



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

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

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE  
EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS,  
FLEXIBLES Y SEMRÍGIDOS EN LA LOCALIDAD DE  
ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBUYACU,  
PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN  
MARTÍN”**

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

**ASESOR:**

**M.Sc. Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta**

**AUTORES:**

**DÍAZ RAMÍREZ, Lébinis**

**TEJADA LÓPEZ, Kenny**

**TARAPOTO – PERÚ  
2021**

# DEDICATORIA

A mis hijos Átef Amir y Mavi Gizem Díaz Armas por ser el motivo y el norte en mis proyectos profesionales, personales y familiares, a mi madre, Celia Ramírez Soria, por haberme brindado su apoyo y buenos deseos de lograr esta meta que me propuse, a mis hermanos Harol, Lucenith y Paul por acompañarme en este duro camino hacia esta bella carrera profesional, a mis familiares cercanos y a mis grandes amigos que contribuyeron moralmente en este proceso. ¡Este logro se los dedico de corazón!

**Lébinis Díaz Ramírez**

Para Dios, que en su fortaleza me refugie para no desistir de este mi más anhelado sueño, para mi madre María M. López Laulate quién siempre estuvo para darme ánimos y motivación para seguir adelante, para mi hija Luana S. Tejada Valera, por soportar mi ausencia en muchos días de su vida y aun así amarme incondicionalmente, para mis hermanos por el aprecio y cariño que siempre mostraron en mi camino de formación profesional. Todos ustedes han hecho posible que pueda lograr mi objetivo

**Kenny Tejada López**

# AGRADECIMIENTO

A mis hijos Átef Amir y Mavi Gizem Díaz Armas, que son el motivo y la razón de mi existencia.

A mi madre y a mi padre por los consejos, sus enseñanzas, porque me alientan a seguir adelante a pesar de las adversidades de la vida.

A mis hermanos, por estar siempre presente, por sus consejos y confianza.

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

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

A mis amigos que creyeron en mí y me brindaron toda su confianza y apoyo.

**Lébinis Díaz Ramírez**

Hija. Eres mi orgullo y mi gran motivación, libras mi mente de todas las adversidades que se presentan, y me impulsas cada día a superarme personalmente con aras de ofrecerte siempre lo mejor.

A mi madre, por ese apoyo incondicional y toda la formación que me brindaste enseñándome los más grandes valores que se necesita para afrontar esta vida.

**Kenny Tejada López**

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

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

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**“EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS  
PAVIMENTOS RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRÍGIDOS EN LA LOCALIDAD DE  
ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBUYACU, PROVINCIA DE PICOTA,  
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

De los alumnos: **DÍAZ RAMÍREZ LÉBINIS Y TEJADA LÓPEZ KENNY**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **6% de plagio**.

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

San Juan, 08 de Noviembre del 2021.










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

## Document Information

<b>Analyzed document</b>	UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LÉBINISDIAZ_KENNYTEJADA_V1.pdf (D117572588)
<b>Submitted</b>	2021-11-05 15:53:00
<b>Submitted by</b>	Comisión Antiplagio
<b>Submitter email</b>	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
<b>Similarity</b>	6%
<b>Analysis address</b>	revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>FINAL_TT2_QUEZADA_LECCA_ABNER.docx</b> Document FINAL_TT2_QUEZADA_LECCA_ABNER.docx (D110532328)		<b>3</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LUZCAMACHO_RODOLFOPIZARRO_V1.pdf</b> Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LUZCAMACHO_RODOLFOPIZARRO_V1.pdf (D110619301) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com		<b>6</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_SAÍSANGAMA_LAYNEPEZO_V1.pdf</b> Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_SAÍSANGAMA_LAYNEPEZO_V1.pdf (D100815781) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com		<b>1</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_JORGEPIPA_MOISESPIPA_V1.pdf</b> Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_JORGEPIPA_MOISESPIPA_V1.pdf (D115054120) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf">https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf</a> Fetched: 2021-11-05 16:06:00		<b>2</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERIACIVIL_2021_TESIS_HARRYFASANANDO_DARLYNGMEDINA_V1.pdf</b> Document UCP_INGENIERIACIVIL_2021_TESIS_HARRYFASANANDO_DARLYNGMEDINA_V1.pdf (D113383654) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com		<b>1</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_KEIKOPAREDES_MICHAELSALDAÑA_V1.pdf</b> Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_KEIKOPAREDES_MICHAELSALDAÑA_V1.pdf (D99484626) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com		<b>2</b>
<b>Universidad Científica del Perú /</b>			

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal **N° 728-2021-UCP-FCEI** del 22 de octubre del 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- |  |            |
|--|------------|
| • Ing. Caleb Rios Vargas, M.Sc.          | Presidente |
| • Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo, M.Sc. | Miembro    |
| • Ing. Isaac Duhamel Castillo Chalco.    | Miembro    |

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

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 14:00 horas del día 15 de diciembre del 2021, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**.

Presentado por los sustentantes:

**LÉBINIS DÍAZ RAMÍREZ y KENNY TEJADA LÓPEZ**

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 QUINCE (15).**

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



Presidente



Miembro



Miembro

## **APROBACIÓN**

Tesis sustentada en acto público el día 15 de diciembre del 2021 a las 02.00 p.m.



---

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



---

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



---

**Ing. ISAAC DUHAMEL CASTILLO CHALCO**  
MIEMBRO DEL JURADO



---

**M.Sc. Ing. VICTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA**  
ASESOR

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>ii</b>
<b>APROBACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....</b>	<b>5</b>
1.1.1. Antecedentes internacionales .....	5
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	7
1.1.3. Antecedentes Locales .....	11
<b>1.2. BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>88</b>
<b>2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>88</b>
<b>2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>89</b>
2.2.1. Problema general.....	89
2.2.2. Problemas específicos .....	89
<b>2.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>90</b>
2.3.1. Objetivo General.....	90
2.3.2. Objetivos específicos.....	90
<b>2.4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>90</b>
<b>2.5. VARIABLES .....</b>	<b>91</b>
2.5.1. Variable Independiente.....	91
2.5.2. Variable Dependiente .....	91
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>92</b>
<b>3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>92</b>
3.1.1. Tipo de Investigación.....	92
3.1.2. Diseño de Investigación .....	92
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>92</b>
3.2.1. Población .....	92
3.2.2. Muestra .....	92
<b>3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>92</b>



### 3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

93

<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS</b> .....	<b>94</b>
<b>4.1 RESULTADOS</b> .....	<b>94</b>
<b>4.1.1 Estudio de tráfico</b> .....	<b>94</b>
<b>4.1.2 Estudio de la mecánica de suelos</b> .....	<b>96</b>
<b>4.1.2.1 Evaluación de campo y exploración de campo</b> .....	<b>96</b>
<b>4.1.2.2 Ensayos de laboratorio</b> .....	<b>97</b>
<b>4.1.2.3 Clasificación de Suelos</b> .....	<b>99</b>
<b>4.1.2.4 Perfil de Suelo</b> .....	<b>99</b>
<b>4.1.2.5 Análisis de la Cimentación</b> .....	<b>100</b>
<b>Características de la Sub Rasante</b> .....	<b>100</b>
<b>Determinación del Módulo de Resiliencia de la sub rasante</b> .....	<b>100</b>
<b>4.1.2.6 Diseño de Pavimento</b> .....	<b>100</b>
<b>Metodología AASHTO 1993</b> .....	<b>101</b>
<b>4.1.3 Presencia de suelos orgánicos y expansivos</b> .....	<b>124</b>
<b>4.1.3.1 Suelos Orgánicos</b> .....	<b>124</b>
<b>4.1.3.2 Suelos Expansivos</b> .....	<b>124</b>
<b>4.1.3.3 Capacidad de soporte del suelo</b> .....	<b>125</b>
<b>4.1.4 Canteras y fuentes de agua</b> .....	<b>126</b>
<b>4.1.4.1 Metodología del estudio de canteras</b> .....	<b>126</b>
<b>4.1.4.2 Ensayos de laboratorio</b> .....	<b>127</b>
<b>4.1.4.3 Descripción de canteras</b> .....	<b>128</b>
<b>4.1.4.4 Fuentes de agua</b> .....	<b>129</b>
<b>4.1.5 Diseño de pavimentos</b> .....	<b>131</b>
<b>4.1.5.1 Caracterización climática y altitud</b> .....	<b>131</b>
<b>4.1.6 Tráfico promedio diario anual y análisis de tráfico</b> .....	<b>131</b>
<b>4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>140</b>
<b>4.2.1 Diseño de pavimento flexible -método AASHTO 93</b> .....	<b>141</b>
<b>4.2.2 Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93</b> .....	<b>156</b>
<b>4.2.3 Diseño de Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto</b> .....	<b>164</b>
<b>4.3 PRESUPUESTO</b> .....	<b>167</b>
<b>4.3.1 Presupuesto Pavimento Flexible</b> .....	<b>167</b>
<b>4.3.2 PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO</b> .....	<b>169</b>

4.3.3	Presupuesto de pavimento Semirrígido .....	171
	Presupuesto con Pavimento Semirrígido.....	172
4.4	TIEMPO DE EJECUCIÓN .....	173
4.5	RESULTADOS OBTENIDOS .....	176
	<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>181</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	181
5.2	RECOMENDACIONES .....	184
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	186
	MEMORIA DESCRIPTIVA .....	188

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Pavimentos de concreto simple .....	40
Ilustración 2: Pavimento de Concreto Simple con pasadores .....	40
Ilustración 3: Pavimento de concreto con refuerzo de acero no estructural.....	50
Ilustración 4: Pavimentos de concreto con refuerzos de acero continuo .....	50
Ilustración 5: Sección Transversal Pavimento Flexible .....	53
Ilustración 6: Sección Transversal Pavimento Rígido .....	55
Ilustración 7: Plano ubicación de Calicatas .....	100
Ilustración 8: Monograma para Pavimento Flexible.....	142
Ilustración 9: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible.....	142
Ilustración 10: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa .....	142
Ilustración 11: Monograma para Pavimento Flexible.....	148
Ilustración 12: Sección Pavimento Flexible .....	156
Ilustración 13: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido .....	156
Ilustración 14: Sección del Pavimento Rígido .....	164
Ilustración 15: catálogo de estructuras de pavimento de adoquin con base granular período de diseño 20 años .....	165
Ilustración 16: Sección Pavimento Semi-rigido .....	166
Ilustración 20: Programación de Obra Pavimento Flexible .....	173
Ilustración 21: Programación de Obra Pavimento Rígido.....	174
Ilustración 22: Programación de Obra Pavimento Semi-Rígido.....	175
Ilustración 23: Comparación de Costos .....	179
Ilustración 24: Comparación de Plazos de Ejecución.....	180

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categoría de Sub rasante .....	94
Tabla 2: Clasificación vehicular de IMD .....	95
Tabla 3: Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos- Calicatas C-1 al C-2.....	<b>115</b>
Tabla 4: Características de Sub-rasante Jr. Huallaga C-10 .....	120
Tabla 5: Agresividad del suelo Jr. Huallaga C-10.....	122
Tabla 6: Característica de la sub-rasante Jr. San Juan C-02.....	123
Tabla 7: Agresividad del suelo Jr. San Juan C-02.....	124
Tabla 8: CBR de la Subrasante .....	125
Tabla 9: Ensayos de Laboratorio de Canteras .....	127
Tabla 10: Cantera Tramo Shapaja-Chazuta - Ligante.....	129
Tabla 11: Característica Cantera Río Huallaga – Hormigón Arena .....	129
Tabla 12: Diseño de Mezcla para sub base y base granular.....	129
Tabla 13: Granulometría y Clasificación de material de Cantera .....	129
Tabla 14: Característica del agua a usar .....	130
Tabla 15: Conteo Vehicular .....	132
Tabla 16: Factores de Crecimiento Acumulado (Fca) para el cálculo de Número de Repeticiones de EE .....	133
Tabla 17: Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño .....	134
Tabla 18: Configuración de Ejes.....	135
Tabla 19: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos .....	136
Tabla 20: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE)Para Pavimentos Rígidos .....	136
Tabla 21: Factor Camión C2 y C3 para Pavimentos .....	137
Tabla 22: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para ejes Equivalentes (EE) .....	138
Tabla 23: EE día-carril para Pavimento Flexible y Semirrígido.....	139
Tabla 24: EE día-carril para Pavimento Rígido .....	139
Tabla 25: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible y Semirrígido .....	140
Tabla 26: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido...	140

Tabla 27: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño Para Pavimentos Flexibles, Semirrígidos y Rígidos .....	140
Tabla 28: Nivel de confiabilidad, según ASHTO ...	
Tabla 29: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico .....	143
Tabla 30: 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 .....	144
Tabla 31: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico .....	145
Tabla 32: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico .....	146
Tabla 33: Diferencial de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI) Según Rango de Tráfico.....	147
Tabla 34: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular .....	149
Tabla 35: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a1 .....	150
Tabla 36: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje MI.....	152
Tabla 37: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular .....	153
Tabla 38: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente .....	154
Tabla 39: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante.....	157
Tabla 40: Módulo de Elasticidad (Ec).....	158
Tabla 41: <i>Valores Recomendados de Resistencia del Concreto</i> .....	159
Tabla 42: Módulo de Rotura del C <sup>o</sup> (S'c).....	159
Tabla 43: Coeficiente de Transferencia de Carga (J).....	160
Tabla 44: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares.....	160
Tabla 45: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) .....	161
Tabla 46: Valores recomendados de Espesores Mínimos .....	164
Tabla 47: Características de la vía con Pavimento Flexible .....	167
Tabla 48: Características de la vía con Pavimento Rígido .....	169
Tabla 49: Características de la vía con Pavimento Semi-Rígido .....	171
Tabla 50: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn .....	176
Tabla 51: Resumen Características del Sub-rasante .....	176
Tabla 52: Cuadro Comparativo entre Pavimentos.....	177
Tabla 53: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos .....	178
Tabla 54: Cuadro Comparativo Técnico – Económico .....	179
Tabla 55: Cuadro Comparativo Financiero.....	181
Tabla 56: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución .....	182
Tabla 57: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos ...	183
Tabla 58: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero .....	183



## RESUMEN

El presente proyecto de titulación pretende dar a conocer un análisis comparativo entre un pavimento rígido, flexible y semirrígido utilizado como alternativa en las futuras pavimentaciones de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota – San Martín, basándose en el comportamiento que tienen cada uno de estos, partiendo de la base de que las tres alternativas son soluciones satisfactorias para el proyecto de pavimentación, y centrando el análisis en dos factores preponderantes; Por un lado, el factor económico, en el cual está involucrado el valor inicial de cada alternativa, junto con el de conservación y rehabilitación de éstos durante un ciclo de vida determinado. Por otro lado, se expone el factor funcional, mediante el cual se verificará cuál de los tres pavimentos es el más apropiado.

Se procede con el diseño del pavimento tanto flexible, rígido y semirrígido. Para el pavimento flexible y semirrígido se utiliza la metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la del Instituto del Asfalto (IA), mientras que para el pavimento rígido se utiliza también dos metodologías; la de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la de la Portland Cement Association (PCA).

Este estudio tiene como finalidad hacer un comparativo entre el costo y tiempo empleado en la ejecución de un proyecto de pavimentación tipo concreto rígido, pavimento flexible y pavimento semirrígido, con la finalidad de conseguir un diseño óptimo en la pavimentación de calles en la localidad de Alfonso Ugarte, provincia de Picota, departamento de San Martín.

Basándose en el comportamiento que tienen cada uno de estos, partiendo de la base de que las tres alternativas, son soluciones satisfactorias para el proyecto de pavimentación, y centrando el análisis en dos factores preponderantes; Por un lado, el factor económico, en el cual está involucrado el valor inicial de cada alternativa, junto con el de conservación y rehabilitación de éstos durante un ciclo

de vida determinado. Por otro lado, se expone el factor el funcional, mediante el cual se verificará cuál de los dos pavimentos es el más apropiado.

El proyecto se basa en una investigación descriptiva, presentando las características de los pavimentos rígidos, flexibles y semirrígidos, así como sus análisis de costo, sus ventajas y desventajas, siendo el principal método de trabajo, la recolección de datos, consultando diferentes tipos de documentos, libros y tesis, tanto en medios físicos como digitales, estimándose el costo total de ejecución de cada proyecto, realizándose con cada uno de los tres pavimentos mencionados anteriormente, y concluyéndose en cuál es la mejor opción para realizar cada uno de los tres proyectos.

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



# ABSTRACT

This degree project aims to present a comparative analysis between a rigid, flexible and semi-rigid pavement used as an alternative in future pavements in the town of Alfonso Ugarte, district of Shamboyacu, province of Picota - San Martín, based on the behavior that They have each of these, starting from the basis that the three alternatives are satisfactory solutions for the paving project, and focusing the analysis on two preponderant factors; On the one hand, the economic factor, in which the initial value of each alternative is involved, together with the conservation and rehabilitation of these during a determined life cycle. On the other hand, the functional factor is exposed, by means of which it will be verified which of the three pavements is the most appropriate.

We proceed with the design of both flexible, rigid and semi-rigid flooring. For flexible and semi-rigid pavement, the methodology of the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) and that of the Asphalt Institute (IA) are used, while for rigid pavement two methodologies are also used: that of the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) and that of the Portland Cement Association (PCA).

This study aims to make a comparison between the cost and time spent in the execution of a project of rigid concrete type paving, flexible pavement, and semi-rigid pavement, in order to achieve an optimal design in the paving of streets in the town of Alfonso Ugarte, Picota province, San Martín department.

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

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

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

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Habiendo realizado una pesquisa bibliográfica a nivel nacional e internacional vía web, se encontró información relevante relacionada al tema de la investigación, de lo cual se destaca lo siguiente:

### 1.1.1. Antecedentes internacionales

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

- La construcción de pavimentos ya sea vía principal, colectora, troncal o de servicio es de gran importancia para la comunidad, debido al impulso económico que genera, tanto a nivel regional como nacional. Cabe destacar, que, en caso de la Región de Los Ríos, los pavimentos aportan a la conectividad ya que beneficia a las principales actividades comerciales como los son la actividad forestal y agropecuaria. En este trabajo de titulación se expone el proceso constructivo del pavimento flexible y del rígido, el cual comprende varias etapas, como lo son: diseño, ejecución y mantenimiento de estos; así como las diferentes aplicaciones que poseen, en base a las normas y especificaciones vigentes para su construcción.
- El análisis y posterior estudio sobre el pavimento rígido y el flexible realizado en el presente trabajo de titulación, está enfocado en dos aspectos principales, el funcional, en el cual tiene gran preponderancia el diseño, y por otro lado el económico, donde interviene el costo inicial de cada alternativa y el costo de conservación durante su vida de servicio.

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

- Basado en los resultados obtenidos y en los objetivos trazados se plantea las siguientes conclusiones:
- Con la aplicación de la metodología propuesta por la AASHTO 1993, para el diseño de pavimentos rígido y flexible, abordado en el estudio de Caso plasmado en el capítulo VIII, fue posible identificar que el pavimento flexible requiere un mayor espesor de capas subyacentes a la superficie de rodadura, sin embargo, los costos iniciales de construcción son menores que los requeridos por el pavimento rígido, aunque el espesor de la estructura sea menor.
- En la construcción de pavimento rígido basta con una capa de base e incluso se puede colocar directamente sobre la subrasante si el material de soporte es de buena calidad, la ventaja del pavimento rígido en relación al flexible es la capacidad que tiene la losa de absorber y disipar los esfuerzos producidos por los efectos del tránsito, en cambio el pavimento flexible los distribuye a las capas subyacentes.
- La ventaja de implementar la metodología de la AASHTO 1993, para el diseño de estructuras de pavimento Rígido, es porque se puede obtener directamente el espesor requerido de la losa, para soportar la carga que se producirá a lo largo de del periodo de vida para el cual se diseñe la estructura, en cambio sí se diseña pavimento Flexible el resultado que se obtiene de la aplicación de la ecuación AASHTO-93, es una reacción a la carga inducida por el tráfico, la cual debe ser distribuida y absorbida por las capas subyacentes.

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

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

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

### **1.1.2. Antecedentes nacionales**

- ❖ También, tenemos una Tesis, de los autores: Walter David Ramírez Rojas y Roger Zavaleta Alvarado, titulada **“ELABORACIÓN DE EXPEDIENTE**

**TÉCNICO PROYECTO: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO, SEMIRRÍGIDO CON ADOQUINES DE CONCRETO Y FLEXIBLE PARA LAS CALLES DEL SECTOR VI C- EL MILAGRO – TRUJILLO - LA LIBERTAD, 2017”**, de la Universidad Privada Antenor Orrego, que llegan a las siguientes conclusiones:

- Se concluye que por temas económicos el pavimento flexible es el que mejor se ajusta a la zona de estudio, por lo tanto, dependerá de las autoridades respectivas tomar la decisión acerca de qué tipo de pavimento emplear.
  - Al realizar el estudio de tráfico se concluye que gran parte del flujo vehicular consta principalmente de mototaxis, autos y micros posteriormente el número de repeticiones de ejes equivalentes para el diseño es de aproximadamente 3 millones.
  - Al realizar el estudio de mecánica de suelos se obtuvo un CBR= 49.70 por lo que se concluye el terreno posee una buena capacidad portante, y debido a esto el pavimento flexible ya no necesitaría de una sub base granular en su diseño.
  - Con respecto al levantamiento topográfico se determinó que su topografía es llana presentando pendiente longitudinal menor al 3%, demandando un mínimo movimiento de tierra, por lo que no presenta dificultades en su trazado.
- ❖ Además, tenemos una Tesis, del autor: Esteban Javier Abel, titulada “Elaboración de expediente técnico proyecto: **“Rehabilitación de pavimentos asfálticos con la aplicación de capas de concreto “WHITETOPPING” – calle Moquegua, Omate–Moquegua, 2017”**”, de la Universidad Cesar Vallejo, que llegan a las siguientes conclusiones:
- En relación con el objetivo específico 1 “OE1: Determinar la deformación vertical óptima que debe presentar el pavimento asfáltico existente para aplicar capas de concreto hidráulico tipo Whitetopping en la Calle Moquegua, distrito de Omate – 2017”. Se logró determinar que el pavimento existente

en la vía mencionada se encuentra en condiciones para la aplicación de capas de concreto, esto debido a la evaluación que se le realizó con la viga Benkelman que los brazos están en proporción de 1 en 4 dando como resultado lecturas por debajo de límite máximo permitido.

- En relación con el objetivo específico 2 “OE2: Determinar la Mejora del comportamiento mecánico del pavimento asfáltico con la aplicación de capas de concreto hidráulico Whitetopping en la Calle Moquegua, distrito de Omate – 2017”, se logró determinar que:

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

que llegan a las siguientes conclusiones:

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

pavimentos rígidos; para afrontar los retos futuros, se requiere un trabajo de capacitación y generación de data de largo plazo.

- Los pavimentos de concreto, para condiciones de suelo con CBR de 3% (malo), son más económicos.
  - Los pavimentos de asfalto, para condiciones de suelo con CBR de 25% (buenos), son más económicos.
  - Los pavimentos de concreto con suelos con CBR del orden de 10% presentan costos similares a los de asfalto.
  - En general, la variación de costos para pavimentos equivalentes, diseñados con AASHTO 93 y construidos con tecnologías equivalentes, está por el orden de más o menos 20% dependiendo de las condiciones de suelo y tránsito.
- ❖ Además, tenemos una Tesis, del autor Laura Guzmán, M.S. Autor corporativo Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). Facultad de Ingeniería Agrícola Título **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DOS TIPOS DE PAVIMENTOS PARA EL CAMPUS DE LA UNALM** [Universidad Nacional Agraria La Molina] | Lima: UNALM, 2019

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



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

### **1.1.3. Antecedentes Locales**

- ❖ Tenemos la tesis **ANÁLISIS COMPARATIVO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO PARA LA REPARACIÓN DE LAS CALLES DEL CENTRO DEL DISTRITO DE TARAPOTO SON LAS VEINTIÚN CUADRAS, JURISDICCIÓN DEL BARRIO CENTRO , EN EL DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN SAN MARTÍN PERIODO 2017**: Concluimos que el pavimento flexible es el más económico, de acuerdo al presupuesto elaborado por el tesista, por lo tanto, es el que tiene mayor probabilidad de propuesta para los proyectos de pavimentación de vías urbanas, esto debido a los escasos recursos públicos, se trata de hacer más con menos. Concluimos también que el pavimento flexible tiene un menor tiempo de ejecución de las partidas contractuales, considerando las características y procedimientos constructivos de los materiales empleados, a diferencia del concreto rígido que necesitamos más tiempo en la ejecución, esto se puede observar en la programación Gantt elaborado por el tesista. Podemos concluir también que, de acuerdo con el 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 a 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 con la norma E-010 de Pavimentos Urbanos. Concluimos finalmente, que los valores de espesores de las diferentes capas obtenidos en los diseños, tanto para pavimento rígido y flexible, están dentro de los parámetros que manejamos en la zona del proyecto.

## **1.2. BASES TEÓRICAS**

### **1.2.1. Pavimentos**

Los pavimentos son soluciones para la configuración de caminos, siendo éstos concebidos, diseñados y construidos pensando en mejorar y mantener condiciones óptimas de tránsito de personas, bienes y servicios a lo largo de su vida útil.

Son estructuras formadas por un conjunto de capas granulares y carpeta de rodadura que descansan sobre el suelo de cimentación conocido con el nombre de subrasante. La estructura está pensada para transferir y distribuir eficientemente las cargas vehiculares consideradas en el diseño y en su vida útil desde la carpeta de rodadura hasta el suelo de cimentación.

Debido a que los esfuerzos producidos por el paso de las cargas vehiculares decrecen con la profundidad, se deben colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento del pavimento son: anchura, trazo horizontal y vertical y resistencia adecuada a las cargas, para evitar las fallas, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas.

Un pavimento es un “elemento estructural multicapa, apoyado en toda su superficie, diseñado y construido para soportar cargas estáticas y/o móviles durante un periodo de tiempo predeterminado, durante el que necesariamente deberá recibir algún tipo de tratamiento tendiente a prolongar su vida de servicio.

Según Rico y Del Castillo, un pavimento puede definirse como el conjunto de capas, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistentes a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En otras palabras, un pavimento es la superestructura vial que hace posible el tránsito vehicular con la comodidad, seguridad y economía previstas por el proyecto. Los materiales empleados en la construcción de un pavimento ofrecen una gran variedad de posibilidades; por ello, esta estructura puede estar conformada por varias capas. Dichas capas pueden ser de materiales seleccionados sometidos a diversos tratamientos; y su superficie de rodadura puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactados. Las tecnologías actuales ofrecen una gama muy diversa de secciones estructurales diferentes y depende en gran parte de las condiciones y los requerimientos del proyecto para poder elegir la alternativa correcta de diseño.

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

Las funciones de un pavimento son las siguientes:

- a) Poseer el suficiente espesor y capacidad estructural para soportar las cargas debidas al tráfico.

- b) Prevenir el acceso o la acumulación interna de humedad.
- c) Proporcionar una superficie de ruedo que sea resistente a agentes ambientales como: deterioro, desgaste, abrasión, humedad, erosión, etc.
- d) Proveer una superficie de ruedo que sea durable, económica, cómoda, segura y confortable.

### **1.2.2. Exploración de Suelos**

AASHTO para la investigación y muestreo de suelos y rocas recomienda la aplicación de la norma T 86-90 que equivale a la ASTM D420-69. Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía.

Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los casos de:

- Cambio en la topografía de la zona en estudio; por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular.
- Delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados.
- Zonas que soportarán terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0m.

- Zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ( $h < 0.6$  m).
- En zonas de corte, se ubicarán los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de subrasante.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de subrasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos. Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente (según Norma MTC E101). (Manual de carreteras “Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, 2014, pág. 25).

### **1.2.3. Elementos que Integran un Pavimento**

#### **1.2.2.1 Capas de pavimento**

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

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

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

#### **1.2.2.1.1 Subrasante**

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

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

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

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

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

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro. Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, sí se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía.

En caso el tramo tenga una longitud entre 500 m y 1,000 m el número de calicatas a realizar será la cantidad de calicatas para un kilómetro. Si el tramo tiene una longitud menor a 500 m, el número de calicatas a realizar será la mitad de las calicatas indicadas. (Manual de carreteras “Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, 2014, pág. 26).

#### **1.2.2.1.2 Sub base**

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

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

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

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

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

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

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

Otra función de la sub base es la de servir de transición entre la base y la subrasante; 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 subrasante. La sub base sirve también para absorber las deformaciones que provienen de la subrasante y que pueden ser perjudiciales para el pavimento en general.

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

De las funciones mencionadas anteriormente, la estructural y la económica son las que más se proyectan en la construcción de pavimentos, el resto dependen de las circunstancias y de los materiales con los que se cuente para la sub base. Generalmente las dos cualidades que se buscan en el material de sub base son: la resistencia friccionante y la capacidad de drenaje; teniendo cada una, en su



razón de ser, la importancia de su preferencia. La resistencia friccionante contribuirá a la resistencia en conjunto del pavimento, garantizando buen comportamiento en cuanto a deformabilidad se refiere, como resultado de una buena compactación. La capacidad de drenaje, igualmente importante, es necesaria debido a la doble función que realiza tanto con el agua que se infiltra de la superficie, como la que asciende por capilaridad.

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

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

#### **1.2.2.1.3 Base**

La base es la capa de pavimento que se encuentra entre la sub base y la carpeta de ruedo. La base aporta una cantidad importante de la capacidad de estructural del pavimento y posee las mismas funciones secundarias que la sub base.

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

Adicionalmente cuando la capacidad de una base granular se queda corta o si el diseño arroja resultados con espesores de base o carpeta muy elevados se puede llegar a requerir la estabilización de la base utilizando asfalto, cemento, cal, emulsiones, aditivos, o combinaciones de éstos. Por lo tanto, por medio de la estabilización de la base, se puede llegar a disminuir los espesores de base y/o carpeta de ruedo.

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

Su función primordial es la de proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub base y subrasante, 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.

#### **1.2.2.1.4 Superficie de rodadura**

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

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

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

Entre las funciones de la carpeta de rueda se encuentran: soportar los esfuerzos y deformaciones causadas por el tránsito, resistir al clima, la abrasión y el desgaste, proveer una superficie que sea lo suficientemente lisa para que facilite la movilidad de los vehículos y lo suficientemente rugosa para evitar los derrapes,

además de ser un medio impermeabilizante protegiendo las otras capas del pavimento de la humedad superficial.

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

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

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

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

#### **1.2.2.1.5 Registro de Excavación**

De los estratos encontrados en cada una de las calicatas se obtendrán muestras representativas, las que deben ser descritas e identificadas mediante una tarjeta con la ubicación de la calicata (con coordenadas UTM - WGS84), número de muestra y profundidad y luego colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Así mismo, durante la ejecución de las investigaciones de campo se llevará un registro en el que se anotará el espesor de cada uno de los estratos del subsuelo, sus características de gradación y el estado de compacidad de cada uno de los materiales. Así mismo se extraerán muestras representativas de la subrasante para realizar ensayos de Módulos de resiliencia (Mr) o ensayos de CBR para correlacionarlos con ecuaciones de Mr, la cantidad de ensayos dependerá del tipo de carretera.

Tabla 1: Numero de ensayos CBR

Tipo de Carretera	N° M <sub>R</sub> y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido</li> </ul>
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido</li> </ul>
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 M<sub>R</sub> cada 3 km y 1 CBR cada 1 km</li> </ul>
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 1.5 km se realizará un CBR</li> <li>• (*)</li> </ul>
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 2 km se realizará un CBR</li> <li>• (*)</li> </ul>
Carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 3 km se realizará un CBR</li> </ul>

Fuente: Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, pág. 28.

### 1.2.2.1.6 Descripción de los suelos

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo con metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales:

Figura 1: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas - Clasificación AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Fuente: Simbología AASHTO

Figura 2: Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánico de plasticidad baja o mediana, arcilla grava, arcillaarenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico

Fuente: Fuente: Manual de Ensayos y Materiales –Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos

### **1.2.2.1.7 Condiciones para el adecuado funcionamiento del pavimento**

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

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor capacidad los que se colocan en las capas inferiores, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

### **1.2.4. Tipos de Pavimento**

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

Los pavimentos generalmente se clasifican en tres tipos:

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



### **1.2.3.1 Pavimento Flexible**

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

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

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

Entre las ventajas de utilizar este pavimento se encuentran:

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

Las desventajas del pavimento flexible son las siguientes:

- No es recomendable para altas cargas vehiculares.
- Es un pavimento menos durable.
- Requiere mayor mantenimiento o intervención.

- Es un pavimento que posee menor capacidad estructural que el pavimento rígido.

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

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

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

- e) Poseer una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y comodidad hacia el tránsito de vehículos. La superficie del pavimento debe proporcionar un aspecto agradable, seguro y confortable, de manera que el deslizamiento de los vehículos sea óptimo. Esta superficie, que debe ser lisa, también debe ser antideslizante en caso de estar húmeda.

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

#### **1.2.3.1.1 Conformación**

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

#### **1.2.3.1.2 Función del pavimento**

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

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

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

Se entenderá por pavimento flexible aquel que está compuesto por una capa o carpeta asfáltica es decir el pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto o petróleo, y de los productos de la hulla. Esta mezcla es compacta,

pero lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen de tránsito pesado.

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

La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando la supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es poder soportar la carga total en el conjunto de capas.

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

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

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

### 1.2.3.1.3 Características

Los Pavimentos flexibles se caracterizan por estar conformados principalmente de una capa bituminosa, que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y sub base; sin embargo, es posible prescindir de estas capas dependiendo de la calidad de la subrasante y de las necesidades de cada obra. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior.

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

### 1.2.3.1.4 Calidad del Pavimento Flexible

Debe cumplir los siguientes requisitos:

- **Función Económica:** La subbase, que habitualmente es granular, es la capa que genera el menor costo en el pavimento, debido a la proximidad de la cantera a la obra, además porque requiere menor número de operaciones de tratamiento. En consecuencia, esta descripción conduce a la conclusión que es una capa de menor costo pues sus requisitos no son muy exigentes.
- **Función de Transición:** La subbase actúa como una bisagra entre las capas superiores de alta calidad y la subrasante de pobre calidad
- **Función Antideformacional:** La sub base sirve como una capa amortiguadora, cuando es debidamente diseñada, frente a los cambios volumétricos que puede sufrir la subrasante; por ejemplo: cuando el suelo es expansivo o sensible a heladas, la subrasante absorbe la deformación, que se pierde en a la gran cantidad de poros.

- **Función de Resistencia:** La sub base debe ser capaz de soportar, disipar o transmitir los esfuerzos provenientes de las capas superiores.
- **Función de Drenaje:** La subbase debe permitir el flujo de las aguas subterráneas y de percolación de las aguas superiores, sin embargo, si el agua permanece mucho tiempo se podrá producir una presión de poros por la carga hidrostática en el material drenante.

#### **1.2.3.1.5 Duración de un Pavimento Flexible**

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

#### **1.2.3.1.6 Reciclaje, Rehabilitación y futuro de los pavimentos flexible.**

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

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

#### **1.2.3.1.7 Asfaltos Utilizados en la Pavimentación**

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

a) Cementos Asfálticos

b) Emulsiones Asfálticas:

- Emulsiones asfálticas aniónicas
- Emulsiones asfálticas catiónicas

c) Asfaltos Cortados

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

#### **Cementos Asfálticos**

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

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

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

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

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

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

### **Emulsiones Asfálticas**

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



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

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

#### **1.2.3.1.8 Tipos de Asfalto Según su Utilización**

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

- Riego de Imprimación.
- Riego de Liga

##### **1.2.3.1.8.1 Riego de Imprimación para pavimentos flexibles**

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

Cuando este tratamiento se aplica a una superficie relativamente porosa y granular, como grava o piedra machacada, en la que es deseable obtener una considerable penetración del material bituminoso, esta aplicación se denomina capa de imprimación. Como se va a necesitar una profundidad de penetración

considerable, se puede deducir que se va a utilizar un producto de curado en cierto modo lento y de baja viscosidad.

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

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

La cantidad de material bituminoso a usar puede variar desde, aproximadamente, 0,9 a 1,80 l/m<sup>2</sup> de superficie, dependiendo de la granulometría y la densidad de los áridos o del suelo que se va a imprimir. Un riego de imprimación dentro de la construcción de pavimentos cumple una serie de funciones que tiene una gran relevancia:

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

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

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

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

#### **1.2.3.1.8.2 Riego de Liga para Pavimentos Flexibles**

El Riego de Liga es una ligera aplicación de riego de emulsión asfáltica diluida. Este usa para adherir la superficie del pavimento ya existente y la capa de asfalto que tendrá que ser colocada posteriormente efectuada esta operación. Sirve para mejorar la adherencia entre el revestimiento asfáltico y la capa subyacente, la emulsión se diluye agregando una cantidad igual de agua. Para estar completamente seguros de que el agua a utilizar en la dilución es compatible con la emulsión, se recomienda hacer una dilución de prueba. Para poder evitar que se produzcan roturas prematuras, siempre se agrega el agua a la emulsión y no la emulsión al agua.

El riego de liga debería ser aplicado solo en áreas que pueden ser pavimentadas en el mismo día. Los mejores resultados se logran cuando el riego de liga se aplica sobre una superficie seca y la temperatura de éstas supera los 25°C. Para lograr una buena adherencia, la superficie que será tratada con el riego de liga debe estar limpia y libre de todo material suelto. Al aplicar una excesiva cantidad de riego de liga puede producir un plano resbaladizo entre dos capas de pavimento, la razón es que el asfalto trabaja como lubricante en vez de trabajar como adhesivo. El equipo necesario para su ejecución son barredoras comunes, barredoras mecánicas y un camión distribuidor.

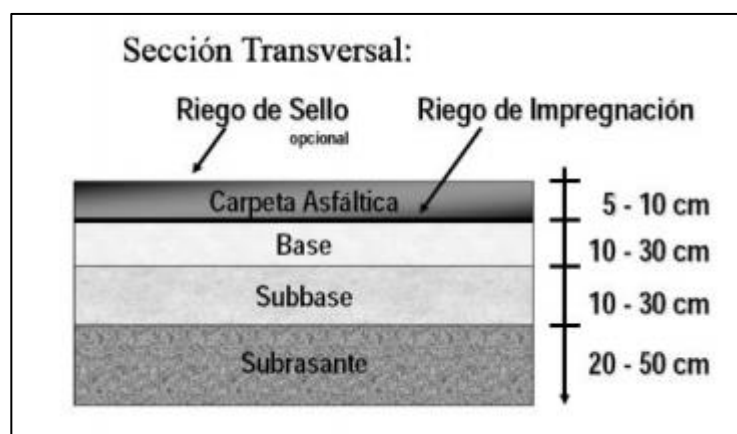
Al finalizar la aplicación del riego de liga y antes de colocar el recapeo, se debe dar tiempo para que se produzca la completa rotura de la emulsión diluida, es decir el cambio del color marrón al color negro. Por eso el tráfico se desvía de la zona tratada porque el pavimento se encuentra fresco y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

Un riego de liga es también esencial en una buena operación de bacheo. El área que va a ser bacheada debe ser limpiada completamente y todo el material que se encuentre suelto debe ser removido. Un riego de liga de emulsión asfáltica se aplica sobre la totalidad del área a ser bacheada, incluyendo los lados verticales. El riego de liga ayuda a contener el bache y provee un sellado impermeable entre el bache y el pavimento que lo rodea (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

### 1.2.3.1.9 Clasificación de capas de un Firme Flexible

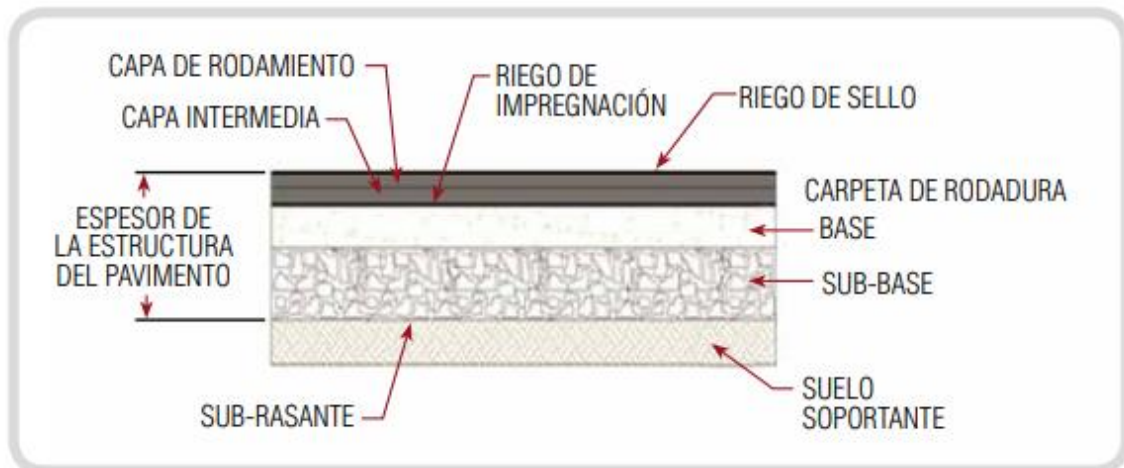
El Firme flexible o asfáltico está formado por varias capas, dentro de las cuales se encuentra la sub rasante, la sub base, la base, estas dos últimas son elementos estructurales, que al estar ligados con la superficie, tienen por objetivo distribuir las cargas del tránsito a las sub rasante, y por ultimo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

**Figura 3: Sección transversal del pavimento flexible**



Fuente: Manual de Carreteras 2020.

**Figura 4: Estructura de un pavimento flexible**



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

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

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

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

#### **1.2.3.1.10 Método Simplificado de diseño de un Pavimento Flexible**

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

Los pavimentos flexibles se caracterizan por tener una baja resistencia al esfuerzo de corte, que va a depender, por cierto, del espesor de sus capas componentes del diseño para transformar las cargas recibidas por la superficie de rodado a las cargas que puede soportar el suelo de fundación. Además, existe un Riego de Liga entre las capas asfálticas (Carpeta, Binder y Base) y un riego de imprimación entre la base granular y la base asfáltica. El pavimento flexible no solo está formado por la capa de rodado sino por todas las que conforman la estructura. También es importante decir que de acuerdo con el tipo de tránsito y al tipo de suelo natural se pueden eliminar algunas de las siguientes capas, intermedia, base asfáltica y sub base granular.

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

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

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

#### **1.2.3.1.11 Etapas de Diseño de un Pavimento Flexible**

Como ya fue mencionado anteriormente la Dirección de Vialidad, es el ente encargado de velar por el desarrollo de la infraestructura vial del país. Su función es fijar procedimientos y límites normativos que cubren los aspectos relacionados con los estudios de carreteras y caminos en áreas rurales y urbanas que se encuentran bajo su tuición a través de un documento oficial llamado Manual de Carreteras, el cual se compone actualmente de nueve volúmenes. La metodología vigente en Perú en cuanto al diseño estructural para pavimentos flexibles se describe en el Volumen N°3 “Instrucciones y Criterios de Diseño” y corresponde a un procedimiento basado en el método propuesto en Estados Unidos en la guía de diseño AASHTO, versión 1993, adecuado a nuestra realidad y afecto a algunas variaciones.

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

#### **1.2.3.1.12 Diseño Estructura del Pavimento Flexible**

##### **Coefficiente estructural**

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

resistencia a compresión en probetas cilíndricas en el caso de tener bases tratadas, ya sea con cemento o asfalto (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

### **Diseño de Subrasante**

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

La definición de “Módulo Resiliente efectivo” implica determinar un valor medio considerando el efecto de las variaciones estacionales producto de condiciones medioambientales. En general y para evitar mayores complicaciones se adopta un valor único con la salvedad de situaciones en que intervienen condiciones extremas de frío, en donde la acción de la helada pasa a jugar un papel importante en el comportamiento de la subrasante. A pesar de que los suelos tienen en ciertas ocasiones comportamientos no del todo elásticos, es necesario determinar su Módulo Resiliente teniendo en cuenta los requerimientos de los sistemas de análisis basados en sistemas multicapas. El Módulo Resiliente se determina a través de un ensayo triaxial consistente en someter una probeta a una carga cíclica durante un tiempo definido. Su resultado es altamente sensible al estado de esfuerzos en que se encuentra el suelo (grado de confinamiento), a su contenido de humedad y al espesor de la capa analizada.

La especialización del equipo y del operario para realizar el ensayo que determina el Módulo Resiliente, así como el tiempo que demanda su ejecución, llevaron a permitir el uso de relaciones para obtenerlo en forma indirecta, siendo la más común aquella que utiliza el valor del ensayo CBR, por lo tanto, debe tenerse presente que el parámetro obtenido es sólo una aproximación. El método expuesto en el Manual de Carreteras ocupa las ecuaciones de correlación que dependen de los valores obtenidos del ensayo de CBR, determinadas en 1987 por



el “Transport and Road Research Laboratory” (TRRL). Estas ecuaciones se aplican sólo para determinar el Módulo Resiliente del suelo de soporte.

El módulo elástico de las capas no ligadas es dependiente de las propiedades de la capa subyacente (en particular de su módulo), además de estar relacionada obviamente con el espesor, propiedades del material y grado de confinamiento de la capa bajo análisis. Por esta razón, se recomienda no ocupar capas contiguas con módulos muy diferentes, debido a lo cual se incluyen dos procedimientos que se deben utilizar en casos en que el CBR de la subrasante no supere el 10 %, con el fin de minimizar en cierta medida las diferencias entre las características resistentes entre capas sucesivas. Ellos son, el uso de una tela geotextil bajo la sub base, la cual tiene la propiedad de desarrollar resistencia a la tracción, atenuando las sollicitaciones de este tipo desarrolladas en el pavimento o, alternativamente, incluir capas de mejoramiento en la subrasante. Este último procedimiento consiste en incluir una capa de tipo granular de espesor mínimo 30 cm, que produce una mejora en el Módulo Resiliente, representado a través de un factor de aumento aplicado al valor inicial. En cuanto a la prospección de suelos para determinar las características típicas de la subrasante, éstas deben ejecutarse en lugares apropiados y representativos, de modo de caracterizar el suelo de fundación de la mejor manera. A partir de esos datos se definen tramos con características homogéneas, definiendo un valor promedio de acuerdo con los valores con que se cuenta, sin embargo, no se consideran datos extremos (outliers) para el cálculo. En el caso de valores muy bajos, se deberán usar técnicas de mejoramiento como las expuestas anteriormente. El Módulo Resiliente adoptado para el diseño corresponde al valor promedio entre la serie de muestras realizadas. (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

### **Índice de Serviciabilidad**

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

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

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

El método de diseño nacional considera el factor de serviciabilidad inicial ( $P_i$ ) propuesto por AASHTO, correspondiente a 4,2 en el caso de pavimentos flexibles y al cual le corresponde un IRI de construcción de 1,41 m/km, según las relaciones expuestas en el Manual de Carreteras. Las ecuaciones de correlación estipuladas son aplicables a casos en que el IRI inicial sea menor a 1,5 m/km; en estos casos el valor de serviciabilidad correspondiente a ese IRI podría ser usado perfectamente como valor de serviciabilidad inicial, quedando esto a criterio del diseñador. El valor de la serviciabilidad inicial depende exclusivamente de la calidad de la construcción.

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

**Tabla 2: Calificación de la serviciabilidad de los pavimentos**

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

Fuente: Armijos (2009)

### Índice de Confiabilidad

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

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

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

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

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

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

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

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

### 1.2.3.1.13 Procedimiento de Diseño de un Pavimento Flexible

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

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

Donde:

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

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

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

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

Donde:

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

Al existir más de una variable desconocida implícita en esta ecuación (el espesor de cada una de las capas), no existe una única combinación que satisfaga el Número Estructural pedido y dé por solucionado el problema. Debido a esto, con el propósito de compatibilizar los espesores con los aspectos constructivos y de estabilidad de una determinada capa, se limitan los espesores a través de valores mínimos correspondientes a 50 mm para cada capa asfáltica (no se considera esta regla para mezclas especiales) y 150 mm para cada capa granular. Además, para acotar de algún modo el número de posibles soluciones se discretizan los espesores a colocar, redondeando a los 5 mm los correspondientes a capas de la carpeta asfáltica y a los 10 mm los de las capas granulares. Otra recomendación es que para las capas granulares se debe hacer una consideración con respecto a sus módulos elásticos: dos capas granulares sucesivas no deben tener una relación mayor a 4 entre sus módulos. Una mala estructuración en el pavimento puede generar deformaciones y esfuerzos que superen las capacidades de soporte estimadas. Es por ello que, dentro de las disposiciones para asegurar una buena distribución de los espesores, se procede a separar el Número Estructural total requerido en dos partes: una aportada por las capas granulares y otra por las capas asfálticas. Se establece, por consiguiente, a través de un procedimiento de

carácter teórico-empírico basado en experiencias nacionales, el Número Estructural mínimo requerido sobre la base granular, es decir, el aporte estructural necesario por parte de la carpeta asfáltica que se pretende colocar, a través del uso de tablas y gráficos que involucran el tránsito, el suelo de soporte y el factor climático TMAPA. A partir de ambos valores de Número Estructural calculados anteriormente (el total y el aportado por la carpeta asfáltica), se puede obtener por diferencia el Número Estructural mínimo requerido por las capas granulares de la estructura.

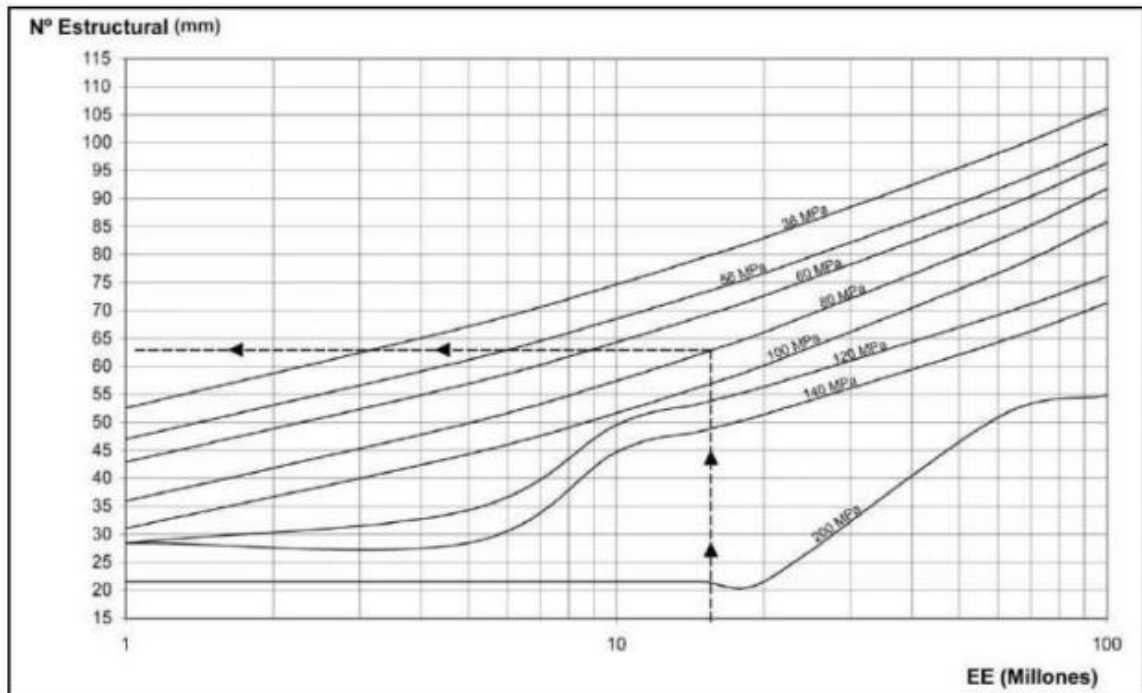
El método para determinar el Número Estructural mínimo que deben aportar las capas asfálticas parte con la determinación del parámetro climático TMAPA para el sitio donde se construirá la obra, a partir de datos disponibles de TMMA. En esta parte del método está inmersa la citada relación con el método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

El Número Estructural mínimo requerido sobre la base granular se encuentra a través de gráficos dados para tres valores de TMAPA: 6°C, 14°C y 19°C, los cuales contienen curvas para distintos valores del Módulo Resiliente de la subrasante. La siguiente figura muestra el gráfico correspondiente a una TMAPA de 19°C y contiene curvas para valores de Modulo Resiliente de la subrasante que van en un rango de 36 MPa a 200 MPa. El eje de las abscisas corresponde a la solicitud de tránsito, considerándose desde 1 hasta 100 millones de Ejes Equivalentes. (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

Una vez escogido el grafico que se presenta en la Figura 13 correspondiente a la TMAPA del lugar del proyecto se ingresa a él por el eje de las abscisas con el valor del parámetro de ejes solicitantes (o el valor modificado en el caso que se haya calculado de esa manera), se busca la curva para el valor del Módulo

Resiliente de la sub--rasante que se tenga y finalmente se encuentra en el gráfico el Número Estructural necesario sobre la base.

**Figura 5: Gráfico para determinar Número Estructural requerido por capas asfálticas**



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

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

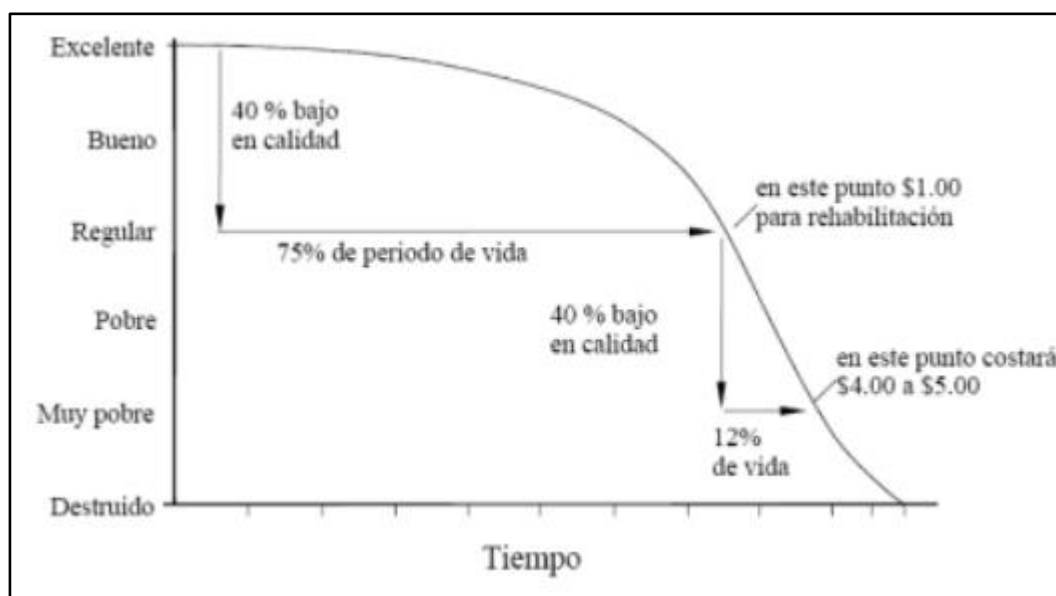
#### 1.2.3.1.14 Ciclo de vida de los pavimentos

Los pavimentos son inversiones importantes que exigen mantenimiento y reparación a lo largo de su vida. En la actualidad ha aumentado la necesidad de



conservar los caminos en buen estado para su adecuado funcionamiento. Los pavimentos sufren deterioros constantes debido a las sollicitaciones externas (lluvia, tránsito, etc.), el efecto que estas producen es permanente y puede resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es por ello que los pavimentos se proyectan para que sirvan un determinado número de años, esta proyección es denominada ciclo de vida útil.

**Figura 6: Ciclo de vida de un pavimento**



Fuente: Gamboa (2009).

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

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

**Etapa 2:** Deterioro imperceptible. El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe, pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una serie de medidas de

mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente. El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios, el costo del mantenimiento anual este alrededor del 0,4 a 0,6% del costo de construcción. El estado del camino varía desde excelente a regular.

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

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

**Figura 7: Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación**

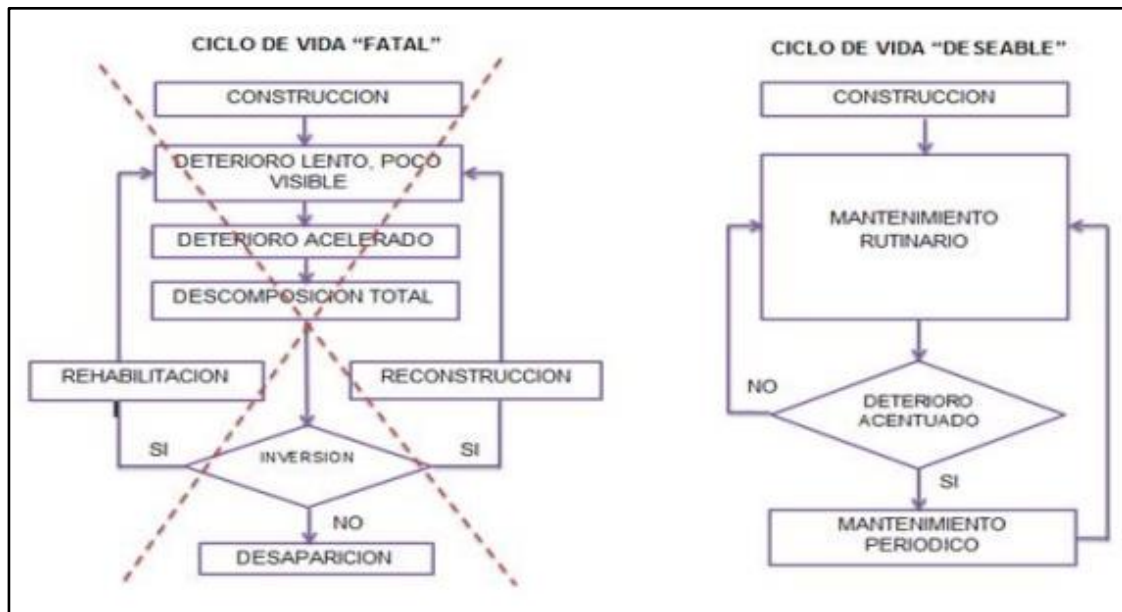


Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación. En la curva roja se identificación tres puntos, los cuales se describen a continuación: **En el punto 1** el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento. **En el punto 2** se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restaura la condición del pavimento. Por último, en el punto 3 se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento.

#### **1.2.3.1.15 Ciclo de vida deseable del pavimento**

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

**Figura 8: Diagrama de flujo del ciclo de vida deseable del pavimento**



Fuente: Gamboa (2009)

#### **1.2.3.1.16 Evaluación del pavimento**

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al transitar, esto significa que la plataforma debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada.

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie de este, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

#### **1.2.3.1.17 Importancia de evaluación de un pavimento**

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto.

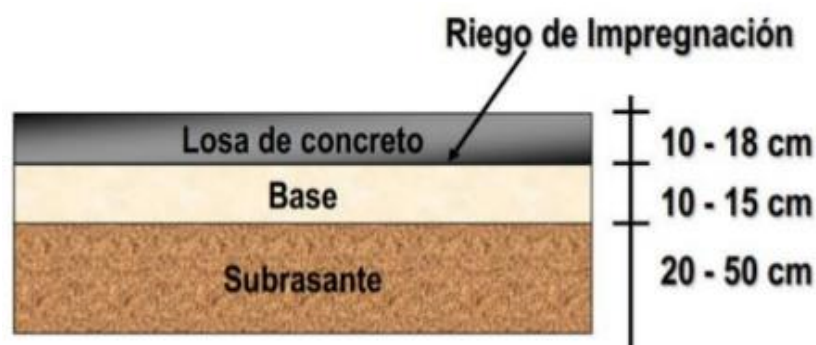
### 1.2.3.2 Pavimentos Rígidos

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

Es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante, esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo.

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, 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.

**Figura 9: Sección Transversal Pavimento Rígido**



Fuente: cámara nacional del cemento

**Figura 10: Estructura de un pavimento rígido**



Fuente: cámara nacional del cemento

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

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

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

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

e) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

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

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

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

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

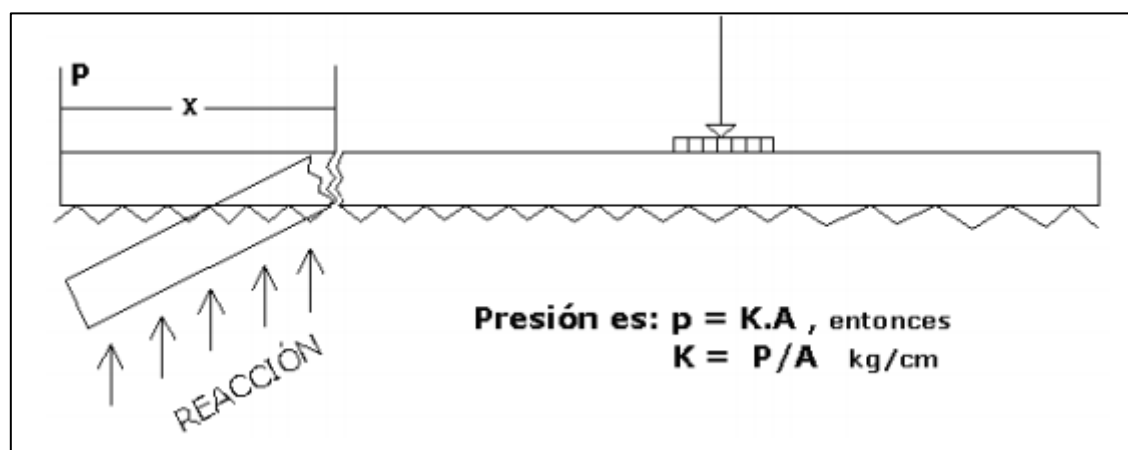
Debido a esto es muy importante toda recopilación de datos que se pueda obtener con relación al tránsito en el lugar; para esto puede recurrirse a los censos de tránsito en el lugar en estudio.

La realización de los censos de tránsito es muy relevante para estimar el tránsito futuro. Para esto debe realizarse un estudio de las características comerciales, turísticas, etc., de la región en la cual se realizará el proyecto, densidad poblacional, vinculación de la carretera con otras existentes y el estudio de los volúmenes de tránsito y cargas de ruedas sobre caminos de igual importancia

existentes en otras zonas. Además de la información recopilada anteriormente, es necesario investigar sobre la existencia de fábricas, minas, etc., cuyo tránsito pueda valorarse, el cuál va a formar parte del nuevo proyecto.

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

**Figura 11: Esquema de esfuerzos debido a las cargas**



El elemento estructural primordial en este tipo de pavimento consta de una losa de concreto que se apoya directamente en la subrasante o en una capa de material granular seleccionado denominada sub base.

La necesidad de utilizar la sub base surge sólo si la subrasante no tiene las condiciones necesarias como para resistir a la losa y las cargas sobre esta; es decir, que no actúe como un soporte adecuado. Una de las diferencias más saltantes entre los pavimentos flexibles y rígidos es la forma en que se distribuyen los esfuerzos producidos por el tránsito sobre ellos. Debido a que el concreto es mucho más rígido que la mezcla de asfalto, éste distribuye los esfuerzos en una zona mucho más amplia.

Del mismo modo, el concreto presenta un poco de resistencia a la tensión por lo que aún en zonas débiles de la subrasante su comportamiento es adecuado. Es



por ello que la capacidad portante de un pavimento rígido recae en las losas en vez de en las capas subyacentes, las cuales ejercen poca influencia al momento del diseño. **(Montejo, A. (2006) Pág.5).**

Otra diferencia importante es la existencia de juntas en los pavimentos rígidos, las que no se presentan en los flexibles. Es así como la teoría de análisis que se utiliza para la primera clase de pavimento es la teoría de placa o plancha en lugar de la teoría de capas utilizada para los caminos asfaltados. **(Huang, Y. (2004) Pág.11.).**

La resistencia del concreto utilizada usualmente es alta, entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Por su parte las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre reforzado. **(Rico, A., Y Del Castillo, H. (1999). Pág. 205).**

Otro autor clasifica los pavimentos rígidos de la siguiente manera:

- **Pavimento articulado de concreto simple o Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP):** Es la solución más económica con juntas espaciadas de manera cercana.
- **Pavimento articulado de concreto reforzado o Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP):** Si bien el refuerzo no aumenta la capacidad portante de la estructura, si permite espaciar las juntas un poco más. Asimismo, análogamente a otra estructura de concreto reforzado como una viga, el acero puede mantener el concreto unido en caso se produzca una grieta o rotura.
- **Pavimento continuo de concreto reforzado o Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP):** Con esta clase se pueden eliminar las juntas transversales pero el espesor de la losa es igual al de los dos tipos antes mencionados (JPCP y JRCP).
- **Pavimento de concreto pre esforzado o Prestressed Concrete Pavement (PCP):** Al ser aplicada una precompresión, los esfuerzos de tensión o tracción disminuyen cuando la estructura es sometida a cargas. Por lo tanto, la probabilidad de agrietamiento es menor y también se puede

utilizar un menor número de juntas transversales. (Huang, Y. (2004). Pág. 14-17).

### **1.2.3.2.1 Funciones de las distintas capas de un Pavimento Rígido**

#### **1.2.3.2.1.1 Sub base**

Normalmente es muy necesaria y casi siempre las condiciones de la subrasante 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 subrasante.

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

#### **1.2.3.2.1.2 Base**

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

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

#### **1.2.3.2.1.3 Capa de rodadura**

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

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

#### **1.2.3.2.2 Clasificación de los pavimentos rígidos**

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

c) Pavimento continuamente reforzado

#### **1.2.3.2.3 Ventajas del pavimento rígido**

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

#### **1.2.3.2.4 Desventajas del pavimento rígido**

- a) No es recomendable para cargas vehiculares bajas porque se vuelve una solución muy costosa económicamente.
- b) Es posible que se genere bombeo de materiales finos por las juntas hacia la superficie de la losa, cuando no existe sub base.
- c) Se requiere el diseño de acero y/o dovelas, a excepción de algunos pavimentos rígidos que no los tienen.

#### **1.2.3.2.5 Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido.**

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

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

se le pueden conferir propiedades apropiadas para ser moldeada en la forma deseada.

El hormigón fresco puede ser fácilmente transportado y depositado en el lugar en donde pasara a formar parte constituyente, recibiendo a continuación un tratamiento adecuado de consolidación o compactación por medio de maquinaria vibratoria, para conferirle su máxima densidad. El cemento y el agua se combinan, generando un proceso fisicoquímico en cuya etapa inicial se produce la hidratación de los componentes del cemento, es por esta razón que el cemento es llamado “Aglomerante Hidráulico”, del cual resulta como primera etapa el fraguado que se refiere al comienzo del endurecimiento del hormigón, luego su endurecimiento es gradual, que en condiciones adecuadas de humedad y temperatura prosigue indefinidamente en el tiempo, resultado de este proceso es un incremento en la capacidad resistente del hormigón.

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

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

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

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

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

### 1.2.3.2.6 Clasificación de Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido

#### 1.2.3.2.6.1 Según Resistencia a la Compresión a los 28 días.

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

**Tabla 3: Grado del Hormigón Según Resistencia a la Compresión**

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

Fuente: Norma Peruana NP 170

La resistencia a la compresión puede ser un factor decisivo al momento de diseñar y elegir un hormigón, ya que de él depende la cantidad de cemento utilizado, cantidad de agua agregada a la masada y calidad de los materiales pétreos. La

elección del grado del hormigón depende del tipo de elemento y las cargas a los que va a estar solicitado.

**Tabla 4: Grado del Hormigón / Elemento**

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

Fuente: Norma Peruana NP 170

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

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

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

### **1.2.3.2.7 Diseño de un Pavimento Rígido**

#### **1.2.3.2.7.1 Factores de diseño**

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

### **Tránsito**

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

### **Estudio de Tráfico**

El tráfico es uno de los factores más relevantes en el diseño del pavimento. Su correcta determinación depende de muchas variables que pueden conducir a una estimación inadecuada del mismo. El método utilizado para el cálculo del tráfico en la presente tesis corresponde a la transformación de los diferentes tipos de vehículos en un eje estándar equivalente (EALF), para posteriormente calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes en el periodo de diseño del pavimento (ESAL). El valor del ESAL será usado para el diseño por la metodología AASHTO y la del Instituto del Asfalto. Se presentan a continuación los resultados correspondientes al estudio de tráfico.

### **Índice medio diario anual**

El índice medio diario anual (IMDA) es el valor numérico estimado de tráfico vehicular en un determinado tramo de la red vial en un año. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones 29, el IMDA es el resultado de los conteos volumétricos y clasificación vehicular en campo en una semana, y un factor de corrección que estime el comportamiento anualizado del tráfico de pasajeros y mercancías. Se obtiene haciendo uso de la siguiente fórmula:



$$\text{MDA} = \text{IMDS} \times \text{FC}$$

Donde:

-IMDS representa el índice medio diario semanal o promedio de tráfico diario semanal

-FC representa el factor de corrección estacional

### Tasa de crecimiento anual

La tasa de crecimiento es un factor que se estima en base a las proyecciones de crecimiento poblacional y económico en el área de influencia del tramo de la carretera, lo cual se reflejará en el incremento del tráfico y también en la modificación de los tipos de vehículos que circularán por el tramo. La tasa de crecimiento anual se determina de acuerdo al tipo de vehículo y haciendo uso de las siguientes fórmulas:

Vehículos de carga:	$r_{VC} = r_{PBI} \times E_{VC}$
Ómnibus:	$r_O = r_{PBI} \times E_O$
Vehículos ligeros:	$r_{VL} = r_{pob} \times r_{percápita} \times E_{VL}$

Donde:  $r_{VC}$  es la tasa de crecimiento anual de vehículos de carga,  $r_{PBI}$  es la tasa de crecimiento del PBI,  $E_{VC}$  es la elasticidad de la demanda del tráfico de vehículos de carga,  $r_O$  es la tasa de crecimiento anual de ómnibus,  $E_O$  es la elasticidad de la demanda del tráfico de ómnibus,  $r_{VL}$  es la tasa de crecimiento anual de vehículos ligeros, camioneta rural y micros,  $r_{pob}$  es la tasa de crecimiento anual poblacional,  $r_{percápita}$  es la tasa de crecimiento anual de PBI percápita y  $E_{VL}$  es la elasticidad de demanda del tráfico de vehículos ligeros, camioneta rural y micros.

### Factor de carga equivalente por eje

El factor de carga equivalente por eje, EALF, representa el daño relativo producido en el pavimento por el paso de un determinado eje, en comparación al daño que produce un eje estándar de 18 kip (80 KN). Este procedimiento se realiza con la

finalidad de homologar el efecto que tendrían los diferentes tipos de vehículos que transitan sobre un pavimento.

$$a) \log \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = 4.79 \log (18 + 1) - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$$b) G_t = \log \left( \frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right)$$

$$c) \beta_x = 0.40 + \frac{0.081 (L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}}$$

Finalmente, haciendo uso de la fórmula presentada anteriormente, el ESAL para cada tipo de pavimento se muestra en la siguiente tabla y será usado para el diseño de los pavimentos por la metodología de la AASHTO.

**Tabla 5: ESAL para cada tipo de pavimento**

Tipo de pavimento	ESAL
Pavimento flexible	12.00 E+06
Pavimento rígido	15.19 E+06

Fuente: Elaboración Propia

### Capacidad de soporte del suelo de fundación

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

**Tabla 6: Cuadro de Valor de Soporte**

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

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen 3 MOP. 2012

### **Resistencia a la Flexotracción**

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

### **Vida de Diseño**

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

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

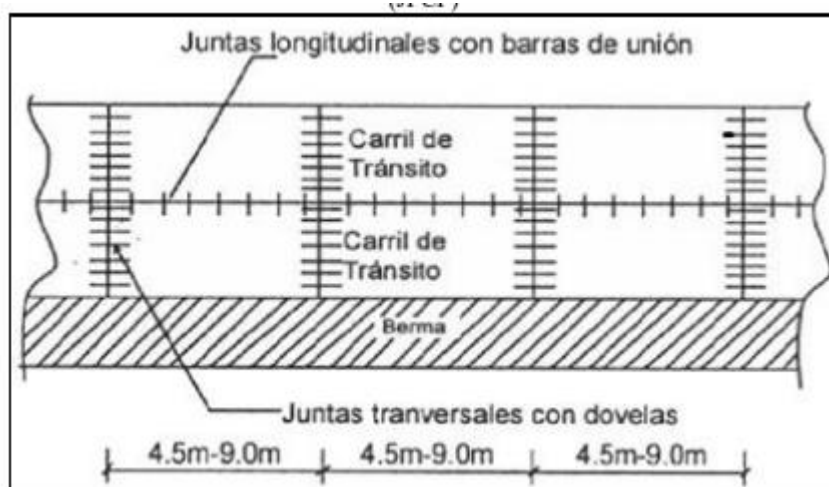
## Clima

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

### 1.2.3.2.8 Pavimentos articulados de concreto simple

Pavimento articulado de concreto simple (JPCP); este es el tipo más común de pavimento rígido. El pavimento articulado de concreto simple controla las grietas dividiendo el pavimento en losas individuales separadas por juntas de contracción separadas entre 4.5 y 9.0 m. JPCP no utiliza ningún tipo de refuerzo de acero, pero utiliza pasadores o dovelas (dowels) en las juntas transversales y barras de unión (tie bars) en las juntas longitudinales. Existe la posibilidad de prescindir del uso de los dowels; en este caso, la transferencia de carga se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas.

**Figura 12: Composición de un pavimento articulado de concreto simple (JPCP)**

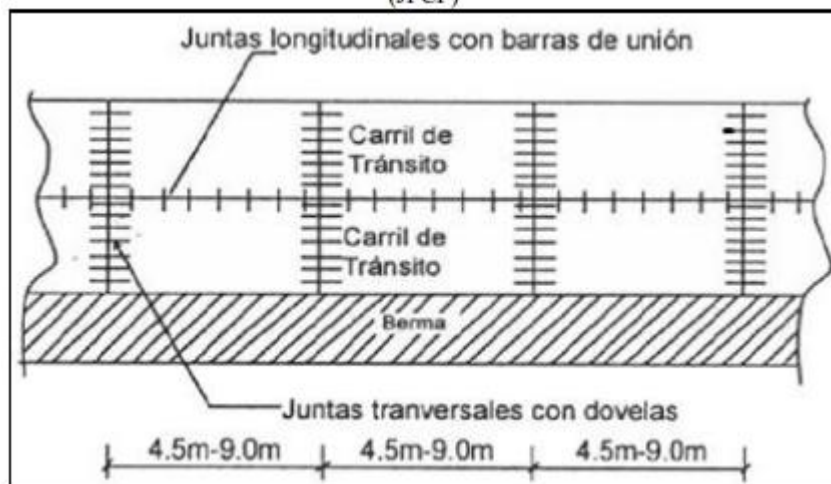


Fuente: Menéndez (2012)

### 1.2.3.2.9 Pavimento articulado de concreto reforzado

Pavimento articulado de concreto reforzado (JRCP); el acero de refuerzo no aumenta la capacidad portante de la estructura; sin embargo, sí permite espaciar las juntas un poco más (alrededor de 9.0 a 30.0m). El refuerzo de acero está diseñado para sostener firmemente juntas las grietas transversales que se desarrollan en la losa. Debido al gran espaciamiento entre paneles, pasadores y barras de unión también se utilizan en todas las juntas transversales y longitudinales, respectivamente. La cantidad de acero de refuerzo necesario incrementa con el aumento del espaciamiento de las juntas; sin embargo, el número de juntas y dowels a usarse decrece cuando esto sucede. De acuerdo con Huang, se recomienda un espaciamiento máximo de juntas de 12.2 m lo cual garantiza el diseño más económico para el pavimento en términos de uso del acero de refuerzo, de las juntas y de los dowels.

**Figura 13: Composición de un pavimento articulado de concreto reforzado (JRCP)**



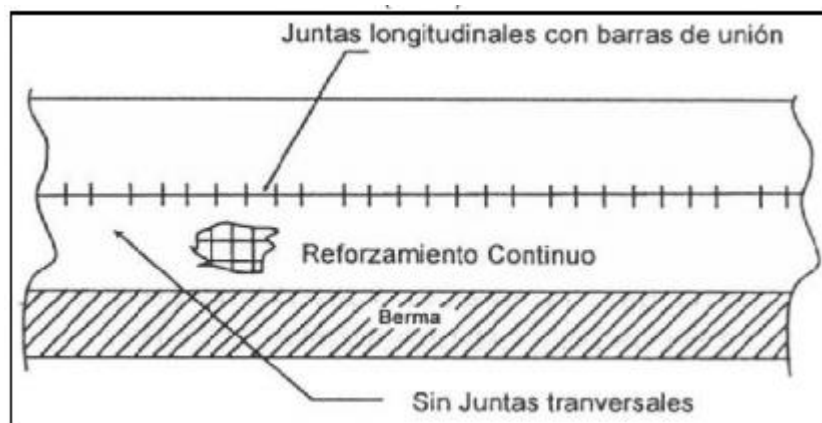
Fuente: Menéndez (2012)

### 1.2.3.2.10 Pavimento continuo de concreto reforzado

Este tipo de pavimento no requiere juntas de contracción y permite la formación de grietas transversales que se mantienen juntas con el acero de refuerzo continuo. Las grietas se forman típicamente a intervalos de 1.1 hasta 2.4 m. Antiguamente el diseño CRCP consistía en una losa de concreto de aproximadamente 80% del espesor de un diseño JPCP; sin embargo, la tendencia

actual es hacer el diseño CRCP del mismo espesor que JPCP. El acero de refuerzo solo es útil para controlar el espaciamiento y ancho de las grietas que se forman mas no como contribución estructural al pavimento.

**Figura 14: Composición de un pavimento continuo de concreto reforzado (CRCP)**



Fuente: Menéndez (2012)

#### **1.2.3.2.11 Pavimento de concreto pre esforzado (PCP)**

Como es sabido, el concreto es débil a los esfuerzos de tracción, pero fuerte a los esfuerzos de compresión. La pre-aplicación de un esfuerzo de compresión al concreto reduce los esfuerzos de tracción causados por las cargas de tráfico y por ende se reduce el espesor de la losa de concreto. Los pavimentos de concreto presforzado tienen menos posibilidades de fisurarse y tienen un menor número de juntas transversales por lo que resulta en un menor costo de mantenimiento y mayor vida útil de la estructura.

#### **1.2.3.2.12 Evolución del diseño y construcción de los pavimentos de concreto en el mundo**

El diseño de pavimentos ha evolucionado con el tiempo, desde una perspectiva artística y netamente empírica hasta ser considerado una ciencia. Antes de 1920, los espesores de los pavimentos se basaron netamente en la experiencia, es decir la misma estructura era utilizada sin discriminar el tipo de vía, el tipo de suelo o tránsito esperado. Con el tiempo, las entidades administradoras de caminos desarrollaron métodos de diseño.

En el año 1824, Joseph Aspdin, constructor inglés, patenta el proceso de calcinación de ceniza arcillosa para la producción de cemento que, según él, al hidratarse tenía las mismas características de resistencia que la piedra de la isla de Portland, marcando el inicio de la tecnología del concreto.

Los primeros intentos por construir pavimentos en concreto se dieron en 1865 en la ciudad de Inverness, en Escocia, ya por ese tiempo se tenían algunos conceptos relacionados a la tecnología del concreto que iniciará Aspdin en 1824. Los siguientes intentos por construir pavimentos de concreto se dieron en Edimburgo (Escocia) entre 1872 y 1886.

En América, el pavimento más antiguo es el de “Court Ave. Bellfountain”, en Ohio, Estados Unidos, cuya construcción data del año 1891, el cual existe hasta la actualidad, y recién a partir del año 2000 admite sólo tránsito peatonal.

**Figura 15: Pavimento en Bellfountain (1891)**



Fuente: <http://img.groundspeak.com/waymarking> (del 15 de marzo, 2011)

Los métodos racionales de diseño se iniciaron a concebir después de los primeros intentos por construir pavimentos de concreto. Estas teorías, se formularon asumiendo que existe un pleno contacto entre sub- ase y la carpeta de rodadura de concreto.

El análisis asume de manera simplificada que la presión de reacción entre las subrasante y la carpeta de rodadura en cualquier punto, es proporcional a la deflexión en ese punto, independientemente de las deflexiones en otros puntos. Este tipo de cimentación se denomina líquido denso.

Entre los años 1958 y 1960 en Illinois, Ottawa, se llevó a cabo el “AASHO Road Test” cuya traducción literal al español sería “Experimento de Carreteras de la AASHO” el cual fue un experimento realizado por la “American Association of State Highway and Transportation Officials” para determinar cómo el tráfico contribuye al deterioro del pavimento de las carreteras. Dicho experimento, arrojó la ecuación empírica fundamental que guiaría las metodologías de diseño AASHTO hasta el suplemento de 1998. Nótese que esta metodología se basa en el concepto de pérdida de servicio de la vía por el paso de los vehículos y el tiempo.

#### **1.2.3.2.13 El pavimento rígido en el Perú**

En el Perú, la evolución técnica del pavimento de concreto tiene dos frentes. Uno de ellos, es el de la evolución del concreto como material de construcción y el otro, es el de la evolución en el diseño y construcción de pavimentos. Por supuesto, toda evolución tecnológica está ligada a periodos de bonanza económica.

#### **1.2.3.2.14 La tecnología del concreto: materiales**

En 1915, la constructora norteamericana “Foundation Co.”, se establece en Perú para ejecutar los proyectos del terminal marítimo del Callao y la pavimentación de Lima incluyendo a la autopista Lima a Callao, antiguamente conocida como avenida El Progreso y que hoy recibe el nombre de Avenida Venezuela.

En su plan de trabajo, la “Foundation Co.” compra los primeros hornos para la producción de cemento que vende en 1916 a la Compañía Peruana de Cemento Pórtland. La cementera se instala en el Rímac constituyéndose en la primera planta de fabricación nacional empleando para ello calizas de Atocongo. Es recién entre 1955 y 1975 que se crean las principales empresas productoras de cemento en el país: Chilca, Lima, Andino, Chiclayo, Pacasmayo, Sur y Yura. Sin embargo,



la tecnología del concreto y por lo tanto la tecnología de pavimentos de concreto, no estaba consolidada en el medio nacional.

#### **1.2.3.2.15 La tecnología del pavimento de concreto: estructura**

El pavimento de concreto tiene muy poca presencia en la red vial peruana, a diferencia de otros países, en los que sí juega un rol importante en la competitividad del país. En el Perú, los pavimentos de concreto han sido mayormente considerados para proyectos referidos a la red vial vecinal, teniendo poca incidencia en la red vial nacional y departamental.

#### **1.2.3.3 Pavimento Semirrígido**

Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

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

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

El pavimento semirrígido, Con este nombre se le denomina el pavimento de adoquines llamado también pavimento adoquinado, que se caracteriza por reemplazar la carpeta asfáltica por un intricado de elementos prismáticos, hexagonales, etc. Sus componentes deben contener:

- **Sub base:** Esta capa cumple las mismas funciones que la subbase de los pavimentos flexibles.
- **Base Granular:** Esta capa es la capa más importante en esta clase de pavimentos, en consecuencia, debe cumplir los requisitos de la base del pavimento flexible.
- **Arena de asiento:** Esta es una capa constituida por arena de media a fina, uniforme, totalmente deleznable, cuya función principal es servir de capa nivelante sobre la cual se emplazan los adoquines.
- **Adoquines:** Son los elementos prismáticos de roca natural o concreto prensado que sirve como soporte de las cargas del tráfico. La capa de adoquinado cumple una función estructural, mediante un mecanismo no muy claro hasta la fecha.
- **Arena de sello:** Esta no es una capa del pavimento, sino una etapa en el proceso constructivo, pues se vierte sobre el pavimento adoquinado al final de la construcción, con el propósito de rellenar los planos de discontinuidad que generan los adoquines. Una vez que se ha saturado el medio con la arena; el residuo se retira, debiendo quedar la superficie de los adoquines totalmente limpia. De lo contrario la arena residual accionada por la rueda, se convierte en un poderoso abrasivo.

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

**Figura 16: Sección de pavimento semirrígido con base estabilizada con concreto**



Fuente: Hoffman, 2009

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

#### **1.2.3.3.1 Ventajas de un pavimento semirrígidos**

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

g) Mejora la resistencia a la fatiga de superficies bituminosas colocadas encima (comparado con materiales no-tratados).

h) Excelente relación costo/vida útil.

### 1.2.3.3.2 Límites del suelo cemento semirrígidos

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

**Tabla 7: Condiciones Restrictivas en suelos insitu para aplicación de suelo cemento**

<ul style="list-style-type: none"><li>○ <b>Materia Orgánica &lt;2%</b> (por ASTM D2974),</li><li>○ <b>pH &gt;5.3</b> (por ASTM D4972 o medidores automáticos certificados de pH) y</li><li>○ <b>Sulfatos en el suelo &lt;0.9%</b> (por ASTM D1580) a ser estabilizado.</li></ul>
--

b) Su comportamiento puede ser afectado sensiblemente por una fabricación o método constructivo incorrecto más que otras alternativas, por lo que requiere mayor preparación del equipo ejecutor.

c) Tiempo de “trabajabilidad” reducida (con respecto a materiales no-tratados). Compactación debe terminar por lo general dentro de 1 a 1.5-h. Si se utilizan sustitución con aditivos puzolánicos (p.e. ceniza volante) podría aumentar este tiempo.

### 1.2.5. Método AASHTO para el diseño estructural de pavimentos

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

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

### **1.2.4.1 Variables de Diseño**

#### **1.2.4.1.1 Ejes Equivalentes (ESAL's)**

La carga vehicular está compuesta por una gran variedad de tipos de ejes y vehículos, por lo tanto, es necesario convertirlos a una única unidad de medida llamada eje equivalente de 18kips (8200kg), esto con fin de realizar una sumatoria de todos los ejes equivalentes anuales.

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

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

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

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

#### **1.2.4.1.2 Índice de Servicio (PSI)**

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

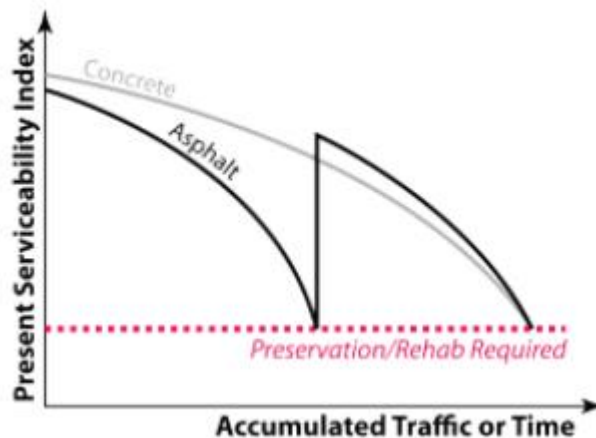
EL PSI está basado en el AASTO Road Test PSR. El PSR o Present Serviciability Rating es una valoración de la calidad de la circulación elaborada por un panel de evaluación. Dichos evaluadores conducían por una sección del tramo

experimental de la AASHTO con el fin de categorizar el pavimento de acuerdo a su calidad en un rango de 0 a 5, donde 0 es un pavimento intransitable y 5 es un pavimento perfecto.

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

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

**Figura 17: Variación del PSI vs. El tráfico acumulado o tiempo para pavimentos de concreto y asfalto**



Fuente: ACPA, 2012

#### 1.2.4.1.3 Módulo de Resiliente

Es bien conocido que los materiales de pavimento no son elásticos, debido a deformaciones permanentes después de cada aplicación de carga. Sin embargo, si la carga es pequeña comparada con la resistencia del material y es repetida por un gran número de veces, la deformación bajo cada repetición de carga es casi completamente recuperable (y proporcional a la carga), por esto, se puede considerar este comportamiento como elástico. (Huang, 2004).

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

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

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

#### **1.2.4.1.4 Índice de Soporte de California (CBR)**

El California Bearing Ratio o mejor conocido como CBR es una prueba de laboratorio con el fin de obtener la resistencia a la penetración de un espécimen de material granular siendo capaz de medir también materiales cohesivos. Fue desarrollado por la California División of Highways aproximadamente en los años 30.

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

En términos generales, la prueba consiste en obtener la resistencia a la penetración de la muestra y compararla con la muestra patrón. Es decir, el CBR es el porcentaje de resistencia que posee la muestra con respecto a la muestra patrón, donde un CBR de 100 es una muestra con la misma resistencia a la penetración que la muestra patrón. Esta prueba está regida por las normas AASHTO T 193: The California Bearing Ratio y ASTM D1993: Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils.

#### 1.2.4.1.5 Coeficiente de Drenaje

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

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

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

**Tabla 8: Cuadro de drenajes**

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

*Fuente: SIECA 2002.*

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

#### 1.2.4.1.6 Confiabilidad

La confiabilidad se refiere a la probabilidad que al final del período de diseño se logre llegar al PSI terminal, por ejemplo, si el diseñador desea considerar en su

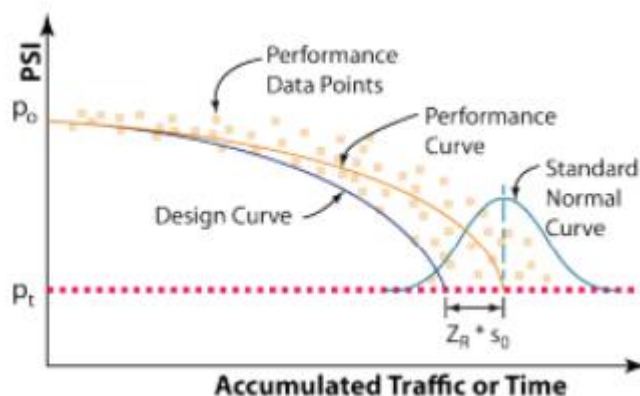


diseño un 95% de confianza esto quiere decir que finalizar el período de diseño hay una probabilidad del 95% de que el pavimento llegue a un PSI mayor o igual al PSI terminal.

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

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

**Figura 18: Influencia de la confiabilidad R en la curva de diseño**



Fuente: ACPA, 2012

#### 1.2.4.1.7 Desviación Estándar $S_0$

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

Según ACPA (2012), la desviación estándar es la sumatoria de los errores estadísticos presentes en las ecuaciones de diseño debido a la variabilidad en los materiales, construcción, etc. Representa el acumulado de dispersión entre el comportamiento predicho y el desempeño real.

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

#### **1.2.4.1.8 Coeficiente estructural $a_i$**

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

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

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

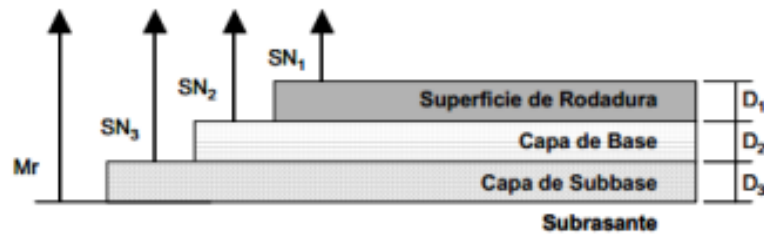
El coeficiente estructural es únicamente utilizado durante el procedimiento del diseño de pavimentos flexibles, mientras en que el diseño de los rígidos no es considerado.

#### **1.2.4.1.9 Número Estructural**

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

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

Figura 19: Número estructural para cada capa de pavimento

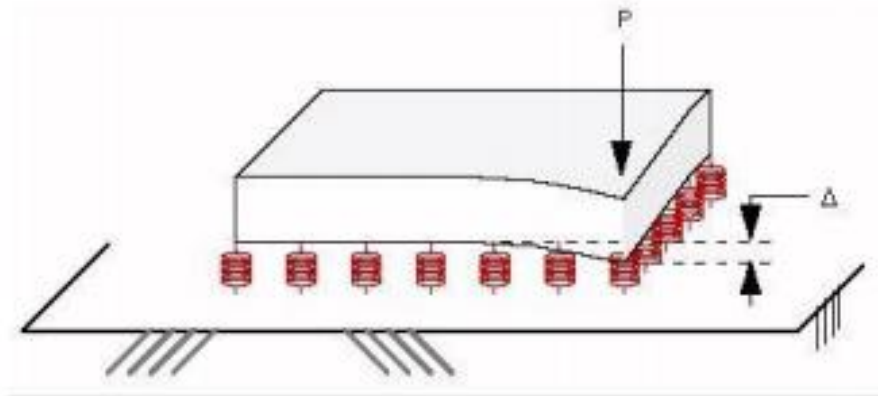


Fuente: SIECA, 2002

#### 1.2.4.1.10 Módulo de Reacción k

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

Figura 20: Modelo del comportamiento entre la losa de concreto y la capa subyacente



Fuente: Hoffman, 2007

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

#### 1.2.4.1.11 Módulo de Elasticidad del concreto

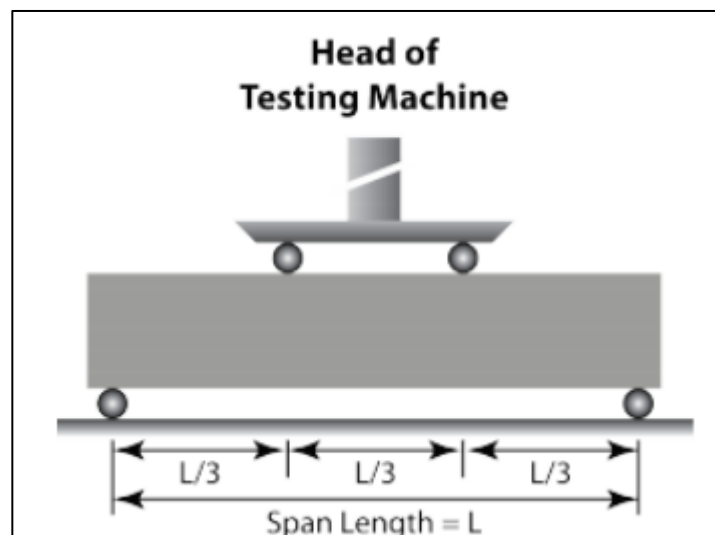
El módulo de elasticidad del concreto  $E_c$  representa que tanto se comprime el concreto al estar sometido a cargas. Un concreto con un módulo de elasticidad alto indica que el concreto es rígido y, por lo tanto, tiene deformaciones bajas; mientras que un concreto con un módulo de elasticidad bajo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

En la ecuación de pavimento rígido,  $E_c$  es el parámetro que tiene menor impacto en el espesor de diseño o en el desempeño proyectado. El  $E_c$  puede ser obtenido mediante la prueba ASTM C469 y su equivalente, pero extrañamente es realizado en la práctica. Éste es usualmente estimado a partir de la resistencia a la compresión  $f'_c$ , o la resistencia a la flexión  $S'_c$ . (ACPA, 2012).

#### 1.2.4.1.12 Módulo de rotura del concreto

Según ACPA (2012), el módulo de ruptura del concreto se obtiene mediante la prueba AASHTO T97 o ASTM C78 (Flexural Strength of Concrete using Simple Beam with Third-Point Loading).

**Figura 21: Prueba de resistencia a la flexión del concreto usando tres puntos**



Fuente: ACPA, 2012.

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

Existe otra prueba para obtener la resistencia a la flexión, la cual es la AASHTO T177 o ASTM C293 (Flexural Strength of Concrete using Center-Point Loading), en esta prueba la carga es colocada en el centro del claro de la viga, este punto generalmente no es el punto más susceptible a la falla. El hecho de forzar a la viga a la falla en su centro provoca que se obtengan resistencias a la flexión mayores que la prueba del tercer punto en un 15% adicional. (ACPA, 2012).

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

## **CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Las carreteras son el medio de transporte a través de la cual circula la economía de un país, siendo importantes para la distribución de mercancías y transporte de pasajeros que desean movilizarse hacia las diferentes partes dentro o fuera de una determinada región, para establecer comunicación entre municipios y departamentos lo que fortalece las relaciones y el desarrollo social, por esta razón las carreteras se deben construir bajo especificaciones técnicas que garanticen la durabilidad y funcionalidad durante un periodo de vida.

Las carreteras pavimentadas se ven sometidos desde su puesta en servicio y a lo largo de toda su vida útil, a diversos procesos de deterioro y fallas. Sin embargo, a pesar de su gran importancia, el diseño y la construcción de calles requiere de grandes inversiones, por lo que, para su construcción, son obras que deben ser analizadas cuidadosamente a fin de lograr estructuras que sean técnicamente realizables, funcionales y económicamente factibles. (Burgos,2014, Pag 4).

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

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

## **2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.2.1. Problema general**

¿Cuál es el diseño óptimo, costo y tiempo de ejecución para la construcción de pavimentos rígido, flexible y semirrígido en las calles de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín?

### **2.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el costo por m<sup>2</sup> de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la ejecución de pavimentación de calles de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín?
- ¿Cuál es el tiempo de ejecución de un proyecto de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la ejecución de pavimentación de calles de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín?
- ¿Cuáles son las diferencias al comparar el pavimento rígido, flexible y semirrígido en la ejecución de pavimentación de calles de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín?

## **2.3. OBJETIVOS**

### **2.3.1. Objetivo General**

Determinar el diseño óptimo, en costo y tiempo de ejecución, para la ejecución de pavimentos en las calles de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el costo por m<sup>2</sup> de pavimento rígido, flexible y semirrígido para la ejecución de pavimentos en las calles de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.
- Determinar el tiempo de ejecución de un proyecto de pavimento rígido, flexible y semirrígido para la ejecución de pavimentos en las calles de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.
- Establecer las diferencias al comparar el pavimento rígido, flexible y semirrígido para la ejecución de pavimentos en las calles de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.

## **2.4. HIPÓTESIS**

El estudio comparativo de costo - tiempo de ejecución, entre pavimento rígido, pavimento flexible y pavimento semirrígido, permite conocer la mejor alternativa de pavimentación para las futuras pavimentaciones de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, departamento de San Martín.



## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. Variable Independiente**

Costo y tiempo 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.

#### **3.1.2. Diseño de Investigación**

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

### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.2.1. Población**

El conjunto de todas las calles, jirones, avenidas, etc., que se encuentran en la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu.

#### **3.2.2. Muestra**

Se tomará los Jirones Ponaza, Alfonso Ugarte, Molino, Lampa, San Martín, Antonia G., Andrés S., Tupac Amaru, Pedro Delgado y Puno de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu.

### **3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.3.1. Técnicas**

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

#### **3.3.2. Instrumentos**

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

**3.3.3. Procedimientos.** - Nos basamos en los enunciados de la Norma Técnica CE. 10 de Pavimentos Urbanos.

#### **3.4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS**

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

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

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

### **4.1 RESULTADOS**

#### **4.1.1 Estudio de tráfico**

El estudio de Tráfico de los Jirones Ponaza, Alfonso Ugarte, Molino, Lampa, San Martín, Antonia G., Andrés S., Tupac Amaru, Pedro Delgado y Puno, en la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, se ha realizado de acuerdo con las características y condiciones que se requieren para este tipo de estudio.

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

##### **4.1.1.1 Planificación del estudio de campo**

Para efectuar el trabajo, se realizó un recorrido de reconocimiento del tramo para establecer el lugar de la estación de conteo; para este estudio y con las características del tramo se ha considerado efectuar conteos en dos estaciones, ubicada al inicio de los tramos que es Jr. Alfonso Ugarte Cdra. 02, Jr. Molino Cdra. 04, estos lugares son puntos estratégicos para el presente estudio de tráfico. De acuerdo con los requerimientos del estudio, se preparó un itinerario de tráfico, programando en la primera estación establecida un conteo de tráfico durante 14 horas al día por espacio de siete días consecutivos, y para la segunda estación un conteo de tráfico durante 14 horas al día por espacio de siete días. Se tomaron datos según la hora de paso, sentido y tipo de vehículos. El equipo para la ejecución de la labor de campo estuvo conformado por los tesisistas y el asesor.

##### **4.1.1.2 Metodología de Cálculo del Volumen Promedio Diario**

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

#### 4.1.1.3 Ejecución del estudio de campo

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

#### 4.1.1.4 Resultados obtenidos

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

#### Clasificación vehicular de IMD

Tabla 9: Clasificación vehicular de IMD

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

Fuente: Elaboración propia

#### Composición vehicular del IMD

**Vehículos Ligero** : **87.50 %**

Autos y Camionetas : 75.00 %

Micros y Ómnibus : 12.50 %

**Vehículos Pesados** : **12.50 %**

Camión C2 : 9.37 %

Camión C3 : 3.13 %

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

#### **4.1.1.5 Análisis de resultados**

En el Jr. Alfonso Ugarte y Jr. Molino, se registró un Índice Medio Diario de 32 vehículos diarios. Se observó en estos tramos que el transporte de pasajeros a través de autos es de 62.50 %, de Camionetas 12.50%, de Micros es de 12.50 y Ómnibus de 0.00 %. El tráfico Pesado es de 12.5%, los cuales transportan artículos diversos.

#### **4.1.1.6 Análisis de la variación horaria**

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

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

#### **4.1.1.7 Índice de tráfico para el diseño del pavimento**

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

#### **4.1.2 Estudio de la mecánica de suelos**

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

##### **4.1.2.1 Evaluación de campo y exploración de campo**

La exploración y muestreo ha sido acorde con la Norma CE.010 Pavimento Urbanos, Manual de Diseño de Carreteras Pavimentada de Bajo Volumen de Tránsito y el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras (EM-2000) las cuales se presentan en la tabla:

**Tabla 10: Ensayos ejecutados en campo**

<b>Ensayos realizados</b>	<b>Norma Aplicable</b>
Pozos, calicatas, trincheras y zanjas	MTC E 101 - 2000
Descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual – manual)	NTP 339.150:2001 (ASTM D 2488)
Prácticas Normalizadas para la Preservación y Transporte de Muestras de suelos	NTP 339.151 (ASTM D4220)

Se han realizado 18 calicatas de 2.00 metros de profundidad y se han extraído muestras para obtener sus propiedades en laboratorio. A continuación, se presentan los resultados:

**Tabla 11: Exploración mediante calicatas a cielo abierto**

<b>Nº</b>	<b>Calicata Nº</b>	<b>Prof. Exploración (m)</b>	<b>Calle</b>
1	C-1	2.00	Jr. Ponaza
2	C-2	2.00	Jr. Ponaza
3	C-3	2.00	Jr. Ponaza
4	C-4	2.00	Jr. Alfonso Ugarte
5	C-5	2.00	Jr. Alfonso Ugarte
6	C-6	2.00	Jr. Alfonso Ugarte
7	C-7	2.00	Jr. Alfonso Ugarte
8	C-8	2.00	Jr. Antonio S. Guerra
9	C-9	2.00	Jr. Antonio S. Guerra
10	C-10	2.00	Jr. Antonio S. Guerra
11	C-11	2.00	Jr. Molino
12	C-12	2.00	Jr. Molino
13	C-15	2.00	Jr. Túpac Amaru
14	C-16	2.00	Jr. Túpac Amaru
15	C-17	2.00	Jr. Andrés Sinarahua S
16	C-18	2.00	Jr. San Martín
17	C-19	2.00	Jr. Lampa
18	C-20	2.00	Jr. Lampa

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.1.2.2 Ensayos de laboratorio**

Los ensayos que seguidamente se muestran en la siguiente tabla fueron ejecutadas en estricto de las normas American Society Testing for Materials (ASTM) y el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras (EM 2000) según se detalla en la presente tabla:

**Tabla 12: Ensayos ejecutados en laboratorio**

<b>Ensayos realizados</b>	<b>Norma Aplicable</b>
Contenido de Humedad	MTC E108-2000(ASTM D2216)
Análisis granulométrico por tamizado	MTC 107-2000 (ASTM D422)
Limite Líquido	MTC E110-2000
Limite plástico	MTC E111-2000
Ensayo de Compactación Proctor Modificado	NTP 339.141 (ASTM D1557)
C.B.R.(California Bearing Ratio-Valor Soporte de California) medido en muestras compactadas en Laboratorio.	MTC E132-1999
Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea	NTP 339.152 (BS 1377)

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 13: Parámetros geotécnicos de compactación**

<b>Calle</b>	<b>Calicata N°</b>	<b>Parámetros de Compactación</b>			<b>Profundidad (m)</b>
		<b>C.B.R.(95%) (%)</b>	<b>M.D.S. (gr/cm3)</b>	<b>O.C.H. (%)</b>	
JR. PONAZA	C-1	8.10	1.764	15.72	0.10 -2.00
JR. ALFONSO UGARTE	C-4	8.30	1.840	15.37	0.10 -2.00
JR. ALFONSO UGARTE	C-6	9.60	1.932	12.09	0.10 -2.00
JR. ALFONSO UGARTE	C-7	8.60	1.826	14.55	0.10 -2.00
JR. ANTONIO SALAS G.	C-9	9.20	1.864	14.13	0.10 -2.00
JR. MOLINO	C-11	9.40	1.862	14.23	0.10 -2.00
JR. LAMPA	C-19	9.40	1.880	13.67	0.10 -2.00
JR. LAMPA	C-20	9.30	1.863	13.11	0.10 -2.00

Fuente: Elaboración Propia

Propiedades químicas del suelo son:



**Tabla 14: Sales solubles, cloruros y sulfatos**

Calicata Nº	Parámetros Químicos del suelo				
	Sales Solubles (ppm)	Cloruros (ppm)	Sulfatos (ppm)	PH	Materia orgánica (ppm)
C-7	156.85	10.50	99.505	2.10	-

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.3 Clasificación de Suelos

Los tipos de suelos como resultado de las muestras ensayadas e han clasificado por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y por la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Transporte y Aeropista (AASHTO), siendo los suelos predominantes en el área d estudios los siguientes:

**Tabla 15: Clasificación de Suelos**

S.U.C.S	AASHTO	
	Suelos Granulares	Suelo limo-arcillosos
<b>CL</b> : arcilla inorgánica de Mediana plasticidad.		<b>A-6(10), A-7-6(9-15)</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.4 Perfil de Suelo

De acuerdo con los trabajos de campo, ensayos de laboratorio y a la inspección visual, se confeccionó un perfil de suelos correspondientes:

Características del perfil del suelo:

- **0.00-0.10 m:**  
Material Transportado - Contaminado
- **0.10-2.00 m : SUBRASANTE**

Clasificación AASHTO	= A-6(10); A-7-6(9-15)
Clasificación SUCS	= CL
Límite Líquido	= 36.80 – 48.70%
Límite Plástico	= 23.00 – 26.30 %
Índice de Plasticidad	= 14.50 – 24.00%
Optimo Contenido de Humedad	= 12.09 – 16.42%
Maxima densidad Seca	= 1.936 Gr/cm <sup>3</sup>
C.B.R. 95%	= 8.10 – 9.60%

No se encontró nivel freático, No se detectó hasta la profundidad investigada la presencia de sales solubles (cloruros y sulfatos) agresivos al concreto simple y armado de la cimentación.

#### **4.1.2.5 Análisis de la Cimentación**

##### **Características de la Sub Rasante**

De acuerdo con la Norma Técnica C.E.010 Pavimentos Urbanos, se identifican 04 categorías de subrasante:

Subrasante pobre	CBR < 3%
Subrasante regular	CBR = 3% - 8%
Subrasante buena	CBR = 8% - 17%
Subrasante excelente	CBR > 17%

Los suelos más desfavorables y que predominan al nivel de la subrasante son suelos arcillosos de mediana plasticidad, medianamente compactos. Presentando un CBR entre 8.10 -9.60% calificando como una subrasante de buena como terreno de fundación.

##### **Determinación del Módulo de Resilencia de la subrasante**

Considerando los CBR de cada calle, determinamos el Módulo de Resilencia, el cual es el siguiente:

$$\text{CBR} = 8.10\% \qquad \text{MR} = 12,000.00 \text{ psi}$$

#### **4.1.2.6 Diseño de Pavimento**

De acuerdo con las características del proyecto y a la accesibilidad de los materiales en la zona.

## Metodología AASHTO 1993

Este método está basado en la confiabilidad usando valores aleatorios para las variables, en el número de aplicaciones del eje equivalente a 8.2Tn. El índice de Serviciabilidad inicial y final de Pavimento de Concreto Hidráulico.

Fórmula de Diseño:

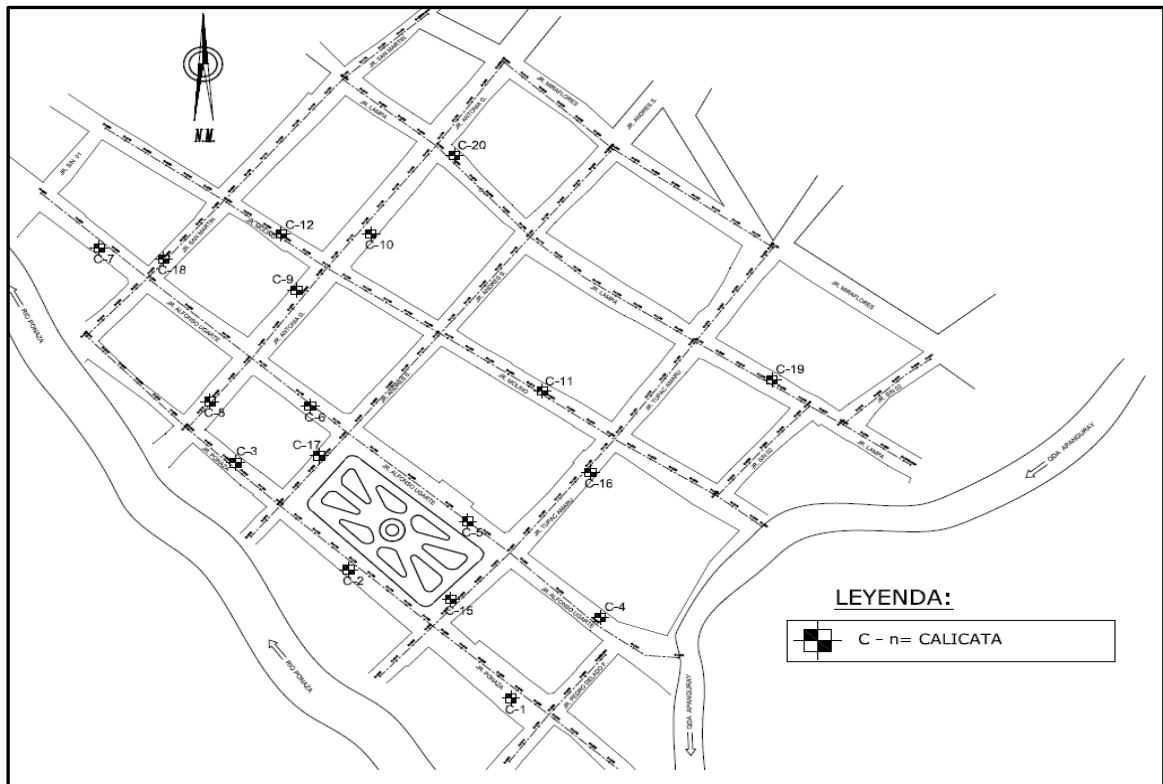
$$\text{Log}_{10}W_{18} = Z_R \times S_0 + 7.35 \times \text{log}_{10} (D+1) - 0.06 + \text{log}_{10} [\Delta \text{ PSI} / (4.5-1.5)] / [1 + 1.624 \times 10^7 / (D+1)^{0.46}] + (4.22-0.32p_t) \times \text{log}_{10} [A]$$

$$A = S'_c \times C_d [D^{0.75} - 1.132] / 215.63 \times J [D^{0.75} - 18.42 / (E_c / k)^{0.25}]$$

El material de la cantera Winge, cumple con las especificaciones técnicas para ser empleadas como material para la conformación de la subrasante.

No existe presencia de agentes químicos perjudiciales en el suelo por lo que no existe agresividad química en el terreno de fundación.

**Figura 22: Plano de Ubicación de Calicatas**



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Resumen de Exploración, características físicas

**RESUMEN EXPLORACIÓN, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE RESISTENCIA**

PROYECTO: MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA DE LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE  
 DISTRITO DE SHAMBOYACJ, PROVINCIA DE PICOTA - SAN MARTIN.

CALLE	EXPLORACIÓN				ENSAYOS EN LABORATORIO										CLASIFICACION		
	Explorac.	Estrato	Prof. (m)	N.Freatico (m)	Granulometría			Propiedades Índice			Humed. Natural %	Compactación		CIR 95%	AASHTO	SUCS	
					# 4	# 10	# 40	# 200	LL %	L.P. %		IP %	Humedad Optim %				Densid. Gntcm3
JR. PONAZA	C-1	MI	0.10 - 2.00		99.80	99.40	-	85.80	45.80	24.80	21.00	21.50	15.72	1.754	8.10	A-7-6(14)	CL
JR. PONAZA	C-2	MI	0.10 - 2.00		99.50	99.00	-	84.80	45.70	25.20	20.50	17.50				A-7-6(13)	CL
JR. PONAZA	C-3	MI	0.10 - 2.00		99.70	99.50	-	87.50	47.00	25.00	22.00	20.50				A-7-6(14)	CL
JR. ALFONSO UGARTE	C-4	MI	0.10 - 2.00		-	99.50	-	78.80	42.80	23.50	19.30	20.50	15.37	1.840	8.30	A-7-6(12)	CL
JR. ALFONSO UGARTE	C-5	MI	0.10 - 2.00		100.00	99.70	-	83.90	48.70	24.70	24.00	20.00				A-7-6(15)	CL
JR. ALFONSO UGARTE	C-6	MI	0.10 - 2.00		99.70	99.40	-	78.80	45.90	24.70	21.20	20.00	12.09	1.932	9.60	A-7-6(14)	CL
JR. ALFONSO UGARTE	C-7	MI	0.10 - 2.00		99.20	99.20	94.50	83.60	48.80	25.50	21.30	22.20	14.55	1.828	8.60	A-7-6(14)	CL
JR. ANTONIO SALAS GUERRA	C-8	MI	0.10 - 2.00		99.50	99.10	-	85.60	47.70	25.30	22.40	18.80				A-7-6(14)	CL
JR. ANTONIO SALAS GUERRA	C-9	MI	0.10 - 2.00		100.00	-	-	76.70	38.80	22.30	14.50	17.50	14.13	1.884	9.20	A-6(10)	CL
JR. ANTONIO SALAS GUERRA	C-10	MI	0.10 - 2.00		99.40	99.30	-	83.70	48.00	24.20	23.80	18.80				A-7-6(15)	CL
JR. MOLINO	C-11	MI	0.10 - 2.00		-	-	-	82.80	43.90	25.70	18.20	16.00	14.23	1.862	9.40	A-7-6(12)	CL
JR. MOLINO	C-12	MI	0.10 - 2.00		99.20	99.80	-	84.00	45.80	25.50	20.30	20.00				A-7-6(13)	CL
JR. TUPAC AMARU	C-15	MI	0.10 - 2.00		99.50	99.20	-	81.80	44.10	23.00	21.10	20.00				A-7-6(13)	CL
JR. TUPAC AMARU	C-16	MI	0.10 - 2.00		99.50	99.00	-	87.30	47.00	25.90	21.20	19.90				A-7-6(14)	CL
JR. ANDRES SINAGURUA SALAS	C-17	MI	0.10 - 2.00		99.80	99.50	-	90.40	47.80	24.40	23.40	18.00				A-7-6(15)	CL
JR. SAN MARTIN	C-18	MI	0.10 - 1.50		99.50	99.00	-	76.30	45.60	26.30	19.50	18.80				A-7-6(13)	CL
JR. LAMPA	C-19	MI	0.10 - 1.50		99.50	99.00	-	77.60	47.00	24.30	22.70	18.00	13.67	1.880	9.40	A-7-6(14)	CL
JR. LAMPA	C-20	MI	0.10 - 2.00		99.70	99.50	-	68.30	41.90	24.70	17.20	18.80	13.11	1.863	9.30	A-7-6(9)	CL

Fuente: Elaboración Propia

Figura 23: Perfil Estratigráfico Calicata N°01 – Jr. Ponaza



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24: Perfil Estratigráfico Calicata N°02 - Jr. Ponaza



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25: Perfil Estratigráfico Calicata N°03 – Jr. Ponaza



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26: Perfil Estratigráfico Calicata N°04 – Jr. Alfonso Ugarte



Fuente: Elaboración Propia



Figura 27: Perfil Estratigráfico Calicata N°05 – Jr. Alfonso Ugarte



Fuente: Elaboración Propia

Figura 28: Perfil Estratigráfico Calicata N°06 – Jr. Alfonso Ugarte



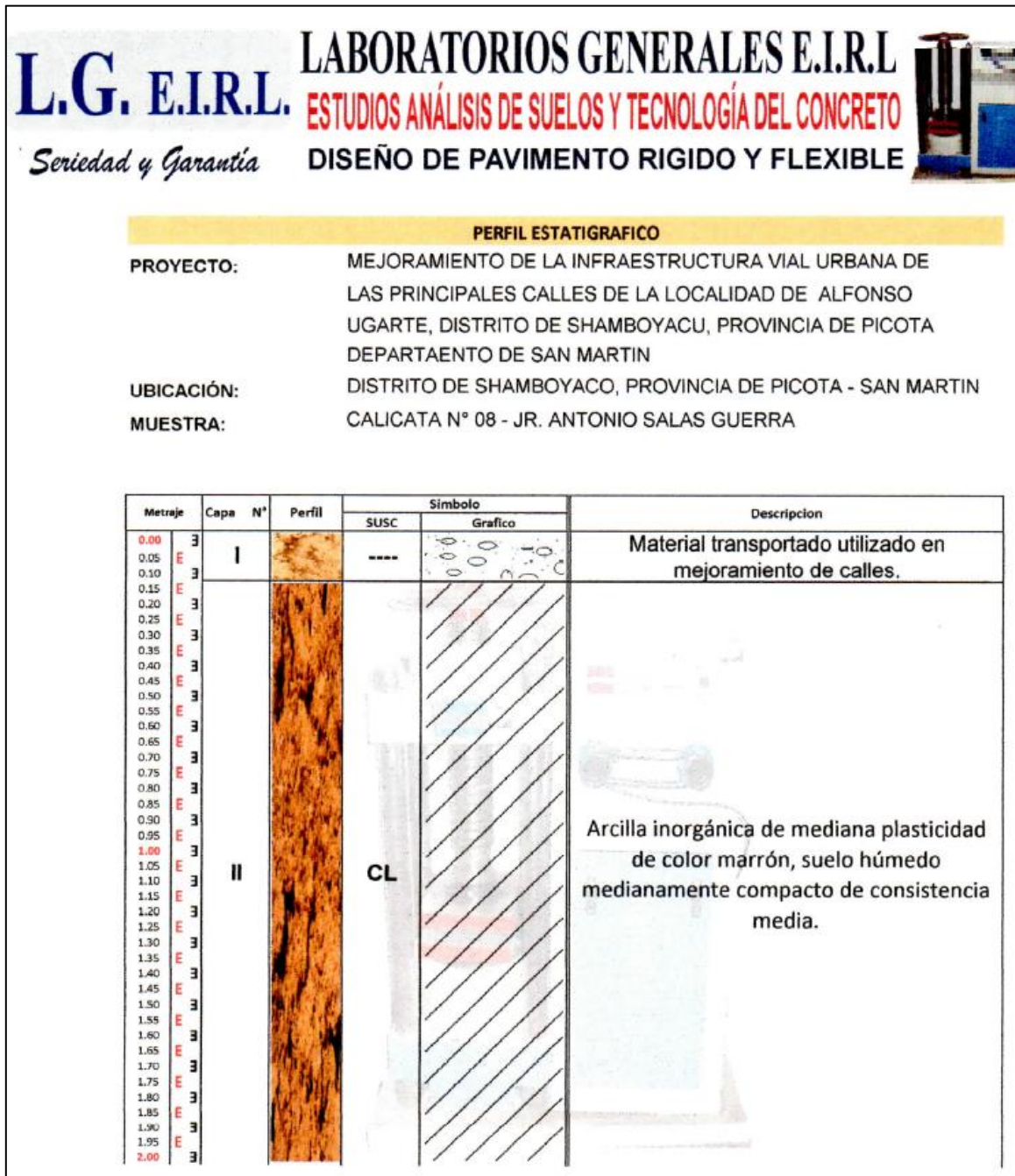
Fuente: Elaboración Propia

Figura 29: Perfil Estratigráfico Calicata N°07 – Jr. Alfonso Ugarte



Fuente: Elaboración Propia

Figura 30: Perfil Estratigráfico Calicata N°08 – Jr. Antonio Salas Guerra



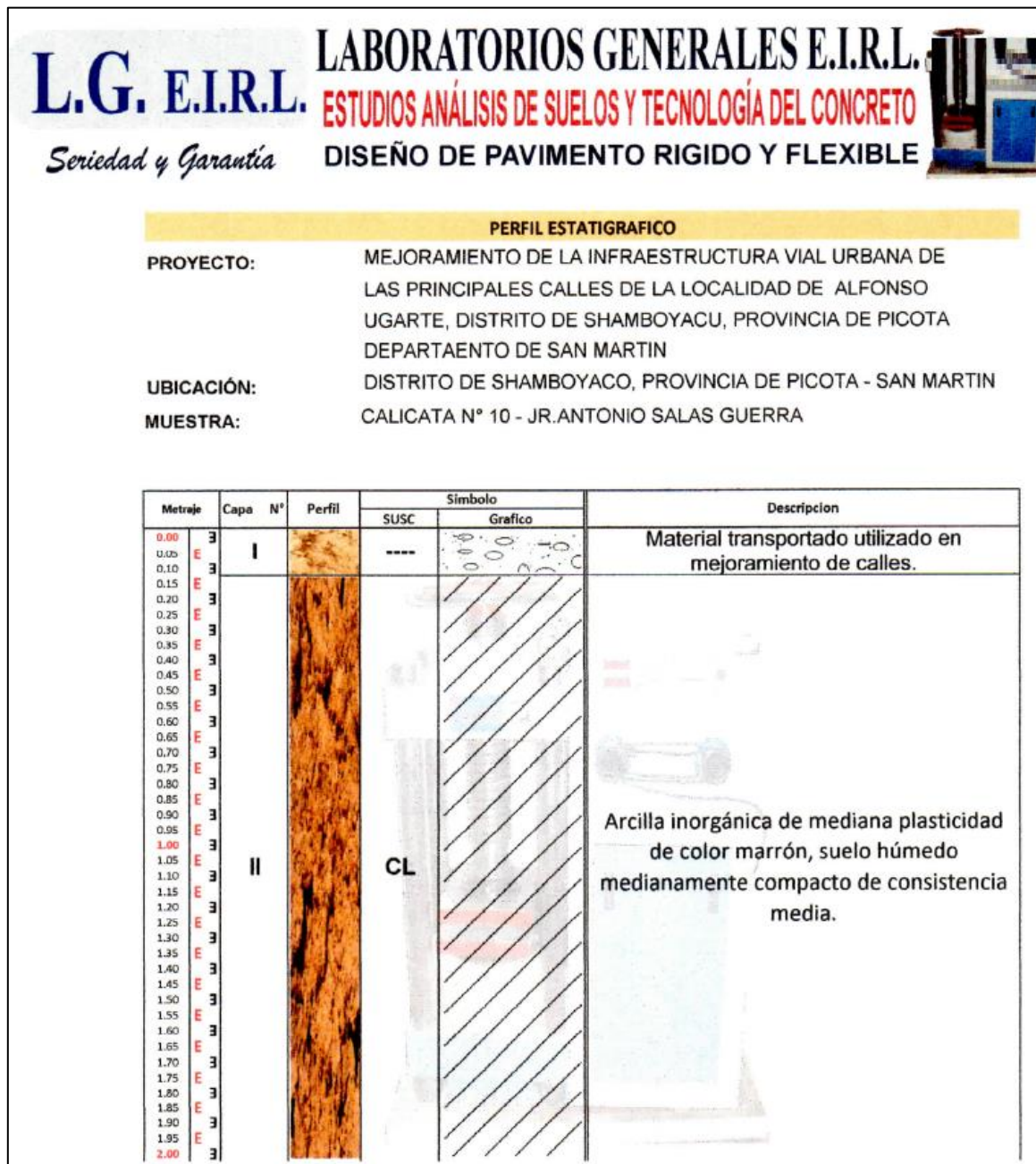
Fuente: Elaboración Propia

Figura 31: Perfil Estratigráfico Calicata N°09 – Jr. Antonio Salas Guerra



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32: Perfil Estratigráfico Calicata N°10 – Jr. Antonio Salas Guerra



Fuente: Elaboración Propia

Figura 33: Perfil Estratigráfico Calicata N°11 – Jr. Molino



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34: Perfil Estratigráfico Calicata N°12 – Jr. Molino



Fuente: Elaboración Propia



Figura 35: Perfil Estratigráfico Calicata N°13 – Jr. Barrio Libertad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 36: Perfil Estratigráfico Calicata N°14 – Jr. Barrio Libertad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 37: Perfil Estratigráfico Calicata N°15 – Jr. Tupac Amaru



Fuente: Elaboración Propia

Figura 38: Perfil Estratigráfico Calicata N°16 – Jr. Tupac Amaru



Fuente: Elaboración Propia

Figura 39: Perfil Estratigráfico Calicata N°17 – Jr. Andrés Sinarahua Salas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 40: Perfil Estratigráfico Calicata N°18 – Jr. San Martín



Fuente: Elaboración Propia

Figura 41: Perfil Estratigráfico Calicata N°19 – Jr. Lampa



Fuente: Elaboración Propia

Figura 42: Perfil Estratigráfico Calicata N°20 – Jr. Lampa



Fuente: Elaboración Propia



### RESUMEN EXPLORACIÓN, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE RESISTENCIA

PROYECTO: MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA DE LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE  
 DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA - SAN MARTÍN.

**Tabla 17: Ensayos de Laboratorio**

CALLES	EXPLORACION			ENSAYOS EN LABORATORIO										CLASIFICACION			
	Explorac.	Estrato	Prof. (m)	N.Fresfeco (m)	Granulometria				Propiedades indice			Humed. Natural %	Compaciación		CBR 95%	AASHTO	SUCS
					# 4	# 10	# 40	# 200	LL %	LP %	IP %		Humedad Optim %	Densid. Gricm3			
JR. POMAZA	C-1	MII	0.10 - 2.00		99.80	99.40	-	85.80	45.80	24.80	21.00	21.50	15.72	1.764	8.10	A-7-6(14)	CL
JR. POMAZA	C-2	MII	0.10 - 2.00		99.50	99.00	-	84.60	45.70	25.20	20.50	17.50				A-7-6(13)	CL
JR. POMAZA	C-3	MII	0.10 - 2.00		99.70	99.50	-	87.50	47.00	25.00	22.00	20.50				A-7-6(14)	CL
JR. ALFONSO UGARTE	C-4	MII	0.10 - 2.00		-	99.50	-	76.80	42.80	23.50	19.30	20.50	15.37	1.840	8.30	A-7-6(12)	CL
JR. ALFONSO UGARTE	C-5	MII	0.10 - 2.00		100.00	99.70	-	83.90	48.70	24.70	24.00	20.00				A-7-6(15)	CL
JR. ALFONSO UGARTE	C-6	MII	0.10 - 2.00		99.70	99.40	-	78.60	45.90	24.70	21.20	20.00	12.09	1.932	9.60	A-7-6(14)	CL
JR. ALFONSO UGARTE	C-7	MII	0.10 - 2.00		99.20	99.20	94.50	83.60	46.80	25.50	21.30	22.20	14.55	1.826	8.60	A-7-6(14)	CL
JR. ANTONIO SALAS GUERRA	C-8	MII	0.10 - 2.00		99.50	99.10	-	85.60	47.70	25.30	22.40	18.90				A-7-6(14)	CL
JR. ANTONIO SALAS GUERRA	C-9	MII	0.10 - 2.00		100.00	-	-	76.70	36.80	22.30	14.50	17.90	14.13	1.864	9.20	A-6(10)	CL
JR. ANTONIO SALAS GUERRA	C-10	MII	0.10 - 2.00		99.40	98.90	-	83.70	48.00	24.20	23.80	18.90				A-7-6(15)	CL
JR. MOLINO	C-11	MII	0.10 - 2.00		-	-	-	82.90	43.90	25.70	18.20	16.00	14.23	1.862	9.40	A-7-6(12)	CL
JR. MOLINO	C-12	MII	0.10 - 2.00		99.20	98.80	-	84.00	45.80	25.50	20.30	20.00				A-7-6(13)	CL
JR. TUPAC AMARU	C-15	MII	0.10 - 2.00		99.50	99.20	-	81.90	44.10	23.00	21.10	20.00				A-7-6(13)	CL
JR. TUPAC AMARU	C-16	MII	0.10 - 2.00		99.50	99.00	-	87.30	47.00	25.80	21.20	18.90				A-7-6(14)	CL
JR. ANDRES SINARAHUA SALAS	C-17	MII	0.10 - 2.00		99.80	99.50	-	90.40	47.80	24.40	23.40	18.00				A-7-6(15)	CL
JR. SAN MARTIN	C-18	MII	0.10 - 1.50		99.50	99.00	-	76.30	45.80	26.30	19.50	18.90				A-7-6(13)	CL
JR. LAMPA	C-19	MII	0.10 - 1.50		99.50	99.00	-	77.60	47.00	24.30	22.70	18.00	13.67	1.880	9.40	A-7-6(14)	CL
JR. LAMPA	C-20	MII	0.10 - 2.00		99.70	99.50	-	68.30	41.90	24.70	17.20	18.90	13.11	1.863	9.30	A-7-6(9)	CL

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 18: Agresividad del suelo Jr. San Martín C-01**

<b>AGRESIVIDAD DEL SUELO</b>		
<b>MUESTRA N°02 PARAMETROS</b>	<b>RESULTADOS UNIDADES</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
pH (MTC E129)	3.06	Fuertemente ácido
Materia orgánica (NTP 339.072)	0.902 ppm	Bajo
Sales Solubles Totales (NTP 339.152 – BS 1377)	0.0796 ppm	Leve (no ocasiona problemas de pérdida de resistencia por problema de lixiviación)
Cloruros (Cl, K) (NTP 339.177 AASHTO T291)	0.00811 ppm	Leve (no ocasiona problemas de corrosión, armaduras o elementos metálicos)
Sulfatos (So4, Ba) (NTP 339.178 AASHTO T290)	0.00967 ppm	Leve (no ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación)
<p><b>Observación:</b> De acuerdo con los resultados de Agresividad del suelo se clasifica como un suelo de poca agresividad a la cimentación.  <b>No se recomienda usar:</b> Cemento Portland Tipo I (NTP: 334.009 – ASTM C 150 – 99a)</p>		

Fuente: Expediente Técnico

#### **4.1.3 Presencia de suelos orgánicos y expansivos**

##### **4.1.3.1 Suelos Orgánicos**

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

##### **4.1.3.2 Suelos Expansivos**

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

obtenidas. De dicha evaluación se concluye que el suelo en ambos jirones es de expansión elevada en estado saturado.

#### 4.1.3.3 Capacidad de soporte del suelo

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

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

**Tabla 19: CBR de la Subrasante**

Calle	Calicata Nº	Parámetros de Compactación			Profundidad (m)
		C.B.R.(95%) (%)	M.D.S. (gr/cm <sup>3</sup> )	O.C.H. (%)	
JR. PONAZA	C-1	8.10	1.764	15.72	0.10 -2.00
JR. ALFONSO UGARTE	C-4	8.30	1.840	15.37	0.10 -2.00
JR. ALFONSO UGARTE	C-6	9.60	1.932	12.09	0.10 -2.00
JR. ALFONSO UGARTE	C-7	8.60	1.826	14.55	0.10 -2.00
JR. ANTONIO SALAS G.	C-9	9.20	1.864	14.13	0.10 -2.00
JR. MOLINO	C-11	9.40	1.862	14.23	0.10 -2.00
JR. LAMPA	C-19	9.40	1.880	13.67	0.10 -2.00
JR. LAMPA	C-20	9.30	1.863	13.11	0.10 -2.00

Fuente: Elaboración propia

De los ensayos se puede determinar que el contenido de humedad es mayor que el óptimo contenido de humedad, por lo que se tendrá que compactar la subrasante hasta alcanzar el 100% de la máxima densidad seca del Proctor Modificado Método C; así como también airear el suelo de fundación.

#### **4.1.4 Canteras y fuentes de agua**

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

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

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

##### **4.1.4.1 Metodología del estudio de canteras**

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

#### 4.1.4.2 Ensayos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio permitieron evaluar las propiedades de las canteras mediante ensayos físicos mecánicos y químicos. Las muestras disturbadas son sometidas a ensayos de acuerdo con 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 con el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras el MTC (EM-2000) y son:

**Tabla 20: Ensayos de Laboratorio de Canteras**

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

CBR	Diseño de espesores	T193	D1883	Determina la capacidad de soporte del suelo, el cual permite inferir el módulo resiliente del suelo
-----	---------------------	------	-------	---

Fuente: Expediente Técnico

#### 4.1.4.3 Descripción de canteras

Las canteras propuestas como materiales de construcción para los rellenos estructurales, sub base granular, base granular, concreto asfáltico y concreto armado son: Cantera Winge.

Tabla 21: Características de la Sub Base – Cantera Winge

**Cantera Winge**

<b>Características Físicas - Mecánicas</b>	<b>Mezcla</b>	<b>Especificación</b>
Limite liquido %	25.00	25% Máx.
Limite Plástico %	20.20	
Índice Plástico	4.80	6% Máx.
% pasa tamiz 2"	100.00	100%
% pasa tamiz 1"	78.00	75% - 95%
% pasa tamiz 3/8"	55.80	40% - 75%
% pasa tamiz N° 4	51.70	30% - 60%
% pasa tamiz N° 10	41.70	20% - 45%
% pasa tamiz N° 40	26.50	15% - 30%
% pasa tamiz N° 200	16.00	5% - 15%
Clasificación SUCS	GM-GC	
Clasificación AASHTO	A-1-b(0)	
C.B.R. al 95%	48.10	
C.B.R. al 100%	66.60	40% Mín.
Maxima Densidad del Próctor (gr/cc)	2.127	
Optima Humedad (%)	9.71	
Equivalente de Arena (%)	60.40	25% Mín.
Abrasión	29.14	50% Máx.

Fuente: Expediente Técnico

**4.1.4.4 Fuentes de agua**

Se realizó el muestreo, extracción y transporte del agua, de la fuente Ubicada en la Quebrada Ponaza, para determinar sus propiedades químicas, para su

utilización como agua para la fabricación de concreto o en la mezcla para la capa de mejoramiento, sub base y base.

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

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

**Tabla 22: 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 con normas establecidas. Concluyéndose de que la muestra de agua no contiene sustancias agresivas
Sales Solubles Totales	NTP 339.088	61.48 ppm	1500 ppm	Normal	
Sulfato de Magnesio	NTP 339.088	74.61 ppm	150 ppm	Normal	
Cloruros	NTP 339.088	102.40 ppm	300 ppm	Normal	
Sulfatos	NTP 339.088	105.51 ppm	300 ppm	Normal	
Sólidos en suspensión	NTP 339.088	150.04 ppm	1500 ppm	Normal	
PH	NTP 339.088	8.16	> 7	Normal	

Fuente: Expediente Técnico

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



## **4.1.5 Diseño de pavimentos**

### **4.1.5.1 Caracterización climática y altitud**

El clima comprende básicamente en el análisis de las variables climatológicas como es la precipitación y la temperatura, tomando siempre la precipitación media, temperatura media y sus componentes: máxima y mínima, factores que pueden afectar el comportamiento del pavimento, su resistencia, durabilidad y capacidad de carga del sistema estructural; Es en esta situación que se caracteriza toda la vía como homogéneo. La zona del estudio presenta un clima Cálido con lluvias abundantes, registrándose temperaturas promedio de 27°C. La vía proyectada se encuentra a una altitud aproximada de 269 msnm.

## **4.1.6 Tráfico promedio diario anual y análisis de tráfico**

### **4.1.6.1 Metodología de Cálculo del Volumen Promedio Diario**

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

### **4.1.6.2 Ejecución del estudio de campo**

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

### **4.1.6.3 Resultados obtenidos**

Habiéndose realizado en gabinete la consolidación y consistencia de la información recogida de los conteos, y tomando como conteo de tráfico promedio diario el que nos dio mayor volumen, el que fue realizado en el mes de agosto del 2021, se obtuvieron los resultados siguientes:

#### 4.1.6.4 Clasificación vehicular de IMD

Tabla 23: Conteo Vehicular

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

Fuente: Expediente Técnico

#### Composición vehicular del IMD

**Vehículos Ligero** : 87.50 %

Automóvil ; 62.50 %

Camionetas : 12.50 %

Micros : 12.50 %

**Vehículos Pesados** : 12.50 %

Camión C2 : 9.37 %

Camión C3 : 3.13 %

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

#### 4.1.6.5 Factor de Crecimiento Acumulado (Fca.)

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

**Tabla 24: Factores de Crecimiento Acumulado (Fca.) para el cálculo de Número de Repeticiones de EE**

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

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

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

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

**Tabla 25: Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño**

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

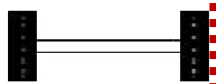
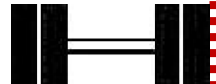
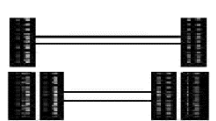
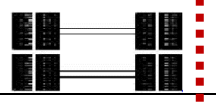
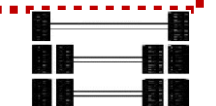

central (para IMDa total de dos calzadas)	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

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

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

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

Tabla 26: 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 27: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos**

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

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

**Tabla 28: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Pavimentos Rígidos**

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

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

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

**Tabla 29: Factor Camión C2 y C3 para Pavimentos**

Pavimento Flexible y Semirrígido

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

Pavimento Rígido

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

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

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

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.6.8 Factor de Ajuste por Presión de Neumáticos (Fp)

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

**Tabla 30: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para ejes Equivalentes (EE)**

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

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

Nota:

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

#### 4.1.6.9 Cálculo de EE día-carril

Para el cálculo se necesita los Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado por día para el carril de diseño. Al hacer un estudio comparativo de



pavimento flexible, semirrígido y rígido. Se calculará 2 diferentes EE día-carril porque el Factor Vehículo Pesado cambia en el caso de diseñar un pavimento Rígido. Este valor obtenido de multiplicar el IMDa por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, Factor Carril, Factor Vehículo Pesado y Factor de Ajuste Por Presión de Neumático obtenidos anteriormente.

**Tabla 31: EE día-carril para Pavimento Flexible y Semirrígido**

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

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32: EE día-carril para Pavimento Rígido**

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

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.6.10 Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2tn

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

Tabla 33: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible y Semirrígido

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Número de Repeticiones de E.E de 8.2tn para Pavimento Rígido

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

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

Tabla 35: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño Para Pavimentos Flexibles, Semirrígidos y Rígidos

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

$T_{P2}$	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
$T_{P3}$	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
$T_{P4}$	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE
$T_{P5}$	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
$T_{P6}$	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
$T_{P7}$	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
$T_{P8}$	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE

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

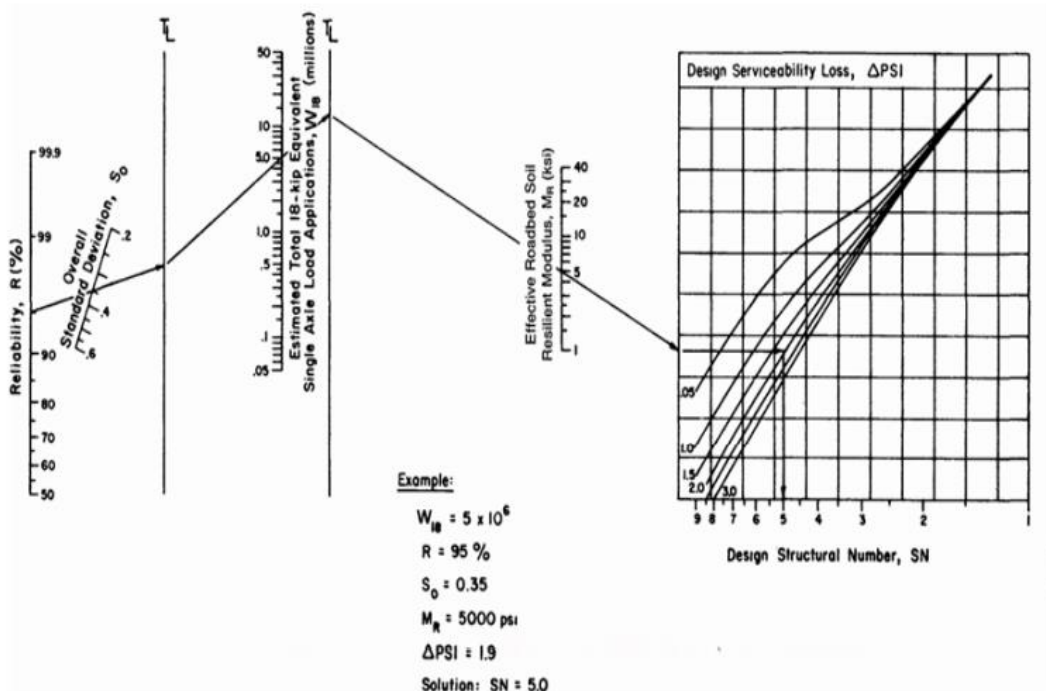
#### 4.2.1 Diseño de pavimento flexible -método AASHTO 93

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

$$W18=162,239.47 \quad \text{CBR}=6.91$$

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

### Ilustración 1: 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 2: 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 3: 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 con 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 (Subrasante regular) cabe resaltar que se escogió el valor promedio de CBR.

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

Reemplazando se obtuvo:

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

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

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

R=70%

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

**Tabla 36: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico**

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

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

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

- Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ )

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

$$Z_r = -0.524$$

**Tabla 37: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal ( $Z_R$ ) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico**

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

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

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

- Desviación Estándar Combinada ( $S_o$ )

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

$$S_o = 0.45$$

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

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

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

$$\Delta PSI = 1.80$$

**Tabla 38: Índice de Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ ) Según Rango de Tráfico**

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL ( $P_i$ )
	$T_{P0}$	75,000	150,000	3.80

Camiones de Bajo Volumen de Transito	$T_{P1}$	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 39: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico**

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL ( $P_T$ )
Camiones de Bajo Volumen de Transito	$T_{P0}$	75,000	150,000	2.00
	$T_{P1}$	150,001	300,000	2.00
	$T_{P2}$	300,001	500,000	2.00
	$T_{P3}$	500,001	750,000	2.00
	$T_{P4}$	750,001	1,000,000	2.00
Resto de Camiones	$T_{P5}$	1,000,001	1,500,000	2.50
	$T_{P6}$	1,500,001	3,000,000	2.50
	$T_{P7}$	3,000,001	5,000,000	2.50
	$T_{P8}$	5,000,001	7,500,000	2.50
	$T_{P9}$	7,500,001	10'000,000	2.50



	$T_{P10}$	10'000,001	12'500,000	2.50
	$T_{P11}$	12'500,001	15'000,000	2.50
	$T_{P12}$	15'000,001	20'000,000	3.00
	$T_{P13}$	20'000.001	25'000,000	3.00
	$T_{P14}$	25'000,001	30'000,000	3.00
	$T_{P15}$	>30'000,000		3.00

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

**Tabla 40: Diferencial de Serviabilidad ( $\Delta PSI$ ) Según Rango de Tráfico**

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

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

## Cálculo del Número Estructural (SN)

- De forma Analítica

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

Datos:

W18=162,239.47

R = 70%

Zr=-0.524

So=0.45

Mr(psi)=8,803.53

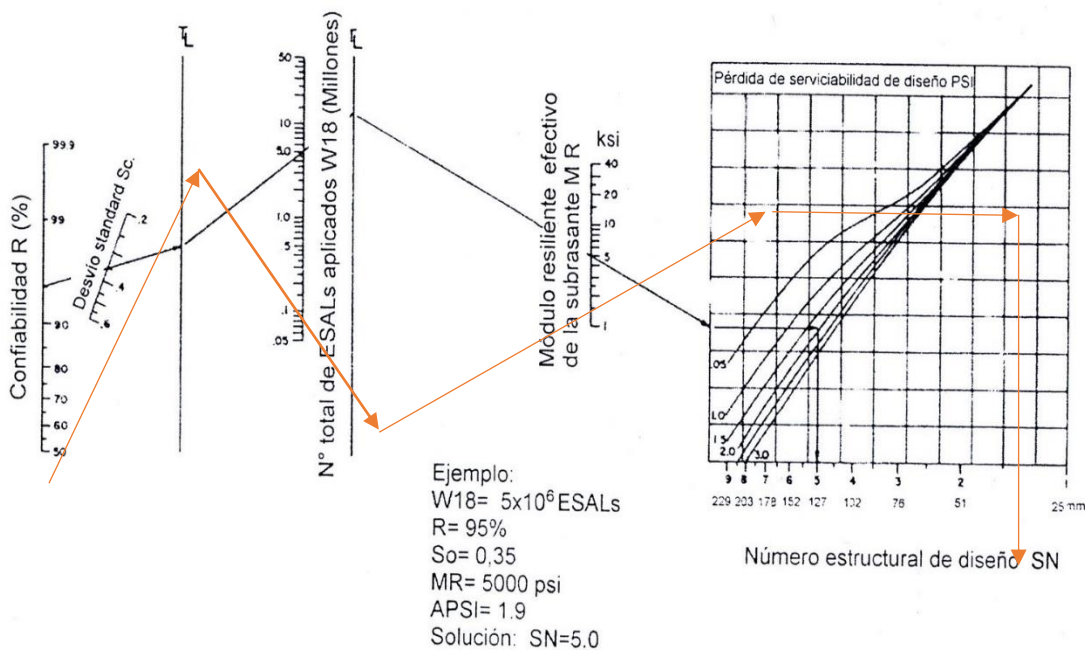
ΔPSI = 1.80

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

$$SN = 2.12$$

- Con uso de Nomograma

### Ilustración 4: Monograma para Pavimento Flexible



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

**Tabla 41: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de subrasante, 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%
<i>T<sub>p</sub>0</i>	75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.136	1.871	1.557	1.392
<i>T<sub>p</sub>1</i>	150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.470	2.165	1.809	1.625
<i>T<sub>p</sub>2</i>	300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.702	2.367	1.979	1.780
<i>T<sub>p</sub>3</i>	500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			2.956	2.593	2.173	1.959
<i>T<sub>p</sub>4</i>	750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.107	2.725	2.283	2.059
<i>T<sub>p</sub>5</i>	1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.434	3.012	2.521	2.274
<i>T<sub>p</sub>6</i>	1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.866	3.395	2.841	2.561
<i>T<sub>p</sub>7</i>	3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.206	3.707	3.105	2.797
<i>T<sub>p</sub>8</i>	5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.63	4.103	3.449	3.107
<i>T<sub>p</sub>9</i>	7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.837	4.300	3.624	3.267
<i>T<sub>p</sub>10</i>	10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.092	4.552	3.869	3.501
<i>T<sub>p</sub>11</i>	12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.226	4.679	3.985	3.609
<i>T<sub>p</sub>12</i>	15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.341	4.883	4.173	3.786
<i>T<sub>p</sub>13</i>	20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			5.097	5.323	4.580	4.172
<i>T<sub>p</sub>14</i>	25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.052	5.460	4.708	4.293

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

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

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

Coeficientes Estructurales de las Capas de Pavimentación Basados en lo señalado según la norma: Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 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 42: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento  $a_1$**

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

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			
<b>BASE</b>			
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 = $35 \text{ kg/cm}^2$ )	$a_{2b}$	0.070 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = $12 \text{ kg/cm}^2$ )	$a_{2c}$	0.080 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
<b>SUB BASE</b>			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	$a_3$	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

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

- **Coeficiente de drenaje**

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

**Tabla 43: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje  $M_1$**

Para Bases y Sub Bases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Insuficiente	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	.80 – 0.60	0.60
Muy Insuficiente	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

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

### Cálculo de los Espesores

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

se ingresa a la fórmula.

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

**Tabla 44: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular**

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

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

**Tabla 45: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente**

Período de diseño 20 años

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

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





Carpeta Asfáltica en Caliente  
(CAC)



Base Granular



Subbase granular

Nota:

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

Para los espesores se planteó 2 Alternativas

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

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

$$2.47 = 2.34$$

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

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

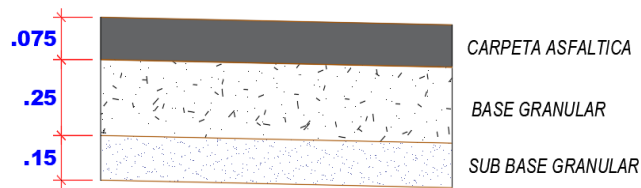
$$2.47 = 2.765$$

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

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

$$2.47 = 2.476$$

### Ilustración 5: Sección Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia

Adoptaremos la alternativa 2

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

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

#### 4.2.2 Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93

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

#### Ilustración 6: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido

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

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

#### 4.2.2.1 Módulo de Reacción del Terreno (Kc)

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

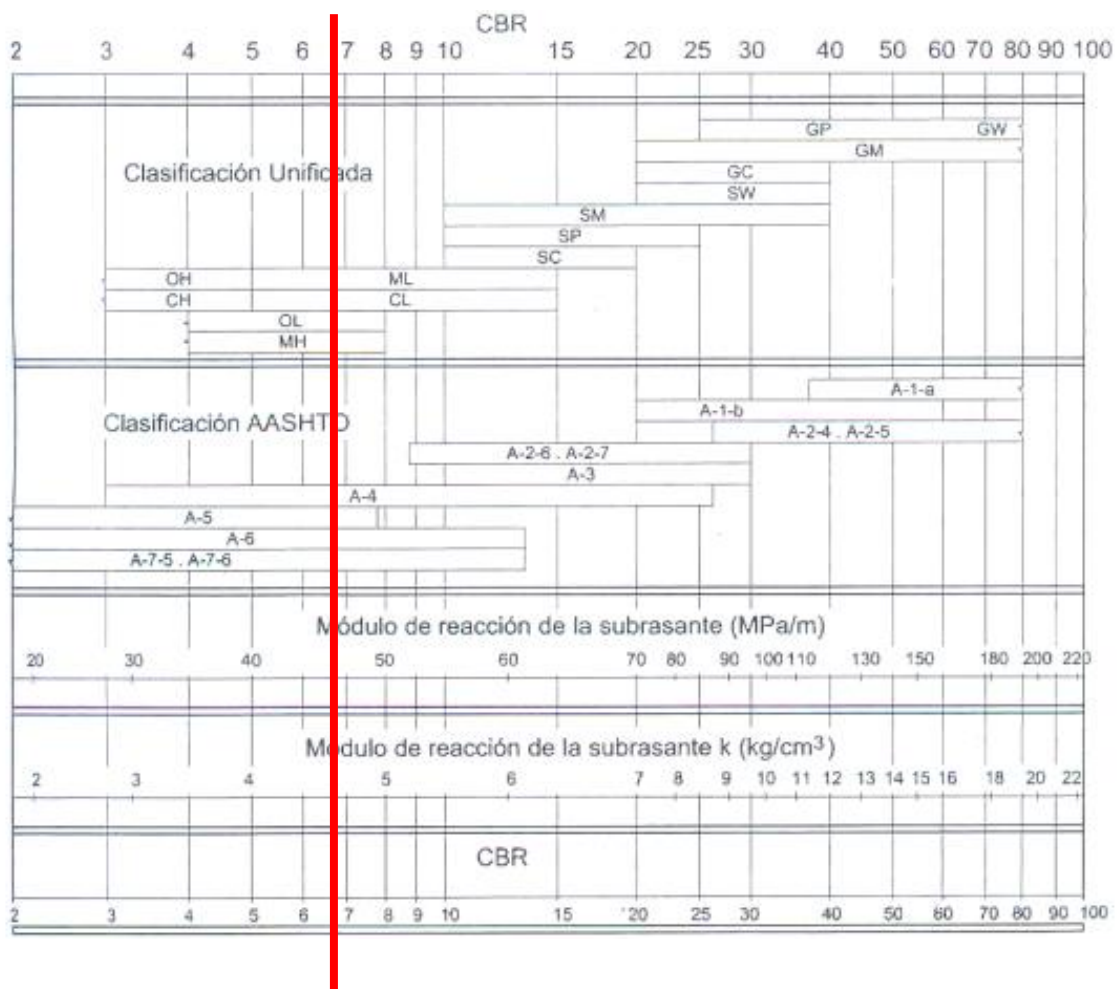
No obstante, se utilizará la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción  $K_c$  en función de la clasificación de suelos y el CBR.

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

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

$$K_c(PSI) = 169.83$$

**Tabla 46: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante**



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

#### 4.2.2.2 Módulo Elástico del Concreto ( $E_c$ )

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

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

**Tabla 47: Módulo de Elasticidad ( $E_c$ )**

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

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

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

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

#### 4.2.2.3 Módulo de Rotura del Concreto ( $S'c$ )

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

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

**Tabla 48: Valores Recomendados de Resistencia del Concreto**

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

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 49: 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 <sup>2</sup>	Lbs/pulg <sup>2</sup> (psi)
f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup>	46.1	655
f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup>	53.2	757
f'c = 350 kg/cm <sup>2</sup>	59.5	846

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

El Módulo de Rotura del Concreto (S'c) para un f'c = 280 kg/cm<sup>2</sup> será:

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

#### 4.2.2.4 Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

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

**Tabla 50: Coeficiente de Transferencia de Carga (J)**

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

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

El Coeficiente de Transferencia de Carga (J) será:

$$J = 3.8$$

#### 4.2.2.5 Coeficiente de Drenaje (Cd)

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

**Tabla 51: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares**

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

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

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

$$cd = 1.00$$

#### 4.2.2.6 Perdida de Serviabilidad ( $\Delta$ PSI)

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

	$T_{P11}$	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	$T_{P12}$	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	$T_{P13}$	20'000.001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	$T_{P14}$	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	$T_{P15}$	>30'000,000		4.50	3.00	1.50

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

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

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

$$R = 70\%$$

$$Z_r = -0.524$$

#### 4.2.2.8 Desviación Estándar Total (So)

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

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

$$S_o = 0.35$$

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

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

$$W18 = 169,745.08$$



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

##### De Forma Analítica

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

Datos:

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

Resolviendo la Ecuación:

Primer miembro = Segundo miembro

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

$$5.23 = 5.23$$

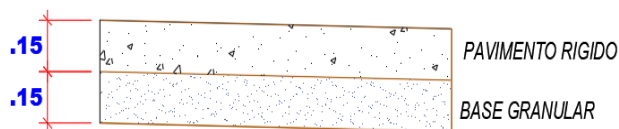
Por la iteración, el Espesor de la Losa es:

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

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" cómo mínimo así lo especifica AAHTO,

Guide for Design of Pavement Structures 1993.

### Ilustración 7: Sección del Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3 Diseño de Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto

Para el diseño de pavimento con adoquines de concreto se propone el método de diseño IPCI (Interlocking Concrete Pavement Institute), este es un proceso simplificado que toma en cuenta las siguientes guías de diseño: Structural Design of Concrete Block Pavement y la Guide for Design of Pavement Structures.

Espesores Mínimos de Adoquines de Concreto y Cama de Arena

**Tabla 53: Valores recomendados de Espesores Mínimos**

de Adoquín de Concreto y Cama de Arena

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

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

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

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

**Ilustración 8: catálogo de estructuras de pavimento de adoquin con base granular período de diseño 20 años**

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

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



Adoquín de  
Concreto



Capa de Arena



Base Granular



Sub Base  
Granular

Nota:

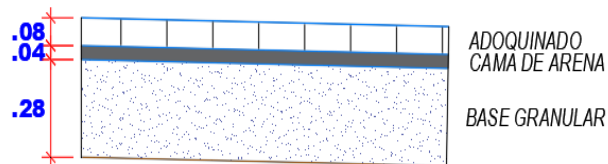
- (\*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
- EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y período de diseño.

3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
  - a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.

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

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

**Ilustración 9: Sección Pavimento Semirrígido**



Fuente: Elaboración propia

### 4.3 PRESUPUESTO

#### 4.3.1 Presupuesto Pavimento Flexible

Tabla 54: Características de la vía con Pavimento Flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE	
Longitud	Cantidad
Jr. Ponaza C02 – C04	1,164.27m <sup>2</sup>
Jr. Alfonso Ugarte C02 – C06	1,921.10m <sup>2</sup>
Jr. Molino C02 – C05	1,249.14m <sup>2</sup>
Jr. Lampa C02 – C04	1,094.23m <sup>2</sup>
Jr. San Martín C02	343.22m <sup>2</sup>
Jr. Antonia G. C01 – C03	1,077.77m <sup>2</sup>
Jr. Andrés S. C01 – c03	932.80m <sup>2</sup>
Jr. Tupac Amaru C01 – C03	1,184.27m <sup>2</sup>
Jr. Pedro Delgado C01	304.56m <sup>2</sup>
Jr. Puno C01	272.19m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>9,543.55m<sup>2</sup></b>
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Ponaza C02 – C04	6.00 m
Jr. Alfonso Ugarte C02 – C06	6.00 m
Jr. Molino C02 – C05	6.00 m
Jr. Lampa C02 – C04	6.00 m
Jr. San Martín C02	6.00 m
Jr. Antonia G. C01 – C03	6.00 m
Jr. Andrés S. C01 – c03	6.00 m
Jr. Tupac Amaru C01 – C03	6.00 m
Jr. Pedro Delgado C01	6.00 m
Jr. Puno C01	6.00 m
Sección	
<p>Diagrama de sección transversal de un pavimento flexible. El diagrama muestra un perfil de la vía con una carpeta asfáltica superior de 7.5 cm de espesor, una subbase granular de 15 cm y una base granular de 25 cm. La pendiente transversal es de S=2.00% en ambos lados. A los extremos se encuentran cunetas proyectadas de 0.40 x 0.40 m.</p>	

Fuente: Elaboración propia

## Presupuesto Pavimento Flexible

### Tabla 55: Presupuesto

#### Presupuesto

Presupuesto **EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMRÍGIDOS EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBUYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

Subpresupue **001 PAVIMENTO FLEXIBLE**

Cliente **LEBINIS DÍAZ RÁMIREZ - KENNY TEJADA LÓPEZ**

Costo al **10/08/2021**

Lugar **SAN MARTIN - PICOTA - SHAMBOYACU - ALFONSO UGARTE**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				<b>174,462.97</b>
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	2,226.27	2,226.27
01.02	COLOCACION DE PUNTOS PROVISIONALES DE AGUA	und	8.00	175.45	1,403.60
01.03	REUBICACION DE POSTES	und	10.00	3,800.00	38,000.00
01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIAS Y	glb	1.00	71,420.14	71,420.14
01.05	ALMACEN DE OBRA DE 10Mx15M	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
01.06	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	1,500.00	12.02	18,030.00
01.07	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO DE	mes	8.00	5,047.87	40,382.96
<b>02</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>72,626.42</b>
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	9,543.55	3.52	33,593.30
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	9,543.55	4.09	39,033.12
<b>03</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>146,607.62</b>
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	4,647.09	7.24	33,644.93
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	m2	9,543.55	2.25	21,472.99
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	5,808.87	15.75	91,489.70
<b>04</b>	<b>MATERIAL SELECCIONADO</b>				<b>406,101.91</b>
04.01	SUB BASE GRANULA e=0.45 m	m3	4,294.60	52.70	226,325.29
04.02	BASE GRANULAR e=0.25 m	m3	2,385.89	75.35	179,776.62
<b>05</b>	<b>PAVIMENTO FLEXIBLE</b>				<b>756,898.95</b>
05.01	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2"	m2	9,543.55	68.50	653,733.18
05.02	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	9,543.55	6.20	59,170.01
05.03	SELLO DE ARENA	m2	9,543.55	4.61	43,995.77
<b>06</b>	<b>SEÑALIZACION</b>				<b>89,392.61</b>
06.01	PINTADO EN FRANJA EN ASFALTO - SEÑALIZACION	m2	2,988.38	28.82	86,125.11
06.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X 0.60	und	50.00	65.35	3,267.50
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>1,646,090.48</b>
	<b>GASTOS GENERALES (10.00%)</b>				<b>164,609.05</b>
	<b>UTILIDAD (10.00%)</b>				<b>164,609.05</b>
					=====
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>1,975,308.58</b>
	<b>IMPUESTO IGV (18.00%)</b>				<b>355,555.54</b>
					=====
	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>				<b>2,330,864.12</b>

**SON : DOS MILLONES TRECIENTOS TREINTA MIL OCHOCIENTOS SESENTA Y CUATRO Y 12/100 SOLES**

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2 PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 56: Características de la vía con Pavimento Rígido

PAVIMENTO RIGIDO	
Longitud	Cantidad
Jr. Ponaza C02 – C04	1,164.27m <sup>2</sup>
Jr. Alfonso Ugarte C02 – C06	1,921.10m <sup>2</sup>
Jr. Molino C02 – C05	1,249.14m <sup>2</sup>
Jr. Lampa C02 – C04	1,094.23m <sup>2</sup>
Jr. San Martín C02	343.22m <sup>2</sup>
Jr. Antonia G. C01 – C03	1,077.77m <sup>2</sup>
Jr. Andrés S. C01 – c03	932.80m <sup>2</sup>
Jr. Tupac Amaru C01 – C03	1,184.27m <sup>2</sup>
Jr. Pedro Delgado C01	304.56m <sup>2</sup>
Jr. Puno C01	272.19m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>9,543.55m<sup>2</sup></b>
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Ponaza C02 – C04	6.00 m
Jr. Alfonso Ugarte C02 – C06	6.00 m
Jr. Molino C02 – C05	6.00 m
Jr. Lampa C02 – C04	6.00 m
Jr. San Martín C02	6.00 m
Jr. Antonia G. C01 – C03	6.00 m
Jr. Andrés S. C01 – c03	6.00 m
Jr. Tupac Amaru C01 – C03	6.00 m
Jr. Pedro Delgado C01	6.00 m
Jr. Puno C01	6.00 m
Sección	
<p>Diagrama de la sección transversal de un pavimento rígido. Muestra un camino central con una pendiente transversal de <math>S = 2.00\%</math>. El pavimento rígido tiene un espesor de <math>E = 15 \text{ cm}</math>. Debajo del pavimento rígido se encuentra una base granular también con un espesor de <math>E = 15 \text{ cm}</math>. A ambos lados del camino hay cunetas proyectadas con una sección transversal de <math>0.40 \text{ m} \times 0.40 \text{ m}</math>.</p>	

Fuente: Elaboración propia

## Presupuesto con Pavimento Rígido

### Tabla 57: Presupuesto

#### Presupuesto

Presupuesto **EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMRÍGIDOS EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBUYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

Subpresupuesto **002 PAVIMENTO RIGIDO**

Cliente **LEBINIS DÍAZ RÁMIREZ - KENNY TEJADA LÓPEZ**

Costo al **10/08/2021**

Lugar **SAN MARTIN - PICOTA - SHAMBOYACU - ALFONSO UGARTE**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				<b>174,462.97</b>
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x	und	1.00	2,226.27	2,226.27
01.02	COLOCACION DE PUNTOS PROVISIONALES DE	und	8.00	175.45	1,403.60
01.03	REUBICACION DE POSTES	und	10.00	3,800.00	38,000.00
01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE	glb	1.00	71,420.14	71,420.14
01.05	ALMACEN DE OBRA DE 10Mx15M	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
01.06	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	1,500.00	12.02	18,030.00
01.07	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN	mes	8.00	5,047.87	40,382.96
<b>02</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>72,626.42</b>
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	9,543.55	3.52	33,593.30
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	9,543.55	4.09	39,033.12
<b>03</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>146,607.62</b>
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB	m3	4,647.09	7.24	33,644.93
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB	m2	9,543.55	2.25	21,472.99
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	5,808.87	15.75	91,489.70
<b>04</b>	<b>PAVIMENTO RIGIDO</b>				<b>1,548,815.68</b>
04.01	CONFORMACION DE SUB RASANTE CON	m2	9,543.55	5.75	54,875.41
04.02	BASE DE AFIRMADO H=0.20 m	m2	9,543.55	35.75	341,181.91
04.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA	m2	2,929.60	48.00	140,620.80
04.04	LOSA DE CONCRETO PRE MEZCLADO	m2	9,543.55	90.45	863,214.10
04.05	CURADO DE CONCRETO	m2	9,543.55	5.20	49,626.46
04.06	SELLO CON MEZCLA ASFALTICA E=5 mm.	m	9,735.00	10.20	99,297.00
<b>05</b>	<b>SEÑALIZACION</b>				<b>89,392.61</b>
05.01	PINTADO EN FRANJA EN PAVIMENTO -	m2	2,988.38	28.82	86,125.11
05.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X	und	50.00	65.35	3,267.50
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>2,031,905.30</b>
	<b>GASTOS GENERALES (10.00%)</b>				<b>203,190.53</b>
	<b>UTILIDAD (10.00%)</b>				<b>203,190.53</b>
					<b>=====</b>
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>2,438,286.36</b>
	<b>IMPUESTO IGV (18.00%)</b>				<b>438,891.55</b>
					<b>=====</b>
	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>				<b>2,877,177.91</b>
<b>SON : DOS MILLONES OCHOCIENTOS SETENTA Y SIETE MIL CIENTO SETENTA Y SIETE Y 91/100</b>					

Fuente: Elaboración propia



### 4.3.3 Presupuesto de pavimento Semirrígido

Tabla 58: Características de la vía con Pavimento Semirrígido

PAVIMENTO SEMIRRIGIDO	
Longitud	Cantidad
Jr. Ponaza C02 – C04	1,164.27m <sup>2</sup>
Jr. Alfonso Ugarte C02 – C06	1,921.10m <sup>2</sup>
Jr. Molino C02 – C05	1,249.14m <sup>2</sup>
Jr. Lampa C02 – C04	1,094.23m <sup>2</sup>
Jr. San Martín C02	343.22m <sup>2</sup>
Jr. Antonia G. C01 – C03	1,077.77m <sup>2</sup>
Jr. Andrés S. C01 – c03	932.80m <sup>2</sup>
Jr. Tupac Amaru C01 – C03	1,184.27m <sup>2</sup>
Jr. Pedro Delgado C01	304.56m <sup>2</sup>
Jr. Puno C01	272.19m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>9,543.55m<sup>2</sup></b>
Ancho de Vía	Cantidad
Jr. Ponaza C02 – C04	6.00 m
Jr. Alfonso Ugarte C02 – C06	6.00 m
Jr. Molino C02 – C05	6.00 m
Jr. Lampa C02 – C04	6.00 m
Jr. San Martín C02	6.00 m
Jr. Antonia G. C01 – C03	6.00 m
Jr. Andrés S. C01 – c03	6.00 m
Jr. Tupac Amaru C01 – C03	6.00 m
Jr. Pedro Delgado C01	6.00 m
Jr. Puno C01	6.00 m

Sección	

Fuente: Elaboración propia

## Presupuesto con Pavimento Semirrígido

### Tabla 59: Presupuesto

#### Presupuesto

Presupuesto **EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMRÍGIDOS EN LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBUYACU, PROVINCIA DE PICOTA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN**

Subpresu **003 PAVIMENTO SEMIRRIGIDO**

Cliente **LEBINIS DÍAZ RÁMIREZ - KENNY TEJADA LÓPEZ**

Costo al **10/08/2021**

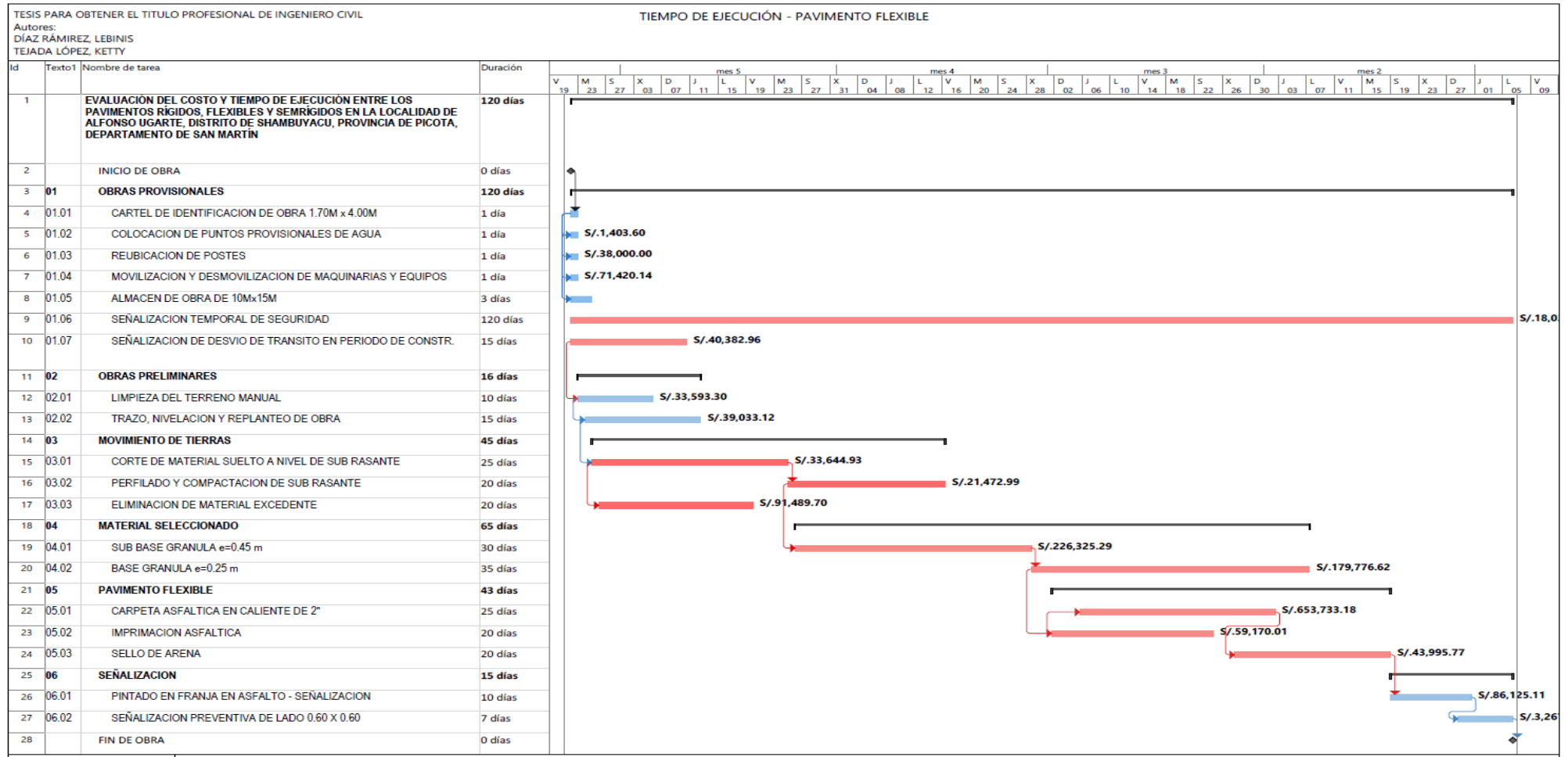
Lugar **SAN MARTIN - PICOTA - SHAMBOYACU - ALFONSO UGARTE**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				<b>134,462.97</b>
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 1.70M x 4.00M	und	1.00	2,226.27	2,226.27
01.02	COLOCACION DE PUNTOS PROVISIONALES DE AGUA	und	8.00	175.45	1,403.60
01.03	REUBICACION DE POSTES	und	10.00	3,800.00	38,000.00
01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQ. Y EQUIPOS	glb	1.00	31,420.14	31,420.14
01.05	ALMACEN DE OBRA DE 10Mx15M	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
01.06	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	m	1,500.00	12.02	18,030.00
01.07	SEÑALIZACION DE DESVIO DE TRANSITO EN PERIODO	mes	8.00	5,047.87	40,382.96
<b>02</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>72,626.42</b>
02.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	9,543.55	3.52	33,593.30
02.02	TRAZO, NIVELACIO Y REPLANTEO DE OBRA	m2	9,543.55	4.09	39,033.12
<b>03</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>146,607.62</b>
03.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO A NIVEL DE SUB	m3	4,647.09	7.24	33,644.93
03.02	PERFILADO Y COMPACTACION DE SUB RASANTE	m2	9,543.55	2.25	21,472.99
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	5,808.87	15.75	91,489.70
<b>04</b>	<b>PAVIMENTO SEMIRRIGIDO</b>				<b>975,159.94</b>
04.01	CONFORMACION DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA	m2	9,543.55	5.75	54,875.41
04.02	BASE DE AFIRMADO H=0.20 m	m2	9,543.55	35.75	341,181.91
04.03	CONFORMACIÓN DE CAMA DE ARENA	m2	9,543.55	8.35	79,688.64
04.04	PISO DE ADOQUIN DE CONCRETO 0.08M	m2	9,543.55	48.23	460,285.42
04.05	SELLO Y COMPACTACIÓN FINAL DE ADOQUINES	m2	9,543.55	4.10	39,128.56
<b>05</b>	<b>SEÑALIZACION</b>				<b>60,572.61</b>
05.01	PINTADO EN FRANJA EN PAVIMENTO - SEÑALIZACION	m2	1,988.38	28.82	57,305.11
05.02	SEÑALIZACION PREVENTIVA DE LADO 0.60 X 0.60	und	50.00	65.35	3,267.50
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>1,389,429.56</b>
	<b>GASTOS GENERALES (10.00%)</b>				<b>138,942.96</b>
	<b>UTILIDAD (10.00%)</b>				<b>138,942.96</b>
					<b>=====</b>
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>1,667,315.47</b>
	<b>IMPUESTO IGV (18.00%)</b>				<b>300,116.78</b>
					<b>=====</b>
	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>				<b>1,967,432.25</b>
<b>SON : UN MILLON NOVECIENTOS SESENTA Y SIETE CUANTROCIENTOS TREINTA Y DOS Y 25/100 SOLES</b>					

Fuente: Elaboración propia

## 4.4 TIEMPO DE EJECUCIÓN

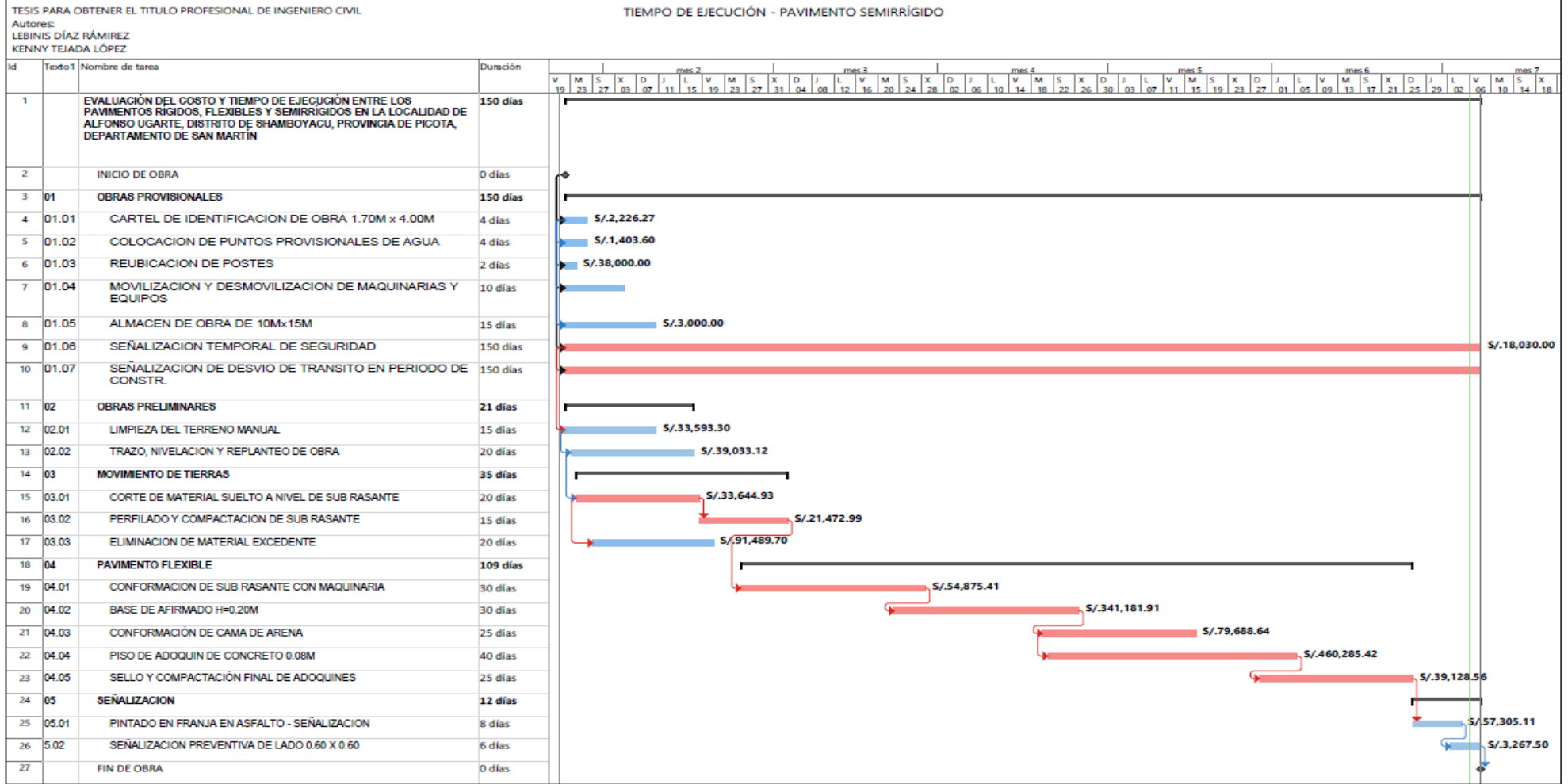
Ilustración 10: Programación de Obra Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia



## Ilustración 12: Programación de Obra Pavimento Semirrígido



Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 RESULTADOS OBTENIDOS

- El conteo de vehículos se tomó en 7 días calendarios, desde el día lunes 02 hasta el día domingo 09 de agosto 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 60: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn**

<b>Jr. Alfonso Ugarte Cdra. 02, Jr. Molino Cdra. 04</b>	<b>Pavimento Flexible</b>	<b>Pavimento Rígido</b>	<b>Pavimento Semi- Rígido</b>
Nºrep de EE 8.2 tn	162,239.47	169,745.08	162,239.47

Fuente: Elaboración propia

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

**Tabla 61: Resumen Características del Subrasante**

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

Fuente: Elaboración propia

Lo que resulta un CBR de diseño de 6.91%

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

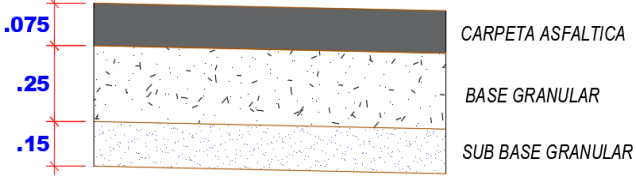
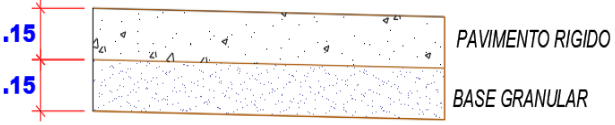
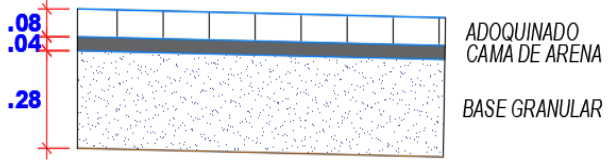
**Tabla 62: Cuadro Comparativo entre Pavimentos**

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

Fuente: Elaboración propia

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

**Tabla 63: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos**

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

Fuente: Elaboración Propia

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

Pavimento Flexible : S/ 2'330,864.12

Pavimento Rígido : S/ 2'877,177.91

Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto : S/ 1'967,432.25



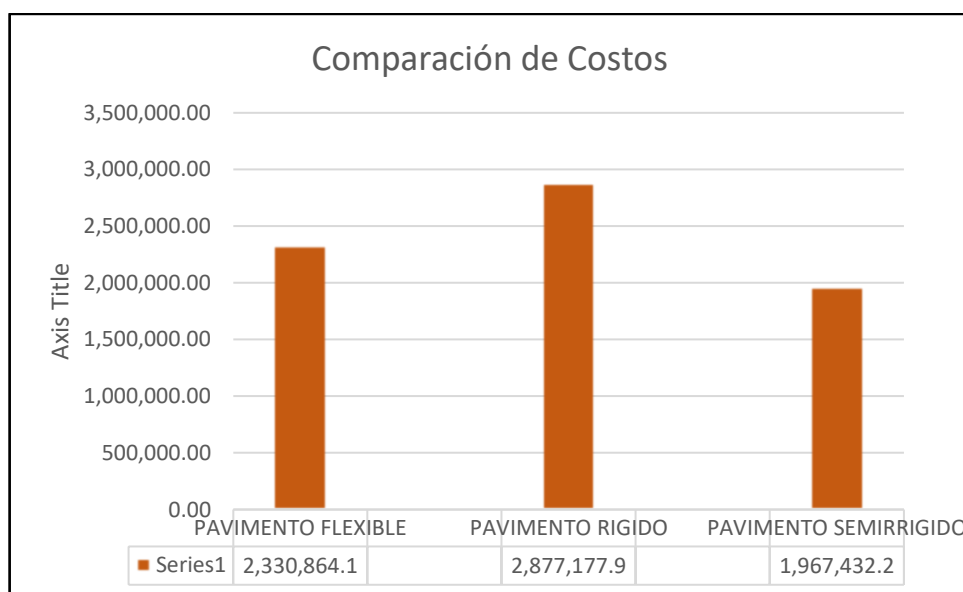
## CUADRO COMPARATIVO TÉCNICO- ECONÓMICO

**Tabla 64: Cuadro Comparativo Técnico – Económico**

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	S/.	2'330,864.12	2'877,177.91	1'967,432.25
<b>COSTO DIRECTO POR M2</b>	S/.	172.48	212.91	145.59
<b>COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)</b>	S/.	244.23	301.48	206.15
<b>PLAZO DE EJECUCIÓN</b>	DIAS	120	180	150
<b>MANTENIMIENTO PERIODICO RUTINARIO</b>	AÑOS	5	10	5
<b>DURABILIDAD</b>	AÑOS	15-20	20-40	10-20

Fuente: Elaboración Propia

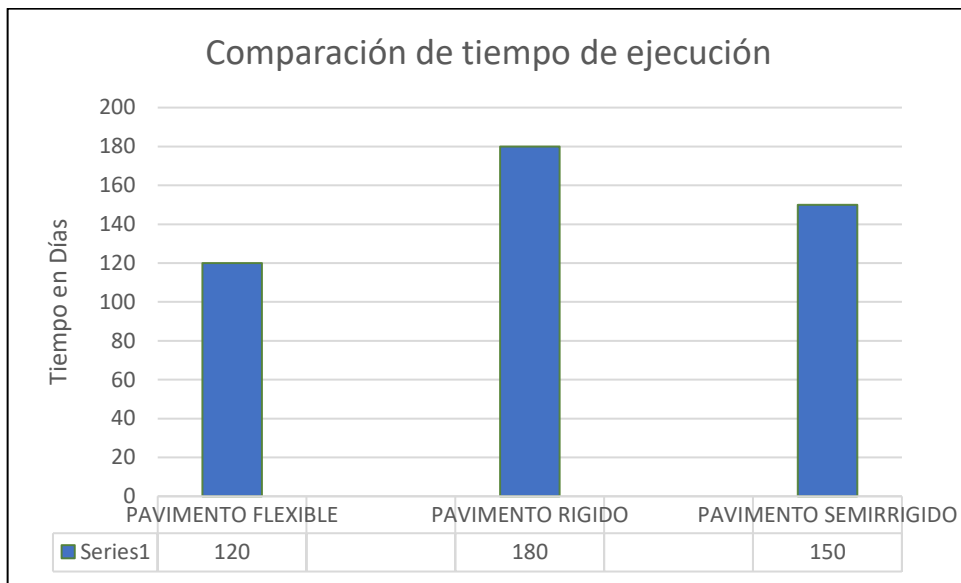
**Ilustración 13: Comparación de Costos**



Fuente: Elaboración Propia

- En el grafico se puede apreciar que el pavimento rígido es el que tiene un mayor costo con S/ 2'877,177.91, seguido del pavimento flexible con S/ 2'330,864.12 y por último el de menor costo es el pavimento semirrígido con S/ 1'967,432.25.

**Ilustración 14: Comparación de Plazos de Ejecución**



*Fuente: Elaboración Propia*

- En el gráfico se aprecia que el pavimento rígido tiene un mayor plazo de ejecución con 180 días, seguido del pavimento flexible con 150 días y por último se encuentra el pavimento semirrígido con 120 días.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Haciendo el análisis comparativo costo - tiempo de ejecución, concluimos que el diseño óptimo para la pavimentación de los Jr. Ponaza C02 – C04 Jr. Alfonso Ugarte C02 – C06, Jr. Molino C02 – C05, Jr. Lampa C02 – C04, Jr. San Martín C02, Jr. Antonia G. C01 – C03, Jr. Andrés S. C01 – c03, Jr. Tupac Amaru C01 – C03, Jr. Pedro Delgado C01, Jr. Puno C01 de la localidad de Alfonso Ugarte, distrito de Shamboyacu, es el Pavimento Semirrígido, al tener un costo menor del 31.62% respecto del pavimento rígido, y un costo menor del 15.59% respecto del pavimento flexible, en función al tiempo de ejecución el pavimento flexible se ejecuta 20% más rápido que el pavimento semirrígido y 16.67% más rápido respecto del pavimento rígido.
- Al realizar el presupuesto de los pavimentos rígidos, pavimentos flexibles y pavimento semirrígido se concluyó que los costos por metro cuadrado son:

**Tabla 65: Cuadro Comparativo Financiero**

INDICADOR	UND	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO
<b>COSTO DIRECTO POR M2</b>	S/	172.48	212.91	145.59
<b>COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)</b>	S/	244.23	301.48	206.15

Fuente: Elaboración propia

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

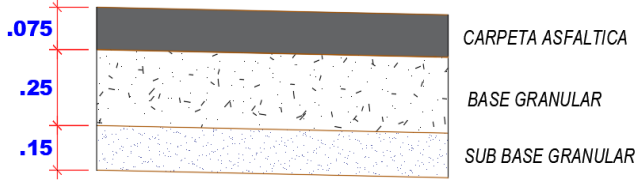
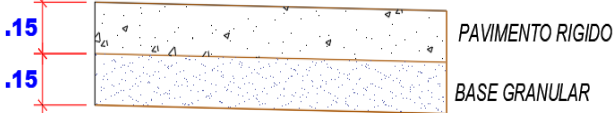
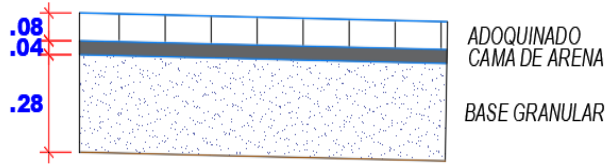
**Tabla 66: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución**

<b>INDICADOR</b>	<b>UND.</b>	<b>PAVIMENTO FLEXIBLE</b>	<b>PAVIMENTO RIGIDO</b>	<b>PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO</b>
<b>PLAZO DE EJECUCIÓN</b>	DIAS	120	180	150

Fuente: Elaboración propia

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

**Tabla 67: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos**

Tipo	Espesores
<b>Pavimento flexible</b>	
<b>Pavimento Rígido</b>	
<b>Pavimento Semirrígido</b>	

Fuente: Elaboración propia

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

**Tabla 68: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero**

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	2'330,864.12	2'877,177.91	1'967,432.25
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	172.48	212.91	145.59
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	244.23	301.48	206.15
PLAZO DE EJECUCIÓN	DIAS	120	180	150
MANTENIMIENTO PERIODICO RUTINARIO	AÑOS	5	10	5
DURABILIDAD	AÑOS	15-20	20-40	10-20

Fuente: Elaboración propia

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

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Los pavimentos en estudio tienen diferentes características considerables que pueden ser bien aprovechadas, cada proyecto debe ser analizado minuciosamente para determinar cuál es la mejor opción en cada caso, haciendo un análisis cuidadoso y a conciencia de todos los factores que intervienen en el proyecto. Así como las condiciones del entorno, los estudios de ingeniería de tránsito, geotécnicos, de drenaje y subdrenaje, la disponibilidad de materiales y equipo de construcción.
- El pavimento rígido es también un tipo de pavimento recomendable para la zona de estudio ya que al hacer un comparativo de durabilidad y mantenimiento periódico rutinario tiene una mayor ventaja respecto al pavimento flexible.
- Para obtener un análisis completo del estudio comparativo de costos realizado en el presente trabajo, deberá tomarse en cuenta, además de los costos de ejecución, incluidos anteriormente, los costos de mantenimiento, para ambos pavimentos.
- Hablar de qué tan económico resulta un pavimento respecto al otro, es muy relativo, ya que, si se toma en cuenta el costo total, el cual incluye la inversión inicial más el costo de mantenimiento, no se obtendrá una alternativa definitiva. Por lo tanto, dependerá de las autoridades respectivas tomar la decisión acerca de qué tipo de pavimento emplear en un proyecto determinado, contando con los fondos y financiamiento necesarios.

- **El pavimento rígido es el tipo de pavimento recomendable para la zona de estudio ya que al hacer un comparativo de durabilidad tiene una mayor ventaja respecto a los otros pavimentos**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Norma Técnica CE.10 Pavimentos Urbanos.
- Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.
- Barrantes, R., Badilla, G., & Sibaja, D. (2010). Definición de rangos para la clasificación estructural y funcional de la Red Vial Nacional de Costa Rica. Ingeniería, 109- 119.
- Burgos R. Nicolás (2008) “Comparación de varias estructuras de pavimentos flexibles y rígidos, sector Polpaico – La Trampilla”, Santiago de Chile.
- Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas, (2012) “Instrucciones y Criterios de Diseño” Manual de Carreteras.
- 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).
- “PAVIMENTO RÍGIDO.” Autor: Prof. Villanueva M. Ronald. Link: <http://es.slideshare.net/PedroFigueroa8/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.



# **ANEXO**

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## 1.1. Nombre del Proyecto de Inversión Pública (PIP):

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA – SAN MARTIN”

**Código SNIP del PIP** : 359903

### Ubicación

Departamento : San Martin  
Provincia : Picota  
Distrito : Shamboyacu  
Localidad : Alfonso Ugarte

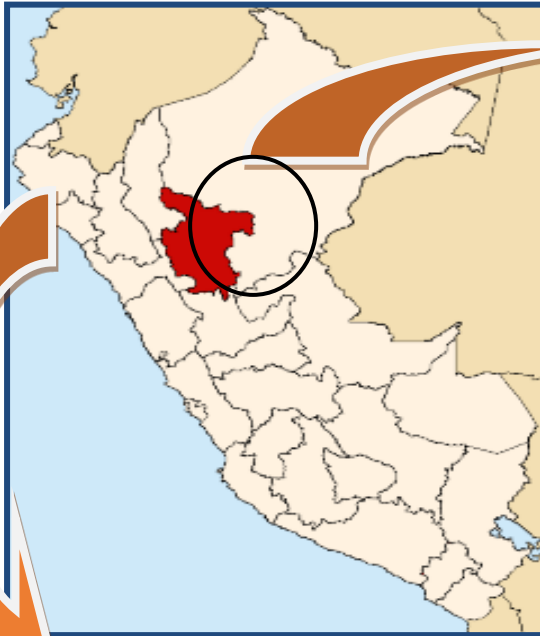
## 1.2. Ubicación Geográfica

Longitud Oeste : 76°10'0.64" O.  
Latitud Sur : 06°59'49.64" S.  
Altitud media : 269.00 m.s.n.m.

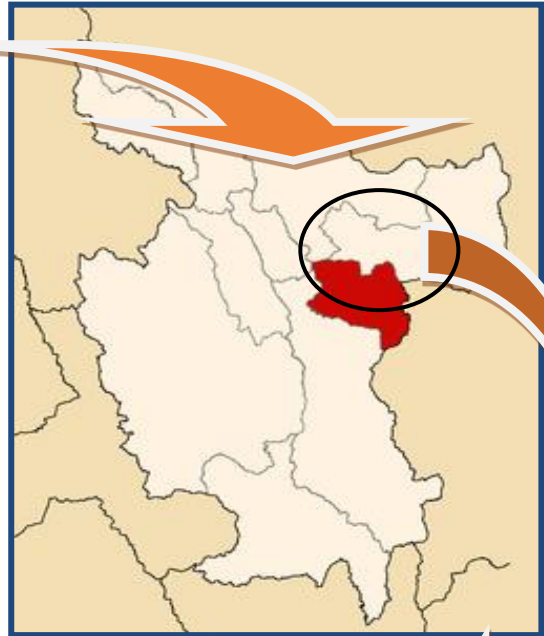
### A. Ubicación Política

Departamento : San Martín.  
Provincia : Picota  
Distrito : Shamboyacu  
Localidad : Alfonso Ugarte

### Ubicación del Departamento.



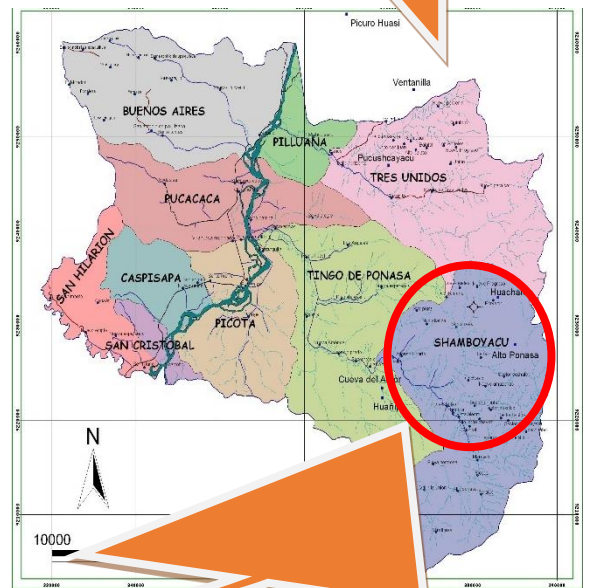
### Departamento De San Martin



### Provincia De Picota



### Distrito De Shamboyacu



## **B. ÁREA DE INFLUENCIA**

La localidad de Alfonso Ugarte es una de las localidades más pobladas y desarrolladas del Distrito de Shamboyacu, a una distancia de 5.43km. Del Distrito Capital.

Las comunidades y sus áreas de influencia en todo el distrito de Shamboyacu está como se muestra a continuación:

Punto de partida	Localidad	Distancia(Km)
SHAMBOYACU	Alfonso Ugarte	5.43
	Santa rosa	8.70
	Simón bolívar	4.18
	Chambira	5.68
	La esperanza de Ojecillo	13.99
	Vista alegre	6.59
	Paraíso	14.65
	Flor de café	20.27
	Valle la unión	14.83
	Alto Ponaza	16.56
	Lejía	8.57
	Nueva alianza	11.63
	Progreso	14.56
	Líbano	17.56
Punto de partida	Centros de producción	Distancia (Km)
SHAMBOYACU	Jorge Chávez	10.21
	Sector uval	9.73
	Playa hermosa	10.43
	Chovaico	4.87
	Nuevo amazonas	7.94
	Paucar	6.02
	Nuevo Piura	9.38
	Nuevo contamana	18.65
	Los ángeles	1.35
	Porvenir	15.45

### 1.3. ANTECEDENTES

El origen del presente proyecto surge como consecuencia de un diagnóstico situacional de la población, que en forma organizada conjuntamente con las Autoridades Municipales, han determinado la prioridad de ejecutar este proyecto y han solicitado reiteradamente la necesidad de MEJORAR LA

INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, en vista del crecimiento urbano alcanzado en los últimos años, que trajo como consecuencia el aumento del parque automotor y de peatones. Teniendo en cuenta que el 80 % de nuestras vías son afirmadas y que la ciudad no muestra un apropiado ornato de las calles o avenidas creándose malestar en la población sobre todo en épocas de lluvias o de intenso verano, como distrito, presenta como una de sus características la poca inversión en infraestructuras de vías peatonales o vehiculares,

Con la finalidad de solucionar este problema, se ha elaborado el presente proyecto para la MEJORAR LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, que permitirá mejorar la transitabilidad peatonal, así como mejorar el ornato de la Localidad de Alfonso Ugarte.

La sostenibilidad del proyecto estará sujeta a todas las acciones que en su favor se puedan desarrollar desde la fase de Inversión hasta la fase de Operación y mantenimiento, permitiendo alcanzar los beneficios esperados.

#### **1.4. CARACTERISTICAS GENERALES**

##### **a. Topografía**

Para tal efecto, se elaboró el levantamiento topográfico de la localidad de Alfonso Ugarte, llegando a la conclusión que presenta un relieve ondulado, presentando zonas planas y laderas moderadas que alcanzan 30% de pendiente como máximo, según se indica en los planos respectivos.

##### **b. Clima**

Con respecto al clima del distrito de Shamboyacu está caracterizado por ser cálido húmedo.

##### **Área**

La localidad del Distrito de Shamboyacu cuenta con sus suelos que se clasifican en 2,510.0 has. Para cultivos en limpio, 4,357.0 has. Para cultivos permanentes, 1,427.0 has. Para pastos, 464.0 has. Para forestación, 294.0 has. Para protección. La capital del distrito es la localidad de Shamboyacu.

##### **Clima**

Cálido húmedo.

##### **Temperatura**

Temperatura máxima de 36.0°C, media de 27.0°C y mínima de 14.0°C, precipitación pluvial de 937.00 mm.

### **Aspectos geológicos**

Potencialmente las tierras son buenas para fines agroforestales, siendo limitantes los meses de agosto - noviembre por ser considerados como meses secos.

### **Altitud**

La localidad de Alfonso Ugarte se encuentra a una altitud de 269.00 m.s.n.m. perteneciendo de esta manera a la majestuosa Selva Alta

### **c. Suelos**

#### **Tipo de Suelo:**

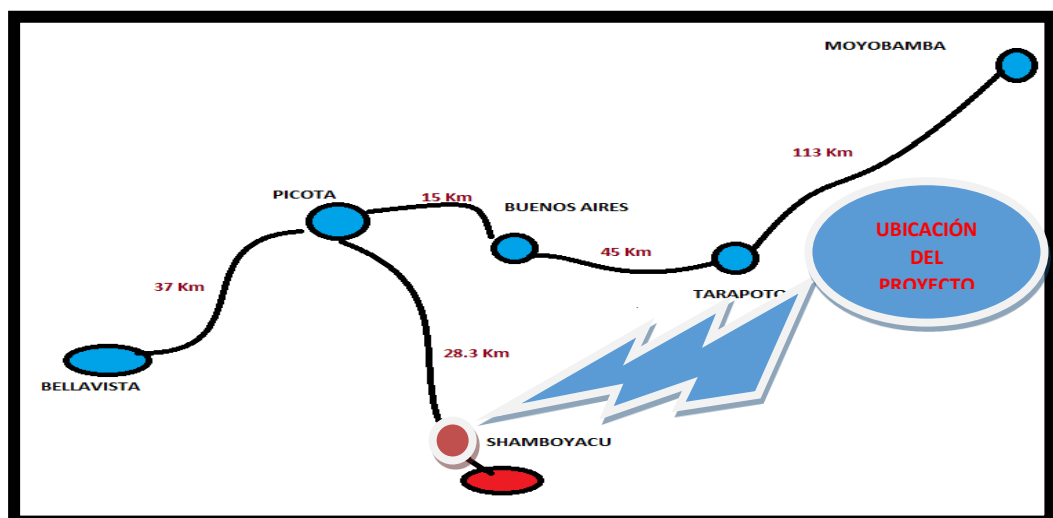
Las condiciones geológicas en el área de estudio del proyecto se consideran muy homogéneas y simple, pues predominan las arcillas en un primer estrato, seguido de arcillas de cuaternario fluvial (Qr - Fluv) reciente de color rojizo con trazas de arcilla blanca y arcillas de coloración rojiza anaranjada de fácil erosión por las lluvias.

Dentro del territorio peruano se halla ubicado en la Zona sísmica 2 correspondiéndole una sismicidad moderada y un factor de zona sísmica 2, que es  $Z=0.25$

### **d. Vías de Acceso**

El acceso al distrito de Shamboyacu está interconectada por la carretera Fernando Belaunde Terry, iniciando el recorrido Moyobamba – Tarapoto de 120 Km., este tramo es asfaltado y se recorre 2 horas aproximadamente. El segundo tramo es de Tarapoto – Picota de 60 Km de distancia, este tramo es asfaltado y de 1 hora aproximadamente de viaje. El tercer tramo parte de Picota al Distrito de Shamboyacu de 45 km de distancia, carretera afirmada en regular estado de con un recorrido de 50 minutos aproximadamente.

Se hace referencia al inicio de recorrido a la ciudad de Moyobamba, por ser la capital de la Región San Martín.



**Tarapoto - Picota – Alfonso Ugarte**

Vía terrestre 105 Km. 1 h y 50 min. en camioneta rural.

**e. Actividades económicas**

La población de la localidad de Alfonso Ugarte está conformada por personas nacidas en la región y el resto por una población inmigrante. A raíz del crecimiento poblacional se ha logrado que las actividades de sostenimiento económico se diversifiquen, siendo la agricultura la actividad desarrollada en mayor escala teniendo como productos principales la producción y comercialización del café, cacao, plátano, frijoles y otros. Además, estas zonas se encuentran aptas para la ganadería y cultivos de pan llevar para el autoconsumo.

**f. Servicios Públicos existentes**

• **Servicios De Educación**

La educación juega un papel clave en la transmisión de valores y la capacitación de las jóvenes generaciones, de allí que la compleja realidad educativa del distrito de Shamboyacu, tanto desde la perspectiva del sector educación, como desde las condicionantes culturales de la población sea un tema que abordaremos en forma detallada.

La población estudiantil de la localidad de Alfonso Ugarte representa un 13.12% del total del Distrito de Shamboyacu. En la localidad de Alfonso Ugarte existen 02 Instituciones Educativas, I.E.I N°0124 y la I.E. N°0152 Nivel primaria y secundaria.

• **Servicios de salud.**

La localidad de Alfonso Ugarte cuenta con 01 puestos de salud con 05 camas. Para los casos de gravedad los pacientes son transferidos a la ciudad de Picota o Tarapoto.

• **SANEAMIENTO BÁSICO:**

**Servicio de agua potable**

Actualmente la localidad de Alfonso Ugarte cuenta con un sistema de agua potable en buen estado de conservación y durante todo el día.

### **Alcantarillado**

La localidad de Alfonso Ugarte cuenta con un sistema de Alcantarillado en buen estado de conservación.

### **Limpieza pública**

En cuanto a la limpieza pública en la localidad de Alfonso Ugarte, el ente que se encarga de este servicio es la Municipalidad Distrital de Shamboyacu.

- **ENERGÍA ELÉCTRICA**

La localidad de Alfonso Ugarte cuenta con el servicio de energía eléctrica las 24 horas del día, la empresa prestadora del servicio es Electro Oriente.

- **SERVICIO DE TELEFONIA**

La localidad de Alfonso Ugarte cuenta con el servicio de telefonía móvil durante las 24 horas del día, la empresa prestadora del servicio son Movistar, Claro, Bitel.

### **g. Situación de las redes de Agua y desagüe**

Los servicios de agua y desagüe en la localidad de Shamboyacu han sido ejecutados por el Ministerio de Vivienda y cuenta con una antigüedad de 02 Años.

- **SANEAMIENTO BÁSICO:**

#### **Servicio de agua potable**

Actualmente la localidad de Alfonso Ugarte cuenta con un sistema de agua potable en buen estado de conservación y durante todo el día.

### **Alcantarillado**

La localidad de Alfonso Ugarte cuenta con un sistema de Alcantarillado en buen estado de conservación.

### **h. Población beneficiaria**

La población beneficiaria directa del proyecto **“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA – SAN MARTIN”**, son un total de 638 personas ubicadas en 183 lotes.

La población beneficiaria en forma indirecta es toda la localidad de Alfonso Ugarte que está compuesta según los siguientes cuadros.



#### CUADRO

LOCALIDAD	Nº FAMILIAS	POBLACION (AÑO 2007)
ALFONSO UGARTE	231	890
TOTAL	231	890

FUENTE: INEI CENSO AÑO 2007

#### CUADRO

LOCALIDAD	Nº FAMILIAS	POBLACION AÑO (2016)
ALFONSO UGARTE	280	1079
TOTAL	280	1079

FUENTE: ELABORACION PROPIA

### 1.5. DESCRIPCION DE LA SITUACION EXISTENTE

#### Justificación del proyecto

Actualmente, la política económica en nuestro país está orientada a lograr de forma integral el desarrollo productivo, económico y social de las regiones, y las vías de comunicación representa un factor determinante para lograr este objetivo, por lo que la Municipalidad Distrital de Shamboyacu, considera a la infraestructura vial de necesidad prioritaria, es por eso que en años anteriores y en el presente año está ejecutando trabajos de conservación, mantenimiento, rehabilitación, mejoramiento y construcción de nuevas vías urbanas, motivo por el cual se ha priorizado realizar este proyecto a nivel de perfil, pre factibilidad y factibilidad, para obtener la viabilidad correspondiente y desarrollar el expediente técnico y ejecutarlo, que permitirá facilitar el tránsito vehicular y peatonal del sector de la población, asentada en la localidad de Alfonso Ugarte.

Las vías a pavimentar son de gran importancia porque formaran parte del acceso vehicular principal a la ciudad, para luego conectarse con la carretera asfaltada a nivel de bicapa Picota - Shamboyacu, mejorando la transitabilidad de los vehículos.

El proyecto está enmarcado en Función a la Ley Nº 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y la Resolución Ministerial Nº 027-2015-VIVIENDA de la modificación del Manual de

Operaciones del Programa Mejoramiento Integral de Barrios - PMIB", que entró en vigencia el 27 de abril del 2015.

Además, para la base de datos del SNIP, del Proyecto **"MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA – SAN MARTIN"**, esta codificado con el código SNIP **359903**, El presente Expediente Técnico, se elaboró para la ejecución del proyecto: **"MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA – SAN MARTIN"**, por contar con la DECLARATORIA DE VIABILIDAD, por parte de la OPI de la Municipalidad Distrital de Shamboyacu, mediante la Resolución de Alcaldía.

## **1.6. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

Con la finalidad de Plantear la solución Técnica más adaptable al Problema que viene suscitándose, la Municipalidad Distrital de Shamboyacu ha elaborado los Estudios Básicos para el Expediente Técnico del PIP **"MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA – SAN MARTIN"**, las cuales son los siguientes:

- Estudio de Mecánica de suelos
- Estudio de Impacto Ambiental
- Estudio Topográfico
- Estudio de Diseño de Muro de Contención
- Estudio de Diseño de Pavimento Rígido
- Estudio de Diseño de Alcantarillas
- Estudio de Trafico de Vía.

Estos estudios realizados en el área del proyecto, ha dado como resultado que se deben realizar algunas obras provisionales tales como demolición de estructuras de concreto existente y movimiento de tierras, para poder plantear la construcción de las estructuras que formaran parte del proyecto. A continuación, pasamos a describir las obras provisionales a realizar y las estructuras que se construirán para desarrollar el proyecto.

### **1.6.1 Obras Provisionales**

- **Demolición de estructuras de concreto:** Se efectuarán las demoliciones de las estructuras de concreto, en los lugares donde se proyecta construir y reemplazar estas estructuras, o que interfieren con el planteamiento

arquitectónico del proyecto de acuerdo como se indican en los planos de demoliciones.

**Cunetas:** Para desarrollar el proyecto se pretende demoler 169.97m de cuneta de forma triangular y de área transversal de 0.20m<sup>2</sup>; esto debido a que el ancho efectivo de la cuneta es de 1.20m y la sección de la vía es muy angosta, esta demolición se hará en el Jr. Alfonso Ugarte cuadras del 2 al 4.

**Veredas:** Para desarrollar el proyecto se demolerá 439.49 m<sup>2</sup> de vereda que interfieren en el planteamiento del proyecto; esto se da por motivo de niveles y por la mala condición de las veredas.

**Badenes:** En el Jr. Alfonso Ugarte existe tres badenes que suman un área total de 49.90 m<sup>2</sup> que serán demolidos para poder construir el proyecto,

- **Movimientos de tierra:** Para poder construir las estructuras propuestas se debe realizar el corte del terreno natural de aproximadamente pretende 4,170.34 m<sup>3</sup> y un relleno con material de préstamo de 47.88 m<sup>3</sup>; al desarrollar estos movimientos de tierra se obtendrá el nivel de explanación.

### **1.6.2 Pavimento:**

- El pavimento por construir será de concreto con resistencia de  $F'c=210$  KG/CM<sup>2</sup> y de un espesor de 0.20m y uñas de 0.20m de alto y ancho superior de 0.25m e inferior de 0.15m.
- El área total de pavimento a construir es de 9,543.55 m<sup>2</sup> de pavimento.
- Los paños de las losas tendrán un ancho variable de 2.25m a 3.25m y un largo de 3.50m.
- Las losas contarán con juntas longitudinales y transversales, según como se detalla en los planos de pavimento.
- La base del pavimento será de 0.25m de altura, el cual debe quedar muy bien compactado de acuerdo con los diseños.

### **1.6.3 Veredas:**

- Las veredas por construir serán de concreto simple de resistencia  $F'c=175$  KG/CM<sup>2</sup> y de un espesor de 0.10m y uñas de 0.20m de alto y ancho superior de 0.20m e inferior de 0.10m.
- El área total de vereda a construir es de 2,734.95 m<sup>2</sup>, y tendrá una pendiente de -1.5% con dirección a la cuneta.
- Los paños de las veredas tendrán un ancho de 1.20m y un largo de 3.00m y contarán con juntas de dilatación de mortero asfáltico y deberá estar bruñado y frotachado de acuerdo con el diseño.
- La vereda tendrá un afirmado de material granular de 0.10m de espesor y el cual debe quedar muy bien compactado de acuerdo con los diseños.

#### **1.6.4 Martillos:**

- Los martillos por construir serán de concreto simple de resistencia  $F'c=175$  KG/CM<sup>2</sup> y de un espesor de 0.10m y uñas de 0.20m de alto y ancho superior de 0.20m e inferior de 0.10m.
- El área total de martillo a construir es de 1,097.40 m<sup>2</sup>, y tendrá una pendiente de -1.5% con dirección hacia el pavimento.
- Los martillos tendrán un radio mínimo de 5.0m y deberán estar bruñado y frotachado de acuerdo con el diseño de los planos.
- Los martillos tendrán un afirmado de material granular de 0.10m de espesor y el cual debe quedar muy bien compactado de acuerdo con los diseños.

#### **1.6.5 Rampas:**

- Las rampas por construir serán de concreto simple de resistencia  $F'c=175$  KG/CM<sup>2</sup> y de un espesor de 0.10m.
- El área total de rampa a construir es de 577.51m<sup>2</sup> y deberán estar debidamente bruñado y frotachado según como se indica en los planos.
- Los paños de las rampas en martillos tendrán un ancho mínimo de 1.20m. las rampas de acceso a viviendas tendrán un ancho mínimo de 1.80 y un largo variable que comprende desde el bode del pavimento hasta llegar a la vereda de cada vivienda.
- Las rampas tendrán un afirmado de material granular de 0.10m de espesor y el cual debe quedar muy bien compactado de acuerdo con los diseños.

#### **1.6.6 Cunetas:**

- Las cunetas por construir serán de concreto armado de resistencia  $F'c=175$  KG/CM<sup>2</sup> y de un espesor de 0.15m. Tal como se indica:

✓ Cunetas T-1 (0.30x0.50m)	=	166.64m
✓ Cunetas T-2 (0.30x0.50m)	=	49.75m
✓ Cunetas de (0.40x0.50m)	=	1357.87m
✓ Cunetas de (0.50x0.50m)	=	378.54m
✓ Cunetas de (0.60x0.60m)	=	63.45m

- Las cunetas tendrán un afirmado de material granular de 0.10m de espesor y el cual debe quedar muy bien compactado de acuerdo con los diseños.

#### **1.6.7 Cunetas de Cruce**

- Se dice cunetas tapadas a las cunetas que se encuentran debajo de los martillos y no soportan el peso vehicular. Las cunetas tapadas a construir serán de concreto armado de resistencia  $F'c=175$  KG/CM<sup>2</sup> y de un espesor de 0.15m.

- La longitud total de cunetas tapadas a construir es de 195.28m y de sección interna de 0.40x0.50m, según como se indica en los planos.
- Las cunetas tapadas tendrán un afirmado de material granular de 0.10m de espesor y el cual debe quedar muy bien compactado de acuerdo con los diseños.

#### **1.6.8 Alcantarillas:**

- Las alcantarillas propuestas son específicamente alcantarillas de cruce, las cuales estarán comprometidas a soportar el peso vehicular. Las alcantarillas por construir serán de concreto armado de resistencia  $F'c=210$  KG/CM<sup>2</sup> y de un espesor de 0.20m.
- La longitud total de alcantarillas a construir es de 506.58m y de secciones internas variables de 0.50x0.50m, 0.50x0.60m, 0.60x0.60m, 0.80x0.70m, según como se indica en los planos.
- Las alcantarillas tendrán un solado de concreto simple de  $F'c=100$  KG/CM<sup>2</sup> y espesor de 0.10m, de acuerdo con los diseños.

#### **1.6.9 Adoquinado:**

- El adoquinado propuesto estará ubicado alrededor de la plazuela y estarán contruidos de adoquín de concreto color rojo de medidas 0.10x0.20x0.06m.
- El área total de adoquinado a construir es de 429.76 m<sup>2</sup>, según como se indica en los planos.
- El adoquinado tendrá un afirmado con arena gruesa de 0.10m de espesor de acuerdo con los diseños.

#### **1.6.10 Muro de contención:**

- Los muros de contención propuestos son específicamente para contener talud de corte serán, y serán de concreto armado de resistencia  $F'c=210$  KG/CM<sup>2</sup> y de un espesor de muro 0.20m y altura variable de 1.00m a 1.80m, y altura de zapata de 0.40m y ancho variable de 1.00m a 1.50m.
- La longitud total de muro de contención es de 68.74 m según como se indica en los planos.
- Los muros de contención tendrán un solado de concreto simple de  $F'c=100$  KG/CM<sup>2</sup> y espesor de 0.10m, de acuerdo con los diseños.

#### **1.6.11 Señalización – pintura en pavimento:**

- Las señalizaciones propuestas se basen específicamente en señalización horizontal, las cuales incluye pintura en eje de vía, bordes de vías, cruce peatonales y flecha de sentido vehicular.

- El área total por pintar es de 1,123.15 m<sup>2</sup> y deberá estar pintada con pintura para tráfico, según el ancho que se indica en el plano.

#### **1.6.12 NIVELACION DE TAPAS DE AGUA Y DESAGUE:**

- Nivelación de 13 und. de tapas de buzón estándar de Concreto.
- Nivelación de 178 und. de tapas de caja de agua.
- Nivelación de 178 und. de tapas de caja de desagüe.

#### **TRABAJO EN OBRAS DE SEÑALIZACION VIAL:**

- Instalación de 02 und. de señales verticales (preventiva).
- Pintado de 1,123.15 m<sup>2</sup> de marcas retroreflectivas con pintura de tránsito.

#### **TRABAJO EN OBRAS DE SEGURIDAD Y SALUD:**

- Elaboración, implementación y administración del plan de seguridad y salud en el trabajo.
- Equipos de protección individual.
- Capacitación en seguridad y salud.
- Recursos para respuestas ante emergencias en seguridad y salud en el trabajo.

#### **TRABAJO EN OBRAS DE MITIGACION AMBIENTAL:**

- Mitigación de polvareda durante la construcción de obra.
- Acondicionamiento y abandono en botaderos.
- Plan de capacitación ambiental

### **1.7. METAS FISICAS**

El presente proyecto tiene como objetivo el "MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA – SAN MARTIN", siguiendo las especificaciones y recomendaciones técnicas de urbanismo emitidas por el Reglamento Nacional de edificaciones con el fin de mantener el ornato y embellecimiento de la ciudad, además de facilitar el flujo vehicular y peatonal.

<b>METAS FISICAS DEL PROYECTO</b>		
<b>PAVIMENTO</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
CONCRETO F'c=210 KG/CM2		
Jr. Ponaza (Del Autocad-P.Arquitectura)	1,164.27	m2
Jr. Alfonso Ugarte (Del Autocad-P.Arquitectura)	1,921.10	m2
Jr. Molino(Del Autocad-P.Arquitectura)	1,249.14	m2
Jr. Lampa (Del Autocad-P.Arquitectura)	1,094.23	m2
Jr. San Martin (Del Autocad-P.Arquitectura)	343.22	m2
Jr. Antonia G. (Del Autocad-P.Arquitectura)	1,077.77	m2
Jr. Andres S. (Del Autocad-P.Arquitectura)	932.80	m2
Jr. Tupac Amaru (Del Autocad-P.Arquitectura)	1,184.27	m2
Jr. Pedro Delgado (Del Autocad-P.Arquitectura)	304.56	m2
Jr. Puno (Del Autocad-P.Arquitectura)	272.19	m2
<b>TOTAL</b>	<b>9,543.55</b>	<b>m2</b>
<b>VEREDAS</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
CONCRETO F'c=175 KG/CM2		
Jr. Ponaza (Del Autocad-P.Arquitectura)	297.71	m2
Jr. Alfonso Ugarte (Del Autocad-P.Arquitectura)	569.48	m2
Jr. Molino(Del Autocad-P.Arquitectura)	445.73	m2
Jr. Lampa (Del Autocad-P.Arquitectura)	459.79	m2
Jr. San Martin (Del Autocad-P.Arquitectura)	73.05	m2
Jr. Antonia G. (Del Autocad-P.Arquitectura)	276.67	m2
Jr. Andres S. (Del Autocad-P.Arquitectura)	192.11	m2
Jr. Tupac Amaru (Del Autocad-P.Arquitectura)	267.80	m2
Jr. Pedro Delgado (Del Autocad-P.Arquitectura)	65.52	m2
Jr. Puno (Del Autocad-P.Arquitectura)	87.09	m2
<b>TOTAL</b>	<b>2,734.95</b>	<b>m2</b>
<b>MARTILLOS</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
CONCRETO F'c=175 KG/CM2		
Jr. Ponaza (Del Autocad-P.Arquitectura)	279.22	m2
Jr. Alfonso Ugarte (Del Autocad-P.Arquitectura)	287.26	m2
Jr. Molino(Del Autocad-P.Arquitectura)	299.50	m2
Jr. Lampa (Del Autocad-P.Arquitectura)	231.42	m2
<b>TOTAL</b>	<b>1,097.40</b>	<b>m2</b>
<b>RAMPAS</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
CONCRETO F'c=175 KG/CM2		
Jr. Ponaza (Del Autocad-P.Arquitectura)	150.35	m2
Jr. Alfonso Ugarte (Del Autocad-P.Arquitectura)	99.7	m2
Jr. Molino(Del Autocad-P.Arquitectura)	77.75	m2
Jr. Lampa (Del Autocad-P.Arquitectura)	69.49	m2
Jr. San Martin (Del Autocad-P.Arquitectura)	9.2	m2
Jr. Antonia G. (Del Autocad-P.Arquitectura)	61.2	m2
Jr. Andres S. (Del Autocad-P.Arquitectura)	35.58	m2
Jr. Tupac Amaru (Del Autocad-P.Arquitectura)	51.28	m2
Jr. Pedro Delgado (Del Autocad-P.Arquitectura)	10.74	m2
Jr. Puno (Del Autocad-P.Arquitectura)	12.22	m2
<b>TOTAL</b>	<b>577.51</b>	<b>m2</b>

<b>CUNETAS</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
CONCRETO F'c=175 KG/CM2		
Cuneta Rectangular (0.30x0.50m) T-1	166.64	ml
Cuneta Rectangular (0.30x0.50m) T-2	49.75	ml
Cuneta Rectangular (0.40x0.50m)	1,354.87	ml
Cuneta Rectangular (0.50x0.50m)	378.54	ml
Cuneta Rectangular (0.60x0.60m)	63.45	ml
<b>TOTAL</b>	<b>2,013.25</b>	<b>ml</b>
<b>CUNETAS DE CRUCE</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
CONCRETO F'c=175 KG/CM2		
Jr. Ponaza (Del Autocad-P.Arquitectura) (0.40x0.50m)	50.67	ml
Jr. Alfonso Ugarte (Del Autocad-P.Arquitectura) (0.40x0.50m)	41.55	ml
Jr. Molino(Del Autocad-P.Arquitectura) (0.40x0.50m)	70.52	ml
Jr. Lampa (Del Autocad-P.Arquitectura) (0.40x0.50m)	32.54	ml
<b>TOTAL</b>	<b>195.28</b>	<b>ml</b>
<b>ALCANTARILLAS</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
CONCRETO F'c=210 KG/CM2		
Jr. Ponaza (Del Autocad-P.Arquitectura)	99.1	ml
Jr. Alfonso Ugarte (Del Autocad-P.Arquitectura)	136.64	ml
Jr. Molino(Del Autocad-P.Arquitectura)	141.81	ml
Jr. Lampa (Del Autocad-P.Arquitectura)	129.03	ml
<b>TOTAL</b>	<b>506.58</b>	<b>ml</b>
<b>ADOQUINADO EN VEREDAS</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
Plaza de Armas (Del Autocad-P.Arquitectura)	429.76	m2
<b>TOTAL</b>	<b>429.76</b>	<b>m2</b>
<b>MURO DE CONTENCION</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
CONCRETO F'c=210 KG/CM2		
Jr. Lampa C-2 (Del Autocad-P.Arquitectura)	15.75	ml
Jr. Lampa C-3 (Del Autocad-P.Arquitectura)	24.48	ml
JR. Alfonso U. C-6 (Del Autocad-P.Arquitectura)	28.51	
<b>TOTAL</b>	<b>68.74</b>	<b>ml</b>
<b>SEÑALIZACION - PINTURA EN PAVIMENTO</b>	<b>METRADO</b>	<b>UNIDAD</b>
PINTURA DE TRAFICO COLOR BLANCO VEHICULAR (INDIC	104.506	m2
PINTURA DE TRAFICO COLOR BLANCO EN CRUCES PEAT	560.635	m2
PINTURA DE TRAFICO COLOR AMARILLO VEHICULAR	304.285	m2
PINTURA BLANCA VEHICULAR FLECHA	153.72	m2
<b>TOTAL</b>	<b>1,123.15</b>	<b>m2</b>



## 1.8. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

001	"MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA DE LAS PRINCIPALES C			3,648,971.27
		(CD)	SI.	3,648,971.27
	COSTO DIRECTO			3,648,971.27
	GASTOS GENERALES (8% CD)			291,917.70
	UTILIDADES (7% CD)			255,427.99
	=====			0.00
	SUBTOTAL			4,196,316.96
	IGV (18%)			755,337.05
	=====			0.00
	TOTAL PRESUPUESTO			4,951,654.01
	SUPERVISION (3.5% CD)			127,713.99
	=====			0.00
	TOTAL INVERSION			5,079,368.00

### a. Valor referencial

El presupuesto de la obra tiene un valor referencial de **S/4,951,654.01** (Cuatro millones novecientos cincuenta y un mil seiscientos cincuenta y cuatro con 01/100 Soles).

### b. Costo Total

La inversión total de la obra asciende a **S/ 5,079,368.00** (Cinco millones setenta y nueve mil trescientos sesenta y ocho con 00/100 Soles).

## 1.9. PLAZO DE JECUCION

La ejecución de la Obra proyecto **"MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA LOCALIDAD DE ALFONSO UGARTE, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA – SAN MARTIN"**, motivo del presente expediente se ha programado ejecutar todos los componentes en un período de 210 días calendario (8 meses).

## 1.10. MODALIDAD DE EJECUCION Y SISTEMA DE CONTRATACION

Modalidad de Ejecución es por Contrata (Valor Referencial) el sistema de contratación es a Costos Unitarios.