



**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 SEMIRRÍGIDOS EN  
EL DISTRITO DE SHAPAJA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO  
DE SAN MARTÍN”**

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

**ASESOR:**

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

**AUTOR:**

**BACH. TORRES BRANDAN, Martha Mercedes**

**BACH. ABAD GARCÍA, Walter Iván**

**TARAPOTO – PERÚ  
2020**

# DEDICATORIA

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

A mis padres, **Bonifacio y Mercedes**; a mis hermanos, **Waldir, Noemi, Abel y Cinthia**; a mi novio Rusmer, quienes me brindaron su apoyo incondicional, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron durante el desarrollo de este proyecto.

**MARTHA MERCEDES TORRES BRANDAN.**

A Dios, por brindarme la vida y salud para lograr mis objetivos, por darme la lucidez en la toma de decisiones muy importantes en mi vida.

A mis padres y amigos que siempre están ahí para brindarme su apoyo incondicional en este proceso mil gracias y siempre estaré agradecido por ayudarme a cumplir mis metas y planes de vida por ello, les dedico este proyecto.

**WALTER IVÁN ABAD GARCÍA.**

# AGRADECIMIENTO

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

**Mi más profundo agradecimiento a mis padres:**

**Bonifacio Torres Hernández**, por enseñarme a ser una persona de bien;

**Mercedes Brandan Campos** por haberme apoyado incondicionalmente.

**Mis más sinceros agradecimientos a nuestro asesor M.Sc. Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta** quien nos ha guiado a la materialización de la tesis en referencia y por la confianza depositada en nosotros.

A mis hermanos(as), docentes y amigos que me brindaron su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a DIOS.

**Martha Mercedes TORRES BRANDAN**

**Mi más profundo agradecimiento a mis padres:**

**TOMÁS ABAD GIRÓN**; hombre de valores y virtudes, quien me supo guiar por los buenos caminos y corregir cuando fue necesario, gracias por sus consejos que sin duda marcaron mi vida y es uno de los motivos por los cuales decidí estudiar ingeniería civil; y a **ADELINA GARCIA GUERRERO**; mujer virtuosa, llena de sabios consejos gracias doy por su inmensurable muestra de amor y dedicación hacia mi persona, por su comprensión, apoyo incondicional y que siempre creyeron en mí.

**Mi total agradecimiento a nuestro asesor M.Sc. Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta**, quien con su experiencia y conocimiento nos ha sabido guiar en este proceso de la a materialización de la tesis en referencia y por la confianza depositada en nosotros, gracias por su apoyo, consejos y enseñanzas durante todo este proceso.

Agradezco a Dios.

**Walter Iván ABAD GARCIA**

## 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 SEMIRRÍGIDOS EN EL DISTRITO DE  
SHAPAJA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

De los alumnos: **TORRES BRANDAN MARTHA MERCEDES Y ABAD GARCÍA  
WALTER IVÁN**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó  
satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje  
de **15% de plagio**.

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

San Juan, 18 de setiembre del 2020.



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

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** UCP\_INGENIERIACIVIL\_2020\_T\_IVANABAD\_MARTHATORRES\_V1.pdf  
(D79258831)  
**Submitted:** 9/16/2020 5:49:00 PM  
**Submitted By:** revision.antiplagio@ucp.edu.pe  
**Significance:** 15 %

### Sources included in the report:

11-04-20 Vilchez Olivera - TESIS.pdf (D68129501)  
845 - sheneh alejos, jaimé pablo.pdf (D33814624)  
ZUÑIGA-CHEPE-INVESTIGACIONII-ICIVIL2018IUSS-.docx (D40559848)  
3158-Inga Valdivia, Salvador.pdf (D78309123)  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)  
[https://giovecorp.com/pdf/4\\_ME\\_Pautas\\_de\\_Pavimentacion\\_Alternativa.pdf](https://giovecorp.com/pdf/4_ME_Pautas_de_Pavimentacion_Alternativa.pdf)  
<https://docplayer.es/158924939-Facultad-de-ingenieria.html>

### Instances where selected sources appear:

65

“Año de la Universalización de la Salud”  
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

Con Resolución Decanal N° 177-2020-UCP-FCEI del 10 de julio de 2020, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- |                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| • Ing. Caleb Ríos Vargas, M. Sc.     | Presidente |
| • Ing. Joel Padilla Maldonado, M.Sc. | Miembro    |
| • Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo.   | Miembro    |

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

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 18:30 horas del día 30 de Setiembre del 2020, 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 EL DISTRITO DE SHAPAJA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**. Presentado por los sustentantes:

**WALTER IVÁN ABAD GARCÍA y MARTHA MERCEDES TORRES  
BRANDAN**

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 30 de setiembre del 2020 a las 06.30 p.m.



---

**M.Sc. Ing. CALEB RÍOS VARGAS**


PRESIDENTE DEL JURADO



---

**M.Sc. Ing. JOEL PADILLA MALDONADO**

MIEMBRO DEL JURADO



---

**M.Sc. Ing. LUIS ARMANDO CUZCO TRIGOZO**

MIEMBRO DEL JURADO



---

**M.Sc. Ing. VÍCTOR EDUARDO SAMEMÉ ZATTA**

ASESOR

# ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	3
1.1.1. Antecedentes internacionales.....	3
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	5
1.2. BASES TEÓRICAS.....	7
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	30
CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	33
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	33
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	33
2.2.1. Problema general .....	33
2.2.2. Problemas específicos.....	33
2.3. OBJETIVOS .....	34
2.3.1. Objetivo General.....	34
2.3.2. Objetivos específicos .....	34
2.4. HIPÓTESIS .....	35
2.4.1. Hipótesis General .....	35
2.4.2. Hipótesis específicas.....	35
2.5. VARIABLES .....	35
2.5.1. Variable Independiente .....	35
2.5.2. Variable Dependiente.....	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	36
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.1. Tipo de Investigación .....	36
3.1.2. Diseño de Investigación.....	36
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	36
3.2.1. Población .....	36
3.2.2. Muestra .....	36
3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	36

3.4.	PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.	
	37	
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	38
4.1.	RESULTADOS.....	38
4.1.1.	Estudio de tráfico .....	38
4.1.2.	Estudio de la mecánica de suelos .....	40
4.1.3.	Canteras y fuentes de agua .....	46
4.1.4.	Diseño de pavimentos.....	53
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	64
4.2.1.	Diseño de pavimento flexible -método AASHTO 93 .....	65
4.2.2.	Diseño de Pavimento Rígido- método AASHTO 93 .....	81
4.2.3.	Diseño de Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto .....	89
4.3.	PRESUPUESTO.....	92
4.3.1.	Presupuesto Pavimento Flexible .....	92
4.3.2.	PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO .....	94
4.3.3.	Presupuesto de pavimento Semi – Rígido .....	96
4.4.	TIEMPO DE EJECUCIÓN.....	98
4.4.1.	Tiempo de Ejecución Pavimento flexible.....	98
4.4.2.	Tiempo de Ejecución Pavimento Rígido.....	99
4.4.3.	Tiempo de Ejecución Pavimento Semi – Rígido .....	100
4.5.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	101
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	106
5.1.	CONCLUSIONES.....	106
5.2.	RECOMENDACIONES.....	109
	CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
6.1.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
	CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111
7.1.	ANEXOS.....	111

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Sección Transversal Pavimento Flexible .....	14
Ilustración 2: Sección Transversal Pavimento Rígido.....	25
Ilustración 3: Plano ubicación de Calicatas .....	41
Ilustración 4: Monograma para Pavimento Flexible.....	65
Ilustración 5: Ecuación de diseño de Pavimento Flexible .....	66
Ilustración 6: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa .....	66
Ilustración 7: Monograma para Pavimento Flexible.....	73
Ilustración 8: Sección Pavimento Flexible.....	81
Ilustración 9: Ecuación de Diseño de Pavimento Rígido .....	81
Ilustración 10: Sección del Pavimento Rígido .....	89
Ilustración 11: catálogo de estructuras de pavimento de adoquin con base granular período de diseño 20 años .....	90
Ilustración 12: Sección Pavimento Semi-rígido.....	91
Ilustración 13: Programación de Obra Pavimento Flexible .....	98
Ilustración 14: Programación de Obra Pavimento Rígido.....	99
Ilustración 15: Programación de Obra Pavimento Semi-Rígido.....	100
Ilustración 16: Comparación de Costos .....	104
Ilustración 17: Comparación de Plazos de Ejecución.....	105

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categoría de Sub rasante .....	28
Tabla 2: Clasificación vehicular de IMD .....	39
Tabla 3: Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos- Calicatas C-1 al C-2 .....	41
Tabla 4: Características de Sub-rasante Jr. Huallaga C-10 .....	43
Tabla 5: Agresividad del suelo Jr. Huallaga C-10 .....	43
Tabla 6: Característica de la sub-rasante Jr. San Juan C-02 .....	44
Tabla 7: Agresividad del suelo Jr. San Juan C-02 .....	44
Tabla 8: CBR de la Subrasante .....	46
Tabla 9: Ensayos de Laboratorio de Canteras .....	47
Tabla 10: Cantera Tramo Shapaja-Chazuta - Ligante .....	48
Tabla 11: Característica Cantera Río Huallaga – Hormigón Arena .....	49
Tabla 12: Diseño de Mezcla para sub base y base granular .....	50
Tabla 13: Granulometría y Clasificación de material de Cantera .....	51
Tabla 14: Característica del agua a usar .....	52
Tabla 15: Conteo Vehicular .....	54
Tabla 16: Factores de Crecimiento Acumulado (Fca) para el cálculo de Número de Repeticiones de EE .....	55
Tabla 17: Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño .....	57
Tabla 18: Configuración de Ejes .....	58
Tabla 19: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos .....	59
Tabla 20: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Pavimentos Rígidos .....	59
Tabla 21: Factor Camión C2 y C3 para Pavimentos .....	60
Tabla 22: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para ejes Equivalentes (EE) .....	61
Tabla 23: EE día-carril para Pavimento Flexible y Semirrígido .....	62
Tabla 24: EE día-carril para Pavimento Rígido .....	63
Tabla 25: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible y Semirrígido .....	63
Tabla 26: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido ....	63
Tabla 27: Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño Para Pavimentos Flexibles, Semirrígidos y Rígidos .....	64
Tabla 28: Nivel de confiabilidad, según ASHTO .....	67
Tabla 29: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico .....	68
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 .....	69
Tabla 31: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) Según Rango de Tráfico .....	70
Tabla 32: Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico .....	71
Tabla 33: Diferencial de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI) Según Rango de Tráfico .....	72

Tabla 34: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular .....	74
Tabla 35: Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a1 .....	75
Tabla 36: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje MI .....	77
Tabla 37: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular .....	78
Tabla 38: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente .....	79
Tabla 39: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante .....	82
Tabla 40: Módulo de Elasticidad (Ec) .....	83
Tabla 41: <i>Valores Recomendados de Resistencia del Concreto</i> .....	84
Tabla 42: Módulo de Rotura del C <sup>o</sup> (S'c) .....	84
Tabla 43: Coeficiente de Transferencia de Carga (J) .....	85
Tabla 44: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares .....	85
Tabla 45: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) .....	86
Tabla 46: Valores recomendados de Espesores Mínimos .....	89
Tabla 47: Características de la vía con Pavimento Flexible .....	92
Tabla 48: Características de la vía con Pavimento Rígido .....	94
Tabla 49: Características de la vía con Pavimento Semi-Rígido .....	96
Tabla 50: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn .....	101
Tabla 51: Resumen Características del Sub-rasante .....	101
Tabla 52: Cuadro Comparativo entre Pavimentos .....	102
Tabla 53: Secciones Transversales de los tres Tipos de Pavimentos .....	103
Tabla 54: Cuadro Comparativo Técnico – Económico .....	104
Tabla 55: Cuadro Comparativo Financiero .....	106
Tabla 56: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución .....	107
Tabla 57: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos ...	107
Tabla 58: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero .....	108

# RESUMEN

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

Dentro de las conclusiones se indican lo siguiente:

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

El pavimento semirrígido, es el más económico con un costo directo por m<sup>2</sup> de S/ 129.83 soles, seguido del pavimento flexible con S/ 130.10 soles y del pavimento rígido con S/ 141.63.

Asimismo, en el tiempo de ejecución, el pavimento flexible se ejecuta en 20 días, mientras que el pavimento semirrígido en 25 días y el pavimento rígido en 35 días.

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

## **ABSTRACT**

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

The conclusions include the following:

Making the comparative cost-execution time analysis, we conclude that the optimal design for the paving of Jr. Huallaga Cuadra. 10 and Jr. San Juan Cuadra. 02 of the Shapaja district, is the Semi-rigid Pavement, as it has a lower cost of 8.33% compared to the rigid pavement, and a lower cost of 0.2% compared to the flexible pavement, depending on the execution time the flexible pavement is executed 20% more faster than semi-rigid pavement and 42.86% faster than rigid pavement.

The semi-rigid pavement is the cheapest with a direct cost per m<sup>2</sup> of S / 129.83 soles, followed by the flexible pavement with S / 130.10 soles and the rigid pavement with S / 141.63.

Likewise, in the execution time, the flexible pavement is executed in 20 days, while the semi-rigid pavement in 25 days and the rigid pavement in 35 days.

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

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

### 1.1.1. Antecedentes internacionales

**Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos una Tesis, del autor: Bruno Milton Burgos Vásquez, titulada “Elaboración de expediente técnico proyecto: “Análisis Comparativo Entre Un Pavimento Rígido Y Un Pavimento Flexible Para La Ruta S/R: Santa Elvira – El Arenal, En La Comuna De Valdivia, 2014” de la Universidad Austral de Chile, que llegan a las siguientes conclusiones:**

- Se logró establecer un análisis de costo del pavimento rígido y del flexible del tramo de 100 metros, perteneciente a la ruta que une Santa Elvira con El Arenal, donde se concluye que para el pavimento asfáltico se gastaran aproximadamente \$16.96.675, mientras que para el pavimento de hormigón tendrá un costo de \$21.631.695, por ende, el pavimento flexible es casi un 40% más rentable que el pavimento de hormigón.
- Según el estudio y análisis realizado y basándose en los resultados obtenidos se puede especificar, que para el tramo que une Santa Elvira y El Arenal ubicado en Valdivia en la Región de los Ríos, se elegirá construir un pavimento flexible, el cual es económicamente más rentable en lo que se refiere a inversión inicial, y que cumple satisfactoriamente con las condiciones de diseño, en comparación con el pavimento rígido que presenta una conservación más económica pero de un costo de implementación muy por encima del pavimento flexible.

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:

- 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.

### 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:

**Conclusión 1:** En relación al objetivo específico 1 “OE1: Determinar la deformación vertical optima 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, donde, la lectura máxima en ambos carriles fue de 68mm de deflexión.

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

- **Resistencia a la compresión:** según lo expuesto en las, los moldes de concreto  $F'C = 280 \text{ Kg/cm}^2$  supera el 100% (% resistencia mínima según norma a 28 días) a los 14 días de rotura. Sin embargo, se puede decir lo mismo para los moldes de concreto  $F'C = 280 \text{ Kg/cm}^2$  de 28 días, va aumentando su resistencia, pero está dentro de lo estipulado en la norma, en el cual, menciona que para los 28 días de rotura debe tener una resistencia de 100% a la compresión.

## 1.2. BASES TEÓRICAS

### 1.2.1. Pavimentos

Los pavimentos son estructuras que consisten en capas superpuestas de materiales procesados por encima del terreno natural con la finalidad de mejorar y distribuir las cargas aplicadas por un vehículo a la subrasante.

La estructura del pavimento debería ser capaz de proveer:

- Una calidad de manejo aceptable.
- Una adecuada resistencia al peso que soportan los neumáticos de los diferentes vehículos, deslizamiento y agrietamiento
- Apropriados niveles de reflejo de luz, y un nivel bajo de ruido.
- El objetivo final de la estructura es transmitir las cargas de los neumáticos de tal manera que no se sobrepase la capacidad portante de la subrasante.

Existen 3 tipos de pavimentos:

- Pavimento Flexible.
- Pavimento Rígido.
- Pavimento Semirrígido.

## 1.2.2. Tipos de Pavimentos.

### 1.2.2.1. Pavimento Flexible

Los pavimentos flexibles distribuyen los esfuerzos aplicados en áreas pequeñas debido a su menor rigidez, por lo que tienden a deformarse y a recuperar su condición una vez que la carga es retirada. Este tipo de pavimentos están compuestos por una capa de rodamiento bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base.

### 1.2.2.2. Pavimento Rígido

Los pavimentos rígidos se caracterizan por poseer un alto módulo de elasticidad, que permite que los esfuerzos transmitidos se reduzcan y se distribuya en un área extensa, provocando deflexiones pequeñas. Son aquellos cuya capa de rodadura consiste en una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre una capa de base o su-base.

Debido a lo anterior este tipo de pavimento presenta un desempeño satisfactorio, incluso en condiciones de baja capacidad soporte de las capas subyacentes.

#### 1.2.2.2.1. Elementos que Integran un Pavimento Rígido.

- **Sub-rasante**

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.

- **Sub-base.**

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 sub-base. 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.

- **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.

### **1.2.2.3. Pavimento Semirrígido.**

Este tipo de pavimentos se refiere principalmente a aquellos que poseen una superficie de rodamiento compuesta por adoquines. Los adoquines se caracterizan por poseer una alta resistencia y desarrollar una transmisión de cargas entre las distintas unidades, gracias a la trabazón entre los bloques. Este sistema por tanto posee una alta capacidad estructural aportada principalmente por los adoquines.

### **1.2.3. Evaluación de los Pavimentos.**

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

La evaluación de pavimentos consiste en presentar un informe de investigación, de dar como resultado cuál de los tres tipos de pavimentos es el más apropiado en dar como prioridad en la construcción de diferentes calles del distrito de Shapaja.

### **1.2.4. Importancia de la Evaluación del Tiempo y Costo de los Tres Tipos de Pavimentos.**

La evaluación de los diversos tipos pavimentos es importante, pues permitirá conocer el Tiempo y el Costo que se emplea en el proceso constructivo de las diferentes calles, Jirones, Avenidas, etc.

De esta manera se realizará la evaluación del Tiempo en su proceso constructivo en el cual los resultados que obtenemos de la investigación de los tres tipos de pavimentos logrando así una repuesta más apropiada en elegir uno de los tres pavimentos a la hora de realizar un determinado proyecto.

La evaluación del Costo en su proceso constructivo de los diversos tipos de pavimentos, también permitirá optimizar el presupuesto y

lograr así de esta manera una información actualizada con la realidad, tanto, así como en los precios de los diferentes insumos que se utilizan en la construcción de uno de los tres tipos de pavimentos.

#### **1.2.5. Objetividad en la Evaluación de los Tres Tipos Pavimentos.**

La objetividad en la evaluación de los tipos de pavimentos juega un papel primordial, pues se necesita tener el conocimiento y una experiencia de cómo es el proceso constructivo de cada tipo de pavimento con el fin de desarrollar un informe, de no ser así, dicho informe pueden perder credibilidad del resultado primordial del Tiempo y Costo del proceso constructivo y no podrán ser comparadas los tres tipos de pavimentos, además, será muy importante en escoger un modelo de evaluación que se encuentre estandarizado para poder decir que se ha realizado una evaluación verdaderamente objetiva y sustentada.

#### **1.2.6. Por el Servicio que Brindará Cada Pavimento**

El servicio que brindara cada pavimento (rígido, flexible y semirrígido), es la percepción que tenemos todos como usuarios tanto peatonales como conductores que transitamos todos haciendo el uso diario del servicio del pavimento.

Es por ello que la opinión de todos (transportistas y peatones) es la que debe ser tomada como una información importante para calificar y evaluar, que es un dato más para la elección del tipo de pavimento que se estará diseñando, por el tipo de servicio que estará prestando el pavimento a la hora de trasladarnos de un lugar a otro.

### 1.2.7. Estudios Previos para la Elaboración de un Expediente según el Tipo de Pavimentación.

#### a) **Estudio de impacto ambiental:**

Tiene como objetivo identificar, prevenir y mitigar los posibles impactos ambientales negativos que se originaran como resultado del desarrollo de las diferentes actividades en cada una de las etapas que se desarrollaran durante la construcción del pavimento.

El estudio en su primera parte presenta los Datos Generales del Proyecto, que permiten conocer los trabajos a realizarse durante el proceso constructivo de la obra, el Diagnostico Ambiental incluye aspectos físicos y biológicos, con información climatológica y el medio ambiente como también un cambio físico de las de toda el área que estará afectada durante la construcción del pavimento.

El estudio de impacto ambiental tiene como objetivo identificar y plantear soluciones a los problemas ambientales que se presentan en los trabajos de campo, para ocasionar el menor daño posible al medio ambiente, brindando la seguridad en el tránsito para los usuarios que transitan por la vía.

La construcción de pavimentaciones ocasionara alteraciones ambientales, que serán necesarios evitar o mitigar para no afectar los recursos, físicos, biológicos, socioeconómicos y cultural del distrito de Shapaja.

También se debe de procurar de producir el menor impacto ambiental durante la construcción, sobre los suelos, cursos de agua, calidad de aire, organismos vivos, en zonas urbanas y sobre todo en los asentamientos humanos.

**b) Estudios topográficos:**

Se debe de realizar el levantamiento topográfico mediante una poligonal abierta, estacando el Eje cada 20.0 metros en tramos de tangente y cada 10.0 metros en tramos de curva.

Si la topografía es plana entonces presenta una Geomorfología continua, se ubica en la unidad geomorfológica denominada planicies costeras, que se caracteriza por tener relieves planos y constantes.

**c) Estudio de los recursos naturales e industriales de la zona:**

Se debe de tener en cuenta del crecimiento de la población futura del Distrito de Shapaja, como también el índice del tránsito actual y futuro, y sobre todo de ser mitigable el proyecto hacia la población para su desarrollo.

**d) Estudios de construcción:**

Aquí es donde se evaluará acerca de los materiales, equipos y maquinaria que se utilizaran en los tres tipos de pavimentos, sobre todo analizaremos de cada una de sus partidas de los tres proyectos.

**e) Estudio Hidráulicos:**

En las zonas urbanas, que cuenta con redes de agua y alcantarillado, así como sus respectivas conexiones domiciliarias.

El río más cercano de la zona se denomina “río Huallaga”.

**f) Estudio de Mecánica de Suelos:**

Se debe de contar con un laboratorio de suelos de la más confiable posible, puesto que este procesara todos los datos y entregando así su informe o resultados de cada muestra, espécimen, testigos, que los resultados se obtendrán en el laboratorio todos los datos y sin adulterar.

## 1.2.8. Fases del Proceso Constructivo del Pavimento Urbano

### 1.2.8.1. Pavimento flexible

Ilustración 1: Sección Transversal Pavimento Flexible



Fuente: Cámara Nacional del Cemento

#### 1.2.8.1.1. Perfilado y compactación de sub rasante

Esta partida consiste en perfilar, refinar, regar y compactar la superficie de la sub-rasante sin añadir material adicional para mantenerla en condiciones adecuadas, mediante las actividades señaladas para eliminar las elevaciones formadas por el sentido transversal al eje de la vía y conformación de una pendiente uniforme.

##### **Procedimiento:**

- Colocar señales de seguridad
- Perfilar, refinar, regar y compactar al material superficial desde el borde hacia el eje de la vía, con moto niveladora, cisterna y rodillo respectivamente.
- Efectuar pasadas adicionales esparciendo el material suelto llenando las depresiones de la plataforma a fin de obtener un bombeo adecuado y finalmente reconformar.
- La compactación in-situ se realizará con rodillo liso vibratorio al 100% del Proctor modificado y se efectuarán periódicamente los ensayos respectivos.

- Retirar señales y elementos de seguridad.

#### **1.2.8.1.2. Sub base**

Esta partida considera en la colocación del material sobre el nivel de la sub-rasante, y debe de estar debidamente preparada y calificada por el laboratorio de suelos, los materiales zarandeados compuestos por piedra fracturada natural con un porcentaje adecuado de finos procedentes de canteras seleccionadas y en conformidad con los alineamientos, cotas, niveles y secciones transversales indicadas en los planos.

#### **Materiales:**

- La sub base será granular, es decir gravas o gravas arenosas conformadas por partículas duras y durables con un tamaño máximo de 1 ½ “, debe estar libre de materiales orgánicos, terrones o bolas de tierra.

#### **Procedimiento:**

- Colocar señales de seguridad.
- Se transporta, se extiende y compacta el material.
- Hacer el control topográfico colocando los niveles respectivos.
- Perfilar, refinar, regar y compactar al material superficial, desde el borde hacia el eje de la vía, con moto niveladora, cisterna y rodillo respectivamente.
- Efectuar varias pasadas adicionales esparciendo el material suelto llenando de a poco hasta el nivel indicado siempre con la verificación del topógrafo hasta llegar a la plataforma a fin de obtener un bombeo o un pendiente adecuado que según el expediente lo indica.

- La compactación será realizada cuando el material presente una humedad adecuada, hasta alcanzar una densidad no menor del 100% de la densidad máxima obtenida por el método del Proctor Modificado, empleando el equipo adecuado. Se efectuará periódicamente los ensayos respectivos.
- Retirar señales y elementos de seguridad.

#### **1.2.8.1.3. Base**

Esta partida consiste en colocar, extender, batir y compactar las capas de materiales compuestos por grava o piedra fracturada en forma natural y finos, sobre la sub-base debidamente preparada, en conformidad con los alineamientos, niveles y secciones transversales típicas indicadas en los planos.

##### **Procedimiento:**

- Extendido de material de Base granular.
- El material de base será colocado sobre la capa de sub-base o sub-rasante debidamente preparada y será compactada en capas no mayores de 35 cm. O según lo que indica el expediente técnico.
- El material será extendido en una capa uniforme por medio de una moto niveladora, de tal forma que forme una capa suelta, de mayor espesor que el que debe tener la capa compactada.
- Batido de material de Base granular (mezcla).
- Para la conformación de la base, se batirá todo el material por medio de una cuchilla que tiene la moto niveladora en toda la profundidad de la capa, llevándolo en forma alternada hacia el centro y los bordes de la calzada.
- Escarificado (acción de rastrillar) de material de base granular.

- El escarificado del material se deberá de realizar para poder uniformizar con el riego de agua que se le aplicará y poder tener una humedad homogénea todo el material colocado en la calzada.
- Conformación de material de base granular.
- Una vez concluida la distribución y el emparejamiento del material, cada capa de base deberá ser compactada en su ancho total por medio de rodillos lisos vibratorios con un peso mínimo de 10 toneladas.
- Humectación de material de Base granular.
- El agua que se utilizará en el proceso de compactación deberá estar limpia de impurezas.
- Compactación de material de base granular.
- Una vez concluida la distribución y el emparejamiento del material, cada capa de base deberá ser compactada en su ancho total por medio de rodillos lisos vibratorios con un peso mínimo de 10 toneladas. Dicha rodillada deberá progresar en forma gradual desde los bordes hacia el centro, en sentido paralelo al eje de la vía y continuará de este modo hasta que toda la superficie haya recibido este tratamiento. Cualquier irregularidad o depresión que surja durante la compactación, deberá corregirse aflojando el material en esos lugares, agregando o quitando material hasta que la superficie resulte lisa y uniforme.
- Terminación del material de base granular.
- El material será tratado con moto niveladora y rodillo hasta que se haya obtenido una superficie lisa y uniforme. La cantidad de cilindrado y apisonado arriba indicada se considerará la mínima necesaria para obtener una compactación adecuada. En caso de no alcanzar el porcentaje de compactación exigido, deberá

completar un cilindrado o apisonado adicional en la cantidad que fuese necesaria para obtener la densidad señalada por el método ASTM D-1556.

#### **1.2.8.1.4. Imprimación asfáltica con MC**

Consiste en la aplicación de un material asfáltico, en forma de película, sobre la superficie de la sub-rasante o de un material granular no tratado (sub-base o grava de río), o sobre una base granular no tratada (piedra chancada, grava triturada).

- Un riego de imprimación recubre y liga las partículas minerales sueltas en la superficie de la base, endurece o refuerza la superficie de la base, impermeabiliza la superficie de la base saturando los vacíos capilares o interconectados, provee adhesión entre la base y la mezcla asfáltica.

**Funciones:** Esta aplicación puede perseguir uno o más de los propósitos siguientes:

- Impermeabilizar la superficie
- Cerrar los espacios capilares
- Revertir y pegar sobre la superficie las partículas sueltas
- Endurecer la superficie
- Facilitar el mantenimiento
- Promover la adherencia entre la superficie sobre la cual se coloca y la primera capa de mezcla asfáltica sobre ella colocada siendo la más importante es la de promover la adherencia entre las capas.

#### **1.2.8.1.5. Algunas aclaraciones del diseño constructivo en pavimentos:**

##### **a) Capacidad estructural**

El Riego de Imprimación, en ningún caso aporta poder estructural a las capas del pavimento.

##### **b) Tipo y cantidad de material aplicado**

El tipo y cantidad de material asfáltico a aplicar depende principalmente de la textura y porosidad del material sobre el cual es aplicado.

Las especificaciones indican una cantidad que varía entre 0.90 y 2.7 lt/m<sup>2</sup>. O según lo que indica el expediente de la obra.

Lógicamente las superficies más densas y cerradas necesitarán menor cantidad de aplicación, pues absorberán menos cantidad que las superficies gruesas y abiertas.

##### **c) La cantidad de riego de imprimación será:**

De todos estos materiales, los más recomendados son los MC-30 y MC-70.

La cantidad exacta, dentro del rango indicado para cada tipo de material debe ser mayor que aquella que pueda ser totalmente absorbida en un lapso de 24 horas.

##### **d) Mantenimiento y apertura al tráfico**

El Área Imprimada será cerrada al tráfico entre 24 y 48 horas para que el producto bituminoso penetre y se endurezca superficialmente.

El exceso de material bituminoso que forme charcos, será retirado con escobas y trabajo manual.

El área imprimada debe airearse, sin ser arenada por un término de 24 horas. Si el clima es frío o si el material de imprimación no ha penetrado completamente en la superficie de la base, un período más largo de tiempo podrá ser necesario. Cualquier exceso de material bituminoso que quede en la superficie después de tal lapso debe ser retirado usando arena, u otro material aprobado que lo absorba, antes de que se reanude el tráfico.

Se deberá conservar satisfactoriamente la superficie imprimada hasta que la capa de superficie sea colocada. La labor de conservación debe incluir, el extender cualquier cantidad adicional de arena u otro material aprobado necesario para evitar la adherencia de la capa de imprimación a las llantas de los vehículos y parchar las roturas de la superficie imprimada con mezcla bituminosa. En otras palabras, cualquier área de superficie imprimada que resulte dañada por el tráfico de vehículos o por otra causa, deberá ser reparada antes de que la capa superficial sea colocada.

#### **e) Condiciones meteorológicas.**

No se podrá imprimir cuando existan condiciones de lluvia.

La Capa de Imprimación debe ser aplicada solamente cuando la temperatura atmosférica a la sombra esté por encima de los 10° C, y la superficie del camino esté razonablemente seca.

#### **1.2.8.1.6. Carpeta asfáltica en caliente de 2" de espesor**

Esta partida consistirá en la colocación de una capa de superficie de rodadura compuerta de una mezcla compacta de agregado mineral y material asfáltico, construida sobre una base debidamente compactada e imprimada.

La capa de rodamiento será un pavimento flexible, consistente en una carpeta con mezclas bituminosas en caliente preparada con cemento asfáltico de 2" de espesor.

### **Diseño de mezcla**

La mezcla de agregados y cemento asfáltico requiere de un diseño de laboratorio. La dosificación o fórmula de la mezcla de concreto asfáltico, así como los regímenes de temperatura de mezclado y de colocación que se pretende utilizar serán presentados a la supervisión con cantidades y porcentajes definidos y únicos.

### **Materiales**

#### Agregados:

La característica de los agregados es muy importante para lograr buenas propiedades y una performance en cualquier mezcla asfáltica.

La combinación de arena gruesa con piedra chancada de ½ " deberá cumplir con las especificaciones del diseño respectivo.

La compatibilidad del agregado con el cemento asfáltico es importante. La composición mineral del agregado puede tener una significativa influencia en la performance de la mezcla.

Agregado grueso, consistirá de fragmentos durables de piedra triturada limpia y de calidad uniforme, debe estar libre de materia orgánica u otra sustancia que se encuentra libre o adherida al agregado.

Los agregados gruesos estarán constituidos por piedra grava machacada y eventualmente por materiales que se presenten en estado fracturado o muy anguloso, con textura superficial rugosa. Quedarán retenidos en la malla N 8°, es decir sin recubrimientos de arcilla u otros agregados de material fino.

Agregado fino, consistirá de arena que se compondrá de partículas durables que estén libres de arcilla u otra materia dañina o contaminante.

El Cemento asfáltico, El cemento asfáltico a utilizar será el tipo PEN 60-70, y reunirá los requisitos indicados en las especificaciones Standard.

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de aplicación de 175 ° C.

### **Mezcla asfáltica – preparación – colocación**

La mezcla asfáltica en caliente será producida en plantas intermitentes. La temperatura de los componentes será la adecuada para garantizar una viscosidad en el cemento asfáltico que le permite mezclarse íntimamente con el agregado combinado.

La colocación y distribución se hará por medio de una Pavimentadora autopropulsada de tipo y estados adecuados para que se garantice un esparcido de la mezcla en volumen espesor y densidad de capa uniforme. El esparcido será complementado con un acomodo y rastrillado manual cuando se compruebe irregularidades a la salida de la Pavimentadora.

La compactación de la carpeta se deberá llevar a cabo inmediatamente después de la mezcla haya sido distribuida uniformemente teniendo en cuenta que solo durante el primer rodillazo se permitirá rectificar cualquier irregularidad en el acabado.

La compactación se realizará utilizando Rodillos cilíndricos lisos en tándem y Rodillo neumático. El número de pasadas del equipo de compactación será tal que garantice el 95% de la densidad lograda en el laboratorio.

Las juntas de construcción serán perpendiculares al eje de la vía y tendrán el borde vertical. La unión de una capa nueva con una ya compactada se realizará previa impregnación de la junta con asfalto.

### **Pintado de marcas en el pavimento**

Este trabajo consiste en el pintado de marcas de tránsito sobre el área pavimentada terminada y de acuerdo con estas especificaciones y en las ubicaciones dadas y las dimensiones que muestran los planos, o sea indicadas por el ingeniero inspector.

### **Materiales**

La pintura deberá ser pintura de tráfico blanco o amarilla de acuerdo a lo que indiquen los planos o las órdenes del ingeniero inspector, adecuado para superficies pavimentadas.

### **Procedimiento**

Requisitos para la construcción; el área a ser pintada deberá estar libre de partículas sueltas. Esto puede ser realizado por escobillado u otros métodos aceptables para el ingeniero inspector. La máquina de pintar deberá ser del tipo rociador capaz de aplicar la pintura satisfactoriamente bajo presión con una alimentación uniforme a través de boquillas que rocíen directamente sobre el pavimento. Cada máquina deberá ser capaz de aplicar dos rayas separadas que sean continuas o discontinuas a la misma vez.

Cada tanque de pintura deberá estar equipado con un agitador mecánico. Cada boquilla deberá estar equipada con guías de rayas adecuadas que consistirá de mortajas metálicas o golpes de aire. Las rayas deberán de ser de 10 cm de ancho. Los elementos de raya interrumpida deberán ser de 4.50 m con intervalos de 7.5 m.

Todas las marcas sobre el pavimento serán continuas en los bordes de calzadas discontinuas en la central con pintura de tráfico color blanco en toda la longitud del tramo.

En la zona de longitud de adelantamiento prohibido en curvas horizontales y verticales, las zonas de longitud de marcas las fijara el ingeniero inspector, pintándose una línea continua con pintura de tráfico color amarilla.

Los símbolos, letras, flechas y otros elementos a pintar sobre el pavimento estarán de acuerdo a lo ordenado por el ingeniero inspector, deberá tener una apariencia bien clara, uniforme y bien terminada. Todas las marcas que no tengan una apariencia uniforme y satisfactoria durante el día o noche, deberán ser corregidas por el residente a costo del contratista.

#### **Maquinaria utilizada en obra**

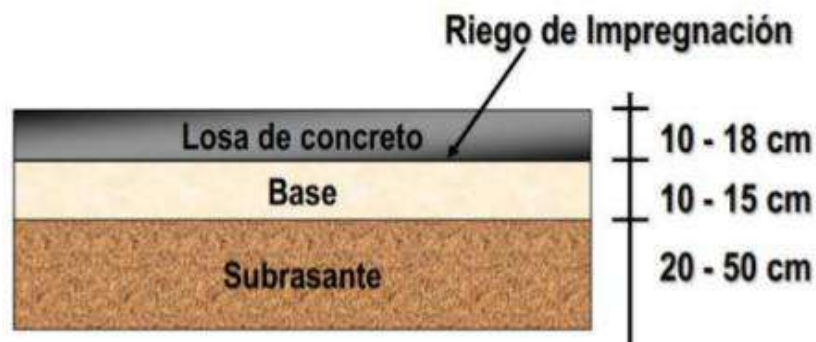
- ✓ Moto niveladora.
- ✓ Rodillo Cilíndrico Liso.
- ✓ Camión Volquete.
- ✓ Camión Cisterna.
- ✓ Cargador Frontal.
- ✓ Rodillo Neumático.
- ✓ Pavimentadora Autopropulsada.
- ✓ Cocina Imprimadora.

### 1.2.8.2. Pavimentos rígidos

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

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

Ilustración 2: Sección Transversal Pavimento Rígido



Fuente: cámara nacional del cemento

#### 1.2.8.2.1. Sub-rasante

La sub-rasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la sub-rasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la sub-rasante

brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

#### **1.2.8.2.2. Sub-base**

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

#### **Entre otras funciones que debe cumplir son:**

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

#### **1.2.8.2.3. Losa**

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

### 1.2.8.3. Pavimento semirrígido

El pavimento de adoquines de concreto tiene sus raíces en los empedrados, que posteriormente evolucionaron hacia los adoquines de piedra, de madera y de arcilla. Para finalmente con mejores tecnologías de fabricación se lograron los adoquines de concretas resistentes y duraderos con formas y texturas homogéneas, y de colores diversos. (Manual de suelos geología geotecnia y pavimentos (2014) pág. 246 – 249).

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

El método considera los siguientes factores de diseño:

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

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

- b) Tráfico expresado en ejes equivalentes:** Se describen los criterios a tener en cuenta en la determinación del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes para diseño. Para el caso de los pavimentos semirrígidos con adoquines de concreto, el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes que se recomienda aplicar, en este Manual, es hasta 15'000,000 EE en el carril de diseño y para un periodo de diseño de 20 años. No obstante, el Ingeniero Projectista podrá proponer este tipo de pavimentos con adoquines de concreto para un mayor Número de Repeticiones de EE previa justificación y sustento técnico.
- c) Características de la Subrasante:** Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento, están definidas en seis (06) categorías de subrasante, en base a su capacidad de soporte CBR.

Tabla 1: Categoría de Sub rasante

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

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

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

**d) Materiales del Pavimento:** Los materiales de la estructura de pavimento semirrígido de adoquines de concreto, son los siguientes:

- **Sub base Granular:** Es opcional incluir esta capa sobre la subrasante preparada y compactada, el Manual sólo contempla capas de base granular y de bases tratadas.
- **Base Granular**
- **Base Granular Tratada con Asfalto:** Las características del material granular corresponden a la Base Granular, indicada anteriormente, a la cual se le adiciona material asfáltico, la mezcla obtenida debe tener una estabilidad Marshall de 1,800 lb.
- **Base Granular Tratada con Cemento:** Las características del material granular corresponden a la Base Granular, indicada anteriormente, a la cual se le adiciona cemento portland, debe tener una resistencia a la compresión a los 7 días de 4.5 MPa.
- **Cama de Arena**
- **Adoquines de Concreto.**
- **Arena para sello**

### 1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Pavimento:** Es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículo.
- **Pavimento semi-rígido:** un pavimento semirrígido o 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.
- **Adoquines:** Los adoquines son piezas de concreto simple que han pasado por un proceso de vibro compactación, asegurando un tránsito más rápido, confortable, seguro, además de ser económicos y tener un mejor comportamiento ante las lluvias.

Por su belleza, estética, variedad de colores, resistencia al desgaste, facilidad de instalación y mantenimiento, los adoquines de concreto son una solución práctica para la construcción de calles, aceras, patios, jardines, etc.

- **Base:** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.
- **Sub base:** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base. Es la capa de la estructura de pavimento que impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante

y, por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.

- **Carpeta de rodadura:** La rodadura es la capa superficial del pavimento, en gran medida, la encargada de transmitir seguridad y comodidad a los usuarios.
- **Calzada o pista:** Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos, con ancho suficiente para acomodar un cierto número de carriles para el movimiento de los mismos, excluyendo los hombros laterales. (Coronado, 2002, pág. 16).
- **Sub rasante:** Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. (Coronado, 2002, pág. 18).
- **CBR:** El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.
- **Rasante:** Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía. (Montejo, 2006, Pág. 3).
- **Serviciabilidad:** Es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo: En otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción.
- **Confiabilidad:** Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará

satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño. (Montejo, 2002, pág. 263).

- **AASHTO:** Es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, subrasante, sub-bases y bases de las carreteras.
- **Terraplen:** En ingeniería civil se denomina terraplén a la tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.
- **SUCS:** El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo.

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

### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

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 en primer lugar y en la economía de la población circunscrita en el área, por lo que es una problemática muy común en las poblaciones sin estos servicios de pavimentación.

### **2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **2.2.1. Problema general**

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

- ¿Cuál es el tiempo de ejecución de un proyecto de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de Shapaja, provincia y departamento de San Martín?
- ¿Cuáles son las diferencias al comparar el pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de Shapaja, provincia y departamento de San Martín?

## **2.3. OBJETIVOS**

### **2.3.1. Objetivo General**

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

### **2.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el costo por m<sup>2</sup> de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de Shapaja, provincia y departamento de San Martín.
- Determinar el tiempo de ejecución de un proyecto de pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de Shapaja, provincia y departamento de San Martín.
- Establecer las diferencias al comparar el pavimento rígido, flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de Shapaja, provincia y departamento de San Martín.

## 2.4. HIPÓTESIS

### 2.4.1. Hipótesis General

El estudio comparativo de costo-tiempo de ejecución, entre pavimento rígido, pavimento flexible y pavimento semirrígido, permitirá conocer la mejor alternativa de pavimentación de las calles del distrito de Shapaja.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

**H<sub>0</sub>.** El costo por m<sup>2</sup> de pavimento rígido será mayor al costo de los pavimentos flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de Shapaja, provincia y departamento de San Martín.

**H<sub>i</sub>.** El tiempo de ejecución del pavimento rígido será mayor al tiempo de ejecución de los pavimentos flexible y semirrígido en la pavimentación de calles del distrito de Shapaja, provincia y 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 el distrito de Shapaja.

#### **3.2.2. Muestra**

Se tomará los Jirones San Juan C-2 y Huallaga C-10.

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

#### **3.3.1. Técnicas**

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

#### **3.3.2. Instrumentos**

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

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

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

La recopilación de los datos de campo se hará en forma manual y luego se hará un procedimiento computarizado.

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

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

### **4.1. RESULTADOS**

#### **4.1.1. Estudio de tráfico**

El estudio de Tráfico de los jirones: Huallaga cuadra 10 y San Juan cuadra 2, se ha realizado de acuerdo a las características y condiciones que se requieren para este tipo de estudio.

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

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

Para efectuar el trabajo, se realizó un recorrido de reconocimiento del tramo para establecer el lugar de la estación de conteo; para este estudio y con las características del tramo se ha considerado efectuar conteos en dos estaciones, ubicada al inicio de los tramos que es jirón Huallaga cuadra 10 y jirón San Juan cuadra 2, estos lugares son puntos estratégicos para el presente estudio de tráfico. De acuerdo a los requerimientos del estudio, se preparó un itinerario de tráfico, programando en la primera estación establecida un conteo de tráfico durante 14 horas al día por espacio de siete días consecutivos, y para la segunda estación un conteo de tráfico durante 14 horas al día por espacio de siete días. Se tomaron datos según la hora de paso, sentido y tipo de vehículos. El equipo para la ejecución de la labor de campo estuvo conformado por los tesisistas y el asesor.

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

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

#### 4.1.1.3. Ejecución del estudio de campo

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

#### 4.1.1.4. Resultados obtenidos

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

#### Clasificación vehicular de IMD

Tabla 2: Clasificación vehicular de IMD

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

Fuente: Elaboración propia

#### Composición vehicular del IMD

**Vehículos Ligero** : **87.50 %**

Autos y Camionetas : 75.00 %

Micros y Ómnibus : 12.50 %

**Vehículos Pesados** : **12.50 %**

Camión C2 : 9.37 %

Camión C3 : 3.13 %

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

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

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

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

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

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

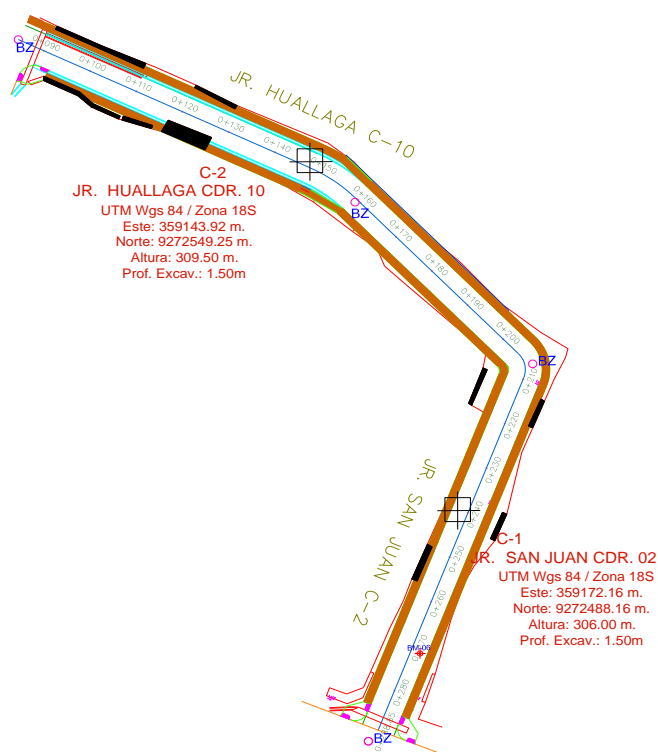
#### **4.1.1.7. Índice de tráfico para el diseño del pavimento**

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

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

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

### Ilustración 3: Plano ubicación de Calicatas



Fuente: Expediente Técnico “Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja.”

#### 4.1.2.1. Evaluación de campo y ensayos de laboratorio

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

Tabla 3: Resultados de Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos-Calicatas C-1 al C-2

Sub Rasante Natural	Cal. C-1	Cal. C-2	Und
	M-1	M-1	
% de Humedad Natural	15.39	17.42	%
Granulometría			
% pasa la malla N° 4	100.00	100.0	%
% pasa la malla N° 200	98.13	92.73	%

Límites de Consistencias			
Límite Líquido	36.40	32.45	%
4Límite Plástico	20.66	19.40	%
Índice de Plasticidad	15.74	13.06	%
Sistema de Clasificación SUCCS	CL	CL	
Sistema Clasificación AASHTO	A-6(16)	A-6(12)	
Proctor modificado			
Máxima Densidad	1.85	1.86	grs./cm3
Humedad Óptima %	15.15	13.95	%
C.B.R. al 100% de compactación	12.16	12.16	%
C.B.R. al 95% de compactación	6.91	6.91	%
Profundidad	0.20 – 1.50	0.10 – 1.50	m

*Fuente: Expediente técnico “Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja”*

Las Calicatas C-1 corresponde al Jr. San Juan cuadra 02, C-2 corresponden al Jr. Huallaga Cuadra 10.

#### **4.1.2.2. Características generales**

##### **Jr. Huallaga C-10**

Arcilla Inorgánica de consistencia dura y de color marrón con puntos blancos, con resistencia de regular a deficiente, de expansión elevada en estado saturado y de mediana plasticidad con 92.73% de finos (Que pasa la malla N° 200).

Tabla 4: Características de Sub-rasante Jr. Huallaga C-10

Característica	Valor	Interpretación
Índice de consistencia I <sub>c</sub> (C.R)	1.15	Suelo Duro
Colapsabilidad	1.41	Leve (Suelo No Colapsable)
Índice de Liquidez IL	0.000	Suelo Pre-consolidado
Índice de Compresión C <sub>c</sub>	0.202	Compresibilidad Media

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"

Tabla 5: Agresividad del suelo Jr. Huallaga C-10

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

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"

## Jr. San Juan C-2

Arcilla inorgánica de consistencia dura y de color marrón con puntos blancos, con resistencia de regular a deficiente, de expansión elevada en estado saturado y de mediana plasticidad con 98.13% de finos (Que pasa la malla N° 200), Lím. Líq.= 36.40% e Ind. Plast.= 15.74%.

Tabla 6: Característica de la sub-rasante Jr. San Juan C-02

Característica	Valor	Interpretación
Índice de consistencia Ic (C.R)	1.34	Suelo Duro
Colapsabilidad	1.34	Leve (Suelo No Colapsable)
Índice de Liquidez IL	0.000	Suelo Pre-consolidado
Índice de Compresión Cc	0.238	Compresibilidad Media

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"

Tabla 7: Agresividad del suelo Jr. San Juan C-02

AGRESIVIDAD DEL SUELO		
MUESTRA N°02 PARAMETROS	RESULTADOS UNIDADES	INTERPRETACIÓN
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 a los resultados de Agresividad del suelo se clasifica como un suelo de poca agresividad a la cimentación.</p> <p><b>No se recomienda usar:</b> Cemento Portland Tipo I (NTP: 334.009 – ASTM C 150 – 99a)</p>		

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"

### **4.1.2.3. Presencia de suelos orgánicos y expansivos**

#### **4.1.2.3.1. Suelos Orgánicos**

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

#### **4.1.2.3.2. Suelos Expansivos**

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

#### **4.1.2.4. 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 8: CBR de la Subrasante

Nº	Calicata	Profundidad	Clasificación		CBR	
			SUCS	AASHTO	95%	100%
1	C-1	0.20 – 1.50	CL	A-6(16)	6.91	12.16
2	C-2	0.10 – 1.50	CL	A-6(12)	6.91	12.16

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3. Canteras y fuentes de agua

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

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

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

##### 4.1.3.1. Metodología del estudio de canteras

Para el desarrollo de este ítem, se ha utilizado los estudios de canteras de zonas que actualmente son utilizadas en la construcción de vías asfaltadas, base, subbase, obras de concreto y

específicamente todas las obras donde intervengan agregados de calidad competente que, en nuestro proyecto, han sido identificados como lechos de ríos, los mismos que tienen una potencia de explotación renovable, ya que con cada periodo de crecidas y lluvias arrastran material y recargan las zonas explotadas.

#### 4.1.3.2. Ensayos de laboratorio

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

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

Tabla 9: 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 "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"*

#### 4.1.3.3. Descripción de canteras

Las canteras propuestas como materiales de construcción para los rellenos estructurales, sub base granular, base granular, concreto asfáltico y concreto armado son: Cantera tramo Shapaja - chazuta y la Cantera Rio Huallaga Sector Shapaja y/o Buenos Aires

Tabla 10: Cantera Tramo Shapaja-Chazuta - Ligante

<b>LIGANTE DE LA CANTERA DE CERRO NATURAL DEL KM 10+000 - TRAMO SHAPAJA - CHAZUTA Se trata de un material de cerro natural.</b>	
Ubicación	Tramo: Carretera Shapaja – Chazuta en el km 10+000
Acceso	Carretera Asfaltada hacia la cantera
Potencia	>10,000 m3
Tiempo de Explotación	Tiempo de verano
Tipo de Explotación	Maquinaria convencional
Uso	Material para Ligante
Tipo de material	Arcilla arenosa de color marrón claro.

*Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"*

Tabla 11: Característica Cantera Río Huallaga – Hormigón Arena

<b>CANTERA RÍO HUALLAGA - SECTOR: SHAPAJA Y/O BUENOS AIRES                      KM: 661+000 Se trata de un depósito fluvial sobre el Río Huallaga</b>	
Ubicación	Tramo: Carretera a FBT Sur (Localidad de Buenos Aires en el km 661 o en la misma localidad de Shapaja.)
Acceso	Carretera Asfaltada hacia la cantera
Potencia	>35,000 m3
Propietario	Propiedad privada
Uso	Hormigón zarandeado para base, subbase, relleno, mejoramiento y/o afirmado Arena natural zarandeada para concreto, asfalto.
Tipo de material	Hormigón y arena.

*Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"*

Tabla 12: Diseño de Mezcla para sub base y base granular

Propiedades de las Canteras	Material Granular: Cantera Río Huallaga- Sector: Shapaja y/o Buenos Aires Km: 661+000	Ligante: Cantera de Cerro Natural Km 10+000 – Tramo Shapaja - Chazuta	Combinación: 60% de hormigón canto rodado tamaño máximo 2”+40% de ligante de arena limosa a arcillosa	Espec.	Und.
<b>C.B.R.</b>					
C.B.R. AL 100% de compactación			88.38	40% Mín.	%
C.B.R. al 95% de compactación			63.67		%
<b>Proctor Modificada</b>					
Máxima Densidad			2.16		gr/cm3
Humedad Óptima			8.80		%
Desgaste de Abrasión			35	50% Máx.	%
Equivalente de Arena			29	25% Mín.	%
Sales Solubles en Agregados			0.08	1 Máx.	%
Peso Específico	2.65		2.65		gr/cm3
Humedad Natural	3.14	6.21	2.29		%
<b>Límites de Consistencia</b>					
Límite Líquido	NL	22.40	29.53	25% Máx.	%
Límite Plástico	NP	16.25	21.54		%
Índice de Plasticidad	ND	6.16	7.99	6% Máx.	%

Fuente: Expediente Técnico “Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja”

Tabla 13: Granulometría y Clasificación de material de Cantera

Propiedades de las Canteras	Material Granular: Cantera Río Huallaga- Sector: Shapaja y/o Buenos Aires Km: 661+000	Ligante: Cantera de Cerro Natural Km 10+000 – Tramo Shapaja - Chazuta	Combinación: 60% de hormigón canto rodado tamaño máximo 2”+40% de ligante de arena limosa a arcillosa	Espec.	Und.
<b>GRANULOMETRIA</b>				Suelo Tipo I Gradación “B” (ASTM D 1241)	
% pasa malla 2”	100.00	100.00	100.00	100-100	%
% pasa malla 1”	94.84	97.99	88.43	75-95	%
% pasa malla 3/8”	64.63	91.11	67.72	40-75	%
% pasa malla N° 04	51.55	82.26	55.03	30-60	%
% pasa malla N° 10	36.27	70.73	39.90	20-45	%
% pasa malla N° 40	14.44	50.69	27.54	15-30	%
% pasa malla N° 200	3.71	25.20	11.29	5-15	%
Sistema Clasificación AASHTO	A1-a(1)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	-	-
Sistema de Clasificación SUCCS	GP	SM-SC	GP-GC	-	-

Fuente: Expediente Técnico “Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja”

#### 4.1.3.4. Fuentes de agua

Se realizó el muestreo, extracción y transporte del agua, de la fuente Ubicada en la Quebrada del Km 10+500 – Carretera Shapaja – Chazuta, para determinar sus propiedades químicas, para su utilización como agua para la fabricación de concreto o en la mezcla para la capa de me sub base y base.

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

Recomendaciones: Se recomienda utilizar el agua de la fuente ubicada en la Quebrada del Km 10+500 – Carretera Shapaja – Chazuta, como agua para la fabricación de concreto o en la mezcla para la capa de sub base y base.

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

Tabla 14: Característica del agua a usar

Descripción del agua	Norma empleada	Resultados	Especificaciones	Observación	Observación
Materia orgánica	NTP 339.088	7.95 ppm	10 ppm	Riesgo bajo	El agua tomada ha sido ensayada de acuerdo a normas establecidas. Concluyéndose de que la
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	muestra de agua no contiene sustancias agresivas
Sólidos en suspensión	NTP 339.088	150.04 ppm	1500 ppm	Normal	
PH	NTP 339.088	8.16	> 7	Normal	

*Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"*

#### **4.1.4. Diseño de pavimentos**

##### **4.1.4.1. Caracterización climática y altitud**

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

##### **4.1.4.2. Tráfico promedio diario anual y análisis de tráfico**

###### **4.1.4.2.1. Metodología de Cálculo del Volumen Promedio Diario**

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

#### 4.1.4.3. Ejecución del estudio de campo

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

#### 4.1.4.4. Resultados obtenidos

Habiéndose realizado en gabinete la consolidación y consistencia de la información recogida de los conteos, y tomando como conteo de tráfico promedio diario el que nos dio mayor volumen, el que fue realizado en el mes de julio del 2020, se obtuvieron los resultados siguientes:

##### 4.1.4.4.1. Clasificación vehicular de IMD

Tabla 15: Conteo Vehicular

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

Fuente: Expediente Técnico "Mejoramiento de la Infraestructura Vial Urbana de las Principales Calles de la Localidad de Shapaja"

#### 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.

#### 4.1.4.4.2. 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 16: 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*

#### **4.1.4.4.3. 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 17: 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 central (para IMDa total de dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

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

#### 4.1.4.4. 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 18: 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 19: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

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

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

Tabla 20: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Pavimentos Rígidos

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

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

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

Tabla 21: Factor Camión C2 y C3 para Pavimentos

Pavimento Flexible y Semirrígido			Pavimento Rígido		
<b>CAMIÓN C2</b>			<b>CAMIÓN C2</b>		
Ejes	E1	E2	Ejes	E1	E2
Carga (tn)	7	10	Carga (tn)	7	10
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple	Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble	Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble
Factor E.E	1.265	2.212	Factor E.E	1.273	2.256
Total Factor Camión	3.477		Total Factor Camión	3.529	
<b>CAMIÓN C3</b>			<b>CAMIÓN C3</b>		
Ejes	E1	E2	Ejes	E1	E2
Carga (tn)	7	16	Carga (tn)	7	10
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Tandem	Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Tandem
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble	Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble
Factor E.E	1.265	2.261	Factor E.E	1.273	2.134
Total Factor Camión	2.256		Total Factor Camión	3.406	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4.4.5. 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 22: 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): esta referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto de Neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículos pesados.

- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el factor de ajuste igual al espesor de 50 mm.

#### 4.1.4.4.6. 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. En la Tabla N°23 se muestra este valor obtenido de multiplicar el IMDa por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, Factor Carril, Factor Vehículo Pesado y Factor de Ajuste Por Presión de Neumático obtenidos anteriormente.

Tabla 23: 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 24: 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

#### 4.1.4.4.7. Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn

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

Tabla 25: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Flexible y Semirrígido

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Número de Repeticiones de E.E de 8.2 tn para Pavimento Rígido

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

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

Tabla 27: 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 $\leq 150,000$ EE
$T_{P1}$	$> 150,000$ EE $\leq 300,000$ EE
$T_{P2}$	$> 300,000$ EE $\leq 500,000$ EE
$T_{P3}$	$> 500,000$ EE $\leq 750,000$ EE
$T_{P4}$	$> 750,000$ EE $\leq 1'000,000$ EE
$T_{P5}$	$> 1'000,000$ EE $\leq 1'500,000$ EE
$T_{P6}$	$> 1'500,000$ EE $\leq 3'000,000$ EE
$T_{P7}$	$> 3'000,000$ EE $\leq 5'000,000$ EE
$T_{P8}$	$> 5'000,000$ EE $\leq 7'500,000$ EE

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

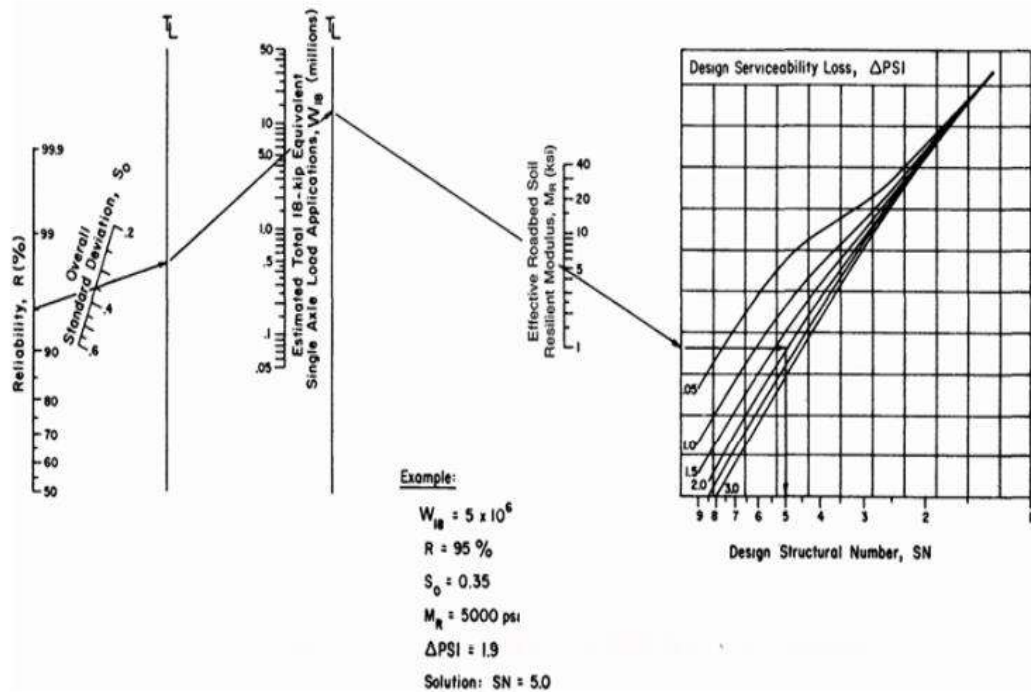
#### 4.2.1. Diseño de pavimento flexible -método AASHTO 93

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

$W_{18}=162,239.47$        $CBR=6.91$

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

Ilustración 4: 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 5: 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 6: Ecuación que relaciona al número estructural con los espesores de la capa

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

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

- Número de Repeticiones de EE de 8.2 ton (W18) De acuerdo a nuestra zona de estudio, se determinó que para el pavimento flexible el:  $W_{18}=162,239.47$
- Módulo de Resiliencia (MR).- El módulo de Resiliencia está en función a un CBR de 6.91% el cual se puede observar que pertenece a la categoría S2 (Sub rasante regular) cabe resaltar que se escogió el valor promedio de CBR.

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

Reemplazando se obtuvo:

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

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

- Nivel de Confiabilidad (%R)

Esta probabilidad está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento. En consecuencia, a mayor nivel de confiabilidad se incrementará el espesor de la estructura del pavimento a diseñar. Basándonos en la guía AASHTO, para este caso comprende una calle colectoras cuya confiabilidad varía entre 80- 95.

Tabla 28: Nivel de confiabilidad, según ASHTO

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85 – 99.9	80 – 99.9
Principal Arterials	80 – 99	75 – 95
Collectors	80 – 95	75 – 95
Local	50 – 80	50 – 80

Fuente: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structure 1993*

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

TIPO DE CAMIONES	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Camiones de Bajo Volumen de Transito	$T_{P0}$	75,000	150,000	65%
	$T_{P1}$	150,001	300,000	70%
	$T_{P2}$	300,001	500,000	75%
	$T_{P3}$	500,001	750,000	80%
	$T_{P4}$	750,001	1,000,000	80%
Resto de Camiones	$T_{P5}$	1,000,001	1,500,000	85%
	$T_{P6}$	1,500,001	3,000,000	85%
	$T_{P7}$	3,000,001	5,000,000	85%
	$T_{P8}$	5,000,001	7,500,000	90%
	$T_{P9}$	7,500,001	10'000,000	90%
	$T_{P10}$	10'000,001	12'500,000	90%
	$T_{P11}$	12'500,001	15'000,000	90%
	$T_{P12}$	15'000,001	20'000,000	95%
	$T_{P13}$	20'000.001	25'000,000	95%
	$T_{P14}$	25'000,001	30'000,000	95%
	$T_{P15}$	>30'000,000		95%

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

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

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

$$Z_r = -0.524$$

Tabla 30: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z<sub>R</sub>) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONES	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL (Z <sub>R</sub> )
Camiones de Bajo Volumen de Transito	T <sub>P0</sub>	75,000	150,000	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Camiones	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T <sub>P13</sub>	20'000.001	25'000,000	-1.645
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		-1.645

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

- Desviación Estándar Combinada (S<sub>o</sub>)  
La Guía AASTHO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S<sub>o</sub> comprendidos entre 0.40 y 0.50. En la etapa de diseño del pavimento flexible se recomienda el valor de:

$$S_o = 0.45$$

- Índice de Serviciabilidad (ΔPSI) Con ayuda del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección

Suelos y Pavimentos”, nos proporciona un valor más exacto con relación al Rango de Tráfico en el cual le estimamos un valor de:

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

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

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

Tabla 31: Índice de Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ ) Según Rango de Tráfico

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

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

Tabla 32: Índice de Serviabilidad Final (Pt) Según Rango de Tráfico

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

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

Tabla 33: Diferencial de Serviciabilidad ( $\Delta$  PSI) Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONES	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

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{\frac{1094}{0.4 + (SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Datos:

$W_{18}=162,239.47$

$R = 70\%$

$$Z_r = -0.524$$

$$S_o = 0.45$$

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

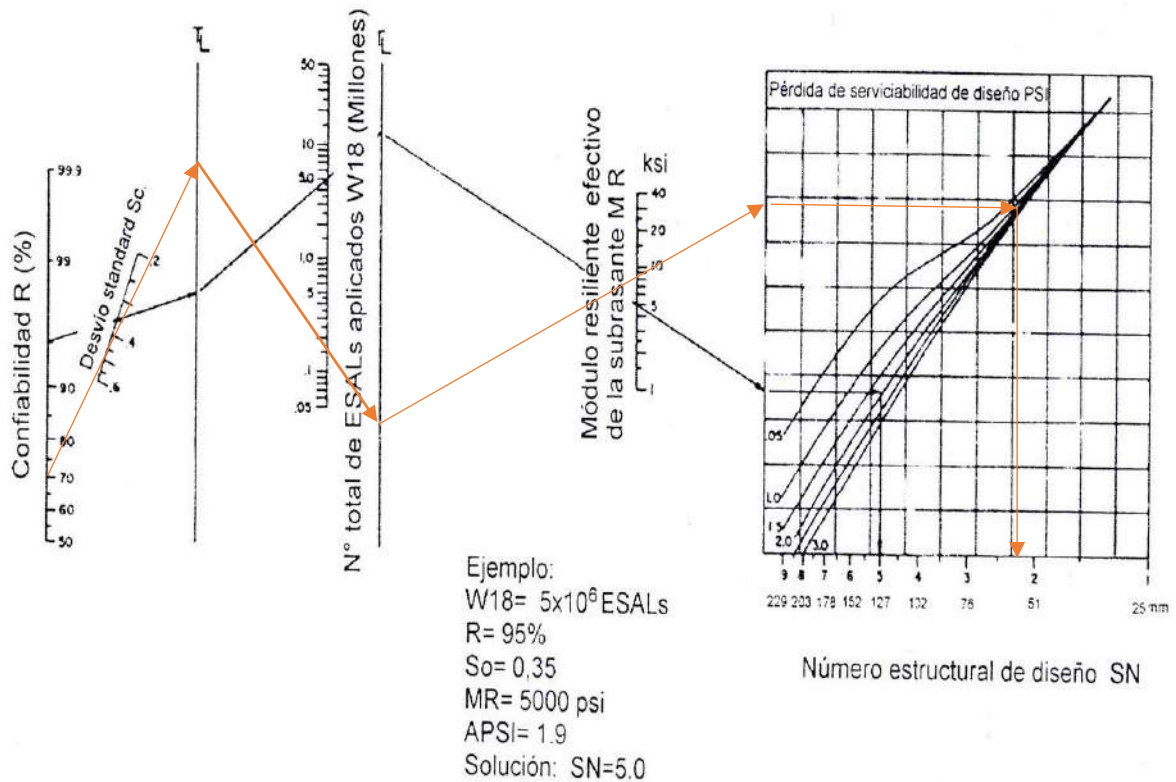
$$\Delta\text{PSI} = 1.80$$

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

$$SN = 2.12$$

- Con uso de Nomograma

Ilustración 7: Monograma para Pavimento Flexible



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

Tabla 34: Catálogo de números estructurales (sn) requeridos por tipo de tráfico y de sub rasante, Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular

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

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

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

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

Coeficientes Estructurales de las Capas de Pavimentación Basados en lo señalado según la norma: Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 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 35: 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>			
Sub base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	$a_3$	0.047 / cm	Capa de Sub base 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 36: 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 37: 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 Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	$T_{P3}$	500,001	750,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	$T_{P4}$	750 001	1,000,000	Micropavimento: 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 38: Catálogo de estructuras de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente  
Período de diseño 20 años

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

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



Carpeta Asfáltica en Caliente  
(CAC)



Base Granular



Subbase granular

Nota:

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

Para los espesores se planteó 3 Alternativas

**Alternativa 1: 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: 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: h1=6cm, h2=28cm, h3=0**

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

$$2.47 = 2.476$$

### Ilustración 8: 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 sub-base 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 9: 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.

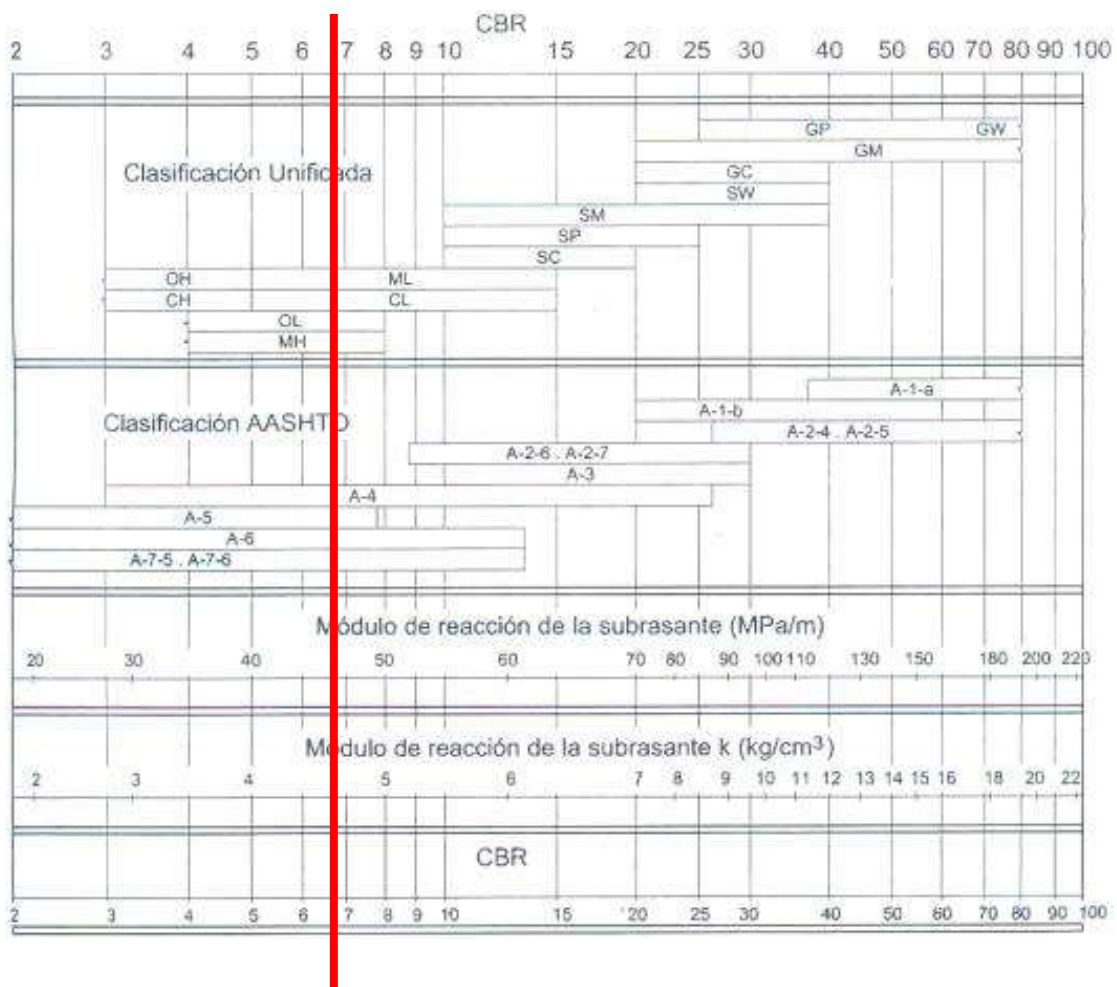
No obstante, se utilizará la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción  $K_c$  en función de la clasificación de suelos y el CBR.

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

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

$$K_c(PSI) = 169.83$$

Tabla 39: 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 40: Módulo de Elasticidad ( $E_c$ )

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 41: 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 42: Módulo de Rotura del C° (S'c)

Ecuación = 3.18 * (f'c)^0.5		
Resistencia a la compresión del C° (f'c)	Módulo de Rotura del C°	
	Kg/cm2	Lbs/pulg2 (psi)
f'c = 210 kg/cm <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 43: 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 44: Coeficientes de Drenaje de las Capas Granulares

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

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

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

$$cd = 1.00$$

#### 4.2.2.6. Perdida de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)

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

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

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

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

$$\Delta PSI = 2.10$$

Tabla 45: Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)  
Índice de Serviciabilidad Final o Terminal (Pt)  
Diferencial de Serviciabilidad Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMIONS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (PI)	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (PT)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD ( $\Delta$ 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 70 %, por lo tanto,  $Z_r = -0.524$

$$R = 70\%$$

$$Z_r = -0.524$$

#### 4.2.2.8. Desviación Estándar Total (So)

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

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

$$S_o = 0.35$$

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

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

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

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

##### De Forma Analítica

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

Datos:

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

Resolviendo la Ecuación:

Primer miembro = Segundo miembro

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

$$5.23 = 5.23$$

Por la iteración, el Espesor de la Losa es:

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

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 10: 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 46: 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 11: 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:

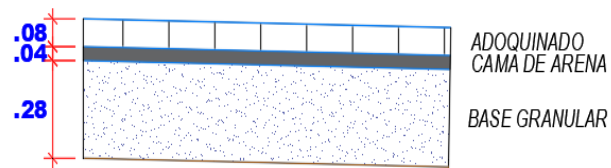
- (\*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
- EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y período de diseño.

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 12: Sección Pavimento Semi-rigido



Fuente: Elaboración propia

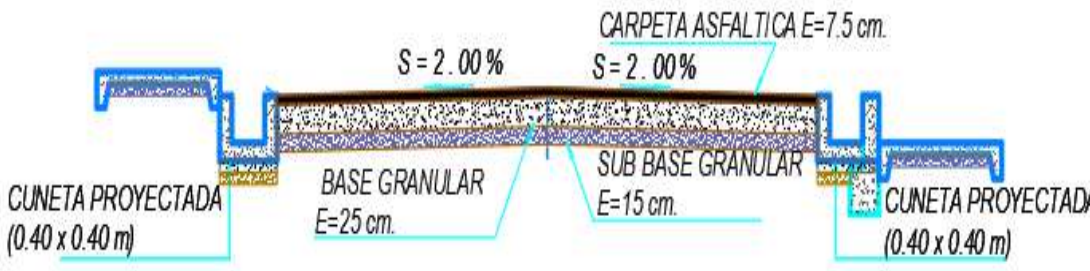
### 4.3. PRESUPUESTO

#### 4.3.1. Presupuesto Pavimento Flexible

Tabla 47: Características de la vía con Pavimento Flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE	
<b>Longitud</b>	Cantidad
Jr. Huallaga	118m
Jr. San Juan	80.85m
<b>Total</b>	198.85m
<b>Ancho de Vía</b>	Cantidad
Jr. Huallaga	7.20 m
Jr. San Juan	7.20 m

Sección	
	

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.1.1. Presupuesto Pavimento Flexible

Presupuesto 0201002 EVALUACION DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRÍGIDOS EN EL DISTRITO DE SHAPAJA"  
 Subpresupuesto 001 PAVIMENTO FLEXIBLE  
 Cliente TORRES BRANDAN, MARTHA MERCEDES, ABAD GARCIA, WALTER IVAN Costo al 18/07/2020  
 Lugar SAN MARTIN - SAN MARTIN - SHAPAJA

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

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

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2. PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 48: Características de la vía con Pavimento Rígido

PAVIMENTO RIGIDO	
<b>Longitud</b>	Cantidad
Jr. Huallaga	118m
Jr. San Juan	80.85m
<b>Total</b>	198.85m
<b>Ancho de Vía</b>	Cantidad
Jr. Huallaga	7.20 m
Jr. San Juan	7.20 m
Sección	

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2.1. Presupuesto con Pavimento Rígido

Presupuesto 0201002 EVALUACION DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS," FLEXIBLES Y SEMIRÍGIDOS EN EL DISTRITO DE SHAPAJA"  
 Subpresupuesto 002 PAVIMENTO RÍGIDO  
 Cliente TORRES BRANDAN, MARTHA MERCEDES, ABAD GARCIA, WALTER IVAN Costo al 18/07/2020  
 Lugar SAN MARTIN - SAN MARTIN - SHAPAJA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				<b>43,174.20</b>
01.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	glb	1.00	7,892.48	7,892.48
01.02	OFICINAS DE ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANA	glb	1.00	700.00	700.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60X7.20m	und	1.00	1,731.72	1,731.72
	TRASLADO MAQUINARIA, MATERIALES Y HERRAMIENTAS MANUALES	vje	2.00	15,000.00	30,000.00
01.05	SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD EN OBRA	glb	1.00	2,850.00	2,850.00
02	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>2,491.19</b>
02.01	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO INICIAL DE OBRA	m2	1,431.72	1.00	1,431.72
02.02	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO DURANTE LA OBRA	m2	1,431.72	0.74	1,059.47
03	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>8,195.86</b>
	CORTE HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	526.05	7.04	3,703.39
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	526.05	8.54	4,492.47
04	<b>PAVIMENTO RIGIDO</b>				<b>147,081.39</b>
04.01	CONFORMACION DE SUBRASANTE CON EQUIPO	m2	1,431.72	4.83	6,915.21
04.03	BASE AFIRMADO EN PISTA E=0.15m	m2	1,431.72	13.93	19,943.86
04.04	LOSA DE CONCRETO PRE-MEZCLADO H=15cm F'c=280 kg/cm2	m2	1,431.72	76.74	109,870.19
04.05	CURADO DEL CONCRETO	m2	1,431.72	2.99	4,280.84
04.06	SELLADO DE JUNTAS EN PAVIMENTO RIGIDO	m	676.09	8.98	6,071.29
05	<b>SEÑALIZACION</b>				<b>1,141.46</b>
05.01	PINTADO DE PAVIMENTOS (SIMBOLOS Y LETRAS)	m2	4.06	15.62	63.42
05.02	PINTADO DE PAVIMENTOS (LINEAS DISCONTINUAS - AMAR Nº CARRIL)	m	63.00	2.34	147.42
05.03	PINTADO DE PAVIMENTOS (LINEAS CONTINUAS - BLANCO)	m	397.70	2.34	930.62
06	<b>VARIOS</b>				<b>685.48</b>
06.01	NIVELACION DE TECHO DE BUZONES	und	2.00	342.74	685.48
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>202,769.58</b>
	<b>GASTOS GENERALES (10%CD)</b>				<b>20,276.96</b>
	<b>UTILIDADES (10%CD)</b>				<b>20,276.96</b>
	*****				*****
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>243,323.50</b>
	<b>IMPUESTOS IGV 18%</b>				<b>43,798.23</b>
	*****				*****
	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>				<b>287,121.73</b>

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

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3. Presupuesto de pavimento Semi – Rígido

Tabla 49: Características de la vía con Pavimento Semi-Rígido

PAVIMENTO SEMI-RIGIDO	
<b>Longitud</b>	Cantidad
Jr. Huallaga	118m
Jr. San Juan	80.85m
<b>Total</b>	198.85m
<b>Ancho de Vía</b>	Cantidad
Jr. Huallaga	7.20 m
Jr. San Juan	7.20 m
Sección	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3.1. Presupuesto con Pavimento Semirrígido

Presupuesto	0201002	EVALUACION DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRIGIDOS EN EL DISTRITO DE SHAPAJA"		
Subpresupuesto	003	PAVIMENTO SEMIRIGIDO		
Cliente	TORRES BRANDAN, MARTHA MERCEDES, ABAD GARCIA, WALTER IVAN			Costo al 18/07/2020
Lugar	SAN MARTIN - SAN MARTIN - SHAPAJA			

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				<b>43,174.20</b>
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	glb	1.00	7,892.48	7,892.48
01.02	OFICINAS DE ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANA	glb	1.00	700.00	700.00
01.03	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60X7.20m	und	1.00	1,731.72	1,731.72
	TRASLADO MAQUINARIA, MATERIALES Y HERRAMIENTAS MANUALES	vje	2.00	15,000.00	30,000.00
01.05	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD EN OBRA	glb	1.00	2,850.00	2,850.00
02	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>2,491.19</b>
02.01	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO INICIAL DE OBRA	m2	1,431.72	1.00	1,431.72
02.02	TRAZO NIVELACION Y REPLANTEO DURANTE LA OBRA	m2	1,431.72	0.74	1,059.47
03	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>6,361.78</b>
	CORTE HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	408.33	7.04	2,874.64
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	408.33	8.54	3,487.14
04	<b>PAVIMENTO SEMIRIGIDO</b>				<b>132,176.39</b>
04.01	CONFORMACION DE SUBRASANTE PARA ADOQUINES	m2	1,431.72	4.83	6,915.21
04.02	BASE GRANULAR e=28cm COMPACTADO CON EQUIPO LIVIANO	m2	1,431.72	21.75	31,139.91
04.03	CONFORMACION DE CAMA DE ARENA PARA ASENTADO DE ADOQUINES e=4cm	m2	1,431.72	8.25	11,811.69
04.04	PISO DE ADOQUIN DE CONCRETO e=0.08m	m2	1,431.72	53.86	77,112.44
04.05	SELLO Y COMPACTADO FINAL DE PAVIMENTO DE ADOQUINES	m2	1,431.72	3.63	5,197.14
05	<b>SEÑALIZACION</b>				<b>994.04</b>
05.01	PINTADO DE PAVIMENTOS (SIMBOLOS Y LETRAS)	m2	4.06	15.62	63.42
05.02	PINTADO DE PAVIMENTOS (LINEAS DISCONTINUAS - AMAR N° CARRIL)	m	397.70	2.34	930.62
06	<b>VARIOS</b>				<b>685.48</b>
06.01	NIVELACION DE TECHO DE BUZONES	und	2.00	342.74	685.48
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>185,883.08</b>
	<b>GASTOS GENERALES (10%CD)</b>				<b>18,588.31</b>
	<b>UTILIDADES (10%CD)</b>				<b>18,588.31</b>
	*****				*****
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>223,059.70</b>
	<b>IMPUESTOS 18% IGV</b>				<b>40,150.75</b>
	*****				*****
	<b>PRESUPESTO TOTAL</b>				<b>263,210.45</b>

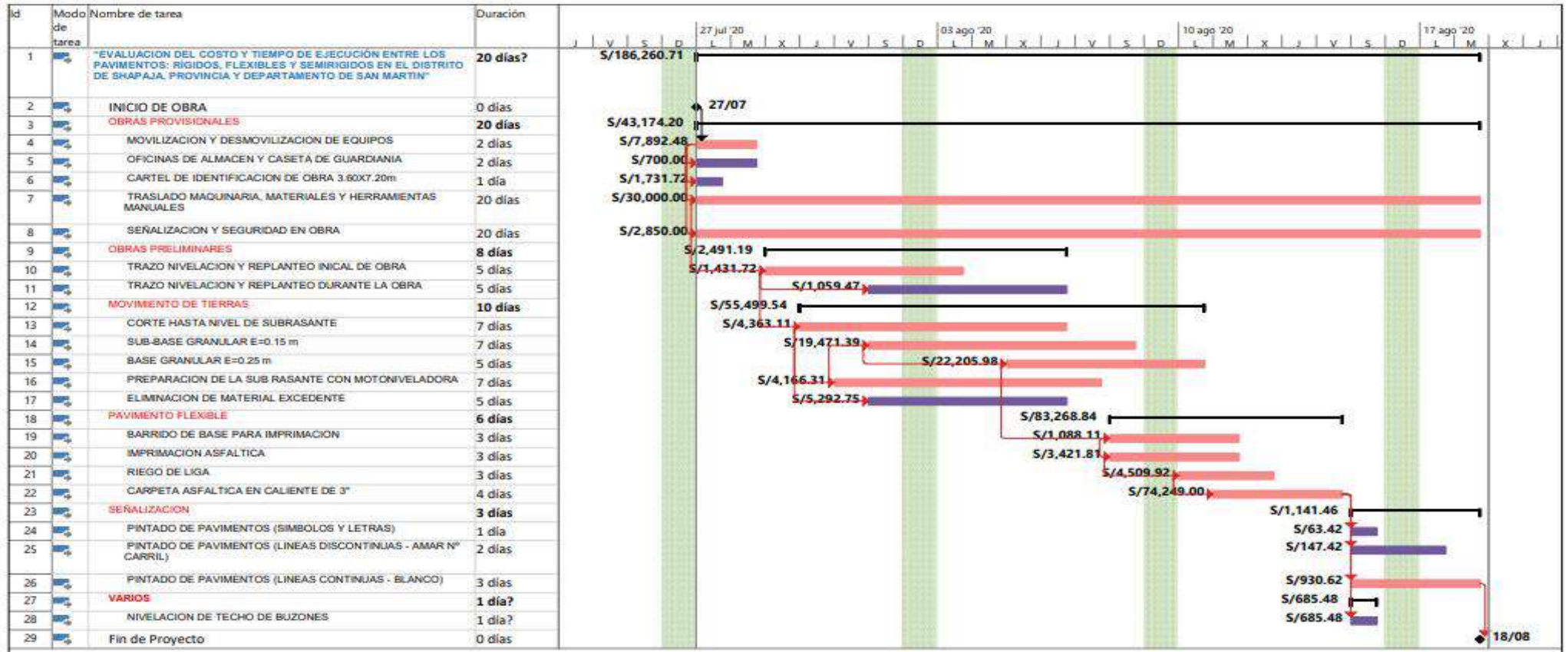
SON : DOSCIENTOS SESENTITRES MIL DOSCIENTOS DIEZ Y 45/100 NUEVOS SOLES

Fuente: Elaboración propia

## 4.4. TIEMPO DE EJECUCIÓN

### 4.4.1. Tiempo de Ejecución Pavimento flexible

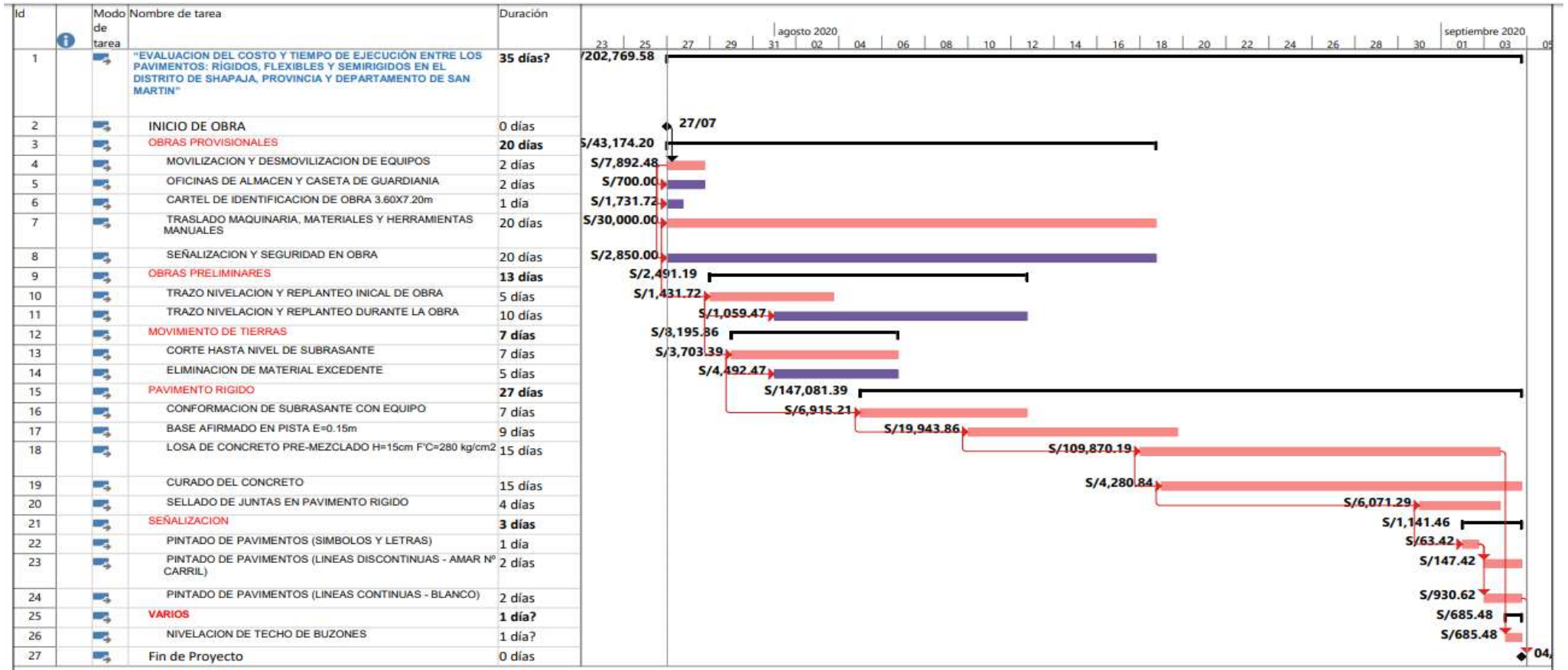
Ilustración 13: Programación de Obra Pavimento Flexible



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2. Tiempo de Ejecución Pavimento Rígido.

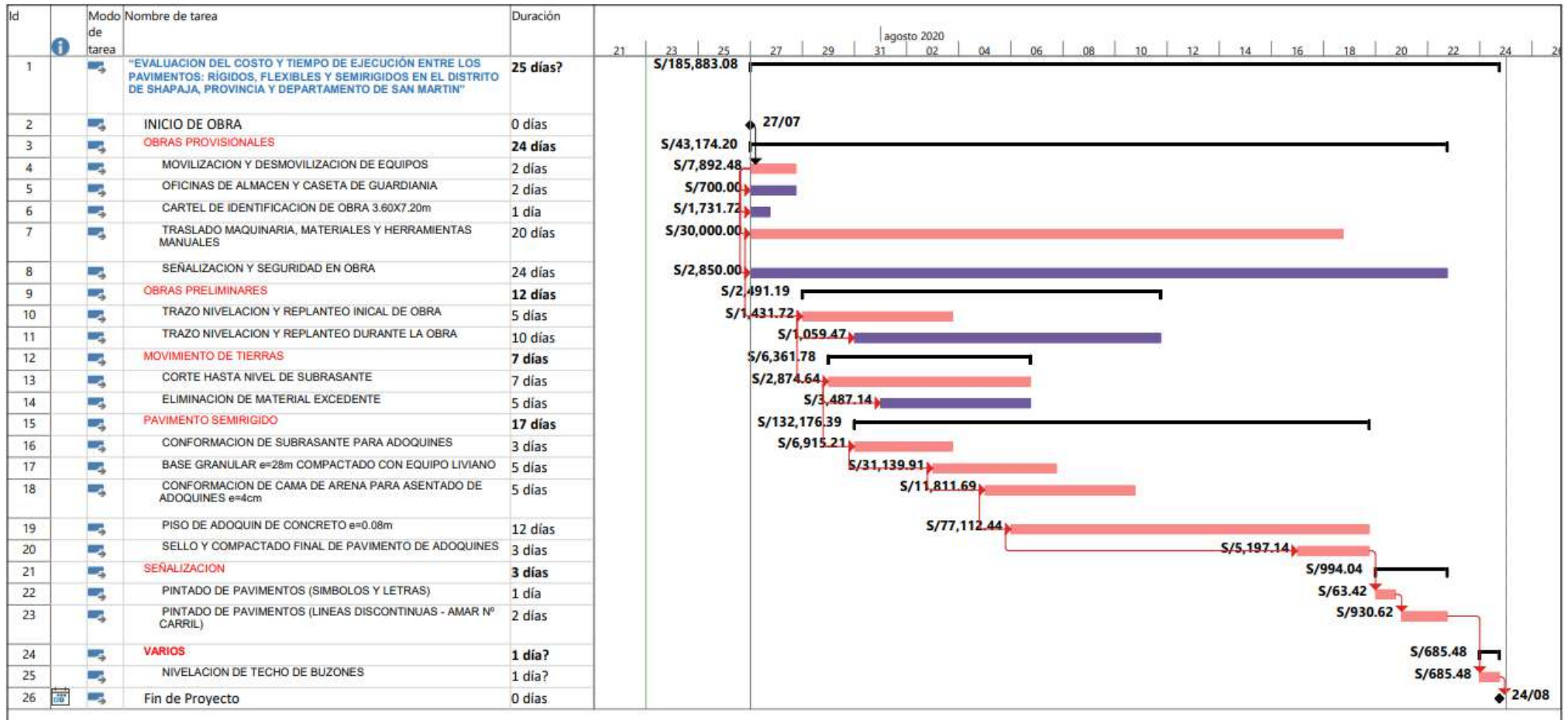
Ilustración 14: Programación de Obra Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración propia

### 4.4.3. Tiempo de Ejecución Pavimento Semi – Rígido

Ilustración 15: Programación de Obra Pavimento Semi-Rígido



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 08 de marzo del presente año, también se tomó como periodo de diseño 20 años, para así poder hacer un análisis comparativo de los pavimentos, lo cual nos dio como resultado un EAL anual de:

Tabla 50: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn

Jr. Huallaga y Jr. San Juan	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido	Pavimento Semi-Rígido
Nrep de EE 8.2 tn	162,239.47	169,745.08	162,239.47

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 51: Resumen Características del Sub-rasante

Nº Calicata	Densidad Seca Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima (%)	CBR (%)
C-1	1.85	15.15	6.91
C-2	1.86	13.95	6.91

Fuente: Elaboración propia

Lo que resulta un CBR de diseño de 6.91%.

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



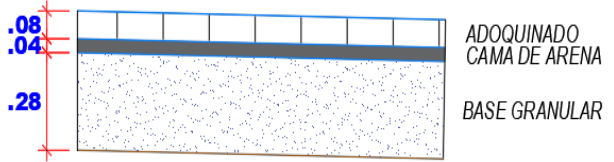
Tabla 52: Cuadro Comparativo entre Pavimentos

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

*Fuente: Elaboración propia*

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

Tabla 53: 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 Semi-Rígido</b></p>	

Fuente: Elaboración Propia

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

Pavimento Flexible : S/. 263,745.16

Pavimento Rígido : S/. 287,121.73

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

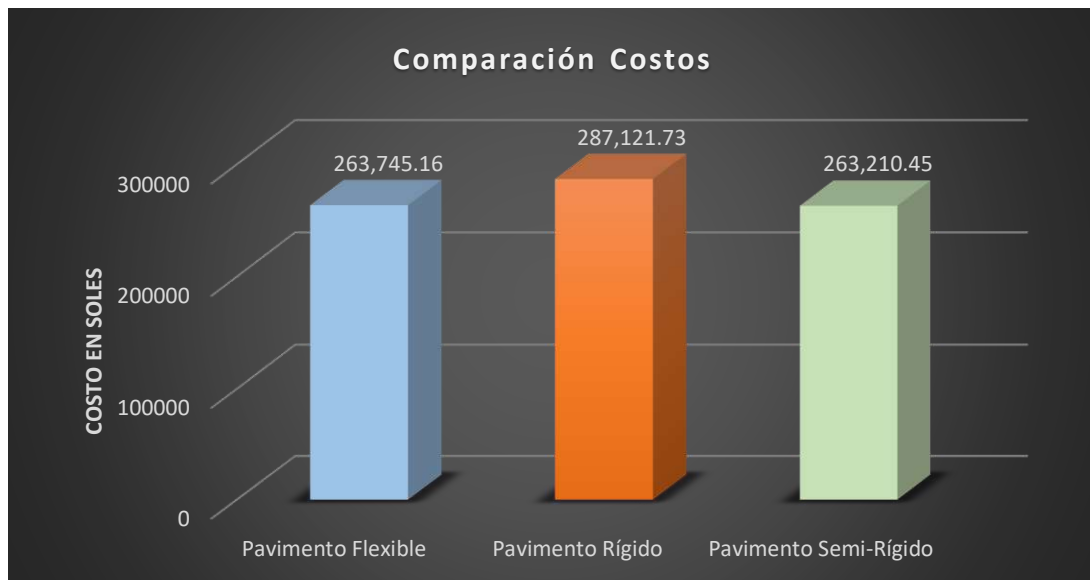
## CUADRO COMPARATIVO TÉCNICO- ECONÓMICO.

Tabla 54: Cuadro Comparativo Técnico – Económico

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	S/.	263,745.16	287,121.73	263,210.45
<b>COSTO DIRECTO POR M2</b>	S/.	130.10	141.63	129.83
<b>COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)</b>	S/.	184.22	200.54	183.84
<b>PLAZO DE EJECUCIÓN</b>	DIAS	20	35	25

*Fuente: Elaboración Propia*

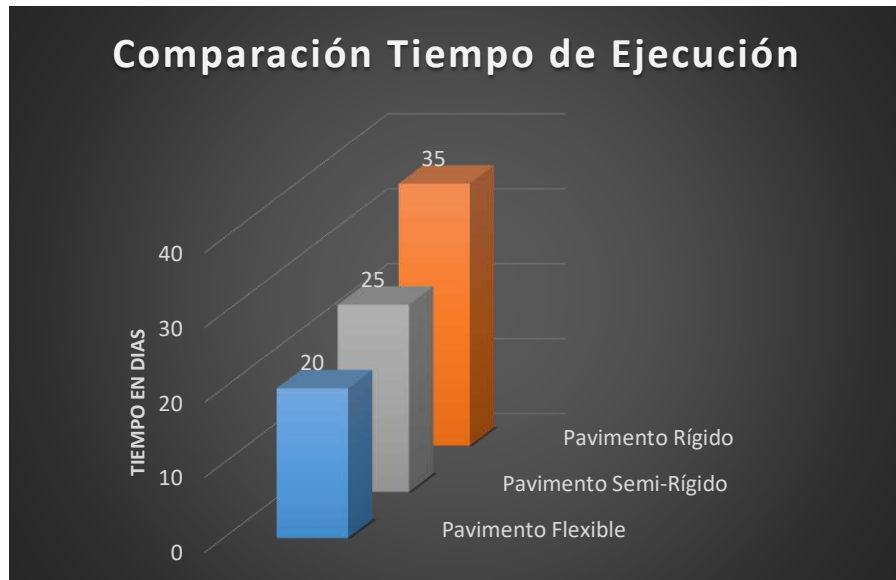
Ilustración 16: Comparación de Costos



*Fuente: Elaboración Propia*

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

Ilustración 17: Comparación de Plazos de Ejecución



*Fuente: Elaboración Propia*

- En el gráfico se aprecia que el pavimento rígido tiene un mayor plazo de ejecución con 35 días, seguido del pavimento semirrígido con 25 días y por último se encuentra el Pavimento Flexible con 20 días.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

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

Tabla 55: Cuadro Comparativo Financiero

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

*Fuente: Elaboración propia*

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

Tabla 56: Cuadro Comparativo Tiempo de Ejecución

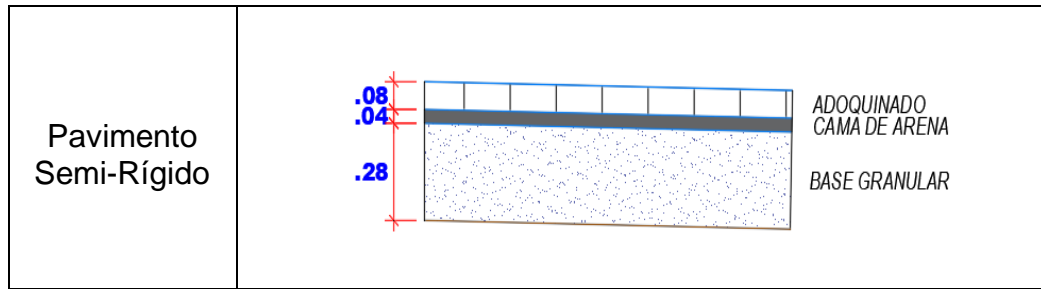
INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RÍGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
PLAZO DE EJECUCIÓN	DÍAS	20	35	25

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 57: Cuadro Resumen de Espesores de los tres Tipos de Pavimentos

Tipo	Espesores
Pavimento flexible	<p>Diagrama de la estructura de un pavimento flexible con tres capas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CARPETA ASFALTICA: .075</li> <li>BASE GRANULAR: .25</li> <li>SUB BASE GRANULAR: .15</li> </ul>
Pavimento Rígido	<p>Diagrama de la estructura de un pavimento rígido con dos capas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PAVIMENTO RIGIDO: .15</li> <li>BASE GRANULAR: .15</li> </ul>



*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 58: Cuadro Comparativo Técnico-Financiero

INDICADOR	UND.	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
PRESUPUESTO TOTAL	S/.	263,745.16	287,121.73	263,210.45
COSTO DIRECTO POR M2	S/.	130.10	141.63	129.83
COSTO POR M2 (GG + Utilidades + IGV)	S/.	184.22	200.54	183.84
PLAZO DE EJECUCIÓN	DÍAS	20	35	25

*Fuente: Elaboración propia*

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

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Los pavimentos en estudio tienen diferentes características considerables que pueden ser bien aprovechadas, cada proyecto debe ser analizado minuciosamente para determinar cuál es la mejor opción en cada caso, haciendo un análisis cuidadoso y a conciencia de todos los factores que intervienen en el proyecto. Así como las condiciones del entorno, los estudios de ingeniería de tránsito, geotécnicos, de drenaje y subdrenaje, la disponibilidad de materiales y equipo de construcción.
- Hablar de qué tan económico resulta un pavimento respecto al otro, es muy relativo, ya que, si se toma en cuenta el costo total, el cual incluye la inversión inicial, no se obtendrá una alternativa definitiva. Por lo tanto, dependerá de las autoridades respectivas tomar la decisión acerca de qué tipo de pavimento emplear en un proyecto determinado, contando con los fondos y financiamiento necesarios.
- Un aspecto que no se ha evaluado en nuestra región, es la duración de cada una de las alternativas de pavimentación investigadas, si hacemos una evaluación del tiempo de duración nos vamos a dar cuenta rápidamente, que el pavimento rígido es el que tiene mayor duración, respecto a las otras alternativas propuestas, pero esta variable no está en estudio en la presente investigación, por lo que sería necesario se considere en otras investigaciones.

## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Norma Técnica CE.10 Pavimentos Urbanos.
- Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.
- Armando Medina Palacios y Marcos de la Cruz Puma. Evaluación de Pavimentos Flexibles aplicando el método del PCI. Tesis UPC – Lima – 2015.
- Análisis del costo del ciclo de vida: Una herramienta para evaluar mejor las inversiones y decisiones técnicas en pavimentación. Boletín Técnico ACPA (American Concrete Pavement Association).
- Evaluación de Pavimentos Flexibles y Rígidos. Boletín informativo de Concreto convencional CELMEX.
- Morales, P., Chávez, O., y López, L. (2009). “EFECTOS DE LA ALTA COMPACTACIÓN DE LA CAPA EN PAVIENTOS FLEXIBLES. Recuperado de [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Efectos\\_de\\_la\\_alta\\_compactación\\_de\\_la\\_capa\\_de\\_base\\_en\\_pavimentos\\_flexibles.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Efectos_de_la_alta_compactación_de_la_capa_de_base_en_pavimentos_flexibles.pdf).
- 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

## CAPÍTULO VII: ANEXOS

### 7.1. ANEXOS



FOTO N.º01: ENCOFRADO DE CUNETAS EN EL JR. HUALLAGA CUADRA 10



FOTO N.º02: DESENCOFRADO DE CUNETAS EN EL JR. SAN JUAN CCUADRA 2