiza en planta ordinaria para mezcla en caliente y el tendido y compactación requieren de técnicas usadas en otros pavimentos.

1.2.1.6 Pavimentos con emulsión asfáltica

Pavimentos conformados por agregados pétreos, los cuales consisten en roca triturada, arena y polvillo además de bitumen; consisten también en emulsión asfáltica MS-2 o similar. En caso de tenerse un espesor igual o mayor a 8 centímetros es recomendable colocarlos en dos capas.

1.2.1.7 Concreto asfáltico en caliente

Esta actividad consistirá en el suministro, colocación, extendido y compactado de una mezcla de concreto asfáltico en caliente. En el espesor requerido, sobre una base granular previamente acondicionada o sobre la superficie de un pavimento existente al cual se pretenda reforzar su estructura. En ambos casos previamente se deberá aplicar un riego asfáltico de liga.

Propósito Restitución de las características originales del camino, como ser textura superficial, impermeabilidad, reducción de las deformaciones transversales y longitudinales, seguridad, confort, dotar de una mayor capacidad para distribuir las cargas.

Criterios para la ejecución de este trabajo, se requiere que el tramo a colocar el concreto asfáltico en caliente, no haya experimentado una deflexión mayor que las especificadas; que el deterioro de la capa de rodadura sea generalizado. Depende también de la importancia que posee el tramo para el desarrollo regional.

1.2.1.8 Procedimientos de ejecución, los procedimientos de ejecución para un Pavimento Flexible, son los que se presentan a continuación:

- a. Señalización del sector donde se ejecutará la carpeta asfáltica, colocación de conos, carteles de seguridad y personal para desviar el tránsito, en general se realiza primero un carril para permitir la circulación por el otro carril.
- b. Barrer la superficie total de calzada, con esto se evita que el tránsito levante polvo que se irá a depositar en el riego de liga impidiendo el ligamento entre la nueva carpeta y la existente, también se debe mantener siempre húmedo el hombro por mismo motivo, hasta que este perfectamente limpia.
- c. Marcar la superficie de la calzada con una cuerda por el borde de la calzada, para asegurar la traza del borde del riego de liga.
- d. Fuera del sector de la obra se verifica el funcionamiento del regador de asfalto, temperatura en que se encuentra el ligante. Se debe usar bidones partidos para recoger el ligante soltado de manera de no contaminar el ambiente.
- e. Concluida con la tarea anterior se ajusta la altura de la barra de riego de modo que cada punto de la superficie reciba ligante de tres salidas diferentes, además se ajusta el ángulo de la barra para obtener un riego uniforme en toda la calzada.
6. Colocación de bandas de papel fuerte en posición que asegure juntas transversales limpias en el comienzo y fin tramo.
- f. El regador se coloca a unos 15 metros antes del comienzo del tramo a regar, con la intención de poder entrar al sector con la velocidad

calculada para la cantidad de litros por metro cuadrado, cuando llega a la zona de las bandas de papel el operario que va en la cola del camión regador abre la barra de riego y la cierra cuando pasa por la otra banda, en todo el transcurso el camión debe ir a la misma velocidad siempre.

- g. Con todas estas precauciones se procede a efectuar el riego de liga cuyas proporciones podrán variar entre 0.2 a 0.4 litros por m². La temperatura de aplicación será de 60 a 80 °C. Antes de colocar el concreto asfáltico se deberá esperar un tiempo mínimo de una hora (1 hora) para permitir la evaporación del solvente del asfalto RC-250.
- h. Se verifica que la plancha de la terminadora de asfalto este limpia en orden de a evitar defectos en la aplicación. A continuación, se procede a calentarla para que no se pegue al principio de la extensión, conjuntamente se debe hacer una calibración previa de la plancha con las alturas requeridas (se colocan tacos de madera con la altura 38 requerida), verificar que la tolva de la terminadora esté limpia y seca.
- i. Una vez concluidas las tareas anteriormente especificadas se comienza con el extendido de la mezcla cuyo espesor y ancho se ira corrigiendo hasta alcanzar el requerido por el contrato. Cuando la parte trasera de un camión vuelca la carga sobre la extendedora, se debe tener cuidado de no hacerlo de golpe.
- j. La compactación inicial se hace con el rodillo neumático (compactador de llantas). Es importante, en el empleo de esta máquina que las ruedas estén limpias, para evitar que se pegue material de la carpeta, que la presión de las ruedas sea la misma para todas e igual a 6 Kg. /cm².
- k. Para obtener buena compactación, el rodillo de trabajar con sus ruedas motrices tan próximo como sea posible a la terminadora. Hacer pasadas paralelas comenzando desde el borde hacía en centro en la primera media calzada y desde el centro hacia afuera en la segunda media calzada. El número de pasadas completas depende del espesor y material de la mezcla.

- l. La segunda etapa de la compactación, se desarrolla con una apisonadora de rodillo de acero vibratorio. Se debe tener especial cuidado en reducir gradualmente la velocidad, al final de cada pasada, de forma que se pueda invertir la marca sin tirones. Cuando se use esta máquina se debe comprobar además que los rodillos estén limpios para evitar dejar marcas en la superficie, asegurarse que el sistema de riego contiene agua y que funciona. La apisonadora debe ir borrando las huellas dejadas por el rodillo de neumáticos, y debe hacer el mismo recorrido que el de neumáticos. La compactación se debe terminar antes que el material se enfríe demasiado.
- m. Se ejecuta de la misma manera la otra media calzada.

1.2.1.10 Mantenimiento del Pavimento Flexible

1.2.1.10.1 Mantenimiento de la red vial pavimentada, estos trabajos consisten en reparaciones generales, de las carreteras pavimentadas, las que pueden ser mantenimiento de rutina o mantenimiento periódico. El concepto de reparaciones generales abarca todo tipo de tareas a realizar tanto de carácter localizado y de tamaño limitado como aquellas en las cuales se debe ejecutar una reparación total o parcial de la calzada:

- Mantener impermeable la superficie de la calzada, evitando el paso del agua a través de ella o del borde del pavimento, el cual debilita las capas inferiores en las que está apoyado.
- Mantener y renovar la calidad de la superficie de la calzada y con ello las buenas condiciones de rodadura y seguridad.

Descripción, consiste en la excavación, extracción y retiro de todo material inadecuado por debajo de la superficie del pavimento existente hasta llegar a la capa no alterada. La colocación en sucesivas capas de material compactadas (no mayor de 10 centímetros) hasta alcanzar la sub rasante, este puede ser base de grava o de roca triturada, para luego colocar mezcla

asfáltica la que puede ser fría o caliente. Las causas principales de la aparición del bache son:

- Baja calidad de materiales en la construcción del pavimento.
- Infiltración de agua.
- Disgregación del material bajo la acción del tráfico.
- Estado siguiente al desarrollo de grietas en piel de cocodrilo o de hundimiento. 40 por lo tanto si no se procede al relleno del bache, este se irá ampliando progresivamente el hueco y se formaran nuevos baches.

1.2.1.10.2 Propósito Corregir daños o defectos superficiales, tales como peladuras, desintegraciones, fisuramiento tipo piel de cocodrilo, daños en la base y sub base debido a la fatiga y fracturamiento que ha sufrido la carpeta asfáltica.

1.2.1.10.2 Criterio para realizar el mantenimiento, Cuando estos daños aislados afecten el normal desplazamiento del tránsito constituyendo depresiones que se perciben al circular sobre estas y que su origen no esté relacionado con las capas inferiores (como por ejemplo mal drenaje de las aguas subterráneas) y en tanto que el área promedio de estos daños no exceda, de 20 metros cuadrados o no cubra en total más del 30% de la sección a reparar, mayores extensiones corresponde un proceso de rehabilitación.

1.2.1.10.3 Procedimiento de ejecución de un Pavimento Flexible, el procedimiento de ejecución de un Pavimento Flexible, se describe así:

- a. Señalización del área de los trabajos.
- b. Marcado de la zona a reparar con tiza u otro elemento dibujando un rectángulo debiendo ser dos de sus lados perpendicular al eje del camino.
- c. Cortar el bache por el rectángulo en forma pareja y vertical.
- d. Quitar todo el material suelto y toda el agua que está contenida dentro del rectángulo.

- e. Profundizar el bache hasta encontrar material firme y seco, si este estuviera húmedo se debe dejar abierto el tiempo necesario hasta que se seque.
- f. Recortar el fondo del bache de modo que quede plano, horizontal, sin material suelto y compactarlo.
- g. Impermeabilizar o ligar la base con el material bituminoso adecuado.
- h. Colocación de la mezcla asfáltica (fría o caliente) en una o dos capas de espesor similar, mediante el uso de rastrillos extendedores, sin permitir la segregación de los materiales.
- i. Compactación de la mezcla con plancha vibratoria y mazos apisonadores aprobados, asegurándose que la última capa compactada que al mismo nivel que el pavimento lindante. En caso de la que superficie a rellenar con mezcla asfáltica sea mayor de los 10 metros cuadrados es aconsejable, por el costo y el rendimiento, distribuir con patrol y usar un compactador neumático autopropulsado y una aplanadora de rodillo liso también autopropulsada. Después de verificar el acabado de los trabajos se procede a retirar la señalización temporal.

1.2.1.10.4 Escarificación, conformación, compactación e imprimación del pavimento existente

Descripción, Este trabajo consistirá en la escarificación, desintegración del material constitutivo de la carpeta asfáltica o del tratamiento asfáltico del pavimento original del camino, humedecimiento, mezclado, vuelto a conformar, y compactado de la mezcla lograda. El trabajo descrito deberá hacerse de modo tal que la capa escarificada llegue a mezclarse con el material de base presente en la estructura del pavimento y/o con el material de base que pudiera agregarse con fines de reforzar la estructura de la misma.

Criterios Se realizará en tramos de carretera excesivamente dañados, donde exista la presencia generalizada de baches.

1.2.1.10.5 Procedimientos de ejecución, para el mantenimiento de un Pavimento Flexible, son los siguientes:

- a. Señalización del área de los trabajos.
- b. Utilizando nivelación de precisión, el supervisor tomará las secciones transversales del camino y en tramos máximos de veinte metros, nivelará previo a la ejecución de los trabajos. Amojonar el eje del camino o los diferentes puntos si se tratase de una curva.
- c. Ingreso del Escarificador para el proceso de desmenuzado y desintegración de la capa de material a tratar. Cuando la superficie de rodadura a tratar la constituya algún tipo de tratamiento superficial asfáltico se podrá aceptar el uso del desgarrador de la motoniveladora apoyado por un equipo auxiliar vibro compactador, necesario para lograr resultados similares.
- d. Quitar todo el material mayor de 1 ½”.
- e. Acumular el material en promontorios extendidos longitudinalmente, incorporar el nuevo material si fuese necesario, humedecer uniformemente a medida que se mezcla el material escarificado.
- f. Concluida con la tarea anterior se comienza el tendido del material y se procede a la compactación con un rodo vibro compactador que debe ser de tal diseño, peso y calidad que permita obtener la densidad especificada. También es conveniente hacer algunas pasadas con un rodillo neumático con el fin de compactar el material más fino que queda en la superficie).
- g. Nivelación y posterior corte de la base.
- h. Barrido para eliminar todo el polvo suelto, para lograr una mejor penetración del asfalto rebajado en la base. Previo a esta operación se debe efectuar un riego tenue de toda la base, para poder así mitigar el polvo restante que no pudo sacar la barredora mecánica.
- i. Riego de Imprimación de la base con el material bituminoso adecuado, MC-70 o Emulsión (SS-1, CSS-1, MS-1) de corte rápido o medio a razón de

0.95 a 1.9 litros por metro cuadrado. 10. Cierre del sector producido por el corte del asfalto rebajado entre 48 y 72 hora después de aplicado el riego.

1.2.1.10.6 Recuperación y estabilización con emulsión asfáltica para un pavimento existente

Descripción, Es la capa de base, constituida por la carpeta de rodadura y capas de bases existentes, mezcladas con material bituminoso, con el objeto de mejorar sus condiciones de soporte y resistencia a la humedad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito, a las capas subyacentes de la estructura del pavimento. El espesor a recuperarse debe ser como mínimo de 20 centímetros.

Propósito Mejorar la calidad tanto en el aspecto de su impermeabilidad como en el mejoramiento de valor soporte de la base existente, y dar así una solución a los problemas mantenimiento de las carreteras.

Criterios Esta actividad se podrá realizar cuando el deterioro de la estructura de pavimento sea generalizado y se necesite, debido al aumento de carga, mejorar su calidad portante. A esta solución se llega cuando estabilizando la base se alcanza a los valores requeridos por la nueva situación de carga.

1.2.1.10.7 Fallas, la tecnología que el ingeniero de pavimentos ha ido desarrollando, tiene por objeto evitar la aparición de todo un conjunto de deterioros y fallas; se ha logrado ir estableciendo una relación causa-efecto. La descripción y discusión de las fallas de los pavimentos no es una tarea sencilla; su variedad y diferencia de matices bastarían para que no lo fuese, sin contar con otras dificultades, incluso ajenas a los hechos ingenieriles propiamente dichos. En pavimentos, es común que la palabra falla se utilice tanto para verdaderos colapsos o desastres locales, como para describir deterioros simples o lugares de posible evolución futura desfavorable.

Las fallas de los pavimentos pueden dividirse en tres grupos fundamentales:

1.2.1.10.7.1 Fallas por fatiga

Se trata de pavimentos que originalmente se encontraban en situaciones apropiadas, pero debido a las cargas de tránsito, sufrieron efectos de fatiga y degradación estructural. Este tipo de fallas se puede es muy común luego de un largo tiempo de servicio.

Las fallas de los pavimentos flexibles, además de clasificarse por su origen, pueden dividirse también por el modo en que suceden y se manifiestan:

Tabla 8: Tipos, manifestaciones y causas de fallas en pavimento flexible

TIPO	MANIFESTACIÓN	CAUSAS
Fracturamiento	Agrietamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repetición de carga (fatiga) Cambios de temperatura Cambios de humedad (defecto constructivo) Ondulamiento por fuerzas horizontales (deficiencia estructural o defecto constructivo) Contracción
	Dstrucción por Agrietamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repetición de carga (fatiga) Cambios de temperatura Cambios de humedad (defecto constructivo)
Deformación	Deformación permanente	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Proceso de deformación viscosa (fatiga, insuficiencia estructural y defecto constructivo) Aumento de compacidad (defecto constructivo, rotura de granos) Consolidación Expansión
	Falla	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Aumento de compacidad (defecto const. rotura de granos) Consolidación Expansión
Desintegración (falta de carpeta)	Remoción	Pérdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito
	Desprendimiento	Pérdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito Degradación de los agregados

Tabla 9: Principales factores fallas de un pavimento flexible

TIPO DE FALLA	TRÁNSITO	PAVIMENTO	CIMENTACIÓN (apoyo)
Fracturamiento	Carga por rueda (magnitud) Repeticiones Área de influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Rigidez de las diversas capas Flexibilidad (adaptabilidad a la fatiga) Durabilidad Deformación plástica Deformación elástica	Rigidez en base y sub base Deformación plástica Deformación elástica
Deformación	Carga por rueda (magnitud) Repeticiones Área de influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Espesor Resistencia Compresibilidad Susceptibilidad a cambios de volumen Deformación plástica Deformación elástica	Susceptibilidad a los cambios de volumen Deformación plástica Deformación elástica
Desintegración (fallas de carpetas)	Presión de la llanta Repeticiones Velocidad	Características del asfalto Características del agregado (porosidad, falta de adherencia con el asfalto)	Resistencia en las capas de pavimento Infiltración de agua Cambios de temperatura

1.2.1.10.7.2 Agrietamiento tipo “piel de cocodrilo”

Se trata de un agrietamiento que se presenta en la superficie de rodadura del pavimento, generando un aspecto que da nombre al fenómeno.

Este tipo de falla es indicio de movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento o fatiga, en muchos casos hasta en la propia carpeta.

Este agrietamiento es muy común en pavimentos flexibles construidos sobre terracerías; se da también en bases débiles o con mala compactación.

Este fenómeno puede ser progresivo, terminando en destrucciones locales del pavimento, que comienzan con desprendimientos de la carpeta en lugares determinados y en la remoción acelerada de materiales granulares expuestos. Cuando se llega a estas condiciones, puede afirmarse con mayor certeza que la falla está ligada a deficiencias estructurales en la base.

Causas: En la mayoría de los casos, los agrietamientos son causados por deflexiones excesivas de una superficie apoyada sobre una sub rasante capas inferiores inestables de pavimento. El soporte inestable es, generalmente, la consecuencia de la saturación de bases granulares o sub

rasantes. Generalmente, el área afectada no es grande; sin embargo, algunas veces puede cubrir el ancho completo de la carretera. Cuando esto ocurre, probablemente es debido a la acción de cargas repetidas que exceden la capacidad de carga del pavimento.

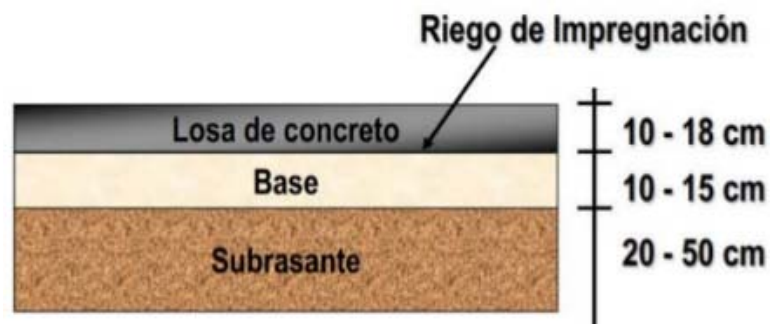
Reparación: Como las grietas son usualmente el resultado de la saturación de bases o sub rasantes, la corrección debe incluir la remoción del material húmedo y la instalación del drenaje necesario.

1.2.2 PAVIMENTO RÍGIDO:

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

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

Ilustración 9: Sección Transversal Pavimento Rígido



1.2.2.1 SUB RASANTE

La sub - rasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la sub rasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la sub rasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

1.2.2.2 SUB - BASE

La capa de sub base es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la sub rasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub base es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La sub base es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la sub rasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

1.2.2.3 LOSA DE RODADURA

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar

resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

1.2.2.4 DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Abarca el conocimiento de diferentes variables que intervienen directamente con el pavimento rígido, complementándose con un buen diseño de juntas, derivándose diversas metodologías, las cuales son:

- Teóricas: son las que presentan la estructura del pavimento en función del estudio elástico de sistemas multicapas, sometidos a cargas estáticas.
- Empíricas: se apartan de la mecánica y se limitan a la clasificación de suelos y tipos de pavimentos más usualmente experimentales.
- Semiempíricas o diseños mecanicistas – empíricos, combinan los resultados anteriores, llevándose a cabo ensayos en laboratorio o vías de servicio.

Como resultado de estas metodologías, se han desarrollado técnicas que permiten diseñar las estructuras del pavimento en forma práctica y racional, por medio de los nomogramas de diseño. Para el diseño de espesores de pavimentos rígidos, se describen dos tipos de métodos:

- ❖ Método AASHTO
- ❖ Método PCA

1.2.2.4.1 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:

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

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.

Método de diseño: Para el diseño de pavimento con adoquines de concreto, se propone el método de diseño del ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute), que es un procedimiento simplificado que toma en cuenta las siguientes guías de diseño: "Structural Design of Concrete Block Pavements" (Rada, G.R., Smith, D.R., Miller, J.S., and Witczak, M.W.) y la Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO'93).

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.

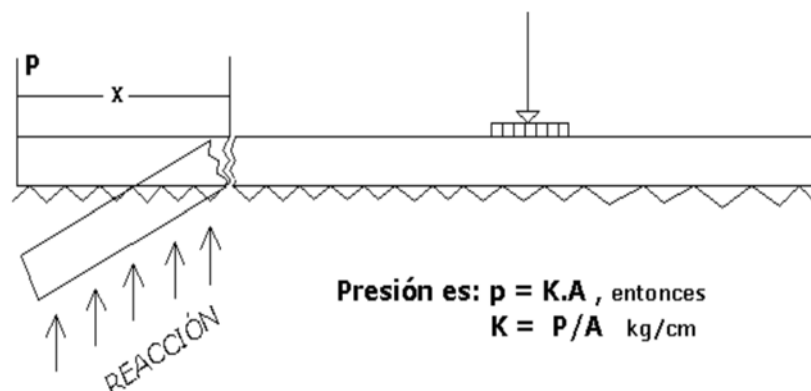
Tabla 10: Categoría de Sub rasante

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 10: Esquema de esfuerzos debido a las cargas.



FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

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 GRANULAR:

- **Base Granular Tratada con Asfalto:** Las características del material granular corresponden a la Base Granular, indicada anteriormente, a la cual se le adiciona material asfáltico, la mezcla obtenida debe tener una estabilidad Marshall de 1,800 lb.

- **Base Granular Tratada con Cemento:** Las características del material granular corresponden a la Base Granular, indicada anteriormente, a la cual se le adiciona cemento portland, debe tener una resistencia a la compresión a los 7 días de 4.5 MPa.

1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- ❖ **ASHTO:** Es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, sub rasante, sub bases y bases de las carreteras.
- ❖ **Base:** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una súbbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.
- ❖ **Sub base:** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base. Es la capa de la estructura de pavimento que impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y, por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.
- ❖ **Carpeta de rodadura:** La rodadura es la capa superficial del pavimento, en gran medida, la encargada de transmitir seguridad y comodidad a los usuarios.
- ❖ **Calzada o pista:** Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos, con ancho suficiente para acomodar un cierto número de carriles para el movimiento de los mismos, excluyendo los hombros laterales. (Coronado, 2015, pág. 16).

- ❖ **Sub rasante:** Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. **(Coronado, 2015, pág. 18).**
- ❖ **CBR:** El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para sub rasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.
- ❖ **Pavimento:** Es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículo.
- ❖ **Rasante:** Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía. **(Montejo, 2016, Pág. 3).**
- ❖ **Serviciabilidad:** Es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo: En otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción.
- ❖ **Confiabilidad:** Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño. **(Montejo, 2016, pág. 263).**
- ❖ **Terraplén:** En ingeniería civil se denomina terraplén a la tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

❖ **SUCS:** El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo.

CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Centro Poblado de Juanjuicillo que pertenece al distrito de Juanjuí que está creciendo rápidamente y su población va en aumento constante, razón por la cual se hace merecedora de un mejor ornato, principalmente de sus calles con sus veredas y pistas bien definidas con material de concreto simple y armado, así mismo el mejoramiento de los accesos a sus jirones principales y zonas turísticas.

Razón por la cual la actual gestión Municipal, ha priorizado en su ejecución de obras, proyectos y actividades que articulen vías y/o calles con pistas existentes con otras vías que se encuentran a nivel de afirmado o tierra natural, con una adecuada y moderna infraestructura vial que garantice el normal tránsito vehicular y peatonal. Estos Jirones cuenta con varias vías de acceso a través del habiéndose incrementado el tránsito vehicular en la ciudad de Juanjuí hacia el centro poblado de Juanjuicillo ya que constituye una de las principales vías de acceso de la ciudad de Juanjuí en los últimos tiempos.

Asimismo, con el Mejoramiento de la Infraestructura vial se estará permitiendo una mayor fluidez del tránsito vehicular y peatonal y el fácil ingreso hacia la carretera Fernando Belaunde Terry y la ciudad de Juanjuí, sobre todo en épocas de lluvias donde la vía actual se vuelve intransitable.

Este problema también conlleva hacia un bajo nivel de salubridad de la población al estar expuestos a Inadecuadas condiciones de vida. Es decir, el mayor inconveniente que se presenta es la falta de un adecuado sistema vial que interconecte las diferentes calles del casco urbano de la ciudad, constituyéndose este problema en una preocupación de la actual gestión municipal para seguir mejorando el ornato, y por ende la calidad de vida de la población, que conllevara el aumento del nivel socioeconómico de la población.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el tiempo y costo de ejecución para la construcción entre los pavimentos: rígido y flexible, en vías urbanas en el distrito de JUANJUÍ, provincia de MARISCAL CÁCERES, departamento de SAN MARTÍN”

2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es el costo por m² de pavimento rígido y flexible, en vías urbanas en el distrito de JUANJUÍ, provincia de MARISCAL CÁCERES, departamento de SAN MARTÍN”

¿Cuál es el tiempo de ejecución de un proyecto de pavimento rígido y flexible, en vías urbanas en el distrito de JUANJUÍ, provincia de MARISCAL CÁCERES, departamento de SAN MARTÍN”?

¿Cuáles son las diferencias al comparar el pavimento rígido y flexible, en vías urbanas en el distrito de JUANJUÍ, provincia de MARISCAL CÁCERES, departamento de SAN MARTÍN”?

¿Cuáles son las recomendaciones que permitan inclinarse por una de los dos pavimentos al momento de iniciar el proyecto de pavimentación?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el tiempo y costo de ejecución, para la construcción entre los pavimentos: rígido y flexible, en vías urbanas en el distrito de JUANJUÍ, provincia de MARISCAL CÁCERES, departamento de SAN MARTÍN”

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Definir recomendaciones que permitan inclinarse por una de los dos pavimentos al momento de iniciar el proyecto de pavimentación.
- ❖ Identificar las características más importantes tanto en los pavimentos rígidos como de los pavimentos flexibles.
- ❖ Determinar el tiempo de ejecución de un proyecto de pavimento rígido y flexible en la pavimentación de calles del distrito de JUANJUI, provincia y departamento de San Martín.
- ❖ Establecer las diferencias al comparar el pavimento rígido y flexible en la pavimentación de calles del distrito de JUANJUI, provincia y departamento de San Martín.

2.4. HIPÓTESIS

El estudio comparativo de costo-tiempo de ejecución, entre pavimento rígido y pavimento flexible, permite conocer la mejor alternativa de pavimentación del Pasaje Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martín y Prolongación San Martín, del Centro Poblado de JUANJUICILLO, DISTRITO DE JUANJUI, PROVINCIA DE MARISCAL CACERES - SAN MARTÍN.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tiempo y Costo de ejecución para pavimentos.

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Construcción del pavimento.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

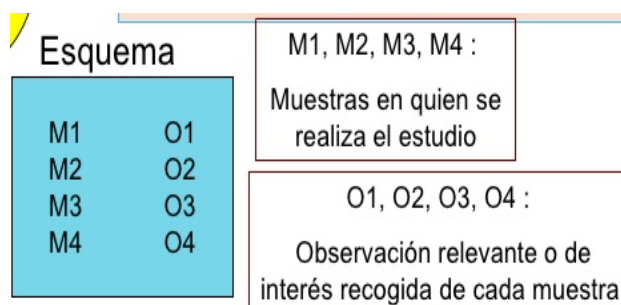
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo descriptivo comparativo.

3.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

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



3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Las Vías Urbanas en el distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres, Departamento de San Martín.

3.2.2. MUESTRA

Se tomará el Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, distrito de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres – San Martín”

3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICAS

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

3.3.2. INSTRUMENTOS

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

3.3.3. PROCEDIMIENTOS

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

3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

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

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

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. RESULTADOS

3.1.1. ESTUDIO DE TRÁFICO

El estudio de Tráfico de los jirones: Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, distrito de Juanjuí, provincia de Mariscal Cáceres – San Martin”

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.

3.1.1.1. 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 PSJE. CAHUIDE, JR. CAHUIDE C2 – C6, JR. SAN MARTIN C1 – C3 y PROLG. SAN MARTIN C1 – C8, 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.

3.1.1.2. 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.

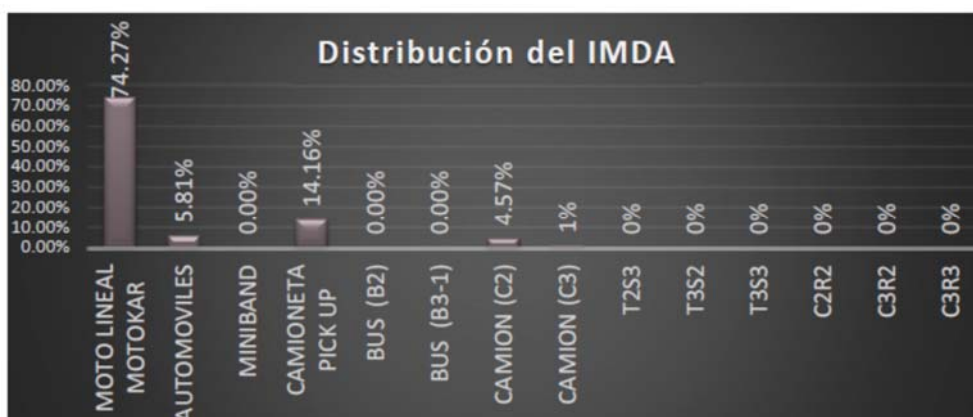
3.1.1.3. EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE CAMPO

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

3.1.1.4. 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.

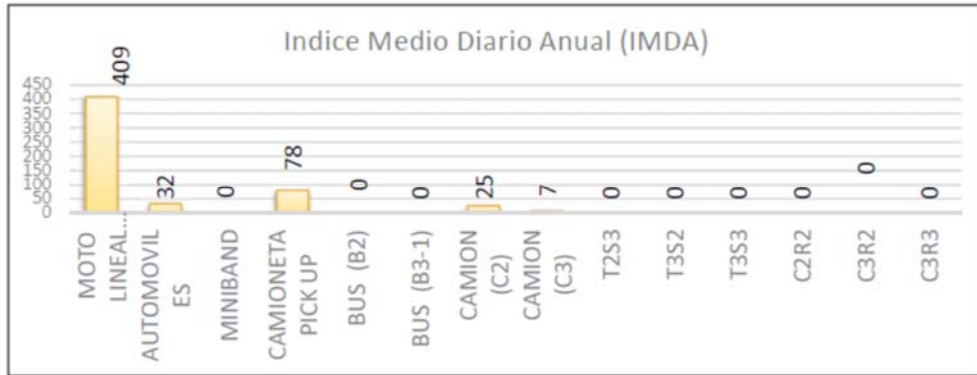
Ilustración 11: Distribución del IMDA



3.1.1.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, se registró un Índice Medio Diario de 32 vehículos diarios.

Ilustración 12: Distribución del IMDA



3.1.1.6. 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 13: Volumen de Trafico Diario



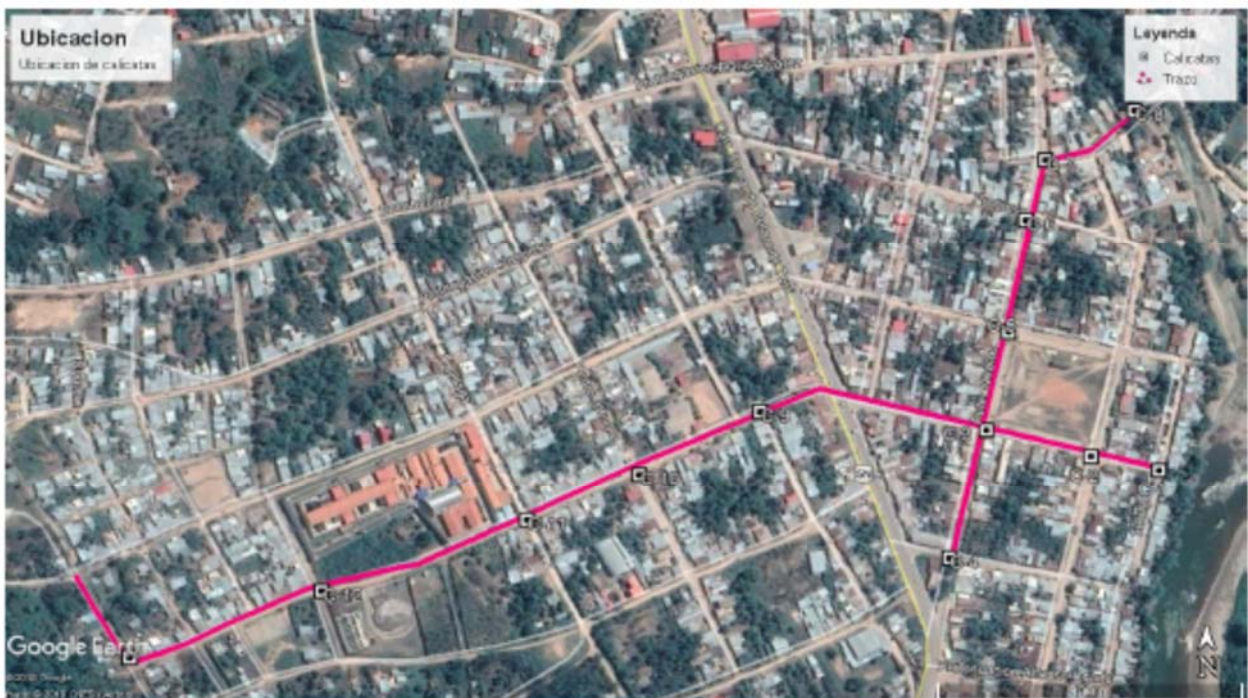
3.1.1.7. ÍNDICE DE TRÁFICO PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

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

3.1.2. ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE SUELOS

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

Ilustración 14: Plano ubicación de Calicatas












Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martín C1 – C3 y Prolg. San Martín C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martín"















3.1.2.1. EVALUACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Con la finalidad de determinar el Perfil Estratigráfico del área en estudio se han realizado 02 excavaciones a cielo abierto o calicatas, localizadas entre las coordenadas U.T.M., las cuales fueron excavadas y muestreadas.

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN / COORDENADAS		
		X	Y	Z
001	C1	308817	9205097	275
002	C2	308749	9205111	279
003	C3	308647	9205137	280
004	C4	308611	9205009	281
005	C5	308668	9205235	280
006	C6	308684	9205345	281
007	C7	308703	9205405	281
008	C8	308790	9205455	279
009	C9	308426	9205155	290
010	C10	308310	9205093	295
011	C11	308203	9205048	296
012	C12	308012	9204980	306
013	C13	307837	9204919	319

Ilustración 15: Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos-Calicatas

CALICATA	REGISTRO	Profundidad MTS		Descripción	Clasificación		
		Desde	Hasta		SUCS	AASHTO	
01			0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
			0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Finas, Const. Principal: LIMO Y ARCILLA, Const. Secundaria: Baja – Media Compresibilidad ,Característica: Arcilla ligera arenosa	CL	-
CALICATA	REGISTRO	Profundidad MTS		Descripción	Clasificación		
02			Desde		Hasta	SUCS	AASHTO
			0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
			0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Finas, Const. Principal: LIMO Y ARCILLA, Const. Secundaria: Baja – Media Compresibilidad ,Característica: Arcilla ligera arenosa	CL	-
CALICATA	REGISTRO	Profundidad MTS		Descripción	Clasificación		
03			Desde		Hasta	SUCS	AASHTO
			0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
			0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Finas, Const. Principal: LIMO Y ARCILLA, Const. Secundaria: Baja – Media Compresibilidad ,Característica: Arcilla ligera arenosa	CL	-
CALICATA	REGISTRO	Profundidad MTS		Descripción	Clasificación		
04			Desde		Hasta	SUCS	AASHTO
			0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
			0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Finas, Const. Principal: LIMO Y ARCILLA, Const. Secundaria: Baja – Media Compresibilidad ,Característica: Arcilla ligera arenosa	CL	-
CALICATA	REGISTRO	Profundidad MTS		Descripción	Clasificación		
05			Desde		Hasta	SUCS	AASHTO
			0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-

		0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Finas, Const. Principal: LIMO Y ARCILLA, Const. Secundaria: Baja – Media Compresibilidad, Característica: Arcilla ligera arenosa	CL	-
CALICATA		Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
06	REGISTRO	Desde	Hasta		SUCS	AASHTO
		0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
CALICATA		Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
07	REGISTRO	Desde	Hasta		SUCS	AASHTO
		0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
CALICATA		Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
08	REGISTRO	Desde	Hasta		SUCS	AASHTO
		0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
CALICATA		Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
09	REGISTRO	Desde	Hasta		SUCS	AASHTO
		0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Gruesas, Const. Principal: ARENA, Const. Secundaria: Con Finos, Característica: Arena arcillosa	SC	-
CALICATA		Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
10	REGISTRO	Desde	Hasta		SUCS	AASHTO
		0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
CALICATA		Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
11	REGISTRO	Desde	Hasta		SUCS	AASHTO
		0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Gruesas, Const. Principal: ARENA, Const. Secundaria: Con Finos, Característica: Arena arcillosa	SC	-
CALICATA		Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
12	REGISTRO	Desde	Hasta		SUCS	AASHTO

CALICATA	REGISTRO	Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
		Desde	Hasta		SUCS	AASHTO
12		0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
		0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Gruesas, Const. Principal: ARENA, Const. Secundaria: Con Finos ,Característica: Arena arcillosa	SC	-
CALICATA	REGISTRO	Profundidad MTS		Descripción	Clasificación	
13		Desde	Hasta		SUCS	AASHTO
		0	0.20	En este estrato se encuentra una capa de material arenoso con vegetación comprende los primeros 0 a .20 cm, Material: limoso arenoso	-	-
		0.20	1.00	Suelo de color marron Material: Suelo de Particulas Gruesas, Const. Principal: ARENA, Const. Secundaria: Con Finos ,Característica: Arena arcillosa	SC	-

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolog. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martín"

3.1.2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

3.1.2.2.1 AGRESIÓN DEL SUELO A LA CIMENTACIÓN

Tabla 11: AGRESION DEL SUELO

Elemento Nocivo	Límites Permisibles		Tipo de Cemento Recomendado	Grado de Alteración	Observaciones
	ppm	%			
Sulfatos (*)	0 - 1000	0.00 – 0.10	---	Leve	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
	1000 – 2000	0.10 - 0.20	II (IP)	Moderado	
	2000 – 20.000	0.20 – 2.00	V	Severo	
	> 20.000	> 2.00	V más puzolana	Muy Severo	
Cloruros (**)	> 6000	> 0.60	---	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión armaduras o elementos metálicos.
Sales Solubles Totales (**)	> 15000	> 1.50	---	Perjudica	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación

*Comité 318-83ACI
**Experiencia Existente

La agresión del suelo al concreto esta dentro de los parámetros admisibles.

ítem	Contenido De Sulfatos Solubles En Suelos Ntp	Contenido De Cloruros Solubles En Suelos Ntp	Contenido De Sales Solubles En Suelos Ntp
Control	<1000 ppm	<6000 ppm	<6000 ppm
C-01	120.72	367	368
C-04	100.12	389	474
C-08	403.76	758	900
C-09	370.8	698	920
C-011	391.4	708	800
C-013	391.4	738	880

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolog. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martín"

3.1.2.3. PRESENCIA DE SUELOS ORGÁNICOS Y EXPANSIVOS

3.1.2.3.1. SUELOS ORGÁNICOS

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

Tabla 12: LIMITE DE INDICE DE PLASTICIDAD

INDICE DE PLASTICIDAD	POTENCIAL DE EXPANSION
0 – 15	BAJO
15 – 35	MEDIO
35 - 55	ALTO
>55	MUY ALTO

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolog. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin"

3.1.2.3.2. SUELOS EXPANSIVOS

Un suelo expansivo es aquel que muestra un cambio volumétrico significativo bajo la acción del agua. La presencia de suelos expansivos se determinó después de realizar los ensayos de laboratorio de las diferentes muestras obtenidas.

Tabla 13: INDICE PLASTICO DE CALICATAS

CALICATA	PROFUNDIDAD Mts	ÍNDICE PLÁSTICO	POTENCIAL DE EXPANSIÓN
C1	3.00	29.22	MEDIO
C2	3.00	29.25	MEDIO
C3	3.00	29.20	MEDIO
C4	3.00	27.48	MEDIO
C5	3.00	29.03	MEDIO
C6	3.00	27.09	MEDIO
C7	3.00	30.83	MEDIO
C8	3.00	27.06	MEDIO
C9	3.00	26.19	MEDIO
C10	3.00	27.84	MEDIO
C11	3.00	27.84	MEDIO
C12	3.00	25.73	MEDIO
C13	3.00	21.61	MEDIO

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolog. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin"

3.1.2.4. CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO

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

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

Tabla 14: CBR de la Sub rasante

RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPACTACION Y CBR				
ITEM	C-01	C-07	C-10	C-13
Máxima Densidad Seca	1.804	1.809	1.785	1.789
Humedad Optima	16.09	16.09	15.15	15.16
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR				
ITEM	C-01	C-07	C-10	C-13
CBR 95%	9.07	11.75	17.02	13.79
CBR 100%	10.43	14.03	19.99	17.00

Fuente: Expediente Técnico “Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin”

3.1.3. 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.

3.1.3.1. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE CANTERAS

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

3.1.3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los trabajos de laboratorio permitieron evaluar las propiedades de las canteras mediante ensayos físicos mecánicos y químicos. Las muestras disturbadas son sometidas a ensayos de acuerdo a las recomendaciones de la American Society of Testing and Materials (ASTM).

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

Tabla 15: Ensayos de Laboratorio de Canteras

Ensayo	Uso	AASHTO	ASTM	Propósito
Análisis Granulométrico por tamizado	clasificación	T88	D422	Determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo
Limite liquido	clasificación	T89	D4318	Hallar el contenido de agua entre los estados líquidos y plástico
Limite plástico	clasificación	T90	D4318	Hallar el contenido de agua entre los estados plástico y semisólido
Índice plástico	clasificación	T90	D4318	Hallar el rango contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico.
Equivalente de Arena	Calidad Agregado	T176	D2419	Determinación rápida de la cantidad de finos en los agregados
Abrasión (los Ángeles)		T96	C131 C535	Cuantificación de la dureza o resistencia al impacto de los agregados gruesos.
Proctor modificado	Diseño de espesores	T180	D1557	Determinación del Optimo Contenido de Humedad y de la máxima densidad seca del material.
CBR	Diseño de espesores	T193	D1883	Determina la capacidad de soporte del suelo, el cual permite inferir el módulo resiliente del suelo
Contenido de Humedad		T265	D2216	Determina los Ensayos de contenido de humedad

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martín C1 – C3 y Prolg. San Martín C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martín"

3.1.3.3. 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 del proyecto.

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

asfáltico y concreto armado son: Cantera Privada “Santa Apolonia” de los cerros tramo adyacente al Centro Poblado de Juanjuicillo – Provincia de Ramon Castilla – San Martin

Tabla 16: Cantera Santa Polonia (cerro – privado)

CANTERA	ACCESO	ESTADO ACCESO	LADO	USOS	PROPIETARIO
CANTERA SANTA POLONIA	0.50 km	Regular	Izquierdo	Relleno/Afirmado	Propiedad Privada

Ubicación	Tramo: Carretera Fernando Belaunde Terry a 10 km del Centro Poblado de Juanjuicillo.
Acceso	A 500m de la Carretera vía principal
Potencia	>10,000 m3
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 “Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana en el Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin”

Característica Cantera Santa Polonia – Sub Base

Este trabajo de investigación tiene por objetivo presentar el estudio y resultado de la cantera Santa Polonia (cerro), fue elaborado de acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales del proyecto.

Según el estudio realizado de la Cantera Santa Polonia - hormigón de cerro presenta con CLASF. AASHTO: A-1-a (0) y CLASF. SUCCS: SP – SM.

Tabla 17: Requerimiento de Agregado Fino

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

Tabla 18: 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 “Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana en el Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin”.

El presente trabajo de investigación y en base al expediente técnico del proyecto se realizó para la cantera Santa Polonia de cerro, lo cual será producida y acopiada en obra, previa aprobación de las mismas.

El material que será usado es la Cantera Santa Polonia - 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. Característica Cantera Santa Polonia – Base

Este informe tiene por objetivo presentar el estudio y resultado de la Cantera Santa Polonia fue elaborado de acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales del proyecto.

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

Tabla 19: Requerimiento de Agregado Fino

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

Tabla 20: 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 “Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana en el Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martín C1 – C3 y Prolg. San Martín C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martín”.

El presente trabajo de investigación y en base al expediente técnico del proyecto se realizó para la cantera Santa Polonia de cerro, lo cual será producida y acopiada en obra, previa aprobación de las mismas.

El material que será usado es la Cantera Santa Polonia - 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 21: Granulometría y Clasificación de material de Cantera

Propiedades de la Cantera	Material Granular: Cantera Santa Polonia Sector: Juanjuicillo	Ligante: Cantera de Cerro Santa Polonia Sector: Juanjuicillo	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 "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin".

Tabla 22: 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 optimo contenido de humedad y de la máxima densidad seca del material

Tabla 23: Propiedades Físicos – Mecánicas

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

Tabla 24: 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 "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolog. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin".

3.1.3.4. Fuentes de agua

En lo que respecta a fuentes de agua, se procedió a su ubicación y a la toma de muestras representativas. Las mismas que fueron sometidas a ensayos de laboratorio, para las correspondientes determinaciones de calidad de los agregados.

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 25: 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
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	sustancias agresivas
PH	NTP 339.088	8.16	> 7	Normal	

Fuente: Expediente Técnico “Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin”.

3.1.4. DISEÑO DE PAVIMENTOS

3.1.4.1. 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.

La topografía en un radio de 3km de Juanjuí tiene variaciones grandes de altitud, con un cambio máximo de altitud de 199msnm y una altitud promedio de 297msnm.

3.1.4.2. TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL Y ANÁLISIS DE TRÁFICO

3.1.4.2.1. 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.

3.1.4.3. EJECUCIÓN DEL ESTUDIO DE CAMPO

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

3.1.4.4. 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 marzo del 2021**, se obtuvieron los resultados siguientes:

3.1.4.5. 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 26: Conteo Vehicular

$$IMDS = \bar{X} - \frac{TS}{7}$$
 donde $K = 1.96$ Para un nivel de confiabilidad al 95%
 $N = 365$ Número de días del año
 $n = 7$ Número de días de la semana
 $s =$ DESVIACION ESTANDAR POBLACIONAL
 $S =$ DESVIACION ESTANDAR MUESTRAL

$$IMDA = IMDS \pm K * \sigma$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N - n}{N - 1}}$$

TIPO DE VEHICULO	CONTEO SEMANAL								TOTAL	IMDS	S	s	IMDA	DISTRIB.
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	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	551	548	532	539	544	542	3,811	544				551	100.00%

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin

3.1.4.6. 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 10 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 transito utilizando una formula 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 27: Factores de Crecimiento

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

$$FC = ((1+r)^P - 1)/r$$

tasa de crecimiento para vehículos de pasajeros =
tasa de crecimiento para vehículos de carga =

FC = 2 % 10.95
4 % 12.01

Cuadro 2: Factor de Crecimiento

Período 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	
3	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.28	3.31	
4	4.12	4.19	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.58	4.64	
5	5.20	5.31	5.42	5.53	5.54	5.75	5.87	5.99	6.11	
6	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.53	7.72	
7	7.43	7.67	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.21	9.49	
8	8.58	8.90	9.21	9.55	9.90	10.28	10.64	11.04	11.44	
9	9.75	10.17	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.04	13.58	
10	10.95	11.48	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.22	15.94	
11	12.17	12.83	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	17.59	18.53	
12	13.41	14.22	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	20.18	21.38	
13	14.68	15.66	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	23.01	24.52	
14	15.97	17.13	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	26.09	27.97	
15	17.29	18.66	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	29.46	31.77	
16	18.64	20.23	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	33.14	35.95	
17	20.01	21.86	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	37.15	40.55	
18	21.41	23.53	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	41.53	45.60	
19	22.54	25.11	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	46.31	51.16	
20	24.30	27.04	29.78	33.06	36.79	41.00	45.78	51.53	57.28	
21	25.85	29.00	32.15	35.99	40.40	45.45	51.25	58.37	65.49	
22	27.39	30.96	34.53	38.93	44.02	49.90	56.71	65.21	73.71	
23	28.94	32.92	36.90	41.86	47.63	54.35	62.18	72.05	81.92	
24	30.48	34.88	39.28	44.80	51.25	58.80	67.64	78.89	90.14	
25	32.03	36.84	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	85.73	98.35	
26	33.74	39.14	44.54	51.47	59.70	69.49	81.14	96.36	111.58	
27	35.44	41.43	47.42	55.21	64.54	75.73	89.18	106.99	124.81	
28	37.15	43.73	50.31	58.96	69.38	81.98	97.21	117.62	138.03	
29	38.85	46.02	53.19	62.70	74.22	88.22	105.25	128.25	151.26	
30	40.56	48.32	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	138.89	164.49	
31	42.45	51.02	59.59	71.22	85.53	103.22	125.09	155.44	185.80	
32	44.33	53.72	63.11	75.99	92.01	111.97	136.90	172.00	207.10	
33	46.22	56.42	66.62	80.77	98.48	120.73	148.70	188.56	228.41	
34	48.10	59.12	70.14	85.54	104.96	129.48	160.51	205.11	249.71	
35	49.99	61.82	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	221.67	271.02	

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San

**Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuillo, distrito de Juanjuí,
Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin**

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

3.1.4.7.1 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

3.1.4.7.2 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 (Fc)
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
Fc = 0.9

Fuente: Expediente Técnico “Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana En El Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin C1 – C3 y Prolg. San Martin C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin

3.1.4.8. 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 28: 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 29: 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 30: 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 31: 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

3.1.4.9. 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 32: FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO (FP) PARA EJES EQUIVALENTES (EE)

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

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

Nota:

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

3.1.4.10. 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. En la Tabla N°13 se muestra este valor obtenido de multiplicar el IMDa por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, Factor Carril, Factor Vehículo Pesado y Factor de Ajuste Por Presión de Neumático obtenidos anteriormente.

Tabla 33: 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 34: 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

3.1.4.11. 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 35: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible

	N° rep. EE de 8.2 TN	
Ambos Sentidos	162,239.47	EAL o W18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido

	N° rep. EE de 8.2 TN	
Ambos Sentidos	169,745.08	EAL o W18

Fuente: Elaboración propia

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

Tabla 37: 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.

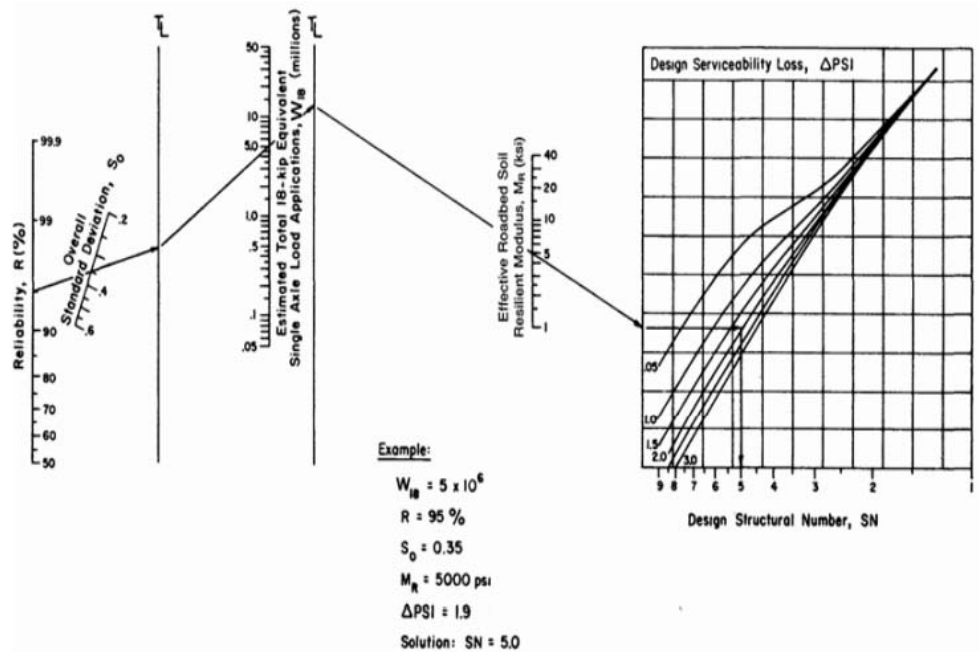
3.2.1. Diseño de pavimento flexible - método AASHTO 93

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

$$W_{18}=162,239.47 \quad \text{CBR}=6.91$$

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

Ilustración 16: 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 17: 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 18: 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 38: 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

3.2.2. 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 $-0.524 = Z_r = -0.524$

Niveles sugeridos de confiabilidad de acuerdo a la clasificación funcional del camino R				
Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado			
	Urbana		Rural	
	Interestatales y vías rápidas	85	99.9	80
Arterias principales	80	99	75	95
Colectoras	80	95	75	95
Locales	50	80	50	80

$$F_R = 10^{-Z_R S_0}$$

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana en el Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martín C1 – C3 y Prolg. San Martín C1 – C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martín

**Tabla 39: 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
Resto de Camiones	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T _{P13}	20'000.001	25'000,000	-1.645
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T _{P15}	>30'000,000		-1.645

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

3.2.3. Desviación Estándar Combinada (So)

La Guía AASTHO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de So comprendidos entre 0.40 y 0.50. En la etapa de diseño del pavimento flexible se recomienda el valor de: So= 0.45

Determinación de la desviación estándar total So		So=
Tabla Valores de la desviación estándar normal, Zr, correspondientes a los niveles de confiabilidad, R		0.45
Confiabilidad, R, en porcentaje	Desviación estándar normal, Zr	
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	

So= debe estar entre los siguientes rangos
0.4 0.5 Pavimentos flexibles

3.2.4. Índice de Serviciabilidad (ΔPSI)

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:

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

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

$$\Delta\text{PSI} = 1.80$$

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

Tabla 40: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) 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 41: 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
	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50

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

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

Tabla 42: Diferencial de Serviciabilidad (ΔPSI) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONES	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)
Camions 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 Camions	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

3.2.5. Cálculo del Número Estructural (SN)

➤ De forma Analítica

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

Datos:

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

$$R = 70\%$$

$$Z_r = -0.524$$

$$S_o = 0.45$$

$$M_r(\text{psi}) = 8,803.53$$

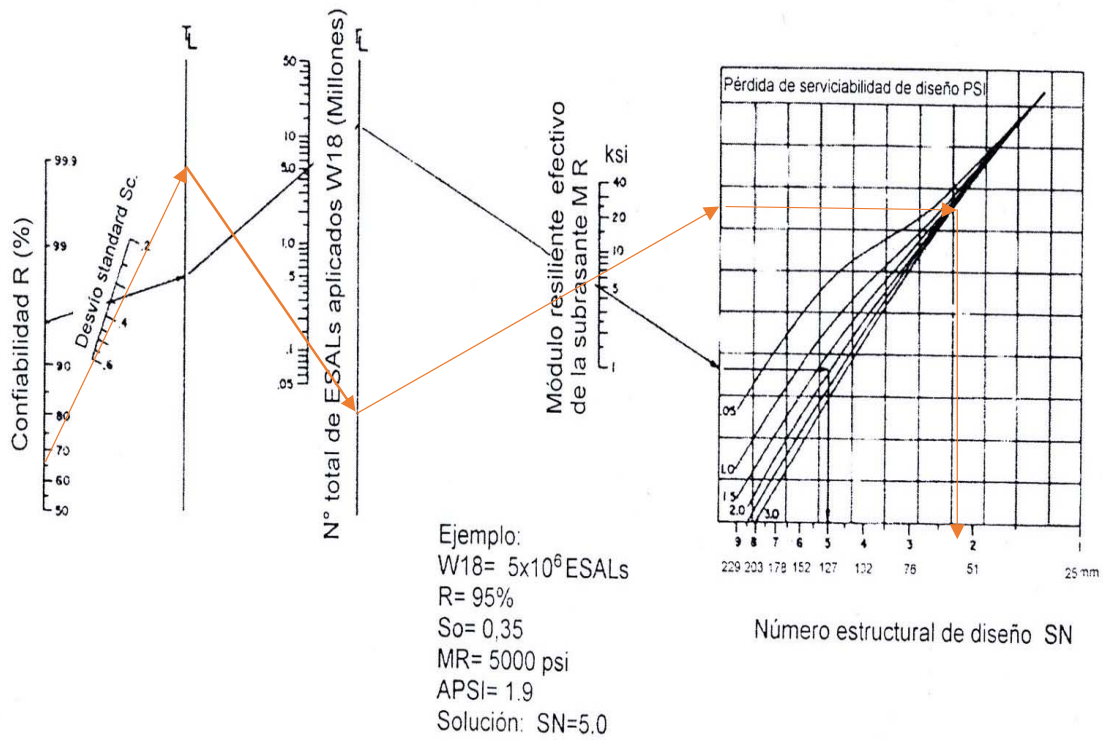
$$\Delta PSI = 1.80$$

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

$$SN = 2.12$$

➤ Con uso de Monograma

Ilustración 19: Monograma para Pavimento Flexible



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

**Tabla 43: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente
+ Base Granular + Subbase Granular**

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

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

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

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

Coefficientes Estructurales de las Capas de Pavimentación Basados en lo señalado según la norma: Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2014, los coeficientes estructurales de capa considerados para el cálculo del Número Estructural de diseño son los siguientes:

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

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

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

Tabla 44: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a_1

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpetas Asfálticas 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 al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

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

3.2.6. 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 45: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje M_f

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.

3.2.7. 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 46: 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 47: 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%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	25 cm	28 cm	20 cm	20 cm	20 cm	25 cm	25 cm	30 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	9 cm
		25 cm	28 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	25 cm	30 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	10 cm
		20 cm	23 cm	26 cm	27 cm	27 cm	20 cm	23 cm	26 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	15 cm	15 cm	15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	10 cm
		15 cm	16 cm	19 cm	19 cm	19 cm	23 cm	26 cm	28 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm	6 cm	6 cm	7 cm	8 cm	8 cm	9 cm	10 cm
		15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	18 cm	20 cm	22 cm
		(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

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



Carpeta Asfáltica en Caliente
(CAC)



Base Granular



Subbase granular

Nota:

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

Para los espesores se planteó 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

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

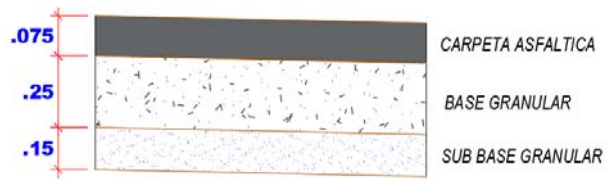
$$2.47 = 2.765$$

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 20: 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.

3.2.2. Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93

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

Ilustración 21: 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

3.2.2.1. Módulo de Reacción del Terreno (Kc)

La determinación directa del valor de “k” mediante ensayos de placa es difícil y costosa, teniendo la desventaja de que normalmente se

analiza el suelo en estado seco y sin considerar los efectos de la humedad.

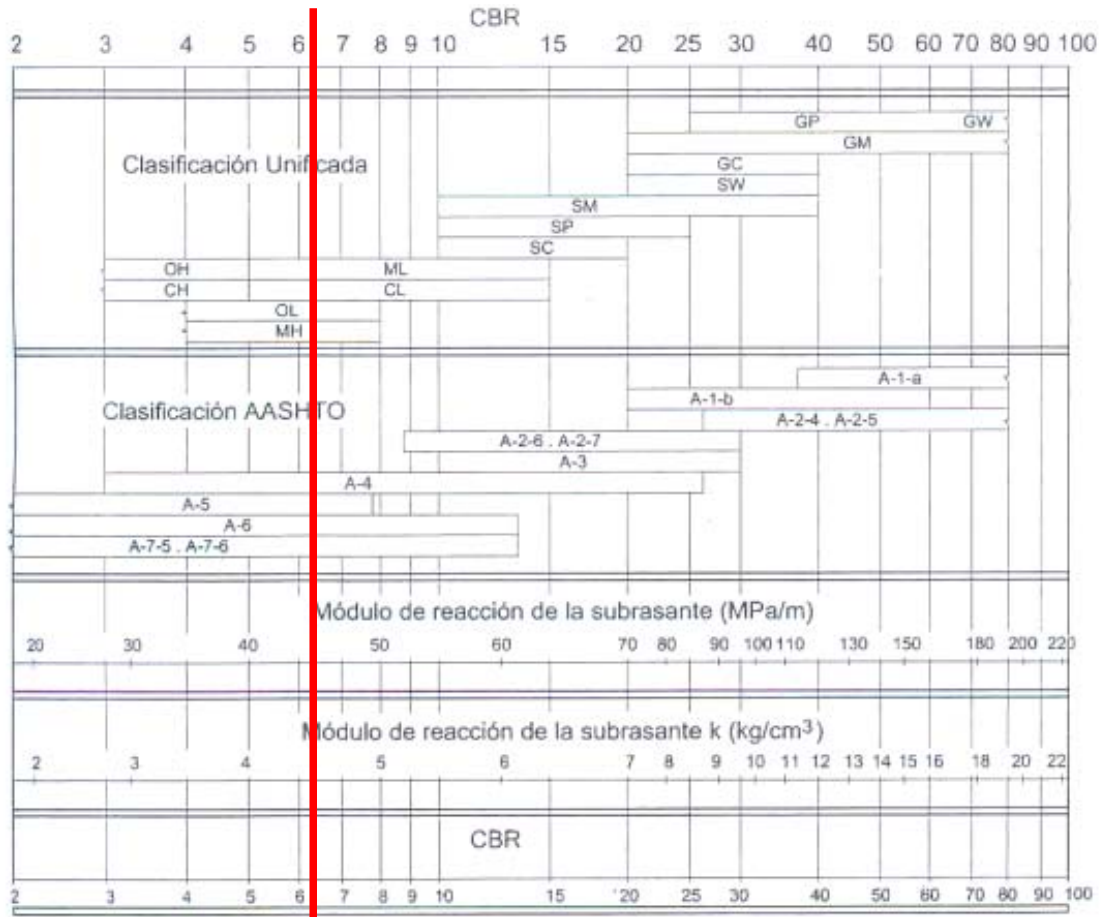
No obstante, se utilizará la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción K_c en función de la clasificación de suelos y el CBR.

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

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

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

Tabla 32: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante



3.2.2.2. Módulo Elástico del Concreto (Ec)

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

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

Tabla 48: Módulo de Elasticidad (Ec)

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

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

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

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

3.2.2.3. Módulo de Rotura del Concreto (S'c)

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

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

Tabla 49: 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)
$\leq 5'000,000$ EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
$> 5'000,000$ EE $\leq 15'000,000$ 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 50: 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 $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ será:

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

3.2.2.4. Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

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

Tabla 51: Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

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

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

El Coeficiente de Transferencia de Carga (J) será:

$$J = 3.8$$

3.2.2.5. Coeficiente de Drenaje (Cd)

En este caso se usa un coeficiente de drenaje Cd que puede variar entre

Tabla 52: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares

Calidad de drenaje	% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Insuficiente	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy insuficiente	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

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

$$cd = 1.00$$

3.2.2.6. Perdida de Serviabilidad (ΔPSI)

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

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

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

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

$$\Delta PSI = 2.10$$

**Tabla 53: Índice de Serviabilidad Inicial (Pi)
Índice de Serviabilidad Final o Terminal (Pt)
Diferencial de Serviabilidad Según Rango de Tráfico**

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVIABILIDAD INICIAL (PI)	ÍNDICE DE SERVIABILIDAD FINAL O TERMINAL (PT)	DIFERENCIAL DE SERVIABILIDAD (ΔPSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P2}	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P3}	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P4}	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80

Resto de Caminos	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P13}	20'000.001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P15}	>30'000,000		4.50	3.00	1.50

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

3.2.2.7. Confiabilidad (%R) y Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_r)

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

$$R = 70\%$$

$$Z_r = -0.524$$

3.2.2.8. Desviación Estándar Total (S_o)

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

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

$$S_o = 0.35$$

3.2.2.9. Número de Repeticiones de EE de 8.2 ton (W_{18})

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

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

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

De Forma Analítica

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

Datos:

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

Resolviendo la Ecuación:

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

Por la iteración, el Espesor de la Losa es:

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

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

Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Ilustración 22: Sección del Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración Propia

1.3. PRESUPUESTO

1.3.1. Presupuesto Pavimento Flexible

Tabla 54: Características de la vía con Pavimento Flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE	
Longitud	Cantidad
Psje. Cahuide cdra 1	146.23m
Jr. Cahuide cdra 2,3,4,5,6	514.71m
Jr. San Martin cdra 1,2,3	314.83m
Prolong. San Martin	584.12m
Total	1,559.89m
Ancho de Vía	Cantidad
Psje. Cahuide cdra 1	5.60 m
Jr. Cahuide cdra 2,3,4,5,6	6.00 m
Jr. San Martin cdra 1,2,3	5.40m
Prolong. San Martin	6.00m
Sección	
<p>Diagrama de la sección transversal de un pavimento flexible. Muestra una cuneta proyectada (0.40 x 0.40 m) a cada lado de la vía. El pavimento está compuesto por una carpeta asfáltica (E=7.5 cm) sobre una subbase granular (E=15 cm) y una base granular (E=25 cm). El porcentaje de pendiente es S=2.00%.</p>	

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto Pavimento Flexible

Presupuesto 1101005 EVALUACION DEL TIEMPO DE EJECUCIÓN Y COSTO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS: RIGIDO Y FLEXIBLE, EN VIAS URBANAS EN EL DISTRITO DE JUANJUI, PROVINCIA DE MARISCAL CÁCERES, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Subpresupuesto 001 PAVIMENTO FLEXIBLE

Cliente SANGAMA SAJAMI, SAI OMAR - LAYNE MINTER PEZO TENAZOA

Costo al 20/02/2021

Lugar SAN MARTIN - MARISCAL CACERES - JUANJUI

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	OBRAS PROVISIONALES				110,456.69
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	1,024.11	1,024.11
01.02	COLOCACION DE PUNTOS PROVISIONALES DE AGUA	und	8.00	90.36	722.88
01.03	REUBICACION DE POSTES	und	20.00	2,500.00	50,000.00
01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS	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	1,500.00	12.02	18,030.00
01.07	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE CONSTR.	mes	6.00	5,047.87	30,287.22
02	OBRAS PRELIMINARES				65,248.14
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	8,574.00	3.52	30,180.48
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	8,574.00	4.09	35,067.66
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				256,421.36
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	9,071.53	7.24	65,677.88
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	m2	8,574.00	2.25	19,291.50
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	10,885.84	15.75	171,451.98
04	MATERIAL SELECCIONADO				309,727.18
04.01	SUB BASE GRANULA e=0.45 m	m3	3,858.30	47.32	182,574.76
04.02	BASE GRANULA e=0.25 m	m3	2,143.50	59.32	127,152.42
05	PAVIMENTO FLEXIBLE				624,706.63
05.01	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2"	m2	9,102.53	60.73	552,796.65
05.02	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	9,102.53	5.29	48,152.38
05.03	SELLO DE ARENA	m2	9,102.53	2.61	23,757.60
06	SEÑALIZACION				72,850.71
06.01	PINTADO EN FRANJA EN ASFALTO - SEÑALIZACION	m2	2,988.38	23.82	71,183.21
06.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X 0.60	und	50.00	33.35	1,667.50
	COSTO DIRECTO				1,439,410.71
	GASTOS GENERALES (10.00%)				143,941.07
	UTILIDAD (10.00%)				143,941.07
					=====
	SUB TOTAL				1,727,292.85
	IMPUESTO IGV (18.00%)				310,912.71
					=====
	PRESUPUESTO TOTAL				2,038,205.56

SON : DOS MILLONES TRENTIOCHO MIL DOSCIENTOS CINCO Y 56/100 SOLES

Fuente: Elaboración propia

1.3.2. PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 55: Características de la vía con Pavimento Rígido

PAVIMENTO RIGIDO	
Longitud	Cantidad
Pspe. Cahuide cdra 1	146.23m
Jr. Cahuide cdra 2,3,4,5,6	514.71m
Jr. San Martin cdra 1,2,3	314.83m
Prolong. San Martin	584.12m
Total	1559.89m
Ancho de Via	Cantidad
Pspe. Cahuide cdra 1	5.60 m
Jr. Cahuide cdra 2,3,4,5,6	6.00 m
Jr. San Martin cdra 1,2,3	5.40m
Prolong. San Martin	6.00m
Sección	

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto con Pavimento Rígido

Presupuesto 1101005 EVALUACION DEL TIEMPO DE EJECUCIÓN Y COSTO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO, ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDO Y FLEXIBLE, EN VÍAS URBANAS EN EL DISTRITO DE JUANJUI, PROVINCIA DE MARISCAL CÁCERES, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Subpresupuesto 002 PAVIMENTO RIGIDO

Cliente SANGAMA SAJAMI, SAI OMAR - LAYNE MINTER PEZO TENAZOA

Costo al 20/02/2021

Lugar SAN MARTIN - MARISCAL CACERES - JUANJUI

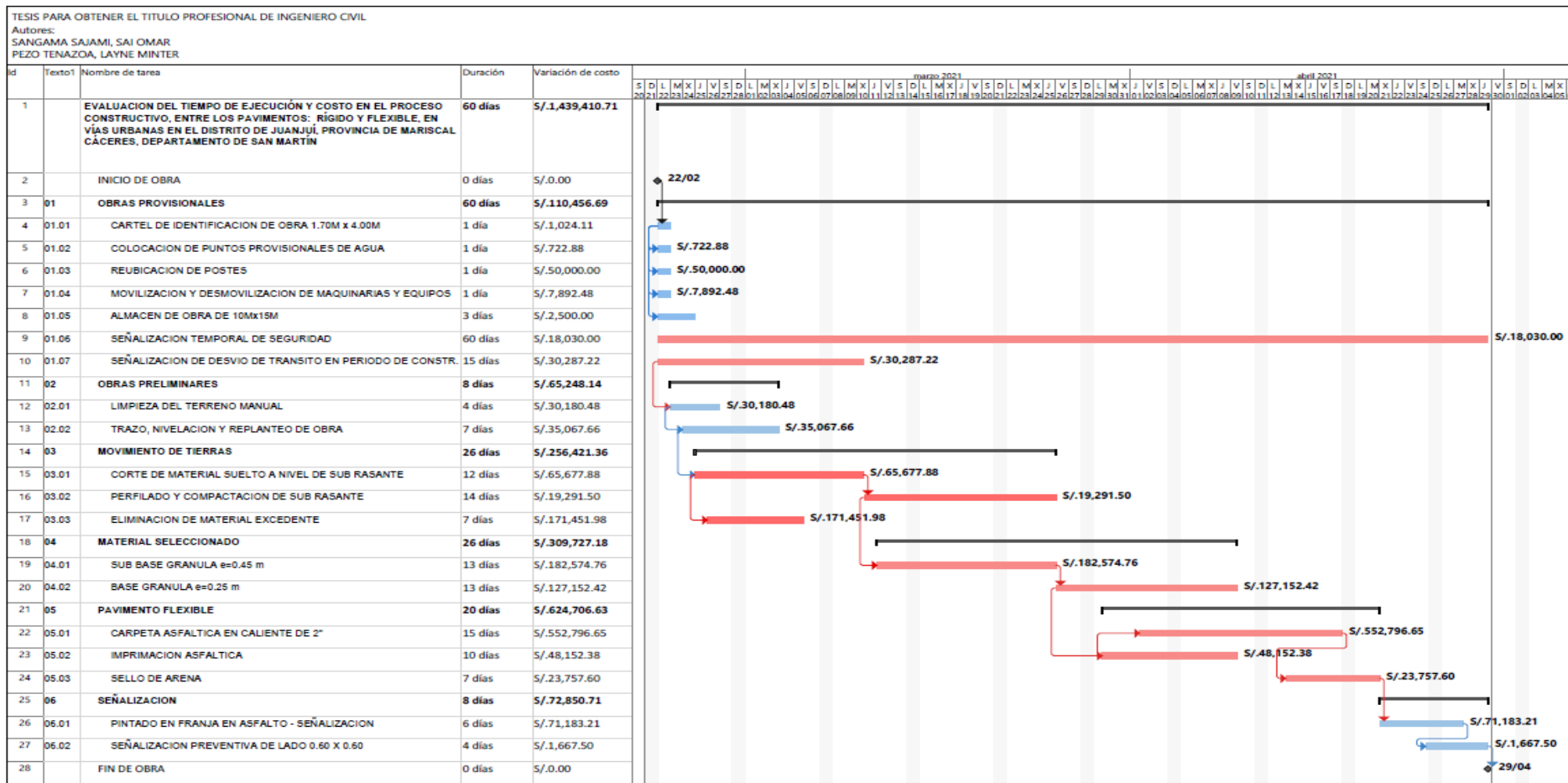
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01	OBRAS PROVISIONALES				57,646.59
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	glb	1.00	7,892.48	7,892.48
01.02	OFICINAS DE ALMACEN Y CASTA DE GUARDIANIA	glb	1.00	700.00	700.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	1,024.11	1,024.11
01.04	TRASLADO DE MAQUINARIAS, MATERIALES Y HERRAMIENTAS	vje	2.00	15,000.00	30,000.00
01.05	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	1,500.00	12.02	18,030.00
02	OBRAS PRELIMINARES				65,248.14
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	8,574.00	3.52	30,180.48
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	8,574.00	4.09	35,067.66
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				256,421.36
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	9,071.53	7.24	65,677.88
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	m2	8,574.00	2.25	19,291.50
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	10,885.84	15.75	171,451.98
04	PAVIMENTO RIGIDO				1,050,062.70
04.01	CONFORMACION DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA	m2	8,574.00	4.83	41,412.42
04.02	BASE DE AFIRMADO H=0.20 m	m2	8,574.00	22.75	195,058.50
04.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA PAVIMENTO	m2	1,429.50	42.00	60,039.00
04.04	LOSA DE CONCRETO PRE MEZCLADO H=0.15cm, F'C=280kg/cm2	m2	8,574.00	76.74	657,968.76
04.05	CURADO DE CONCRETO	m2	8,574.00	3.78	32,409.72
04.06	SELLO CON MEZCLA ASFALTICA E=5 mm.	m	6,735.00	9.38	63,174.30
05	SEÑALIZACION				72,850.71
05.01	PINTADO EN FRANJA EN PAVIMENTO - SEÑALIZACION	m2	2,988.38	23.82	71,183.21
05.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X 0.60	und	50.00	33.35	1,667.50
	COSTO DIRECTO				1,502,229.50
	GASTOS GENERALES (10.00%)				150,222.95
	UTILIDAD (10.00%)				150,222.95
					=====
	SUB TOTAL				1,802,675.40
	IMPUESTO IGV (18.00%)				324,481.57
					=====
	PRESUPUESTO TOTAL				2,127,156.97

SON: DOS MILLONES CIENTO VEINTISIETE MIL CIENTO CINCUENTISEIS Y 97/100 SOLES

Fuente: Elaboración propia

1.4. TIEMPO DE EJECUCIÓN: Pavimento Flexible

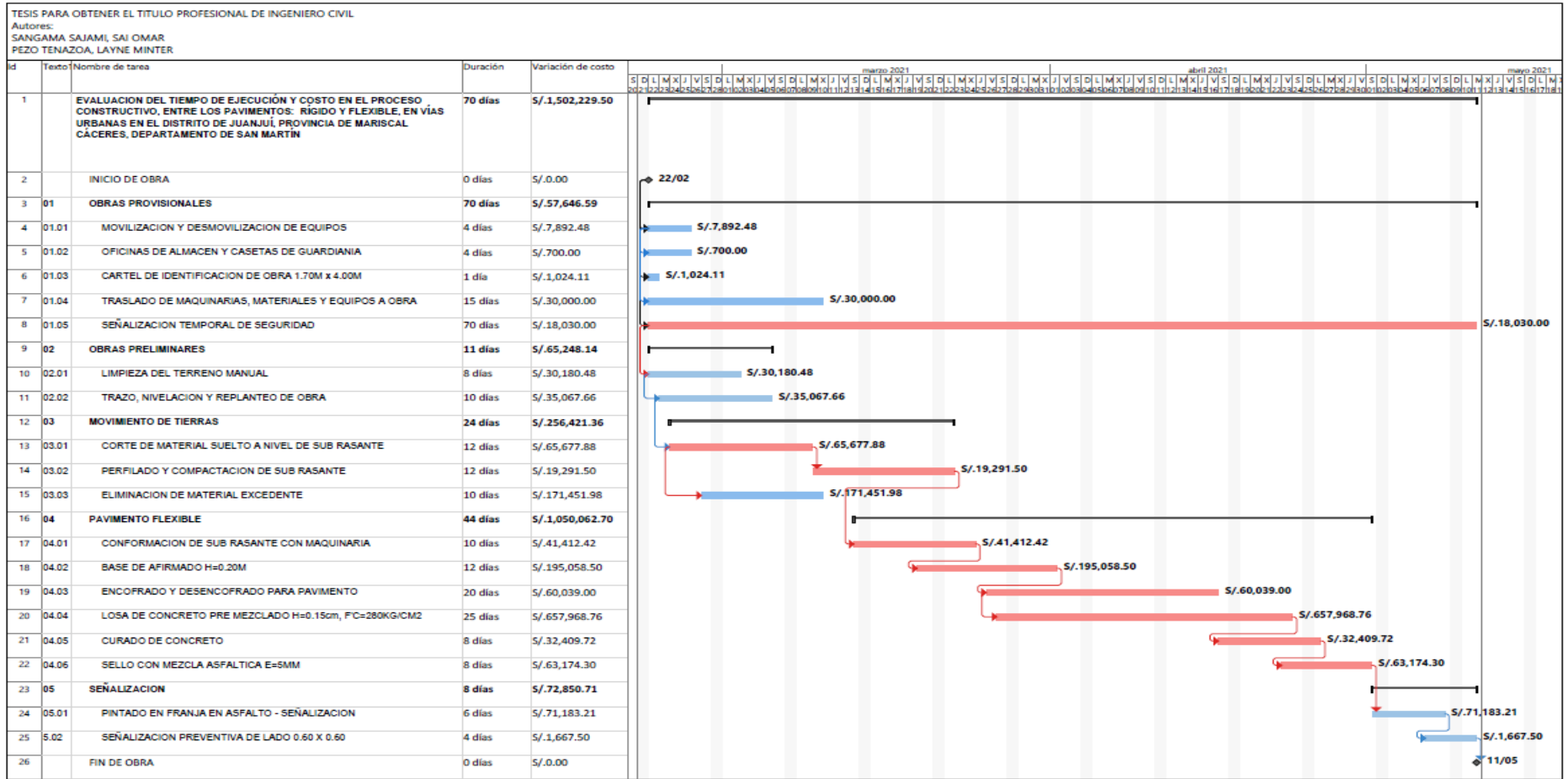
Ilustración 23: Programación de Obra Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia

1.4.1. Tiempo de Ejecución Pavimento Rígido.

Ilustración 24: Programación de Obra Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración propia

1.5. RESULTADOS OBTENIDOS

- El conteo de vehículos se tomó en 7 días calendarios, desde el día lunes 01 hasta el día domingo 07 de febrero del presente año, también se tomó como periodo de diseño 20 años, para así poder hacer un análisis comparativo de los pavimentos, lo cual nos dio como resultado un EAL anual de:

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

Psje. Cahuide cdra 1 Jr. Cahuide cdra 2 – 6 Jr. San Martin cdra 1 – 3 Prolong. San Martin	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido
N° rep. 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 13 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 57: Resumen Características del Sub - rasante

N° Calicata	Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	Humedad Optima (%)	CBR (%) 95%	CBR (%) 100%
C-1	1.804	16.09	9.07	10.43
C-2	1.070	16.37	9.07	10.43
C-3	1.080	15.20	9.07	10.43
C-4	1.070	16.63	9.07	10.43
C-5	1.150	13.28	9.07	10.43
C-6	1.080	16.25	9.07	10.43
C-7	1.809	16.09	11.75	14.03
C-8	1.040	16.55	11.75	14.03
C-9	0.990	18.71	11.75	14.03
C-10	1.785	15.15	17.02	19.99
C-11	1.130	13.50	17.02	19.99
C-12	1.150	12.40	17.02	19.99
C-13	1.789	15.16	13.79	17.00

Fuente: Elaboración propia

Lo que resulta un CBR de diseño de 13.97%

- 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 58: 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
Coefficiente 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 59: 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/. 2'038,205.56**

Pavimento Rígido : **S/. 2'127,156.97**

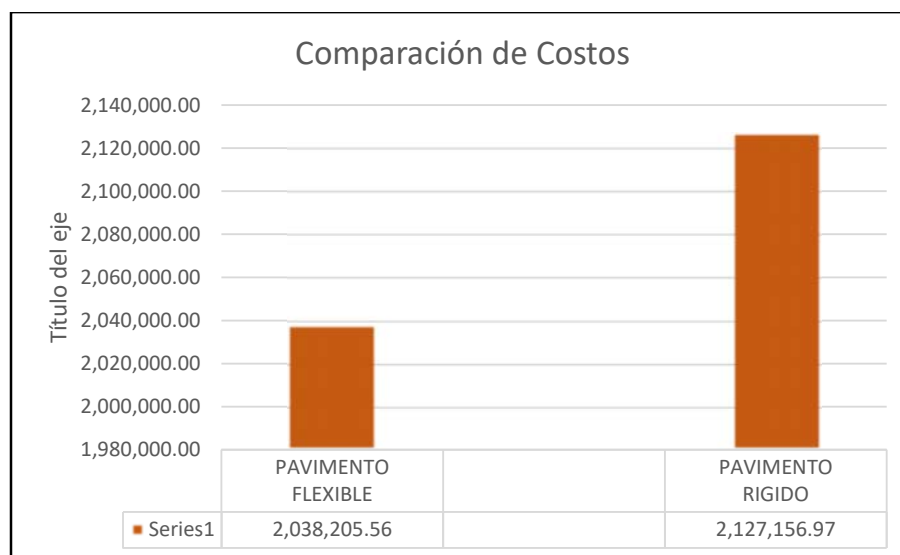
CUADRO COMPARATIVO TÉCNICO - ECONÓMICO

Tabla 60: Cuadro Comparativo Técnico – Económico

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	2'038,205.56	2'127,156.97
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	158.13	175.21
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	223.92	248.09
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	60	70
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	20-40

Fuente: Elaboración Propia

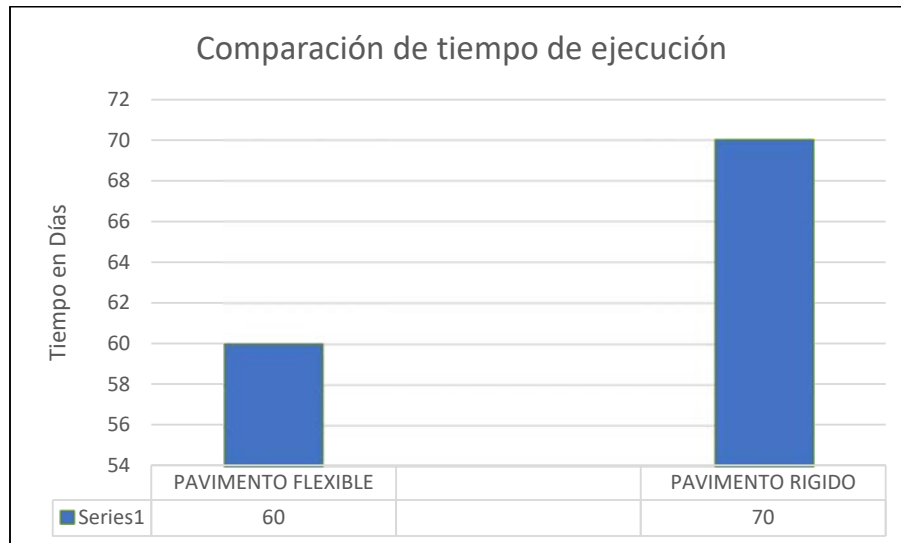
Ilustración 25: Comparación de Costos



Fuente: Elaboración Propia

- En el grafico se puede apreciar que el pavimento rígido es el que tiene un mayor costo con S/ 2'038,205.56 y seguido del pavimento flexible con S/ 2'127,156.97.

Ilustración 26: Comparación de Plazos de Ejecución



Fuente: Elaboración Propia

- En el gráfico se aprecia que el pavimento rígido tiene un mayor plazo de ejecución con 70 días y el Pavimento Flexible con 60 días.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Haciendo el análisis comparativo costo-tiempo de ejecución, concluimos que el diseño óptimo para el Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana en el Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2-C-6, Jr. San Martin C1-C3 y Prolong. San Martin C1-C8, del Centro Poblado de Juanjuicillo, Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres – San Martin, es el Pavimento Flexible, al tener un costo menor del 4.18% respecto del pavimento rígido, en función al tiempo de ejecución el pavimento flexible se ejecuta 14.29% más rápido que el pavimento rígido ya que el pavimento flexible se ejecuta en 60 días calendarios y el pavimento rígido se ejecuta en 70 días calendarios.
- Al realizar el presupuesto de los pavimentos rígidos y pavimentos flexibles se concluyó que los costos por metro cuadro son:

Tabla 61: Cuadro Comparativo Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO
COSTO DIRECTO POR M2	S/	158.13	223.92
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/	175.21	248.09

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 62: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	60	70

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 de entrada, la caracterización del tránsito, las propiedades mecánicas de los materiales y del terreno de fundación, las condiciones climáticas, las condiciones de drenaje y los niveles de serviciabilidad y confiabilidad.
- Concluimos indicando que, dentro del diseño del Pavimento Flexible y Pavimento Rígido, siguiendo las recomendaciones del método AASTHO -93 se tiene las siguientes estructuras:

Tabla 63: 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 64: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	2'038,205.56	2'127,156.97
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	158.13	175.21
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	223.92	248.09
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	60	70
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.

4.2. RECOMENDACIONES

- Los pavimentos en estudio tienen diferentes características considerables que pueden ser bien aprovechadas, cada proyecto debe ser analizado minuciosamente para determinar cuál es la mejor opción en cada caso, haciendo un análisis cuidadoso y a conciencia de todos los factores que intervienen en el proyecto. Así como las condiciones del entorno, los estudios de ingeniería de tránsito, geotécnicos, de drenaje y subdrenaje, la disponibilidad de materiales y equipo de construcción.
- El pavimento rígido es también un tipo de pavimento recomendable para la zona de estudio ya que al hacer 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, ya que, 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

- Norma Técnica CE.10 Pavimentos Urbanos.
- Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.
- Armando Medina Palacios y Marcos de la Cruz Puma. Evaluación de Pavimentos Flexibles aplicando el método del PCI. Tesis UPC – Lima – 2015.
- Análisis del costo del ciclo de vida: Una herramienta para evaluar mejor las inversiones y decisiones técnicas en pavimentación. Boletín Técnico ACPA (American Concrete Pavement Association).
- Evaluación de Pavimentos Flexibles y Rígidos. Boletín informativo de Concreto convencional CELMEX.
- “PAVIMENTO RÍGIDO.” Autor: Prof. Villanueva M. Ronald. Link: <http://es.slideshare.net/PedroFiguroa8/ppt-pavimento-rigido>
- “TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO” Autor: Civilgeeks Link: <http://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>
- Reglamento Nacional de Edificaciones Norma CE.010 Aceras y Pavimentos (2013), Lima –Perú.
- Ministerio De Transportes Y Comunicaciones (2014) Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos- Sección Suelos y Pavimentos

ANEXOS

MEMORIA DESCRIPTIVA

1.0 GENERALIDADES

Nombre del Proyecto:

“MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE MOVILIDAD URBANA EN EL PSJE. CAHUIDE, JR. CAHUIDE C2 – C6, JR. SAN MARTIN C1 – C3 Y PROLG. SAN MARTIN C1 – C8, DEL CENTRO POBLADO DE JUANJUICILLO, DISTRITO DE JUANJUI, PROVINCIA DE MARISCAL CACERES – SAN MARTIN”

1.01. Ubicación:

Centro poblado : Juanjuicillo
Distrito : Juanjui
Provincia : Mariscal Cáceres.
Departamento : San Martín.
Región : San Martín.

1.02. Objetivos:

- 1º) Contar con el soporte técnico para el financiamiento y ejecución de la obra.
- 2º) Contribuir con el desarrollo adecuado de la infraestructura vial.
- 3º) Mejorar el ornato de la ciudad.
- 4º) Brindar un mejor servicio a los transeúntes.
- 5º) Mejorar las condiciones de vida de la población.
- 6º) Disminución de la contaminación atmosférica por presencia de material en suspensión.
- 7º) Mejorar la evacuación superficial de las aguas pluviales en forma eficiente.

- 8º) Disminución de riesgo de inundación de viviendas por falta de un adecuado drenaje pluvial.
- 9º) Propiciar la participación vecinal de la población asentada en este sector.
- 10º) Facilitar el libre acceso a las viviendas.
- 11º) Definición de espacios para encuentros sociales.

1.03. Beneficiarios e Involucrados:

Los Beneficiarios directos son los vecinos organizados del PSJE. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martín Y Prolongación San Martín, y en forma indirecta la población en general del centro poblado de Juanjuicillo, teniendo como aliados a las entidades públicas como la Municipalidad Provincial de Mariscal Cáceres, Gobierno Regional de San Martín – sede Juanjui, Electro Oriente S.A., etc.

La Municipalidad Provincial de Mariscal Cáceres y los vecinos organizados se comprometen a trabajar en conjunto en las diferentes acciones a desarrollarse a fin de cumplir con los objetivos y metas trazadas. A la vez participar activamente hasta la culminación de la actividad, la misma que garantizara una adecuada y moderna infraestructura vial, peatonal, y de evacuación pluvial.

Gobierno Regional de San Martín – Sede Juanjui

Como promotor del desarrollo Departamental de San Martín, promoviendo la articulación de las instituciones locales para el desarrollo de las comunidades.

Dirección Regional de Salud:

Como sector público encargado de monitorear la calidad del ambiente a través de su oficina de salud ambiental, por lo cual se hace indispensable la participación en la solución de este problema.

Municipalidad Provincial de Mariscal Cáceres:

Como institución pública encargada del Desarrollo Urbano y del Ordenamiento de la ciudad, tiene la plena responsabilidad en gestionar y priorizar la ejecución

de este tipo de actividad por ser de su competencia y estar contemplado dentro de su política de gobierno.

Beneficiarios Directos:

Estarían conformado por la población del sector del área de influencia, es decir los habitantes del Psje. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martín y Prolg. San Martín, representados por su comité, los mismos que se comprometen a participar en el mantenimiento de las vías una vez culminada.

Beneficiarios Indirectos:

Lo conforma la población del centro poblado de Juanjuicillo.

2.0 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

2.1 De la Gestión

El centro poblado de Juanjuicillo es uno de los centros poblados del distrito de Juanjuí que está creciendo rápidamente y su población va en aumento constante, razón por la cual se hace merecedora de un mejor ornato, principalmente de sus calles con sus veredas y pistas bien definidas con material de concreto simple y armado, así mismo el mejoramiento de los accesos a sus jirones principales y zonas turísticas.

Razón por la cual la actual gestión Municipal, ha priorizado en su ejecución de obras, proyectos y actividades que articulen vías y/o calles con pistas existentes con otras vías que se encuentran a nivel de afirmado o tierra natural, con una adecuada y moderna infraestructura vial que garantice el normal tránsito vehicular y peatonal. Estos Jirones cuenta con varias vías de acceso a través del habiéndose incrementado el tránsito vehicular en la ciudad de Juanjuí hacia el centro poblado de Juanjuicillo ya que constituye una de las principales vías de acceso de la ciudad de Juanjuí en los últimos tiempos.

Asimismo, con el Mejoramiento de la Infraestructura vial se estará permitiendo una mayor fluidez del tránsito vehicular y peatonal y el fácil ingreso hacia la carretera Fernando Belaunde Terry y la ciudad de Juanjuí, sobre todo en épocas de lluvias donde la vía actual se vuelve intransitable.

3.0 ASPECTOS GENERALES

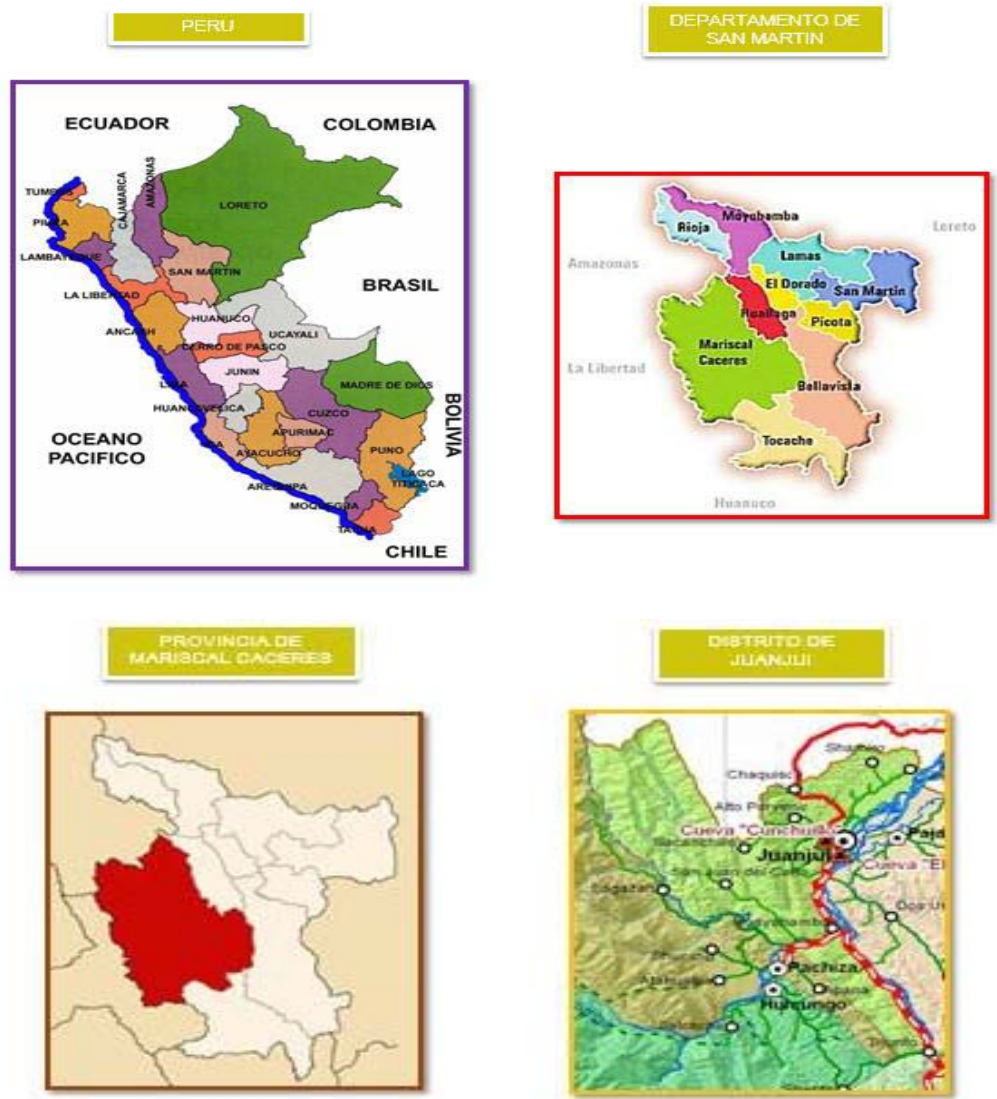
3.01 UBICACIÓN GEOGRAFICA

Se encuentra ubicado en el centro poblado de Juanjui, en PSJE. Cahuide, Jr. Cahuide C2 – C6, Jr. San Martin Y Prolg. San Martin, del Distrito de Juanjuí Provincia de Mariscal Cáceres, Departamento de San Martín.

3.02 VIAS DE ACCESO

Se ubica Políticamente en el Distrito de Juanjuí, Provincia de Mariscal Cáceres, Departamento de San Martín, asimismo el acceso a la zona es a través de las distintas vías terrestre que cuenta la ciudad, dentro la principal la Carretera Fernando Belaunde Terry

LOCALIZACION



UBICACION



3.03 FISIOGRAFIA

Conforme con la geomorfología de la zona se distingue grandes paisajes con ríos y quebradas.

3.04 CLIMA

En la zona predomina un clima Templado típico de la selva tropical, cálida, húmeda, sub-tropical, primaveral y benigno durante todo el año, notándose épocas de marcadas y fuertes precipitaciones en los meses de noviembre a abril, con una temperatura que oscila entre los 18° C y 28 °C, siendo el promedio anual de 24 °C, las precipitaciones anuales están alrededor de 1400 mm. Recomendándose evitar estos meses para cualquier tipo de construcción ya que conllevará atrasos, ampliaciones presupuestales, reprogramaciones del plazo de entrega, entre otros aspectos negativos.

3.05 TOPOGRAFIA

En la zona, se puede apreciar una topografía ligeramente plana con una mínima pendiente.

3.06 SISMICIDAD

En base a los registros de sismos ocurridos en la región San Martín y alrededores, se afirma que la zona del Juanjuí es de alta sismicidad, esto porque en ésta se presenta o distingue una gran concentración de desarrollo de sismos fuertes con

efectos destructivos que en el pasado han cobrado numerosas víctimas y cuantiosos daños materiales.

3.07 GEODINÁMICA EXTERNA

Problemas de geodinámica externa en estado activo identificados con claridad no se han suscitado en la zona y alrededores, es decir, en el lugar no se observan rasgos de derrumbes, deslizamientos, flujos, huaycos, aluviones, inundaciones y otros.

3.08 DINAMICA DE SUELOS

Bien es cierto que los sismos ocurridos en los años 90, 91 y 2,005 permitieron, en determinados lugares de Juanjuí, específicamente en aquellas zonas donde existe depósitos holocénicos fluviales (Qh-fl), registrar el desarrollo del fenómeno de "licuación de suelos".

3.09 LUGAR PARA LA COMPRA DE MATERIALES

El lugar para la compra de los insumos y alquiler de equipos se hará directamente en la ciudad de Juanjui, por encontrarse más cerca de la zona y por consiguiente presenta mayor y mejor oferta de materiales de construcción a emplearse.

4.0 ESTADO SITUACIONAL

4.01 POBLACION

El distrito de Juanjuí según el censo del 2017 – INEI es de 29,266 habitantes, con proyección al 2019 la población asciende a 29,559 habitantes (Población Urbana proyectada con una tasa de crecimiento poblacional del 2,4% de la provincia de Mariscal Cáceres).

4.02 CONDICIONES ECONOMICAS Y SOCIALES

Como producto de este fenómeno de transculturización, la población ha buscado el camino de acuerdo a sus capacidades para generar sus ingresos en función de las oportunidades presentadas siendo la principal actividad económica, la agricultura, la ganadería y el comercio; empleados públicos y privados.

Características culturales:

Dentro de las características culturales del Distrito de Juanjuí, se encuentra las instituciones educativas de nivel inicial, primaria y secundario; escuelas y colegios particulares, institutos superiores, universidades y otros centros de estudios. Además, se cuenta con instituciones públicas como: Gobierno Regional – sede Juanjuí, Municipalidad Provincial, entre otras. En lo referente a la religión encontramos los siguientes: Iglesia Adventista, católica, Evangélica, Reformatoria, entre otras, a los cuales asisten los pobladores de la ciudad. Gran parte de la población beneficiada son inmigrantes de la sierra y costa de nuestro país.

Características económicas:

Asimismo, dentro de la ciudad la principal actividad económica de los pobladores beneficiarios directamente son los negocios, bodegas, restaurantes, agricultores, servidores públicos, etc.

Las viviendas del área de influencia están construidas en su mayor parte con material noble de techo liviano y de material noble con techo aligerado, además cuentan con sistema de agua potable y desagüe, servicio eléctrico y otros servicios secundarios como teléfono, tv cable, Internet, etc.

4.03 SERVICIOS EXISTENTES

Educación. - La educación en el Distrito de Juanjuí se imparte en el nivel inicial primario, secundario, institutos y pedagógicos, donde la población universitaria emigra por carencia de facultades teniendo que trasladarse a otros lugares.

Servicio de agua potable. - Actualmente la población de Juanjuí, cuenta con abastecimiento de agua potable, promedio unas 6 horas. La zona cuenta con redes de agua potable.

Alcantarillado. - El Distrito de Juanjuí cuenta con el sistema de alcantarillado. La zona cuenta con redes de alcantarillado sanitario.

Drenaje Pluvial. - El Distrito de Juanjuí no cuenta con un adecuado sistema de drenaje pluvial.

Electricidad. - La población sí cuenta con servicio de energía eléctrica las 24 horas del día proveniente de Electro Oriente, la disponibilidad de energía genera condiciones favorables para el desarrollo socioeconómico.

Medios de Transporte Urbano. - La población cuenta como medio de transporte urbano a los motocarros, motos lineales, bicicletas, autos y a pie para desplazarse y realizar sus actividades diarias.

Atención Médica. - Existe un Hospital y Clínicas Particulares, con atención médica las 24 horas del día y para casos especializados a graves acuden al hospital de Tarapoto.

Servicios Secundarios. – Existen otros servicios como Teléfono, tv cable, Internet, terminal terrestre, mercado, entre otros.

5.0 PROBLEMA CENTRAL

El Problema Central se representa por las Inadecuadas condiciones de transitabilidad peatonal, vehicular, manejo de aguas pluviales, deficiencia en el sistema de agua, alcantarillado, siendo un problema permanente el bajo nivel de Integración del Sistema Vial Urbano del centro poblado de Juanjuicillo.

Este problema también conlleva hacia un bajo nivel de salubridad de la población al estar expuestos a Inadecuadas condiciones de vida. Es decir, el mayor inconveniente que se presenta es la falta de un adecuado sistema vial que interconecte las diferentes calles del casco urbano de la ciudad, constituyéndose este problema en una preocupación de la actual gestión municipal para seguir mejorando el ornato, y por ende la calidad de vida de la población, que conllevara el aumento del nivel socioeconómico de la población.

6.0 OBJETIVO CENTRAL

- ADECUADO SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL DEL PSJE. CAHUIDE, JR. CAHUIDE C2 – C6, JR. SAN MARTIN Y PROLG. SAN

MARTIN, DEL CENTRO POBLADO DE JUANJUICILLO, DISTRITO DE JUANJUI,
PROVINCIA DE MARISCAL CACERES - SAN MARTIN

7.0 PLAZO DE EJECUCION DE LA OBRA

La ejecución del proyecto "**MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE MOVILIDAD URBANA EN EL PSJE. CAHUIDE, JR. CAHUIDE C2 – C6, JR. SAN MARTIN C1 – C3 Y PROLG. SAN MARTIN C1 – C8, DEL CENTRO POBLADO DE JUANJUICILLO, DISTRITO DE JUANJUI, PROVINCIA DE MARISCAL CACERES – SAN MARTIN**" motivo del presente estudio, se ha considerado un tiempo de Ejecución de 6.0 meses, las que serán distribuidas de acuerdo al cronograma de ejecución.

8.0 MODALIDAD DE EJECUCION

La ejecución se ha determinado bajo la modalidad de Administración Indirecta por CONTRATA.

9.0 FINANCIAMIENTO

Con recursos del Gobierno Regional de San Martin.

10. PRESUPUESTO

Modalidad Ejecución Por Administración Indirecta: CONTRATA

El presupuesto de obra por la modalidad de ejecución por Administración Indirecta: CONTRATA asciende a **NUEVE MILLONES TRESCIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL TRESCIENTOS SESENTA Y CUTRO CON 27/100 soles (S/ 9,353,364.27)** con precios al 14 de octubre del 2019, incluyendo Gastos Generales 10.00% CD, Utilidades 10.00% CD, Supervisión de Obra 5.00% CO, Expediente Técnico, y el I.G.V 18.00% del Sub Total de Obra.

El costo desagregado del Expediente Técnico asciende a **TREINTA Y TRES MIL CUATROCIENTOS CON 00/100 soles (S/ 33,400.00)**

El presupuesto de Supervisión de Obra asciende a **CUATROCIENTOS CUARENTA Y TRES MIL OCHOCIENTOS SIETE CON 82/100 soles (S/ 443,807.82)**

El presupuesto total de la obra, incluidos todos los costos: Costo Directo, Gastos Generales, Utilidades, IGV, Expediente Técnico, y Supervisión de Obra se detalla en el cuadro siguiente:

ITEM	DESCRIPCION	MONTO
I.	PRESUPUESTO DE OBRA	S/ 9,353,364.27
1.1	COSTO DIRECTO	S/ 6,268,472.06
1.2	GASTOS GENERALES (10.00% CD)	S/ 626,847.21
1.3	UTILIDADES (10.00% CD)	S/ 626,847.21
	SUB TOTAL	S/ 7,522,166.48
1.4	I.G.V. (18.00 %)	S/ 1,353,989.97
	COSTO DE OBRA	S/ 8,876,156.45
II.	SUPERVISION DE OBRA (5% CO)	S/ 443,807.82
III.	EXPEDIENTE TECNICO	S/ 33,400.00
IV.	PRESUPUESTO TOTAL	S/ 9,353,364.27