



**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**

**“DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL  
MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL BUENOS  
AIRES - FLOR DE MAYO, DISTRITO DE MOYOBAMBA,  
DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN”**

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

**ASESOR:**

**Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M.Sc.**

**AUTORES:**

**AMASIFUEN AMASIFUEN, Witler**

**DEL CASTILLO VELA, Alin**

**TARAPOTO – PERÚ**

**2023**

# DEDICATORIA

Dedico la tesis a mi esposa Jesica Raquel Valqui Pérez y a mis hijos Leandro Keiffer Amasifuen Valqui y Vianca Suhaila Amasifuen Valqui y mis padres Manuel y Jovita, que siempre me apoyaron sin restricción alguna en la parte moral y que siempre han estado junto a mí y brindándome su apoyo, en los momentos malos y buenos y por haberme dado fortaleza y valor para culminar esta etapa de mi carrera profesional.

**WITLER AMASIFUEN AMASIFUEN**

Dedico la tesis a mi esposa Magaly Paola Acosta Pezo y a mi hijo Alin Joshua Del Castillo Acosta y mis padres Juan y Obdulia, que siempre me apoyaron sin restricción alguna en la parte moral y que siempre han estado junto a mí y brindándome su apoyo, en los momentos malos y buenos y por haberme dado fortaleza y valor para culminar esta etapa de mi carrera profesional.

**ALIN DEL CASTILLO VELA**

# AGRADECIMIENTO

Siempre agradezco a Dios por ser mi guía, brindarme salud y vida, por darme la sabiduría para tomar las decisiones correctas en mí día a día.

A mis hijos Leandro Keiffer Amasifuen Valqui y Vianca Suhaila Amasifuen Valqui, por ser mis principales motivos para culminar esta maravillosa y digna carrera de Ingeniería Civil

Al ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. SC, Asesor de Tesis.

A la Facultad de ciencias e ingeniería y a mis docentes que con sus enseñanzas me dieron la oportunidad para poder desarrollarme como profesional y ejercerla con ética y moral ante la sociedad.

**WITLER AMASIFUEN AMASIFUEN**

Siempre agradezco a Dios por ser mi guía, brindarme salud y vida, por darme la sabiduría para tomar las decisiones correctas en mí día a día.

A mi hijo Alin Joshua Del Castillo Acosta, por ser mi principal motivo para culminar esta maravillosa y digna carrera de Ingeniería Civil.

Al ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. SC, Asesor de Tesis.

A la Facultad de ciencias e ingeniería y a mis docentes que con sus enseñanzas me dieron la oportunidad para poder desarrollarme como profesional y ejercerla con ética y moral ante la sociedad.

**ALIN DEL CASTILLO VELA**

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

El Vicerrector de Investigación e Innovación  
de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

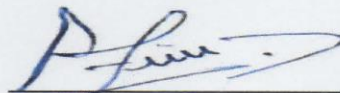
La Tesis titulada:

**"DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL  
CAMINO VECINAL BUENOS AIRES - FLOR DE MAYO, DISTRITO DE  
MOYOBAMBA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"**

De los alumnos: **WITLER AMASIFUEN AMASIFUEN Y ALIN DEL CASTILLO  
VELA**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó  
satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un  
porcentaje de **23% de similitud**.

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

San Juan, 28 de Setiembre del 2023.



**Dr. Alvaro Tresierra**  
VICERRECTOR DE INV. E INNOVACIÓN-UCP

CIRA/ri-a  
297-2023

## Resultados\_UCP\_INGENIERÍA CIVIL\_2023\_TESIS\_WITLERAMA...

### INFORME DE ORIGINALIDAD

**23** %  
INDICE DE SIMILITUD

**20** %  
FUENTES DE INTERNET

**7** %  
PUBLICACIONES

**12** %  
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Ichpas Aauto, Heber   Sanchez Andres, Sandro   Regalado Gutierrez, Diego   Cuellar Vanegas, Lina. "Planeamiento estrategico para la Provincia de Lamas", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021</b> Publicación	<b>5</b> %
<b>2</b>	<b>repositorio.ucp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Alas Peruanas</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>repositorio.unsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>7</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Alin Del Castillo Vela Quick  
Título del ejercicio: Submit  
Título de la entrega: Resultados\_UCP\_INGENIERÍA CIVIL\_2023\_TESIS\_WITLERAMAS...  
Nombre del archivo: NIER\_ACIVIL\_2023\_TESIS\_WITLERAMASIFUEN\_ALINDELCASTI... 3.2M  
Tamaño del archivo: 99  
Total páginas: 19,901  
Total de palabras: 98,407  
Total de caracteres: 28-sept.-2023 10:38a. m. (UTC-0400)  
Fecha de entrega: 2179567147  
Identificador de la entre...

### RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL BUENOS AIRES - FLOR DE MAYO, DISTRITO DE MOYOBAMBA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN", tiene por finalidad diseñar la estructura del pavimento flexible para el camino vecinal Buenos Aires - Flor de Mayo, utilizando el método AASHTO a través de la recopilación de información, análisis y aplicación de los criterios necesarios para el diseño. De modo que este soporte las cargas a las que será sometido el pavimento y a las proyectadas durante su periodo de diseño bajo la acción de las cargas de tránsito.

Para ello la presente estudia la metodología AASHTO 1993 para el diseño de pavimentos flexibles y analiza las propiedades mecánicas del asfalto. A su vez estudia los parámetros necesarios para el diseño de pavimentos flexibles, como los valores de soporte de la subrasante (CR) y el tráfico (W18), el índice de servicio, confiabilidad, para brindar una superficie suave y satisfactoria, para garantizar el desempeño eficiente del camino vecinal.

De los instrumentos de aplicación, fueron valorados de acuerdo a altamente eficaces. Además, permitirá los efectos prácticos, y poniendo a disposición un estudio técnico que posibilite dotar de una infraestructura vial adecuada para el beneficio de la población en su conjunto.

La implementación del Diseño de Pavimento Flexible a nivel de estudio definitivo permitirá el mejoramiento del camino vecinal tanto vehicular y peatonal de la vía Buenos Aires - Flor de Mayo, del distrito de Moyobamba.

**Palabras claves:** Diseño de Pavimento Flexible, Metodología AASHTO 93, Infraestructura Vial.

Derechos de autor 2023 Turnitin. Todos los derechos reservados.

EL MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL BUENOS AIRES - FLOR DE MAYO, DISTRITO DE MOYOBAMBA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

“Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo”  
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

Con Resolución Decanal N° 694-2023-UCP-FCEI del 20 de octubre del 2023, 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, Dr.             | Presidente |
| • Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo, M. Sc. | Miembro    |
| • Ing. Alberto Alva Arévalo, Dr.          | Miembro    |

Como Asesor: **Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 18:30 horas del día sábado 28 de octubre del 2023, 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: **“DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL BUENOS AIRES – FLOR DE MAYO, DISTRITO DE MOYOBAMBA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**.

Presentado por los sustentantes:

**ALIN DEL CASTILLO VELA y WITLER AMASIFUEN AMASIFUEN**

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

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

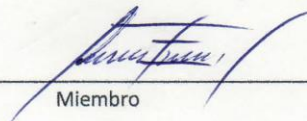
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

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

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



Presidente



Miembro



Miembro

Contáctanos:

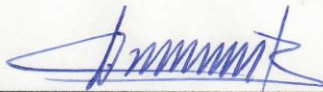
**Iquitos – Perú**  
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240  
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

**Filial Tarapoto – Perú**  
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640  
Leoncio Prado 1070 / Martínez de Compagnón 933

Universidad Científica del Perú  
[www.ucp.edu.pe](http://www.ucp.edu.pe)

## **APROBACIÓN**

Tesis sustentada en acto público el día 28 de octubre del 2023 a las 06.30 p.m.



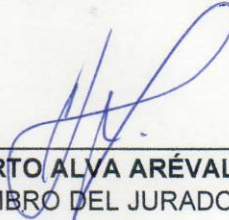
---

**Ing. CALEB RÍOS VARGAS, Dr.**  
PRESIDENTE DEL JURADO



---

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



---

**Ing. ALBERTO ALVA ARÉVALO, Dr.**  
MIEMBRO DEL JURADO



---

**Ing. ENRIQUE NAPOLEÓN MARTÍNEZ QUIROZ, M.Sc.**  
ASESOR



# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>APROBACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	11
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	14
2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL .....	14
2.1.2 A NIVEL NACIONAL .....	20
2.1.3 A NIVEL LOCAL .....	25
2.2 BASES TEÓRICAS.....	26
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	68
<b>CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>70</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	70
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	71
3.2.1 PROBLEMA GENERAL .....	71
3.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	71
3.3 OBJETIVOS .....	71
3.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	71
3.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	71
3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	72
3.5 HIPÓTESIS .....	72
3.6 VARIABLES .....	72
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA</b> .....	<b>73</b>
4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	73
4.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	73
4.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	73
4.2 UNIDAD DE ESTUDIO .....	73
4.3 POBLACIÓN .....	73
4.4 MUESTRA.....	73
4.5 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE	

DATOS.....	73
4.5.1 TÉCNICAS.....	73
4.5.2 INSTRUMENTO: .....	74
4.5.3 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	74
4.6 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS .....	74
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
5.1 ESTUDIO DE TRÁFICO .....	75
5.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO .....	82
5.3 ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS .....	82
5.4 CÁLCULO DE ESPESOR DEL PAVIMENTO .....	101
<b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>105</b>
6.1. DISCUSIÓN .....	105
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
7.1 CONCLUSIONES .....	106
7.2 RECOMENDACIONES.....	107
<b>CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>108</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de pesos y medidas de buses .....	29
Tabla 2: Tabla de pesos y medidas de camiones .....	29
Tabla 3: Tabla de pesos y medidas de camiones de carga pesada y semitrailers.....	30
Tabla 4: Tabla de pesos y medidas camión remolque menor o igual a 4 ejes. ....	31
Tabla 5: Tabla de pesos y medidas, camión remolque mayor o igual a 5 ejes .....	31
Tabla 6: Tablas de pesos y medidas, tráiler y camión remolque de más de 5 ejes.....	32
Tabla 7: Carril de Diseño .....	34
Tabla 8: ESAL Equivalent single axle load .....	34
Tabla 9: Factores de distribución direccional y de carril.....	35
Tabla 10: Factores de crecimiento acumulado (Fca) .....	36
Tabla 11: Juego de tamices .....	42
Tabla 12: Clasificación de suelos - método AASHTO .....	46
Tabla 13 Sistema unificado de clasificación; símbolo de grupo para suelos arenosos	50
Tabla 14: Sistema unificado; símbolo de grupo para suelos limosos y arcillosos.....	50
Tabla 15: Niveles de Confiabilidad .....	60
Tabla 16: Calidad de Drenaje de Base y Sub Base .....	61
Tabla 17: Valores de “ml” recomendados.....	61
Tabla 18: Conteo Vehicular .....	76
Tabla 19: Índice diario semanal .....	77
Tabla 20: Índice diario anual .....	78
Tabla 21: Población futura de vehículos.....	79
Tabla 22: Población futura de vehículos.....	81
Tabla 23: Calculo del ESAL de diseño .....	82
Tabla 24: Valores de Contenido de humedad .....	84
Tabla 25: Valores del Límite Líquido .....	85
Tabla 26: Valores del Límite plástico .....	86
Tabla 27: Valores del Índice de plasticidad .....	86
Tabla 28: Valores del análisis granulométrico .....	87
Tabla 29: Valores de la clasificación de suelos .....	92
Tabla 30: Valores del Contenido de Humedad.....	92
Tabla 31: Valores del Limite Liquido .....	92
Tabla 32: Valores del límite plástico .....	93
Tabla 33: Índice de Plasticidad .....	93
Tabla 34: Valores del análisis granulométrico .....	93
Tabla 35: Clasificación de Suelo.....	93
Tabla 36: Valores del Ensayo de Sales .....	95
Tabla 37: Valores de Ensayo de Proctor Modificado .....	96
Tabla 38: Valores de Ensayo de CBR .....	99
Tabla 39: Resumen de los estudios realizados en las 14 calicatas .....	100
Tabla 40: Nivel de Confiabilidad .....	102
Tabla 41: Desviación estándar (Zr).....	102
Tabla 42: Índices de Serviciabilidad (PSI) .....	103
Tabla 43: Numero estructural requerido (SNR).....	103
Tabla 44: Tabla de resumen para la obtención del SNR.....	103
Tabla 45: Resultado de espesores del pavimento.....	104

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Carril de Diseño .....	34
Ilustración 2: Carta de plasticidad SUCS.....	51
Ilustración 3: Signos convencionales para perfil de calicatas – clasificación SUCS.....	51
Ilustración 4: Equipo de CBR.....	56
Ilustración 5: Gráfica para hallar a1 .....	63
Ilustración 6: Variación del coeficiente de capa de base granular, a2, con parámetros diferentes.....	64
Ilustración 7: Variación del coeficiente de capa sub base granular, a3 .....	65
Ilustración 8: Nomograma de diseño para pavimentos flexibles usando valores medios para cada dato .....	66
Ilustración 9: Fórmula para determinar el ESAL.....	101
Ilustración 10: Capas de diseño de pavimento.....	104

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado “**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL BUENOS AIRES - FLOR DE MAYO, DISTRITO DE MOYOBAMBA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN**”, tiene por finalidad diseñar la estructura del pavimento flexible para el camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo, utilizando el método AASHTO a través de la recopilación de información, análisis y aplicación de los criterios necesarios para el diseño. De modo que este soporte las cargas a las que será sometido diariamente y a las proyectadas durante su periodo de diseño bajo la acción de las cargas de tránsito.

Para ello la presente estudia la metodología AASHTO 1993 para el diseño de pavimentos flexibles y analiza las propiedades mecánicas del asfalto. A su vez estudia los parámetros necesarios para el diseño de pavimentos flexibles, como los valores de soporte de la subrasante (CBR) y el tráfico (W18), el índice de serviciabilidad, confiabilidad, para brindar una superficie suave y satisfactoria, para garantizar el desempeño eficiente del camino vecinal.

De los instrumentos de aplicación, fueron valorados de eficaces a altamente eficaces. Además, permitirá sus efectos prácticos y poniendo a disponibilidad un estudio técnico que posibilite dotar de una infraestructura vial adecuada para el beneficio de la población en su conjunto.

La implementación del Diseño de Pavimento Flexible a nivel de estudio definitivo permitirá el mejoramiento del camino vecinal tanto vehicular y peatonal de la vía Buenos Aires – Flor de Mayo, del distrito de Moyobamba.

**Palabras claves:** Diseño de Pavimento Flexible, Metodología AASHTO 93, Infraestructura Vial.

## ABSTRACT

This research project entitled "FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN FOR THE IMPROVEMENT OF THE BUENOS AIRES - FLOR DE MAYO NEIGHBORHOOD ROAD, MOYOBAMBA DISTRICT, SAN MARTIN DEPARTMENT", aims to design the flexible pavement structure for the Buenos Aires - Flor de Mayo, using the AASHTO method through the collection of information, analysis and application of the necessary criteria for the design. So that it supports the loads to which it will be subjected daily and those projected during its design period under the action of traffic loads.

For this, the present study studies the AASHTO 1993 methodology for the design of flexible pavements and analyzes the mechanical properties of asphalt. At the same time, it studies the necessary parameters for the design of flexible pavements, such as the support values of the subgrade (CBR) and traffic (W18), the serviceability index, reliability, to provide a smooth and satisfactory surface, to guarantee the efficient performance of the local road.

Of the application instruments, they were rated from effective to highly effective. In addition, it will allow its practical effects and making available a technical study that makes it possible to provide adequate road infrastructure for the benefit of the population as a whole.

The implementation of the Flexible Pavement Design at the final study level will allow the improvement of the neighborhood road, both vehicular and pedestrian, of the Buenos Aires - Flor de Mayo road, in the Moyobamba district.

**Keywords:** Flexible Pavement Design, AASHTO 93 Methodology, Road Infrastructure.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción

Este estudio aboga por la adopción de la metodología AASHTO 93 como enfoque principal para concebir pavimentos flexibles, a la vez que se consideran las especificaciones y requisitos que garantizan la alta calidad de los materiales y herramientas esenciales para su realización. En esta línea, se enfatiza que un pavimento de calidad debe ser cuidadosamente diseñado y estructurado de manera que cada componente y material empleado no ocasionen deformaciones permanentes desproporcionadas bajo las cargas inducidas por el tráfico.

La problemática que se presenta en este proyecto radica en la ausencia de una infraestructura vial adecuada, lo cual impacta negativamente en la accesibilidad y transitabilidad. Por consiguiente, resulta imperativo desarrollar un diseño de pavimento que tome en consideración los diversos factores que influyen en su vida útil de servicio, para abordar eficazmente esta preocupante situación.

Es esencial resaltar que el propósito fundamental de esta investigación consiste en la formulación de un diseño de Pavimento Flexible basado en el método AASHTO 93, con el objetivo de mejorar la vía rural denominada Buenos Aires – Flor de Mayo, situada en el distrito de Moyobamba, San Martín. Este proceso se llevará a cabo a través de la ejecución de estudios integrales, incluyendo análisis de tráfico, evaluación topográfica y estudio de características del suelo, con el fin de determinar los espesores adecuados para las diversas capas que constituyen el pavimento flexible.

La mejora de esta vía rural guarda una estrecha relación con la gestión eficiente del tráfico vehicular y peatonal. Esto implica la implementación de una infraestructura vial adecuada, respaldada por estudios exhaustivos, procesos de diseño y selección de materiales pertinentes. Estas medidas se adoptan con el propósito de prevenir potenciales daños a largo plazo. De manera

consecuente, el pavimento resultante será capaz de resistir las condiciones inherentes tanto a factores naturales como a la carga de tráfico. Estas conclusiones son derivadas de la ejecución de investigaciones in situ, respondiendo directamente a los requisitos y solicitudes específicos del área en cuestión.

Este Diseño de Pavimento Flexible busca efectuar cambios en el esquema actual y presentar soluciones que sean tanto duraderas como eficaces, con el objetivo de reducir los costos operativos vehiculares y agilizar el proceso de evacuación de la producción.

Durante el recorrido efectuado, se pudo observar que la vía actual presenta deficiencias en su superficie, especialmente en tramos críticos, lo cual resulta en una variabilidad en la calidad del servicio ofrecido debido a la presencia de baches pronunciados y deterioros a lo largo de la ruta. La elección del tema abordado en esta tesis adquiere una significancia crucial, ya que el mejoramiento de la vía rural en cuestión tendrá un impacto positivo en la calidad del transporte en el área correspondiente, lo cual consecuentemente repercutirá en una mejora general en las condiciones vehiculares y en la eficiencia de la evacuación de productos.

La metodología tiene como finalidad determinar los espesores mínimos de la estructura de pavimento, en el cual influyen variables como el tráfico promedio diario (TPD) calculando así los ejes equivalentes para un periodo de diseño de 15 años, variables del terreno obtenidas por medio de ensayos como el CBR (módulo de resiliencia), confiabilidad, drenaje, entre otros factores necesarios para hallar los espesores de las capas de la estructura de pavimento flexible.

La importancia de la investigación se basa en una mejora en el desarrollo de la población ya sea social como económico, y esto se obtendrá al tener un acceso más fácil del tránsito peatonal como vehicular.



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

La evolución experimentada por los pavimentos ha tenido una trascendencia significativa, marcando un cambio sustancial entre la época actual y los momentos en que se comenzaron a construir y desarrollar carreteras de manera extensiva. Estos avances desempeñaron un papel crucial en el progreso socioeconómico al establecer conexiones fundamentales entre las principales urbes y facilitar la comunicación interlocal, dando lugar a nuevas modalidades de financiamiento, gestión, conservación y operación de los pavimentos flexibles.

Es importante destacar que, en la configuración actual de los pavimentos, se ha registrado un incremento tanto en la magnitud como en la frecuencia de las cargas aplicadas sobre ellos, lo que conlleva a un aumento en la susceptibilidad a fallos debido a la fatiga y a la deformación acumulada. La fatiga se manifiesta como una consecuencia de la aplicación repetida de tensiones que, de ser ejercidas de manera individual, no resultarían problemáticas. En paralelo, la deformación acumulada surge a raíz de la presión ejercida por las llantas en movimiento, que induce una deformación parcial que no se recupera en su totalidad, generando grietas y fisuras en la capa asfáltica. Esto, a su vez, podría permitir que el agua penetre en las capas granulares subyacentes, lo que acarrearía una disminución en la resistencia de la estructura.

Para prevenir el fenómeno de agrietamiento resultante de la carga repetida causada por el tráfico, se sugiere construir la capa del pavimento con un espesor que genere esfuerzos comparativamente bajos en relación con la resistencia de la capa. En esta perspectiva, el diseño debe ser concebido en forma de secciones estructurales de alta calidad, de modo que las medidas de conservación vinculadas al aumento del tráfico se traduzcan en refuerzos superficiales simples y económicos. De esta manera, se evitaría la necesidad de realizar reconstrucciones completas de las secciones del pavimento, así

como la posibilidad de enfrentar la circulación en condiciones deficientes que implicarían costos substanciales en términos de operación y mantenimiento.

## 2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

### 2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL

✱ BALTAZAR, VARGAS, GUTIÉRREZ. (2014). **Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método mecanicista empírico, con el método AASHTO 93**, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR facultad de ingeniería y arquitectura escuela de ingeniería civil.

En El Salvador, el problema se centra en el desarrollo en constante cambio de la capacidad vial, abarcando tanto la expansión de nuevas vías como la realización de reconstrucciones y reparaciones, una realidad que se hace evidente en la vida cotidiana. En términos generales, la investigación en este campo es escasa, lo que resulta en la adopción constante de técnicas, metodologías y regulaciones preexistentes, originadas en naciones con un progreso más avanzado en el ámbito de la ingeniería de carreteras. Esta situación también se atribuye a la mayor inversión en la investigación científica en disciplinas aplicadas en dichos países.

En El Salvador, el problema se centra en el desarrollo en constante cambio de la capacidad vial, abarcando tanto la expansión de nuevas vías como la realización de reconstrucciones y reparaciones, una realidad que se hace evidente en la vida cotidiana. En términos generales, la investigación en este campo es escasa, lo que resulta en la adopción constante de técnicas, metodologías y regulaciones preexistentes, originadas en naciones con un progreso más avanzado en el ámbito de la ingeniería de carreteras. Esta situación también se atribuye a la mayor inversión en la investigación científica en disciplinas aplicadas en dichos países.

a presente investigación adopta un enfoque cualitativo, ya que tiene como objetivo principal describir las características del fenómeno estudiado a través de las distintas metodologías. El proyecto de investigación está orientado hacia la comparación de variables entre las alternativas y métodos de diseño de pavimentos flexibles bajo estudio, evaluando sus puntos fuertes y limitaciones para diversos requerimientos en la estructura del pavimento flexible.

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo, ya que tiene como objetivo principal describir las características del fenómeno estudiado a través de las distintas metodologías. El proyecto de investigación está orientado hacia la comparación de variables entre las alternativas y métodos de diseño de pavimentos flexibles bajo estudio, evaluando sus puntos fuertes y limitaciones para diversos requerimientos en la estructura del pavimento flexible.

El estudio también se enfoca en familiarizarse con los métodos y alternativas de diseño en pavimentos flexibles que ya emplean enfoques mecanicistas-empíricos. Estos métodos presentan una caracterización más precisa de los materiales mediante la inclusión de módulos elásticos, consideraciones realistas del tráfico mediante la incorporación de pesos de vehículos, y la consideración de factores climáticos como las temperaturas ambientales. Estas características contribuyen a que los diseños resultantes sean más adecuados para las condiciones específicas de la zona en estudio.

✱ AMAYA, BETANCOUR, & ZORRO (2019) en su tesis **“Análisis de desempeño mecánico de las mezclas asfálticas tipo Stone Mastic (SMA) para aplicación como capa de rodadura en pavimentos de alto volumen de tránsito en Colombia”**, universidad Católica de Colombia; su objetivo fue analizar el desempeño mecánico de las mezclas aplicando como metodología a dicho diseño de fabricación y colocación de las diversas capas de rodadura en caliente (AAMAC PA - CR 04/2015) y aplicar otras especificaciones de tipo internacionales como AASHTO M 325-08, NCHRP 9-8 , el Federal Highway

Administration (FHWA). Entre los resultados se obtuvo que el SMA cuenta con un espesor de 5cm de tipo B, mientras que al analizar el diseño Marshall dio como resultado 7.1% de mezcla, la resistencia a la deformación plástica posee un intervalo de 105 a 120 minutos, la susceptibilidad a los daños ocasionados por el agua resulta ser baja, esto se debe a que ostenta un T.S.R de 83.9% el cual logra cumplir con las especificaciones que son instituidas por AAMAC PA-CR 04/2015, (min 80%). La conclusión que dejó la investigación fue que teniendo como base los buenos resultados en el desempeño mecánico de dichas mezclas tipo SMA las cuales se producen a escala tanto industrial como de laboratorio, se comprueba que resultan ser adecuadas para su aplicación como carpeta de rodadura en pavimentos que presenten un volumen de tránsito alto.

✿ CHACASAGUAY (2015) realizó un estudio sobre **“Rehabilitación de camino vecinal El Tejar – San Lorenzo ubicado en la Provincia de Bolívar”**, universidad Central de Ecuador; con el propósito de diseñar la rehabilitación para lograr una acción de mejora en la calidad de vida de los pobladores de dicha área. Los resultados fueron: el material de la subrasante posee una humedad del 90% de la densidad considerada como máxima de Proctor y el CBR medido a un 90% de compactación se logra obtener un espesor de 81.4cm en términos de totales, el NE (Número estructural) aplicando Aashto resulta ser de 3.61 cm, haciendo uso de la capa de la sub-base de acuerdo a lo que está especificado por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, la base granular es de tipo 2 y la carpeta asfáltica poseerá un tamaño de ½” como máximo y por ende, se debe diseñar con material procesado; llegando a concluir que dicho proyecto resulta ser viable para lograr dicha rehabilitación por medio de la construcción, beneficiando así a los pobladores de la zona en estudio.

✿ FONTALBA (2015) en el estudio **“Diseño de pavimento alternativo para la avenida circunvalación, Guacamayo Etapa 1”**, universidad Austral de Chile; tuvo como principal objetivo optar por construir un pavimento flexible en la vía de acuerdo a la demanda del tráfico. La

población estuvo conformada por 196 habitantes y una densidad de 8.61 hab/ha., y además se utilizaron como parte de la metodología el método Aashto 93 y Dispay-5. Como resultados se obtuvo que el espesor de una capa por medio del método Dispay fue de 43cm mientras que con el método Aashto resultó ser de 37cm, con una clara diferencia que se presenta a nivel granular con un  $\Delta = 6$  cm, un CBR en la sub-rasante de 13%, una sub-base y base de 40% y 80% respectivamente. La investigación concluye que los resultados que se obtuvieron por medio de ambos métodos resultan ser válidos y a su vez viables; por ende, pueden ser tomados en cuenta para la solución de caminos nuevos, por otro lado, haciendo uso del método Dispay se necesita de la utilización de más insumos para su ejecución, mientras que el método Aashto 93 resulta ser mucho más simple y sobre todo más rápido en su ejecución, facilitando así el trabajo que realiza el proyectista.

- ✿ SÁNCHEZ (2016) en su estudio "**Diseño de pavimentos flexible método Aashto 93 en vía Valle de la Virgen en Pedro Carbo**", Universidad de Guayaquil, Ecuador, cuyo objetivo es asegurar la viabilidad y eficiencia de la carretera utilizando el método Aashto 93, dicho trabajo ayuda a realizar la materialización y diseño de pavimento flexible para optimizar las condiciones de trabajo de las carreteras relacionadas, el método es un enfoque descriptivo y cuantitativo; el resultado es un espesor de material de 49,50 cm (Asfalto 7.5 cm; Base 12 cm; sub-base 30 cm), CBR es 14% lo que demuestra que el proyecto es muy importante para los residentes de la sector estudiado, se beneficiarán de la construcción de carreteras, lo que llevó a la solución lograr el abastecimiento de productos agrícolas al centro de la ciudad.
- ✿ Herrera, Nader. (2014). En su tesis titulada "**Estudio del Pavimento Las Vías del Barrio Salacalle, Perteneciente a la Parroquia Saquisilí, Cantón Saquisilí, Provincia de Cotopaxi y su Incidencia en la calidad de vida de los Habitantes**" para optar el título de ingeniería civil de la Universidad Técnica de Ambato, La problemática que prevalece a nivel nacional se relaciona con las lluvias continuas que han ocasionado inundaciones y deslizamientos, generando un notable

deterioro en el estado de las carreteras. Esta situación es resultado de la ausencia de un plan de mantenimiento vial efectivo o su falta de implementación, lo que impide abordar el problema mediante la rehabilitación de la infraestructura vial existente.

Adicionalmente, es relevante destacar que ciertos sectores son relegados por múltiples razones. La distancia geográfica, la falta de consideración por parte de las autoridades locales y, aún más preocupante, motivos políticos contribuyen a esta situación. En muchos casos, estos lugares carecen de una cantidad significativa de votantes, lo que resulta en su exclusión en la ejecución de proyectos de infraestructura. En lugar de eso, se enfoca la inversión en áreas con mayor densidad de población.

En la provincia de Cotopaxi, los estragos causados por el invierno y una temporada particularmente intensa han desencadenado una serie de problemas en varios cantones de la región. Estos problemas incluyen derrumbes, colapso de alcantarillas, destrucción de puentes y, como consecuencia, la incomunicación de diversas poblaciones. Para atenuar en cierta medida estas dificultades, los gobiernos locales han movilizado maquinaria para restaurar las vías de acceso tanto para vehículos como para peatones. Sin embargo, estas medidas no abordan de manera integral los problemas viales debido al considerable desgaste que han experimentado las infraestructuras.

En este contexto, se pone de manifiesto una marcada carencia de mantenimiento vial, lo cual impide un flujo vehicular normal y resulta en congestiones y riesgos para los peatones. Además, no se puede obviar la falta de compromiso por parte de las autoridades, y en particular, la insuficiente previsión ante eventos naturales que afectan a esta provincia de manera cíclica. Cada año, la población se enfrenta a estas situaciones, lo que resalta la necesidad de adoptar medidas preventivas más sólidas y una mayor implicación de las autoridades para enfrentar estos retos recurrentes.

✿ **Rojas, M. (2014)** en su trabajo de investigación titulado: **“Propuesta de recuperación vial de pavimentos flexibles de los Municipios Bolívar, Carvajal, Freites, Guanta, Libertad y Sotillo del Estado Anzoátegui”**, para optar el título de Ingeniero Civil de la Universidad de Oriente en Venezuela, nos menciona:

El concepto de conservación vial no es ajeno, al igual que los métodos empleados para la rehabilitación de carreteras. Sin embargo, la innovación radica en la transformación del sistema convencional de gestión de vías, que en muchas ocasiones resulta ineficiente desde una perspectiva económica. En este proyecto se introduce una Propuesta de Recuperación Vial (PRV) como un nuevo enfoque de sistema de conservación diseñado para vías rurales. La génesis de este modelo se origina en la necesidad de proporcionar al Servicio Autónomo de Vialidad Agrícola del Estado Anzoátegui (SAVA) una herramienta integral de soporte técnico e institucional para optimizar las actividades de mantenimiento que lleva a cabo en la infraestructura vial.

El proyecto aborda factores técnicos, organizativos y normativos que contribuyen al deterioro de la infraestructura vial, y establece metodologías y procedimientos aplicables en el contexto de la PRV, con el fin de facilitar su implementación efectiva. Un punto fundamental es la necesidad de sincronizar las políticas y acciones del SAVA con las del Gobierno Regional y otras entidades responsables de la problemática vial en el estado. Esto resulta particularmente importante en la perspectiva de fortalecer la infraestructura de transporte, con miras a fomentar la competitividad a nivel regional y nacional. Esto, a su vez, podría generar una reducción en los costos y tiempos de transporte, y promover la conectividad entre áreas rurales y centros económicos y servicios esenciales a nivel regional.

## 2.1.2 A NIVEL NACIONAL

✿ ARÉVALO & CHÁVEZ (2015) en su tesis titulada “**Diseño de pavimento en la Urbanización Santa María Distrito de José Leonardo Ortiz – Chiclayo - Lambayeque**”, universidad nacional Pedro Ruiz Gallo; tiene por objetivo la realización de un diseño de pavimento en la zona seleccionada con el fin de proponer condiciones adecuadas de transitabilidad. La investigación fue de tipo descriptiva – no experimental, además para el diseño del pavimento se utilizó metodologías con alto reconocimiento a nivel internacional como es AASHTO 93. Los resultados obtenidos fueron que dicha zona presenta tipo de suelos como son: CL, SC y SM los cuales presentaron como espesores o siguiente: Sub base granular de 10”, carpeta de rodadura 2” para las calles, mientras que para las avenidas la carpeta de rodadura fue de 3”. Se logró concluir que la calidad de aire posee una importancia absoluta que asciende a 884, y una relativa de 124.8, mientras que el uso del suelo posee una importancia absoluta de 754 y una relativa de 124.19 y, por último, el factor ambiental de tipo positivo tiene una importancia absoluta y relativa de 598 y 77.39 respectivamente

✿ CHUNA (2019) en su investigación “**Diseño de la infraestructura vial para mejorar la transitabilidad usando el Método AASHTO 93 en la Urbanización Santa Rosa Ventanilla**”, desarrollada en la universidad César Vallejo; tenía como objetivo el planteamiento de dicho diseño de infraestructura vial el cual permitiera el mejoramiento de la transitabilidad en la urbanización considerada para el estudio, haciendo uso del método Aashto 93. La población estuvo conformada por los 300 metros del tramo considerado a ser pavimentado y 150 metros lineales; los resultados fueron: el índice diario semanal equivale a 219 veh/día, mientras que el medio anual es de 226veh/día, el ESAL resultó ser de 2,959,712.74, mientras que haciendo uso del Aashto 93 se pudo determinar los espesores del pavimento flexible los cuales tenían una capa asfáltica de 3.5” además de una base granular y sub base granular de 6” y 4” respectivamente. La investigación permitió concluir que existe



la presencia de un suelo granular con un CBR de 57.20%, mientras que el tránsito en dicha zona es bajo por lo que se considera un tránsito ligero.

- Macha (2019) en su tesis **“Aplicación de metodología Aashto 93 en el diseño de pavimento flexible para optimizar la transitabilidad vehicular en la carretera Talavera – Andahuaylas”**, universidad nacional Federico Villareal; tuvo como objetivo diseñar el pavimento flexible en esta área, ejecutando un análisis de aquellos parámetros importantes que se encuentran estipulados por el método Aashto 93. El resultado fue: Excepto por el eje equivalente ESAL de 7,867,970; el índice promedio diario (IMD) es de 467 vehículos / día, y la capa de asfalto con un espesor de 7 pulgadas tiene un CBR de 7.2%. Los investigadores lograron concluir que la estructura final del pavimento está formada por sub-rasante, suelo natural compactado y formado, 37,50 cm de corte (compactado al 95% de CBR) y 30 cm de espesor, y carpeta de 3 pulgadas de concreto asfáltico grueso y caliente.

✿ (CASTILLO, 2018) En la tesis de titulación como Ingeniero Civil denominado: **(Diseño del pavimento para el mejoramiento de la transitabilidad vial entre los jirones Helmes y Ortiz- Los Olivos, 2018)** en la UCV. Como resultado de este estudio, se llegó a las siguientes conclusiones: La aplicación del método AASHTO para el diseño de pavimentos conlleva una notable mejora en la transitabilidad. En específico, se obtuvo una confiabilidad del 70% durante un periodo de 20 años, lo cual representa un nivel muy alto de confianza en la durabilidad y funcionamiento de la infraestructura vial. En última instancia, el diseño del pavimento propuesto tiene el potencial de generar mejoras sustanciales en la transitabilidad de la zona. Esto se refleja en un Índice Medio Diario de Tráfico (IMDA) calculado en 160 vehículos por día, lo que indica un flujo vehicular significativo.

Adicionalmente, se determinó el Equivalente Simple de Cargas de Eje (ESAL) para ambos tipos de pavimento. Para el pavimento flexible, el

ESAL se estimó en  $1.29E+05$ , mientras que para el pavimento rígido fue

calculado en  $1.26E+05$ . Estos valores representan una cuantificación de la carga aplicada al pavimento a lo largo del tiempo y contribuyen a evaluar la capacidad de resistencia de las estructuras pavimentadas.

✿ HUMPIRI, KATIA. (2015). En su trabajo de investigación titulado: **"Análisis Superficial de Pavimentos Flexibles Para el Mantenimiento de Vías en la Región de Puno"**, de la Universidad Señor de Sipán, Pimentel – Perú 2018, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:

- Las deficiencias superficiales más comunes encontradas en la zona de estudio están predominantemente representadas por fisuras longitudinales y transversales, seguidas por ahuellamientos, desgaste superficial y otros tipos de deterioro. Estas irregularidades en la superficie de la carretera resultan de carencias en el diseño, construcción y operación, cuyos efectos repercuten negativamente en la calidad final del proyecto. En consecuencia, es crucial llevar a cabo una evaluación exhaustiva de la vía para determinar la naturaleza del mantenimiento que debe implementarse, una variable esencial para el éxito de la conservación vial.
- En relación a las fallas superficiales identificadas en la zona de estudio, puede inferirse que, en su mayoría, presentan un grado de severidad relativamente bajo. La causa primordial de este deterioro radica en la falta de mantenimiento adecuado de las carreteras.
- En relación a las fallas superficiales identificadas en la zona de estudio, puede inferirse que, en su mayoría, presentan un grado de severidad relativamente bajo. La causa primordial de este deterioro radica en la falta de mantenimiento adecuado de las carreteras.
- A través de esta investigación, se puede llegar a la conclusión de que la identificación de fallas superficiales en pavimentos flexibles revela una amplia diversidad de tipos de deterioro. Estas distintas categorías de fallas proporcionarán a los ingenieros viales una guía esencial para llevar a cabo inspecciones viales de manera más efectiva y precisa.

✿ CASANA PATRICIO, RITA YENIFER (2018).  
En su trabajo de

investigación titulado: **Propuesta de Diseño del Pavimento Flexible para la Avenida Santo Toribio y las Calles 7 Y 8 del Asentamiento Humano las Lomas Sector I - Distrito de Huanchaco - Trujillo - La Libertad, 2018**”, de la Universidad Privada de Trujillo, Trujillo – Perú, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:

Para la Propuesta de Diseño del pavimento Flexible en la Avenida Santo Toribio y las calles 7 y 8 Las Lomas Sector I distrito de Huanchaco – Trujillo – La Libertad – 2018, se ha determinado lo siguiente:

- Los datos del levantamiento topográfico nos permitieron para la elaboración de los planos como es: secciones transversales, perfiles y señalización.
- El espesor del pavimento afirmado será diseñado de acuerdo a la capacidad de soporte del suelo.
- En el estudio de tráfico, se deduce que el mayor volumen de tráfico se presenta el lunes, miércoles, jueves y viernes que presenta un tráfico estimado desde (500 a 508) y el de menor volumen de tráfico se presenta el día domingo con tráfico de 482 veh/día.
- El Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible, del presente proyecto, obedece a parámetros del comportamiento del lugar como es la caracterización del tránsito, las propiedades mecánicas de los materiales y del terreno de fundación, las condiciones de drenaje y los niveles de serviciabilidad y confiabilidad.
- En el método AASTHO – 93, el cálculo del espesor de la estructura del pavimento relaciona las variables, considerando principalmente los Factores de Equivalentes de ejes o ESALs y el Módulo Resiliente de la Subrasante MR.

✿ TERRONES (2018) en su tesis **“Diseño estructural del pavimento flexible utilizando método Aashto 93 en las calles I y J de la cuarta etapa del C.H Micaela Bastidas – Piura”**, universidad César Vallejo; tuvo por objetivo diseñar el paquete estructural del pavimento de tipo flexible en dichas calles, Teniendo como punto de partida las

características actuales del tráfico y el correspondiente estudio de suelos, el muestreo se realizó en dos calles (I-J) dentro de la cuarta etapa del mencionado consejo habitacional, estableciendo dos estaciones, una en cada calle.

En cuanto a los resultados obtenidos, se identificó que la cantidad de repeticiones de ejes con un equivalente de 8.2 toneladas para la calle I fue de 4,193,740.56 EE, mientras que para la calle J fue de 6,023,280.86 EE. Adicionalmente, a partir de los estudios de suelos realizados en ambas calles, se determinó un valor de California Bearing Ratio (CBR) de 20.6, el cual se considera con un nivel de confianza del 95%, con una penetración de 0.1 pulgadas. Este valor de CBR se empleará en el proceso de diseño de los espesores para el paquete estructural.

Asimismo, se recopilaron datos complementarios de diseño: en la calle I, el espesor de la capa de asfalto es de 3.5 pulgadas, mientras que la base granular y subbase granular poseen un espesor de 7 pulgadas en ambos casos. En contraste, en la calle J, se mantuvo el espesor de la capa de asfalto y se ajustó el espesor de la base granular y subbase granular a 9 pulgadas. Estos datos son fundamentales para el diseño y construcción de la infraestructura vial con base en las condiciones específicas de cada calle.

✱ TORRES & PÉREZ (2017) en su investigación **“Diseño de pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en el AA. HH Ampliación Túpac Amaru, en el Distrito de Chiclayo”**, universidad César Vallejo; su objetivo fue desarrollar un diseño de pavimento flexible para mejorar las condiciones del tráfico de vehículos y peatones. En el estudio, se utilizó AASHTO 93 y los resultados mostraron que C.BR es del 10% al 95% del Proctor en el laboratorio, y el estrato tiene las características de estabilidad media y plasticidad baja. Y arena fina de diversos grados. Se determinó que el proyecto es factible siempre que se adhiera a cada especificación técnica contenida en el informe del proyecto y cumpla con las especificaciones ambientales propuestas en el plan de manejo ambiental.

### 2.1.3 A NIVEL LOCAL

✱ LUIS ALBERTO PINCHI VERGARA (2017).  
En su trabajo de

investigación titulado: **“Diseño de Pavimento Flexible con Carpeta Asfáltica en Caliente Tramo Banda de Shilcayo – Las Palmas”**, de la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto – Perú, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:

Se lograron identificar los parámetros esenciales requeridos para llevar a cabo el diseño de un pavimento asfáltico, específicamente el espesor de un pavimento flexible en caliente.

A través del análisis, se llegó a determinar el espesor adecuado del pavimento a emplear en el proyecto. Los resultados indican que la estructura del pavimento será conformada por 5 pulgadas de material de subbase del Río Huallaga, seguido por una capa de 4 pulgadas de material de base chancada del mismo río, y finalmente, una capa de rodadura de 3 pulgadas compuesta por una carpeta asfáltica elaborada con grava chancada, gravilla y arena zarandeada del Río Cumbaza. Estos espesores se ajustan para acomodar un tránsito de nivel medio a pesado.

La información obtenida en este proyecto tendrá un valor significativo como recurso para el diseño de pavimentos asfálticos, tanto en un contexto académico como en la ejecución de proyectos concretos en la región. Además de establecer una metodología de diseño, esta información puede ser contrastada con la realidad específica de cada situación, permitiendo así una adaptación más precisa y efectiva a las condiciones locales. En última instancia, esta contribución puede impactar positivamente en la calidad de los pavimentos y la infraestructura vial en la región.

✱ KATERYN TELLO SINARAHUA (2021). En su trabajo de investigación titulado: **“Propuesta de Diseño de Pavimento Flexible y su relación con la Mejora de la Transitabilidad en La Carretera Cacatachi –**

**Rumisapa, Departamento de San Martín**”, de la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto – Perú, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:

- Habiendo utilizado el método AASHTO 93 para realizar el diseño de la Carretera se obtuvo como factores de ejes equivalentes de 8.2t (EE) para un periodo de 20 años.
- Se realizaron estudios de suelos con el propósito de obtener las propiedades de las calles obteniendo de esta manera un CBR de 77.50 al 95% con 0.1” de penetración, este valor se usó para el diseño del pavimento flexible en ambas calles así también como el valor del módulo de resiliencia (Mr) que se obtiene a base del CBR.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Pavimento Flexible**

Un pavimento flexible que cuenta con superficie asfáltica en cualquier modalidad o formas, está compuesto por una capa de mezcla asfáltica sobre una base y sub base granulares. (CE. 010, Pavimentos Urbanos).

#### **2.2.1.1 Elementos de un Pavimento Flexible**

El pavimento flexible está conformado por:

##### **a) Sub Rasante**

El término utilizado para describir este tipo de capa es "suelo de fundación mejorado", que consiste en una capa de material de préstamo o fundación, que se compacta hasta alcanzar una densidad específica según las directrices establecidas por AASHTO (1993).

##### **b) Sub Base**

La capa subbase se encuentra bajo la capa base y sobre la subrasante. Se compone de material granular compactado, podemos

omitir la subbase si se cuenta con suelos de alta calidad (AASHTO, 1993).

**c) Base**

Esta capa base se encuentra posicionada bajo la capa superficial de la estructura del pavimento. Su función primordial es proveer soporte estructural al pavimento. Generalmente, está compuesta por agregados como escoria chancada, piedra chancada, arena y grava chancada, o la combinación de estos materiales, en línea con las directrices de AASHTO (1993).

**d) Superficie de Rodadura**

Esta capa se encuentra expuesta al entorno exterior y experimenta contacto directo con el tráfico. Por lo general, se construye como una capa base y está conformada por una combinación de agregados, minerales y materiales bituminosos. Su función primordial reside en resistir las cargas generadas por el tráfico, al tiempo que asegura la impermeabilización de la superficie y proporciona un acabado uniforme y suave (AASHTO, 1993).

## **2.2.2 Diseño de pavimento flexible**

### **2.2.2.1 Estudio de tráfico**

El Manual de Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018) establece que el análisis de tráfico tiene como propósito principal proporcionar detalles sobre el Índice Medio Diario Anual (IMDA). Este índice es esencial para comprender la demanda volumétrica actual de tráfico, así como para categorizar los vehículos según su tipo. Para determinar el IMDA, es necesario contar con los índices de variación mensual, los cuales generalmente son proporcionados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTP).

El estudio de tráfico implica la realización de muestreos destinados a calcular el IMDA para un tramo específico. El proceso comienza por



obtener la información sobre la demanda vehicular existente para cada dirección del tráfico. Este análisis detallado es fundamental para comprender la carga de tráfico en la vía y así llevar a cabo un diseño y planificación adecuados de las obras viales.

**a) Volumen de tránsito**

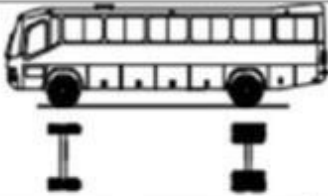
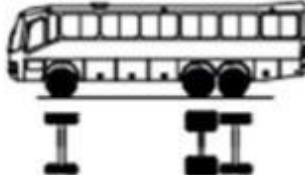
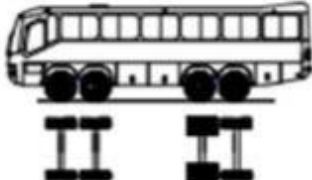
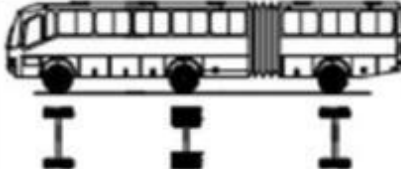
Se refiere a la cantidad de automóviles que viajan a través de un carril específico en una unidad de tiempo específica.

**b) Índice medio diario anual, IMD**

El término se refiere al número promedio de vehículos que circulan de manera habitual durante un periodo específico de tiempo. Esto permite calcular diferentes tipos de índices medios, como el Índice Medio Diario Anual (IMDA), Índice Medio Diario Semanal y Índice Medio Diario Mensual, según la periodicidad del análisis. Estos índices proporcionan una visión detallada y cuantitativa del flujo vehicular en la vía, resultandos esenciales para la planificación y el diseño de infraestructuras viales.

**c) Pesos y medidas máximos permitidos**

**Tabla 1: Tabla de pesos y medidas de buses**

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
B2		13,20	7	11	---	---	---	18
B3-1		14,00	7	16	---	---	---	23
B4-1		15,00	7+7 <sup>(1)</sup>	16	---	---	---	30
BA-1		18,30	7	11	7	---	---	25

Fuente: Reglamento nacional de vehículos (MTC), 2018

**Tabla 2: Tabla de pesos y medidas de camiones**

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS								
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
C2		12,30	7	11	---	---	---	18
C3		13,20	7	18	---	---	---	25
C4		13,20	7	23 <sup>(1)</sup>	---	---	---	30
Bx4		13,20	7+7 <sup>(2)</sup>	18	---	---	---	32

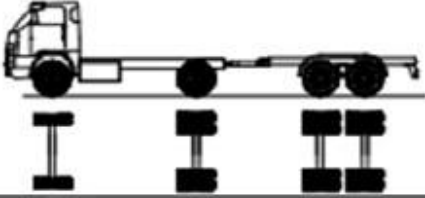
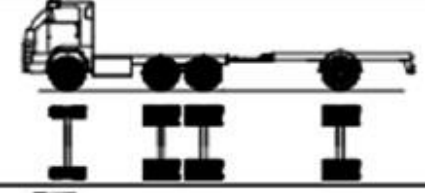
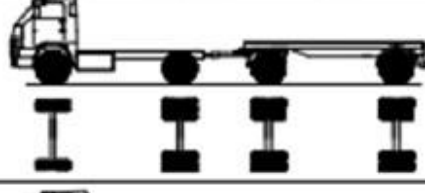
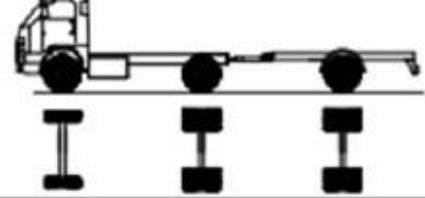
Fuente: Reglamento nacional de vehículos (MTC), 2018

Tabla 3: Tabla de pesos y medidas de camiones de carga pesada y semitrailers

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS								
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Eje Delant	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 <sup>(1)</sup>	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	36
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 <sup>(2)</sup>
T3Se3		20,50	7	18	11 <sup>(1)</sup>	18	---	48 <sup>(2)</sup>

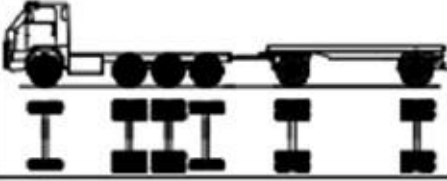
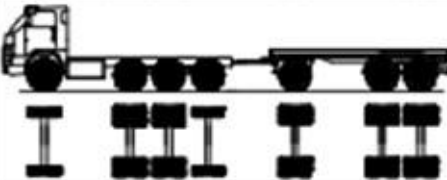
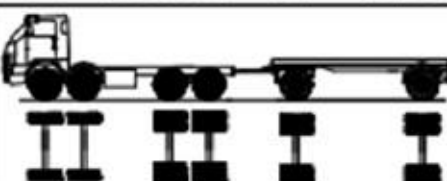
Fuente: Reglamento nacional de vehículos (MTC), 2018

**Tabla 4: Tabla de pesos y medidas camión remolque menor o igual a 4 ejes.**

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
C2RB2		20,50	7	11	18	---	---	36
C3RB1		20,50	7	18	11	---	---	36
C2R2		23,00	7	11	11	11	---	40
C2RB1		20,50	7	11	11	---	---	29

Fuente: Reglamento nacional de vehículos (MTC), 2018

**Tabla 5: Tabla de pesos y medidas, camión remolque mayor o igual a 5 ejes.**

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
C4R2		23,00	7	23 <sup>(1)</sup>	11	11	---	48 <sup>(2)</sup>
C4R3		23,00	7	23 <sup>(1)</sup>	11	18	---	48 <sup>(2)</sup>
8x4R2		23,00	7+7 <sup>(2)</sup>	18	11	11	---	48 <sup>(2)</sup>

Bx4R3		23,00	7+7 <sup>(2)</sup>	18	11	18	---	48 <sup>(2)</sup>
Bx4R4		23,00	7+7 <sup>(2)</sup>	18	18	18	---	48 <sup>(2)</sup>
C3RB2		20,50	7	18	18	---	---	43
C4RB1		20,50	7	23 <sup>(1)</sup>	11	---	---	41
C4RB2		20,50	7	23 <sup>(1)</sup>	18	---	---	48
Bx4 RB1		20,50	7+7 <sup>(2)</sup>	18	11	---	---	43

Fuente: Reglamento nacional de vehículos (MTC), 2018

**Tabla 6: Tablas de pesos y medidas, tráiler y camión remolque de más de 5 ejes.**

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
			1º	2º	3º	4º		
Bx4 RB2		20,50	7+7 <sup>(2)</sup>	18	18	---	---	48 <sup>(2)</sup>
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	---	48 <sup>(2)</sup>

T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 <sup>(2)</sup>	11 + 11 <sup>(2)</sup>	---	48 <sup>(2)</sup>
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 <sup>(2)</sup>
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 <sup>(2)</sup>	11	11 + 11 <sup>(2)</sup>	48 <sup>(2)</sup>

Fuente: Reglamento nacional de vehículos (MTC), 2018

#### d) Periodo de Diseño

El diseño del pavimento se realiza considerando su capacidad para resistir el impacto acumulativo que el tráfico ejerce a lo largo de un período específico. Se establece un horizonte temporal, usualmente en años, para el cual se planifica el diseño, y a este se le denomina "período de diseño" (AASHTO, 1993). Durante este período, se espera que el pavimento mantenga su desempeño y capacidad de carga dentro de los parámetros establecidos, teniendo en cuenta las condiciones del tráfico y las características del entorno.

#### e) Carril de Diseño

Corresponde a la cantidad de vehículos que transitan en una o dos sentidos, normalmente el tránsito en ambas direcciones es igual, en algunos casos es probable que en un sentido encontremos mayor tránsito que en el otro (MTC, 2014).

Las recomendaciones del Instituto de asfalto y AASHTO son:

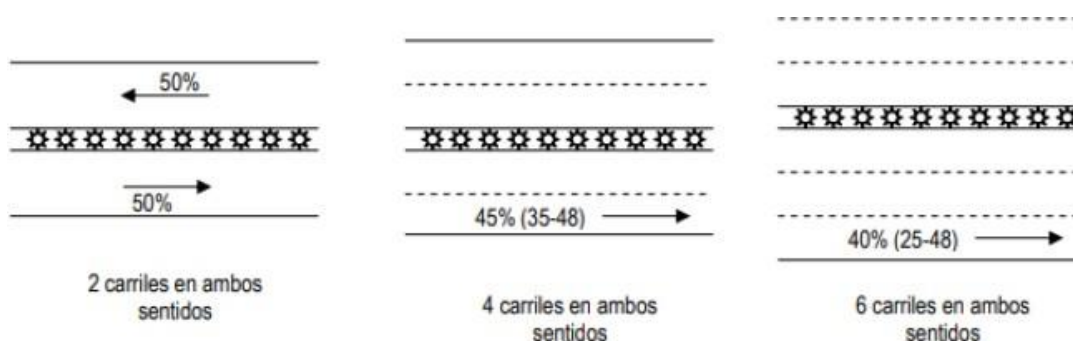
- Instituto del asfalto

**Tabla 7: Carril de Diseño**

N° carriles (2 direcciones)	% de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35-48)
6 ó más	40 (25-48)

Fuente: Instituto del asfalto (Manual MS-1), 1991  
Mediante una gráfica se representa como:

**Ilustración 1: Carril de Diseño**



Fuente: Instituto del asfalto (Manual MS-1), 1991

- AASHTO

Aashto recomienda para el conteo en las dos direcciones, el factor direccional es de 50 %, pudiendo variar entre el 30% al 70%. Para el carril de diseño, se separa el tráfico en un sentido, teniendo las siguientes recomendaciones:

**Tabla 8: ESAL Equivalent single axle load**

N° carriles en 1 dirección	% ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: Instituto del asfalto (Manual MS-1), 1991

Se emplea la tabla número 3, para determinar el tráfico según el número de

calzadas en el carril de diseño, la cual muestra el factor direccional, ponderado y el factor carril.

**Tabla 9: Factores de distribución direccional y de carril**

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 la 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 las 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 (MTC), 2014

#### f) Cálculo de tasa de crecimiento y proyección

Utilizando fórmulas para determinar el crecimiento del tráfico.

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

**En la que:**

T<sub>n</sub> = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día

T<sub>o</sub> = Tránsito actual (año base 0) en veh/día

n = Número de años del período de diseño

r = Tasa anual de crecimiento de tránsito.

#### Factores de crecimiento acumulado (Fca)



$$\text{Factor de crecimiento} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

**Donde:**

r = Tasa de crecimiento anual, %

n = Periodo de diseño en años.

El crecimiento acumulado se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 10: Factores de crecimiento acumulado (Fca)**

Período de Análisis ( años)	Factor de Crecimiento	Tasa anual de crecimiento ( r )							
		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	5.19	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	31.77
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 (MTC), 2014

### g) Estimación del ESAL

Una vez obtenido la cantidad de vehículos del carril donde se realizará el diseño y en el transcurso del periodo del mismo, se empleará la siguiente fórmula:

$$ESAL = \sum_{i=1}^{I-m} \text{FACTORCAMION}_i * \text{IMD}_i * Fca * Fd * Fc * 365$$

### **2.2.2.2 Estudio topográfico**

De acuerdo con el Manual de Transportes y Comunicaciones (MTC) de 2018, un estudio topográfico engloba una serie de procedimientos que se ejecutan en el terreno utilizando herramientas adecuadas con el objetivo de elaborar un plano. Para llevar a cabo este estudio, es esencial conocer la longitud del proyecto y establecer una red de puntos distribuidos a intervalos superiores a 10 metros. Adicionalmente, se requiere instalar puntos de control conocidos como "BMs" cada 500 metros, los cuales se basan en los hitos de control vertical proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Además de esto, el estudio incluye la generación de detalles planimétricos, la creación de planos topográficos y la realización de levantamientos adicionales que complementen la información requerida para el proyecto.

#### **a) Levantamiento planimétrico**

Esta etapa se enfoca en la recolección de datos en campo, los cuales serán posteriormente procesados con el propósito de obtener una representación topográfica del terreno. Esta representación se materializa en forma de planos que reflejan las características de la superficie del terreno, incluyendo elementos como cuerpos, curvas y contornos, entre otros elementos relevantes (Arebalo & Chávez, 2015).

#### **b) Secciones transversales**

Detalla partes de la carretera, mediante un corte vertical lo que lleva a obtener los parámetros para la estimación de los volúmenes y plantear el diseño del pavimento (MTC, 2014).

### **2.2.2.3 Estudio de suelos**

Según el Manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de 2014, este tipo de estudio tiene como finalidad proporcionar información detallada sobre las distintas propiedades físicas, mecánicas y composición de las diferentes capas del terreno en profundidad. No obstante, para llevar a cabo la exploración adecuada, es necesario realizar primero un reconocimiento del

terreno con el propósito de identificar los diversos tipos de suelos presentes en la zona. Este reconocimiento es esencial para detectar tanto cortes naturales como excavaciones artificiales. Asimismo, este proceso permite determinar cuáles son los estratos principales de suelos artificiales y delinear áreas que comparten características similares, así como áreas de riesgo. Estos datos son fundamentales para iniciar la planificación y diseño de la vía.

#### **a) Contenido de humedad**

Se representa como un porcentaje, que es la relación del peso de la humedad en la muestra de suelo y el peso de las partículas sólidas en la muestra (MTC, 2017).

Este estudio se basará en lo establecido en la NTP 339.127:1998.

#### **Equipos y materiales**

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Espátula.
- Recipiente, donde se coloca la muestra

#### **Procedimiento**

- En la balanza eléctrica se empieza por pesar la tara empleada, se calibra previamente y se registra en la hoja de apuntes.
- Se realiza el llenado con las muestras obtenidas en las taras, y se pesan.
- Las muestras estarán por un periodo no menor de 18 horas ni superior a las 24 horas, a temperatura de 110°C.
- Cumplido el tiempo en el horno, se procede a sacar las muestras y se dejan enfrían a temperatura ambiente.

- Una vez enfriada las muestras, son pesadas y registradas en la hoja de apuntes.
- Finalmente, se emplea la fórmula para calcular el contenido de humedad

### Cálculos

El contenido de humedad se obtiene, mediante la fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

W = contenido de humedad, (%)

$M_{CWS}$  = peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

$M_{CS}$  = peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos

$M_C$  = peso del contenedor, en gramos

$M_W$  = peso del agua, en gramos

$M_S$  = peso de las partículas sólidas, en gramos

### b) Límite de Consistencia

Determinan qué tan sensible es el comportamiento del suelo a su contenido de humedad.

#### Límite Líquido

Es el contenido de humedad que presenta el suelo al pasar de un estado semilíquido y terminar comportándose como un material plástico (MTC, 2017).

## **Equipos y Materiales**

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Agua destilada.
- Copa Casagrande.
- Acanalador, taras y espátula.
- Recipiente para mezclado

## **Procedimiento**

- La muestra se pasó a través de malla 40 para obtener aproximadamente 250 gr.
- Humedecer la mezcla y mezclar uniformemente con una espátula hasta obtener una mezcla uniforme.
- Se toma una cantidad de la mezcla y coloca en la copa de Casagrande y nivelar la superficie con ayuda de la espátula.
- Tomar el acanalador, pasarlo por el centro y cortar la mezcla en dos.
- Luego se da vuelta la perilla, contabilizar los golpes en el que se unen la ranura de 1/2" de la mezcla y se toma una muestra.
- La muestra obtenida se coloca al horno; se repite el procedimiento y se toman muestra en un rango de los 15 - 40 golpes

## **Límite Plástico**

Es el contenido de humedad que se produce cuando el suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido, y tiende a agrietarse y romperse (MTC, 2017, pág. 72).

## **Equipos y Materiales**

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Agua destilada.
- Placa de vidrio.
- Acanalador, taras y espátula
- Recipiente para mezclado

**Procedimiento:**

- Trabajamos con material preparado y tomamos alrededor de 20 gr.
- Amasamos la muestra en forma de esfera y dejamos que pierda humedad.
- Luego amasamos la esfera en forma cilíndrica en la placa de vidrio hasta obtener un diámetro de 3.2 mm.
- El ensayo continuara hasta que este comience a agrietarse y termine rompiéndose.
- Por último, se coloca la muestra en taras enumeradas, se pesa para luego colocarlos al horno.

**c) Análisis Granulométrico**

La herramienta que se utiliza para el desarrollo de este estudio son las mallas o tamices. Podemos encontrar dos doctrinas, evidentemente diferentes, de acuerdo a la forma del tamiz: la doctrina alemana y la doctrina norteamericana.

La alemana presenta una plancha metálica con aberturas, por otro lado, en el caso de la norteamericana la malla está conformada por hilos

metálicos distribuidos en forma de cuadrícula.

En la doctrina norteamericana podemos encontrar dos tipos de tamices: la serie Tyler: en donde cada malla presenta una división de veces mayor que de la malla próxima y su numeración de abertura está dada por pulgada lineal. En la serie U.S. Standard: los números establecidos para cada tamiz serán inversamente proporcionales al tamaño de los agujeros.

### **Granulometría**

La granulometría determinará la graduación del tamaño de grano de los agregados; el ensayo consiste en desunir la muestra de estudio empleando un juego de tamices con agujeros gradualmente de menor diámetro. (ASTM C 136 – 01)

Se utilizará el método de lavado para materiales más finos que el tamiz N°200 no pueda retener (MTC, 2017, pág. 94).

Para el ensayo de granulometría se basará en la NTP 339.128:1999. En la tabla 5 se muestra los tamices que se emplean.

**Tabla 11: Juego de tamices**

<b>Tamices</b>	<b>Apertura (mm)</b>
3"	75.000
1 1/2 "	38.100
3/4 "	19.000
3/8 "	9.500
N°4	4.760
N°8	2.360
N°16	1.100
N°30	0.590
N°50	0.297
N°100	0.149
N°200	0.075

Fuente: MTC E 107 - ASTM D422

## Equipos y Materiales

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Juego de tamices.
- Recipiente, donde se coloca la muestra

## Procedimiento

- Se cuartea el material utilizando una comba de goma, una vez hecho esto se coloca en el horno por un lapso de 24 horas.
- Se retira del horno la muestra, se procede a secar por unos 15 minutos, para luego pesarla, luego se procede al lavado para ello utilizaremos la malla 200.
- El material retenido se coloca nuevamente en el horno realizar nuevamente el secado, una vez retirada y enfría la muestra, se procede a secar, así se obtiene los pesos del lavado y secado en el horno.
- Finalmente se procede a colocar el material en el juego de mallas para realizar el tamizado, se pesa el material que queda retenido en cada una de las mallas y se registran los resultados en la hoja de apuntes.

## Cálculo

El porcentaje que se retiene en cada tamiz se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$\%Retenido = \frac{W_{malla}}{M_1} \times 100$$

**Donde:**

W malla= Peso retenido por malla.

M<sub>1</sub>= Peso de la muestra secada al horno.



#### **d) Clasificación de Suelos**

Los suelos que poseen similares propiedades se pueden clasificar en grupos y subgrupos. En la actualidad hay dos sistemas que clasifican y distribuyen por plasticidad y granos los suelos. Los cuales son:

##### **Clasificación AASHTO**

El sistema se desarrolló en el año 1929. Cuenta con varias revisiones, siendo refinado y modificado hasta la actual por el Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board en 1945 (Braja, 2001).

Los suelos son divididos en dos grupos:

- Suelos gruesos, los que pasan menos el 35% o menos el tamiz N°200.
- Suelos finos, aquellos que pasan más del 35 % el tamiz N°200.

De acuerdo con el método se clasifica en 7 grupos (A1 – A7), y 8 subgrupos.

##### **Índice de grupo (IG)**

Los suelos que se comportan parecido los hallamos dentro del mismo grupo. Permite conocer la cantidad de suelo.

El IG se calcula mediante la siguiente formula:

$$(IG) = 0.2_a + 0.005_{ac} + 0.01_{bd}$$

Donde:

a = Lo que pasa en porcentaje por la malla N° 200, cuyos valores comprenden como mínimo 35% y como máximo 75%. Se expresa mediante un número entero (0 a 40).

b = Lo que pasa en porcentaje por la malla N° 200, cuyo valor comprenden como mínimo 15% y como máximo 55%. Se expresa mediante un número entero (0 a 40).

c = Fracción del límite líquido, comprende como valor mínimo 40% y valor máximo de 60%. Se expresa mediante un número entero (0 a 20).

d = Fracción del índice de plasticidad, comprende como valor mínimo 10% y valor máximo 30%. Se expresa mediante un número entero (0 a 20).

El índice de grupo comprende valores entre 0 y 20 o más. Cuando el índice de grupo se obtiene valores negativos, se coloca un cero.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación del suelo mediante lo establecido por el AASHTO.

Tabla 12: Clasificación de suelos - método AASHTO

Clasificación General	MATERIALES GRANULARES							MATERIALES ARCILLOSOS			
	(Igual o menor del 35% pasa el tamiz N°200)							(mas del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1		A3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A - 1a	A -1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Porcentaje que pasa por el tamiz											
N°10	50 max.										
N°40	30 max	50 max.	51 min.								
N°200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características del Material que pasa por el tamiz N°40											
Limite liquido (Ll)				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de Plasticidad (Ip)	0	0	0	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Índice de grupo						4 max.	4 max.	8 max.	12 max.	16 max.	20 max.
Tipos de material	Fragmento de piedra grava o arena		Arena fina	Grava, arena limosa y arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a bueno						Regular a deficiente				

Fuente: Guía AASHTO 93

## **Descripción de los grupos**

Entre la descripción tenemos:

### **Materiales granulares:**

Lo conforma un 35% o menos del material que logra pasar por la red 200.

### **Grupo A.1**

Está conformado por una mezcla de fragmentos de grava o piedra, bien graduada, de un cemento no plástico y arena fina. El grupo se sub divide en dos, los cuales son:

#### **Subgrupo A-1-a**

Aquellos materiales que están conformados por piedra o grava, el cual puede o no contar con material de cohesión bien graduado, fino.

#### **Subgrupo A.2.b**

Son aquellos materiales que están conformados por arena gruesa, el cual puede contar o no con cementante bien graduado.

### **Grupo A.2**

Está conformado por una gran diversidad de materiales granulares. Este grupo se subdivide en subgrupos los cuales son:

#### **Subgrupo A – 2 – 4 y A – 2 – 5**

Está compuesto por materiales granulares que pasan por la malla N°200 el 35% o menos.

#### **Subgrupo A – 2 – 6 y A – 2 – 7**

Aquellos materiales son semejantes a los subgrupos ya antes mencionados A-2-4 y A-2-5, con una diferencia de que contiene arcilla plástica la parte final.

## **Materiales arcillosos**

Lo que pasa por la malla N°200 más del 35%. Compuesto por los siguientes grupos:

### **Grupo A – 4**

Está compuesto por suelo plástico o moderadamente plástico o limoso, pasa por el tamiz de 0.075mm un 75% o más.

### **Grupo A – 5**

El material que conforma el grupo es semejante al grupo A – 5, con la única diferencia de que sus características del material son diatomeas o de las micas, de un alto límite líquido.

### **Grupo A – 6**

Este grupo está compuesto por un material de arcilla plástica, pasa por el tamiz de 0.075mm un 75% o más del material. El grupo también lo conforma suelos arcillosos finos y por la malla de 0.075mm retiene un 64% de arena y grava.

### **Grupo A – 7**

El material de composición de este grupo es similar al grupo anterior, la única diferencia es que el límite líquido de este grupo es similar al del grupo A-5, y su elasticidad también es buena. Este grupo consta de los siguientes subgrupos:

#### **Subgrupo A – 7 – 5**

Este grupo su índice de plasticidad es modoso en relación con el límite líquido y es sumamente elástico.

#### **Subgrupo A – 7 – 6**

Este grupo su índice de plasticidad es alto en concordancia al límite

líquido y está expuesta a cambios de elevado volumen.

### **Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)**

Sistema presentado por Casagrande en 1942 para aeropuertos, por los ingenieros del ejército de los EE. UU en plena segunda guerra mundial. Se revisó y modificó en el año 1952, hasta la fecha es empleado por ingenieros (Braja, 2001).

El sistema divide a los suelos en dos categorías:

- En el primer grupo encontramos suelos gruesos del tipo arenoso y gravoso, que pasa menos del 50% por el tamiz N°200. Sus símbolos de grupo se designan de la siguiente manera:

Grava o suelos gravosos: GW, GC, GP, GM

Arenas o suelos arenosos: SW, SC, SP, SM

- En el segundo grupo encontramos a los suelos de grano fino, que pasan el 50% o más por el tamiz N°200. Sus símbolos se designan de la siguiente manera:

Limo inorgánico: M

Arcilla inorgánica: C

Limos y arcillas orgánicas: O

Otros símbolos que también se utilizan son:

W: bien graduado

P: mal graduado

L: baja plasticidad (LL menor que 50)

H: alta plasticidad (LL mayor que 50)

Se utiliza la tabla número 13 y 14, para clasificar los suelos según el método SUCS:

**Tabla 13 Sistema unificado de clasificación; símbolo de grupo para suelos arenosos**

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla N° 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafica debajo de la línea A( Figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafica arriba de la línea A( Figura 2.12); o índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL - ML en la figura 2012
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla N° 200 entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla N° 200 entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla N° 200 entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2001

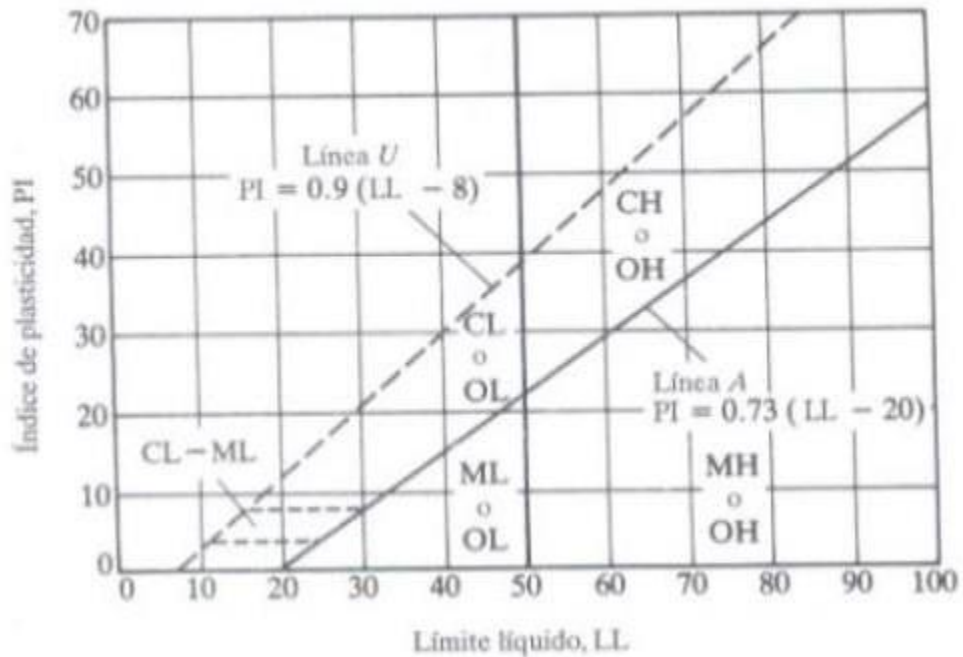
**Tabla 14: Sistema unificado; símbolo de grupo para suelos limosos y arcillosos**

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI > 7$ ; se grafica sobre o arriba de la línea A( véase zona CL en la figura 2.12)
ML	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI > 4$ ; se grafica debajo de la línea A( véase zona ML en la figura 2.12)
OL	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL < 50$ ( véase zona OL en la figura 2.12)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; $PI$ ; se grafica sobre o arriba de la línea A( véase zona CH en la figura 2.12)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; $PI$ ; se grafica debajo de la línea A( véase zona MH en la figura 2.12)
OH	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL \geq 50$ ( véase zona OH en la figura 2.12)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2001

En la siguiente figura se presenta el gráfico para determinar la plasticidad:

**Ilustración 2: Carta de plasticidad SUCS**



Fuente: Norma ASTM D2487

**Ilustración 3: Signos convencionales para perfil de calicatas – clasificación SUCS**

	Gravas bien mezcla arena, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy baja.
	Grava mal graduadas, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arenas arcillosas, mezcla de arena arcillosa.
	Gravas limosas mezclas de gravas arena limosas		Limos orgánicos y arenas muy finos, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas o limos arcillosos con ligera plasticidad.
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla, gravas con material fino, cantidad apreciable de material fino.		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja, arcillas gravas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas negras.
	Arena bien graduadas, arena con grava, poco o nada de material fino. Arenas limpias poco o nada, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaño intermedios.		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad.
	Arena mal graduadas, con grava, poco o nada de material fino. Arenas limpias poco o nada, un tamaño predominante a una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias.		Limos inorgánicos suelos finos gravosos o limosos, limos plásticos.

	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas gravosas.
	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limos orgánicos.
	Turbe, suelos considerablemente orgánicos.

Fuente: Manual de ensayos de materiales - norma MTC E 101.



## **e) Sales**

Es un método de ensayo el cual consiste en determinar el contenido de sales disolubles en aguas subterráneas y suelos.

Para la obtención total del contenido de sales solubles de una muestra de suelo se puede determinar a través de una mezcla de sustancia acuosa utilizando una relación suelo-agua de 1:5 (NTP 339.152, 2015).

### **Equipos y materiales**

- Horno (105° - 115°C). - Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Agua destilada.
- Papel filtro.
- Recipiente, donde se coloca la muestra.

### **Procedimiento:**

- Pesamos 100 gr de muestra del suelo a ensayar y lo mezclamos con 500 ml de agua destilada.
- Una vez mezclados lo agitamos de manera mecánica por un lapso de 1 hora y la dejamos en reposo.
- Luego filtramos la muestra para lo cual necesitaremos el papel filtro y un embudo.
- La muestra que queda se coloca en una tara para luego ponerla en el horno.
- Por último, se pesa la muestra obtenida.

### **Cálculos:**

Para la obtención de los resultados del contenido de sales utilizaremos la siguiente formula:

$$SS = \frac{(m_2 - m_1) \times D}{E} \times 10^6$$

SS= total de sales solubles, en mg/kg.

$(m_2 - m_1)$  = peso de la diferencia de evaporación, en gr.

D = Relación de la mezcla suelo y agua.

E = Volumen de la mezcla acuosa evaporada, en ml.

#### f) Compactación del Suelo

Nace del Proctor Estándar, debido al desarrollo de rodillos y la utilización en la compactación. Se busca indagar las características de comprensibilidad, esfuerzo y resistencia – deformación de suelos. (ASTM E 155, 2000).

##### **Objetivo:**

Este método busca determinar la relación peso único seco y el contenido de humedad, compactando una muestra en un molde de 4 a 6 pulgadas de espesor, con el empleo de un pisón de 10 lbf que se deja caer desde una elevación de 18 pulgadas. Donde produce una energía de compactación de 56 000 lb-pie/pie<sup>3</sup>.

##### **Métodos:**

Se cuenta con los siguientes métodos:

- Método A: Molde de 4 pulgadas de espesor. Se aprovecha el material que pasa el tamiz N°4. Con 25 golpes por capa.
- Método B: Molde de 4 pulgadas de espesor. Se emplea el material que pasa el tamiz de 3/8 de pulgada. Con 25 golpes por capa.
- Método C: Molde de 6 pulgadas de diámetro. Utilice material que pase por un tamiz de 3/4 de pulgada. Con 56 golpes por capa.

**Equipos:**

- Molde de forma cilíndrica, con un diámetro de 6".
- Pisón de 10 lb (4.54 Kg)
- Enrazador.
- Balanza, para una aproximación de un gramo.
- Horno, para una temperatura de más o menos 110 °C

**Procedimiento:**

- Mediante el método A, se tomará una muestra, previamente secada al aire, se emplea una muestra de 15 Kg. Tamizada por el tamiz N°4.
- Mezclamos la muestra con agua en un porcentaje de 2%, de tal manera que se humedezca toda la muestra.
- La muestra se compacta en 5 capas, por capa se da 25 golpes, los golpes se deben distribuir por toda la superficie compactada.

**Cálculos:**

Una vez compactada la última capa, se procede a retirar el collarín, cubriendo los huecos que faltan sobre la superficie compactada.

Se obtiene el peso del molde más la muestra, del interior del molde se retira una muestra para obtener el contenido de humedad. Sabiendo volumen y el peso de la muestra y sabiendo el contenido de humedad (W), se obtiene un punto de la curva de compactación, empleando la siguiente fórmula:

$$DENSIDAD HUMEDA = \frac{W_{MOLDE+SUELO} - W_{SUELO}}{Volumen\ de\ molde}$$

$$DENSIDAD SECA = \frac{Densidad\ Humeda}{(1 + W)}$$

### **g) CBR**

Determina en los suelos el índice de resistencia. Se desarrolla el ensayo sobre el suelo con determinada relación de densidad y humedad; se puede tomar de forma análoga desde la toma de muestras inalteradas del terreno (MTC, 2017).

#### **Equipos y materiales:**

##### **Compactación**

- Molde de tipo cilíndrico, de 6" pulgadas de diámetro.
- Molde metálico, que cuenta con una forma cilíndrica de 6" de diámetro y 8" pulgadas de altura.
- Collarín, de 2" de diámetro, cuya base esta perforada. - Disco espaciado, de metal, con forma circular, de 5 15/16" pulgadas de diámetro y 2.5" pulgadas de altura.
- Pisón de compactación, de 10 lb, con una altura de caída de 18" pulgadas



- Aplicador de carga, a una velocidad de 0.05pulgadas/minuto.

**Equipo mixto:**

- Tanque, cuya capacidad sea suficiente para sumergir los moldes.
- Estufa, con temperatura de más menos 110°C.
- Balanzas, de 20 Kg y 1000 gramos, con sensibilidad de 1 gramo y 0.1 gramo.
- Tamices, de ¾" pulgada.

**Procedimiento:**

- Se adquiere una muestra alterada por cada calicata realizada en campo.
- Se lleva la muestra alterada al laboratorio, se deja secar al aire libre, se extrae una parte de la muestra por cuarte (5 Kg), la muestra debe estar tamizada por la malla ¾", por cada molde.

Dado que se conoce el valor del contenido de humedad y la humedad de la muestra que exhibe en el momento, se determinara el agua empleando la siguiente formula:

$$AGUA_{CBR} = \left( \frac{W_{MUESTRA}}{1 + HH} \right) X \left( \frac{OH - HH}{100} \right)$$

**Donde:**

$W_{MUESTRA}$  = Peso de la muestra.

$OH$  = Óptimo contenido de humedad.

$HH$  = Contenido de humedad de la muestra.

- Con la formula ya mencionada, se mezclamos la muestra con el agua estimada, de tal manera que formemos una mezcla uniforme. Primero colocamos el disco espaciador, junto con papel filtro y se procede a compactar, formando 5 capas, utilizando un martillo se

realiza 56 golpes por capa; al terminar de compactar todas las capas se procede a retirar el collarín y enrazamos la muestra, se rellena los espacios vacíos de la superficie, empleando el mismo material.

- Se pesa la muestra incluida el molde, conociendo previamente el volumen ocupado de la muestra en el molde y el peso del molde, mediante una formula se determinará la densidad húmeda:

$$Y_{HUMEDA} = \frac{W_{MOLDE+MUESTRA} - W_{MOLDE}}{V_{MUESTRA}}$$

- Se determinan las curvas para 55, 26 y 12 golpes en cada capa.
- Sobre el material compactado, se le coloca papel filtro, encima se le coloca una placa perforada con vástago, y además de dos anillos de 2.27 Kg de peso cada una, esta va a representar una sobrecarga.
- Se monta un trípode sobre el vástago, se registra la primera lectura. Aplicando lo anterior, el molde se sumerge en agua, donde se da inicio la prueba de expansión y se toma lectura cada 24 horas en el extensómetro. Con esto calculamos la proporción de expansión, se divide la misma que se produce en las 24 horas, dividiéndola entre la altura y lo multiplicamos por 100.
- Teniendo saturada la muestra, retiramos el extensómetro y escurrimos el molde.
- Lo dejamos por 15 minutos volteada. Retiramos el disco, las pesas y el papel filtro, luego se procede a pesar el molde con todo y muestra. Procedemos a la prueba de penetración, se lleva el molde a la prensa y colocamos el pistón encima de la muestra con un peso de 4.5 Kg.

#### **2.2.2.4 Cálculo del Espesor del Pavimento**

De acuerdo con el MTC (2018), en su manual de carreteras, el método se basa en un modelo desarrollado en base a la performance del pavimento, carga del

vehículo y la resistencia de la capa sub rasante, todo esto para calcular el espesor.

## **A. Método AASHTO**

El método AASHTO, se basa en los resultados obtenidos en Illinois, Ottawa, los que se realizaron a finales de los 50 y comienzo de los 60.

### **a) Procedimiento de Diseño**

De acuerdo con la guía AASHTO 93, para realizar el diseño de pavimento flexible, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Cálculo del tráfico para el periodo de diseño (W18).
- Decretar la desviación estándar total S y la confiabilidad R.
- Establece el módulo de resistencia efectiva de la subrasante Mr.
- Se determina la pérdida de Serviciabilidad.
- Adquirir el número estructural SN.
- Establecer los espesores SN

#### **a.a) Confiabilidad y variabilidad**

La confiabilidad resulta ser la probabilidad de que una acera cumpla la función que se le ha previsto.

- Variabilidad (So), es la variante en las mediciones de los parámetros.
- El valor que se adopta para considerar la variación de tráfico proyectado, para pavimentos flexibles es de 0.44.
- El rango de valores para pavimento flexible es de 0.40 a 0.50.

En la siguiente tabla se muestra los niveles de confiabilidad para diferentes carreteras:



**Tabla 15: Niveles de Confiabilidad**

<b>NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDAS PARA DIFERENTES CARRTERAS</b>		
Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopista interestatal	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de tránsito	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía AASHTO 93

**b) Criterios de comportamiento**

**b.a) Serviciabilidad**

La Serviciabilidad que se encuentra en un pavimento, se define como la comodidad de circulación de un vehículo. Se evalúa a través del índice de servicio actual, el cual puede ir desde 0 hasta 5.

A un pavimento se le establece un valor de Serviciabilidad final (Pt), que depende de las condiciones del tránsito, mientras que la Serviciabilidad inicial (Po) depende del diseño de la carretera.

Establecidos los valores del Po y Pt, se emplea la siguiente fórmula para determinar el índice de servicio.

$$\Delta PSI = Po - Pt$$

**c) Propiedades de los materiales**

**c.a) Módulo resiliente (Mr)**

El módulo resiliente se determina a partir de otros ensayos. Para el cálculo se emplea el CBR de laboratorio empleando la siguiente fórmula:

$$Mr(Psi) = 1500 CBR$$

## d) Características estructurales del pavimento

### d.a) Drenaje (ml)

Para el diseño de aceras flexibles, el drenaje está considerado la derivación del agua sobre las capas que componen la acera y los efectos que puede producir en ellas.

Según AASHTO, brinda los diferentes niveles de drenaje en función del tiempo que demora una capa en evacuar el agua. En la siguiente tabla se muestra los valores de drenaje según el tiempo.

**Tabla 16: Calidad de Drenaje de Base y Sub Base**

Calidad de drenaje	Término para remoción del agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	(el agua no drena)

Fuente: Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO 93.

En la tabla N°17 se puede apreciar los valores recomendados para modificar los coeficientes de base y sub base dependiendo el porcentaje del tiempo al que ha sido expuesta la estructura del pavimento con respecto a la humedad.

*Tabla 17: Valores de "mi" recomendados*

Valores de "mi" recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y sub base granular.				
Calidad de drenaje	% de tiempo de exposición de la estructura de pavimento a nivel de humedad próxima a la saturación			
	< 1%	1- 5%	5- 25%	> 25%
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Buena	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Aceptable	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Guía de estructuras de pavimento AASHTO 93.

### e) Diseño Estructural de Pavimento

Aashto (1993) señala que este método de diseño es adecuado para carreteras con un volumen de tráfico superior a 8.2 toneladas y la fórmula para pavimentos flexibles es la siguiente:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(MR)$$

- 8.07

Los espesores del pavimento recomendada (base, sub base), se han determinado empleando el método AASHTO 93, comprendiendo los coeficientes de transformación para cada tipo de capa.

**Donde:**

**W18:** Numero proyectado de carga equivalente de 18 kip (18000 lb) de aplicación de carga axial simples

**Zr:** Desviación

**So:** Error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado

**ΔPSI:** Diferencia entre índice de Serviciabilidad inicial (po), y el índice de Serviciabilidad terminal (pt)

**MR:** Modulo resiliente (psi) **SN:** Numero estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido

**SN:** es igual al número estructural del espesor total del pavimento requerido:

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

**Donde:**

**$a_i$**  = Coeficiente de la capa "i"

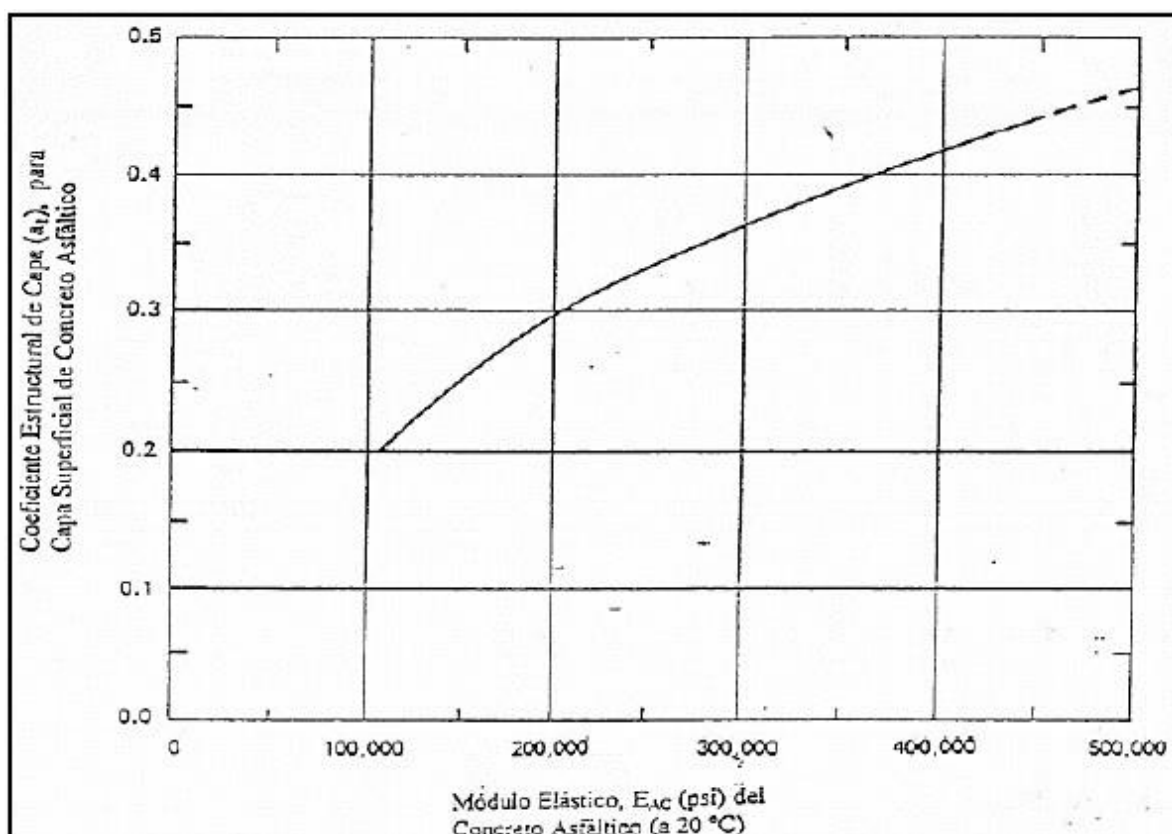
**$D_i$**  = Espesor de la capa (pulgadas) "i"

**$m_i$**  = Coeficiente de drenaje de la capa "i"

### **Análisis de diseño por capas**

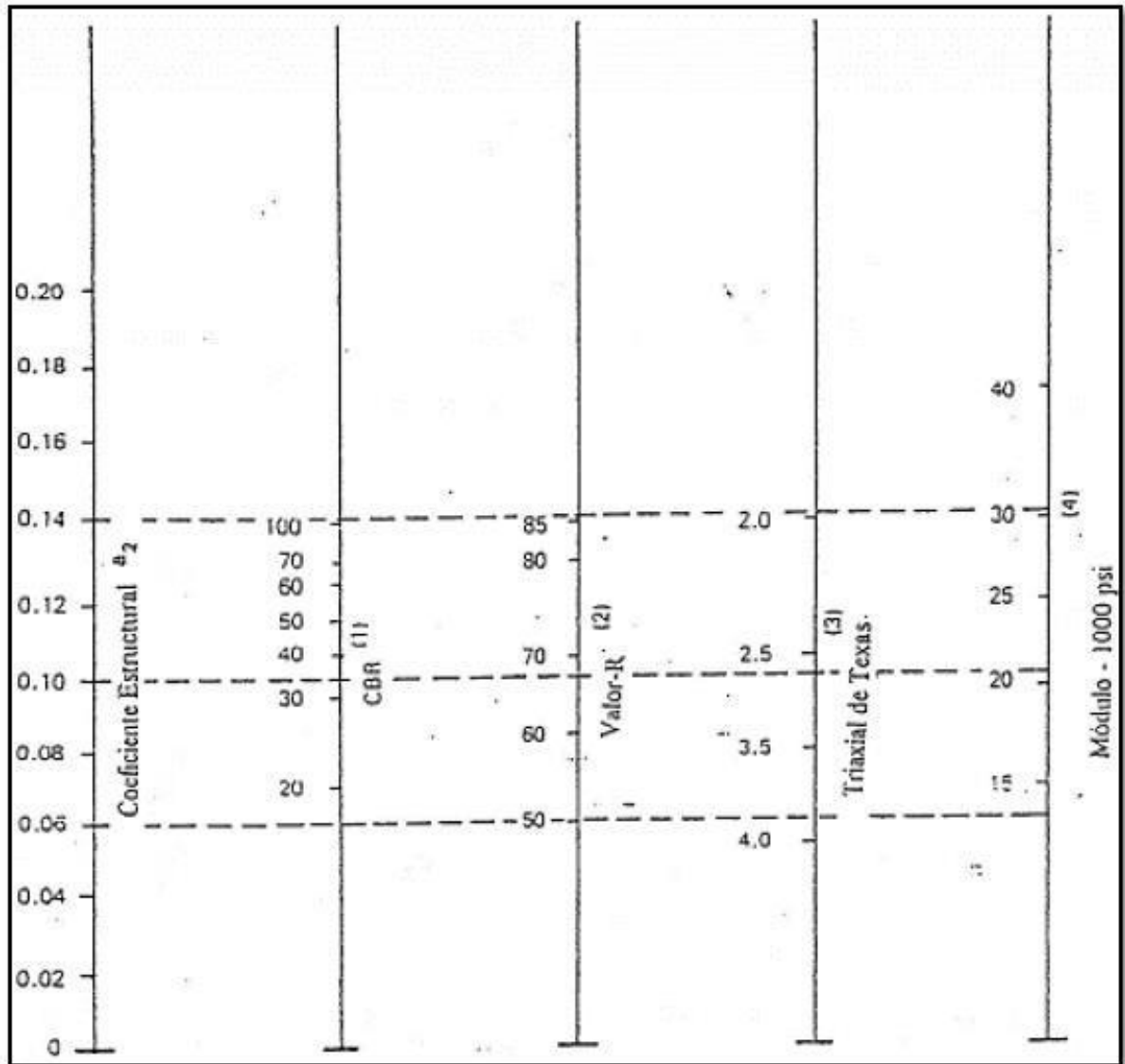
Para determinar los espesores de las diferentes capas que componen el pavimento flexible, se debe tener en cuenta los factores antes mencionados y el empleo de las siguientes gráficas para determinar algunos valores. En la figura N°5, se emplea para hallar el coeficiente estructural  $a_1$ , mediante el módulo resiliente.

*Ilustración 5: Gráfica para hallar  $a_1$*



En la figura N°6, se emplea para determinar el coeficiente estructural en la capa  $a_2$ , mediante el nomograma propuesto en la guía AASHTO 93.

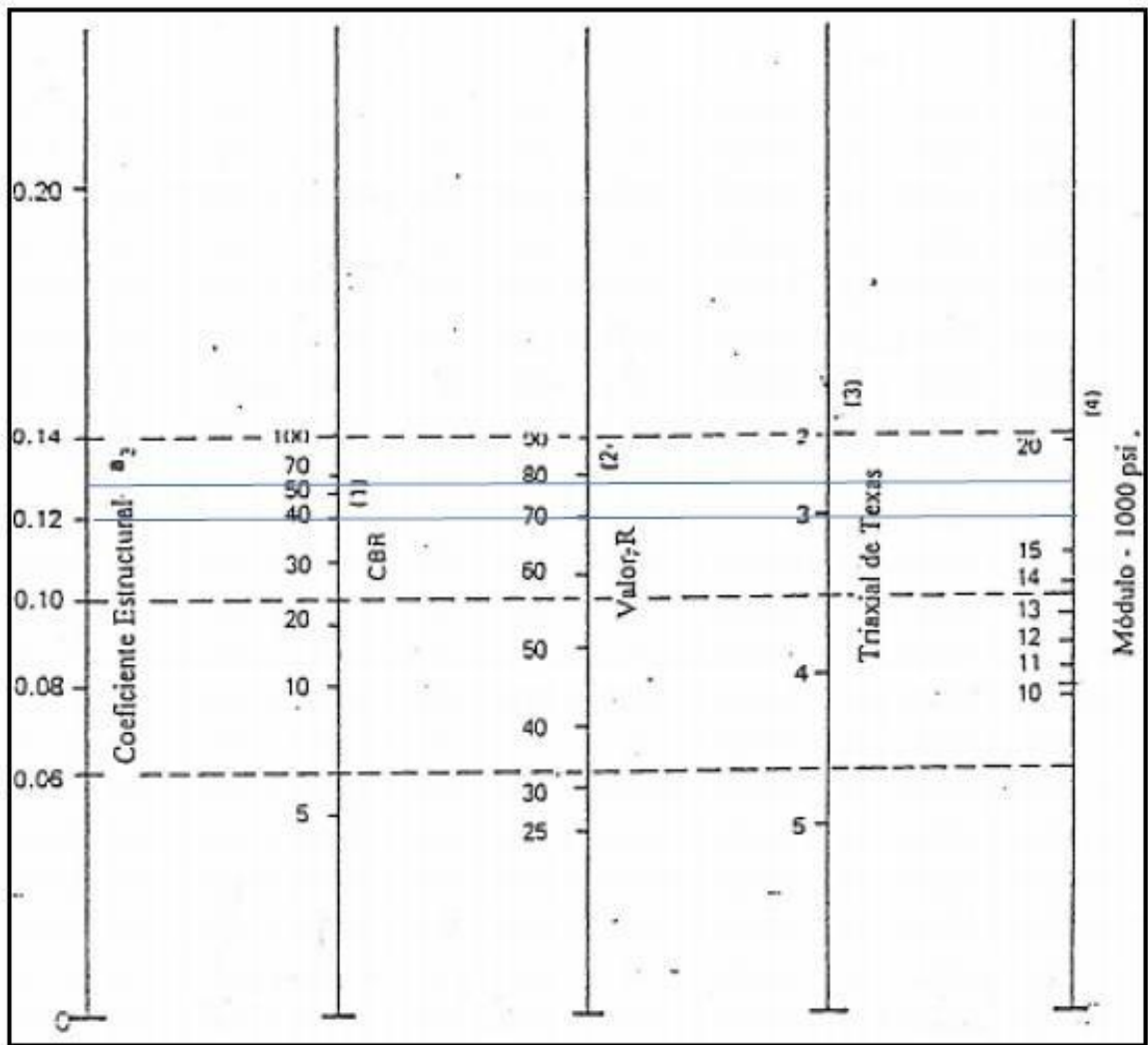
Ilustración 6: Variación del coeficiente de capa de base granular, a2, con parámetros diferentes



Fuente: AASHTO 93

En la figura N°7, se emplea para determinar el coeficiente estructural en la capa a3, mediante el nomograma propuesto en la guía AASHTO93.

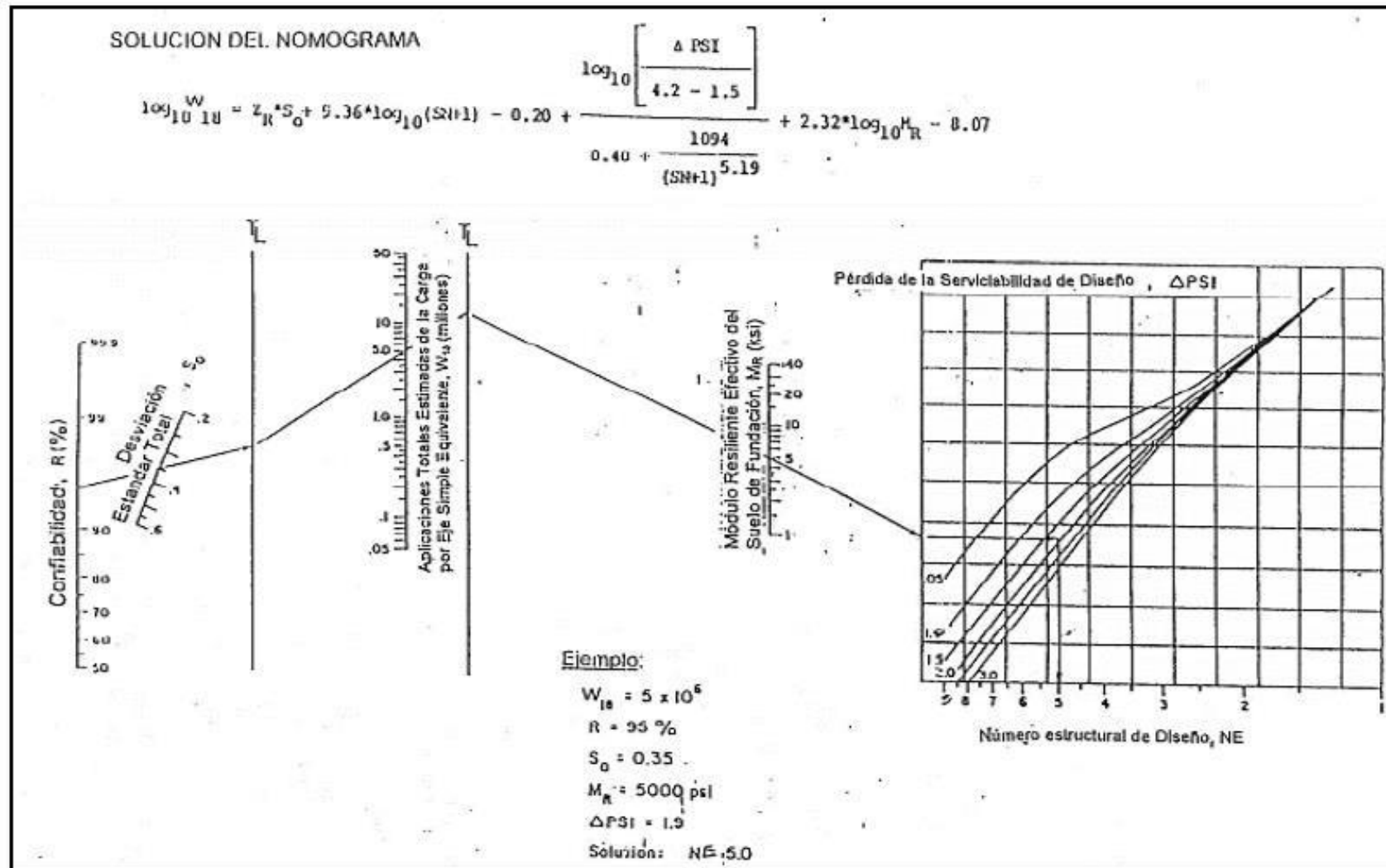
Ilustración 7: Variación del coeficiente de capa sub base granular,  $a_3$



Fuente: AASHTO 93

En la figura N°8, se emplea el nomograma para determinar el número estructural de diseño, mediante los valores de la confiabilidad, desviación estándar, las cargas por ejes equivalentes, el módulo resiliente y la pérdida de Serviciabilidad.

Ilustración 8: Nomograma de diseño para pavimentos flexibles usando valores medios para cada dato



Fuente: Guía de diseño de pavimento AASHTO 93

### **2.2.3 Transitabilidad**

Posiblemente, en el diseño para una vía la variable más importante es la transitabilidad, las dimensiones y el volumen de los vehículos que transitan durante un periodo específico de tiempo. (Montejo, 2002).

#### **2.2.3.1 Transitabilidad Vehicular**

La infraestructura del pavimento depende del número y tipo de vehículo que transitan por las vías y las que se prevé que van a circular por el carril en el transcurso del tiempo de diseño (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, pág. 171).

#### **2.2.3.2 Transitabilidad Peatonal**

Es la cantidad de peatones que circulan de un punto a otro en un periodo de tiempo, por lo general es mayor que el número de tránsito vehicular. (Guío, 2010, p.191).

##### **a) Comportamiento Peatonal**

Las calles, vías y zonas urbanas son utilizadas por peatones y vehículos en mayor parte, por lo que se necesita realizar estudios para ver las condiciones, realizar una planificación para la infraestructura donde transitan los peatones y vehículos. (Bañon y Bevia, 2000).

##### **b) Tipos de tránsito peatonal**

###### **Anárquica o individual:**

El peatón o persona se desplaza siguiendo su propio juicio, moviéndose a la velocidad que considera adecuada. Esta situación suele presentarse cuando la vía peatonal se encuentra con un nivel de uso bajo.

###### **c) En pelotón o grupo**

Los peatones constituyen un conjunto de individuos que se desplazan en grupo, con una distribución relativamente uniforme en términos de cantidad, moviéndose en una dirección y sentido comunes.



Estas circunstancias pueden llevar a que la capacidad de la vía peatonal alcance su máxima capacidad debido a la concentración de peatones.

### 2.3 Definición de términos básicos

- **BASE:** generalmente una capa granular, aún puede ser un pavimento estable, hormigón asfáltico u hormigón hidráulico. Su función principal es identificar al asfalto como el cuerpo principal de la estructura, y en algunos casos también poder ser vertido como chapa drenante
- **CAPACIDAD DE ENTREPAÑO:** Ayuda a calibrar la calaña relativa del pavimento hacia la subrasante, sub base y peana del piso, y admitir las sobrecargas adaptadas encima él.
- **COMPACTACIÓN:** Proceso automotriz de exclusión del aspecto contenido en la gente de adoquinado, con el que se reducen los vacíos del pavimento.
- **PAVIMENTO:** Realización de diversas charpas construida sobre la subrasante del trayecto a fin de rebelarse e instrumentar afanes originados por los medios de transporte y medrar las exigencias de certidumbre y fortuna para el tránsito.
- **RASANTE:** Es la capa superior del asfalto terminado. La Línea de Rasante está en el eje de la técnica.
- **SUB RASANTE:** Es la capa del recorrido en donde será apoyada la charpa de un firme. Esta estará compuesta por el pavimento natural del corte adecuadamente compactado.
- **SUELO:** Material constituido por niveles sólidas y un conjunto de huecos o vacíos, en el interior de los cuales puede haber licor, flato o la mezclanza de entre ambos. Fuente especifica no musculosa.
- **CAPACIDAD DE LA VÍA:** Es la mayor cuantía de automóviles de los diferentes tipos que la vía soportara de acuerdo a su diseño geométrico.
- **CARRIL:** forma parte de la calzada por la cual transitan los vehículos en

fila.

- **CARRIL DE DISEÑO:** Se refiere al carril de la vía donde se prevé que se ejercerá la mayor carga por eje simple equivalente de 80 kilonewtons.
- **DRENAJE:** La acción de proporcionar una salida y flujo adecuado a las aguas estancadas o al exceso de humedad en el suelo.
- **EXPANSIÓN:** Hace referencia al proceso y resultado de extenderse o aumentar en tamaño o dimensión.
- **EXUDACIÓN DE ASFALTO:** Se refiere al fenómeno en el que el aglomerante de la mezcla asfáltica emerge a la superficie del pavimento, creando una capa continua de betún.
- **FRESADO DE CARPETA ASFÁLTICA:** El fresado implica recortar, en frío, una porción definida del espesor de la capa superficial del pavimento mediante el uso de maquinaria específica diseñada para esta tarea. (se diferencia del cepillado en que aquél sólo produce pequeñas ranuras, en tanto que éste rebaja efectivamente en nivel superior del pavimento). Se pueden fresar también los pavimentos de hormigón, pero, debido a su dureza, normalmente el trabajo tiene un costo mayor.

## CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las redes de comunicación a nivel internacional, especialmente en naciones desarrolladas, desempeñan un papel crucial en el progreso económico de los países, particularmente en áreas rurales. En este contexto, las carreteras son esenciales y se someten a tratamientos con capas de asfalto en consonancia con su nivel de utilidad.

En el caso del Perú, también se aborda esta tarea. Durante varios años, hemos abordado la cuestión de los niveles de servicio en nuestras vías de comunicación. Las carreteras se tratan en función de su IMDA (Índice Medio Diario Anual), que refleja la cantidad de vehículos que transitan por la vía. Un IMDA mayor equivale a una mayor inversión económica disponible para su mejora. Sin embargo, en el Perú, las carreteras departamentales y vecinales presentan el mayor porcentaje de kilómetros por pavimentar. En otras palabras, la mayoría de estas vías carecen de pavimentación adecuada, incluso de tratamientos básicos.

En esta línea, nuestra investigación se enfoca en abordar una problemática que impacta directamente a la comunidad beneficiaria. La vía en cuestión presenta una deficiente transitabilidad, al encontrarse en un estado de afirmado. No obstante, gran parte de esta superficie se ha deteriorado significativamente, lo cual se agrava durante las temporadas de lluvias. Esta situación provoca daños en los vehículos, alarga el tiempo de viaje y aumenta los riesgos para la seguridad vial. Este escenario adverso tiene un impacto directo en las actividades económicas, turísticas y en el bienestar social en general.

## **3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **3.2.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo el diseño de pavimento flexible, influirá en el mejoramiento del camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo, distrito de Moyobamba, departamento de San Martín?

### **3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS**

- ¿Cuáles son los estudios básicos necesarios que permitan diseñar el pavimento flexible para el mejoramiento del camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo, distrito de Moyobamba, departamento de San Martín?
- ¿Cómo determinar el espesor del pavimento flexible a usar en el mejoramiento del camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo y que cumpla con las exigencias requeridas por el diseño?

## **3.3 OBJETIVOS**

### **3.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el pavimento flexible para el mejoramiento del camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo, distrito de Moyobamba, departamento de San Martín.

### **3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar los principales estudios básicos necesarios que permitan diseñar el pavimento flexible para el mejoramiento del camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo, distrito de Moyobamba, departamento de San Martín
- Determinar el espesor adecuado del pavimento flexible a usar para el

mejoramiento del camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo y que cumpla con las exigencias requeridas por el diseño.

### **3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación tiene una justificación social, debido de que nace de la necesidad de la población que habitan en la localidad de Buenos Aires y Flor de Mayo, debido a que en la actualidad dicho camino vecinal no cuenta con pista asfaltada, por lo que genera un malestar a sus habitantes por el mal estado que se encuentra la vía.

Es de suma importancia un diseño de pavimento flexible que permita un mejor tránsito peatonal y vehicular. Generando en la población un bienestar en la salud, en la moral y de comodidad. Por lo tanto, se va a realizar un diseño de pavimento flexible

### **3.5 HIPÓTESIS**

#### **Hipótesis General**

El Diseño de Pavimento Flexible, permite el mejoramiento del camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo, distrito de Moyobamba, departamento de San Martín.

### **3.6 VARIABLES**

#### **Variable Independiente**

Diseño de Pavimento Flexible.

#### **Variable Dependiente**

Mejoramiento del camino vecinal.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA**

### **4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación es aplicada ya que está basada en fundamentos teóricos debidamente propuestos y que se encuentran plasmados a partir de la elaboración del manual de diseño para este tipo de pavimento.

#### **4.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

En esta investigación se utilizará este diseño porque solo se extraerán muestras de dichas variables en estado natural para luego ser analizadas.

### **4.2 UNIDAD DE ESTUDIO**

Pavimento Flexible.

### **4.3 POBLACIÓN**

Carreteras sin pavimentar en el departamento de San Martín

### **4.4 MUESTRA**

Camino Vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo.

### **4.5 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **4.5.1 TÉCNICAS:**

Los estudios básicos recopilarán la información de campo.

#### **4.5.2 INSTRUMENTO:**

Cada encargado de los estudios básicos empleará los equipos que correspondan.

#### **4.5.3 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- Elaboración de los estudios básicos de ingeniería.
- Desarrollo de ensayos de laboratorio.
- Procesamiento de Datos obtenidos en Laboratorio.
- Representación de los datos mediante tablas y gráficas.
- Análisis e interpretación de los datos.
- Elaboración de los informes respectivos en el Proyecto de Tesis.

#### **4.6 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS**

La información será procesada en forma computarizada a través de los diferentes softwares y en gabinete con cálculos respectivos. De tal manera el procesamiento de la información nos permitirá elaborar la matriz de datos con la que se diseñará las tablas y gráficos.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 5.1 ESTUDIO DE TRÁFICO

Su objetivo es examinar las condiciones en las que se encuentra el tráfico y predecirlas durante el ciclo de vida del proyecto.

#### a) Estación de Conteo

Luego de verificar el sitio y recorrido del proyecto, se determinará una estación de conteo de vehículos, a través de la cual se podrá ubicar el aforador en un lugar conveniente y estratégico, donde se podrá realizar un conteo diario por categoría y tipo de vehículo.

#### b) Tiempo de Estudio en el Campo

Desde el 16 hasta el 22 de noviembre del 2022, la estación de conteo funcionó las 24 horas del día durante 7 días. La estación de conteo se estableció en el punto de ingreso (Buenos Aires) y final (Flor de Mayo).

Durante el conteo, se registró aquellos automóviles que circulan por la vía, la dirección y el tipo de vehículos.

#### c) Materiales

- Tabla de clasificación Vehicular
- Lapicero

#### d) Table de Conteo Vehicular

La siguiente tabla muestra el conteo vehicular, durante un periodo de 7 días las 24 horas.



**Tabla 18: Conteo Vehicular**

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Mierc. 16-11-22</b>	<b>Jueves 17-11-22</b>	<b>Viernes 18-11-22</b>	<b>Sábado 19-11-22</b>	<b>Dom. 20-11-22</b>	<b>Lunes 21-11-22</b>	<b>Martes 22-11-22</b>
Automóvil	1793	1771	1784	1811	1453	1644	1685
Station Wagon	175	165	156	175	130	85	99
Camioneta Pick Up	627	589	574	553	394	597	604
Camioneta Rural	240	310	315	297	274	304	298
Camion (B2)	210	274	198	247	231	272	286
Camión (B3)	160	142	132	241	250	205	221
Camión (C4) 1-3	22	18	18	15	16	14	17
Camión (C4) 2-2	2	2	3	1	2	1	1
T2S1	2	3	3	1	1	1	1
T2S2	2	1	1	1	1	2	2
T3S2	2	2	2	2	2	1	1
T3S1	1	1	1	2	2	2	2
T3S3	22	26	14	17	13	15	13
C2R2	3	1	2	1	0	1	1
C3R3	16	22	15	15	11	10	7
T3S2S2	12	8	10	10	7	4	4
<b>Total</b>	<b>3289</b>	<b>3335</b>	<b>3228</b>	<b>3390</b>	<b>2787</b>	<b>3158</b>	<b>3242</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### e) Índice Medio Diario (IMD)

IMD es la suma o valor promedio de los vehículos que transitan en un cierto período de tiempo. Se puede dar de manera semanal, mensual y anual, lo que nos proporcionará la base de datos para así poder comprender las características del tramo donde queremos diseñar.

#### f) Índice Medio Diario Semanal (IMDs)

Son los vehículos en promedio que transitan en un periodo de tiempo de siete (7) días calendarios, desde el día miércoles 16 al día martes 22 de noviembre del año 2022.

Para calcular el IMDs se tiene que sumar los siete días de conteo y dividirlo entre 7. Como en la tabla N°19, donde indica el total de vehículos que han transitado durante la semana es de 22429 y con un Índice Diario Semanal de 3683 vehículos por día

**Tabla 19: Índice diario semanal**

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Total</b>	<b>IMDs</b>
Automovil	11,941	1,705.85
Station Wagon	985	140.71
Camioneta Pick Up	3,938	562.57
Camioneta Rural	2,038	291.14
Camión (B2)	1,718	245.43
Camión (B3)	1,351	193
Camión (C4) 1-3	120	17.14
Camión (C4) 2-2	12	1.71
T2S1	12	1.71
T2S2	10	1.43
T3S2	12	1.71
T3S1	11	1.57
T3S3	120	17.14
C2R2	9	1.29
C3R3	96	13.71
T3S2S2	55	7.86
<b>Total</b>	<b>22429</b>	<b>3683</b>

Fuente: Elaboración Propia

### g) Factor de Corrección

Se determina los factores de corrección para el punto más cercano al sitio de estudio, en este proyecto se toma el ingreso a la vía Buenos Aires.

F.C.E. vehículos livianos: 1.0213

F.C.E. vehículos pesados: 0.9950

### h) Índice Medio Diario Anual (IMDa)

El IMDa se calcula tomando como factores de corrección los señalados anteriormente. La multiplicación de estas dos nos dará el IMDa de la zona de estudio “Buenos Aires – Flor de Mayo” del distrito de Moyobamba.

Con respecto al resultado obtenido nos indica que el índice diario anual es de 3744 vehículos por día.

$$IMD_s = IMD_s * FC$$

Donde:

IMDs: Índice Medio Diario Semanal del conteo vehicular realizado

IMDa: Índice Medio Anual

FCE: Factores de Corrección Estacional

**Tabla 20: Índice diario anual**

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Total</b>	<b>IMDs</b>	<b>FC</b>	<b>IMDa</b>
Automovil	11,941	1,705.85	1.0213	1,742
Station Wagon	985	140.71	1.0213	144
Camioneta Pick Up	3,938	562.57	1.0213	575
Camioneta Rural	2,038	291.14	1.0213	297
Camión (B2)	1,718	245.43	0.995	244
Camión (B3)	1,351	193	0.995	192

Camión (C4) 1-3	120	17.14	0.995	17
Camión (C4) 2-2	12	1.71	0.995	2
T2S1	12	1.71	0.995	2
T2S2	10	1.43	0.995	1
T3S2	12	1.71	0.995	2
T3S1	11	1.57	0.995	2
T3S3	120	17.14	0.995	17
C2R2	9	1.29	0.995	1
C3R3	96	13.71	0.995	14
T3S2S2	55	7.86	0.995	8

Fuente: Elaboración Propia

### i) Demanda Proyectada

Para el cálculo se emplea la siguiente formula:

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

Donde:

T<sub>n</sub>: Transito proyectado al año en veh/día

T<sub>o</sub>: Transito actual (año base) en veh/día

N: año futuro de proyección

r: tasa anual de crecimiento de tránsito

**Tabla 21: Población futura de vehículos**

Tipo de Vehículo	Total	IMDs	FC	IMDa	Demanda Proyectada de Vehículos
Automovil	11,941	1,705.85	1.0213	1,742	1,790.78
Station Wagon	985	140.71	1.0213	144	148.23
Camioneta Pick Up	3,938	562.57	1.0213	575	591.90
Camioneta Rural	2,038	291.14	1.0213	297	405.73
Camión (B2)	1,718	245.43	0.995	244	270.14

Camión (B3)	1,351	193	0.995	192	212.57
Camión (C4) 1-3	120	17.14	0.995	17	18.82
Camión (C4) 2-2	12	1.71	0.995	2	2.21
T2S1	12	1.71	0.995	2	2.21
T2S2	10	1.43	0.995	1	1.11
T3S2	12	1.71	0.995	2	2.21
T3S1	11	1.57	0.995	2	2.21
T3S3	120	17.14	0.995	17	18.82
C2R2	9	1.29	0.995	1	1.11
C3R3	96	13.71	0.995	14	15.50
T3S2S2	55	7.86	0.995	8	8.865

Fuente: Elaboración Propia

#### **j) Tasa de crecimiento por Región en porcentaje**

INEI proporciona los datos del flujo vehicular que son actualizados cada dos meses. Las tasas de crecimiento para los dos tipos de vehículos livianos y pesados, se muestran en la siguiente figura

**Tabla 22: Población futura de vehículos**

Tasa de Crecimiento de Vehículos Livianos		Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados	
	TC		TC
Amazonas	0.62%	Amazonas	3.42%
Anzash	0.59%	Anzash	1.05%
Apurímac	0.59%	Apurímac	6.65%
Arequipa	1.07%	Arequipa	3.37%
Ayacucho	1.18%	Ayacucho	3.60%
Cajamarca	0.57%	Cajamarca	1.29%
Callao	1.56%	Callao	4.43%
Cusco	0.75%	Cusco	2.33%
Huancavelica	0.83%	Huancavelica	3.85%
Huánuco	0.91%	Huánuco	3.54%
Ica	1.15%	Ica	3.90%
Junín	0.77%	Junín	2.83%
La Libertad	1.26%	La Libertad	3.45%
Lambayeque	0.97%	Lambayeque	3.41%
Lima Provincia	1.45%	Lima Provincia	3.07%
Lima	1.45%	Lima	3.69%
Loreto	1.30%	Loreto	1.29%
Madre de Dios	2.58%	Madre de Dios	1.98%
Moquegua	1.08%	Moquegua	0.27%
Pasco	0.84%	Pasco	0.36%
Piura	0.87%	Piura	3.23%
Puno	0.92%	Puno	3.21%
<b>San Martín</b>	<b>1.49%</b>	<b>San Martín</b>	<b>3.84%</b>
Tacna	1.50%	Tacna	2.88%
Tumbes	1.58%	Tumbes	2.60%
Ucayali	1.51%	Ucayali	2.77%

Fuente: INEI 2022

En la Tabla N°22, indica que 1.49 es la tasa de incremento al año de vehículos livianos en San Martín, mientras que para vehículos pesados la tasa es de 3.84%.

### k) ESAL de Diseño

Para hallar el ESAL se procedió a multiplicar el número de ejes equivalentes por el factor de crecimiento acumulado y el número de días del año.

Teniendo todos los valores previos, se calcula el ESAL, que servirá para el diseño del pavimento flexible.

**Tabla 23: Calculo del ESAL de diseño**

Pavimento flexible		
Tasa anual de crecimiento Vehiculos pesados	r:	3.45 %
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n:	20
Factor Fca vehiculos pesados $Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca	28.13
N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)	Fc*Fd	0.50
Número de ejes equivalentes (ESAL) $\#EE = 365 * (\Sigma f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$	ESAL	16 624 751

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N°23 se calculó el ESAL de diseño con un total de 16624751 de ejes equivalentes o la cantidad de veces que transitaran en esa vía, según el tipo de vehículo. Este resultado del ESAL, es un factor que se emplea, en la determinación del cálculo de espesor de pavimento.

## 5.2 ESTUDIO TOPOGRAFICO

El presente trabajo se localiza en el camino vecinal Buenos Aires a Flor de Mayo, distrito de Moyobamba, donde se realizó el estudio topográfico, en un transcurso de 3 días calendarios, llevándose a cabo desde el día 17 al 20 de noviembre del año 2022.

## 5.3 ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

### 5.3.1 Trabajo de Campo

Se efectuó un reconocimiento de la zona de estudio para poder ubicar de forma eficiente los puntos donde se ubicarán las calicatas y se extraerán las muestras de suelo.

### 5.3.2 Ensayos realizados

- Se comienza pesando, enumerando y calibrando las capsulas a emplear y se registra los pesos en una libreta.
- Procedemos a llenar las capsulas con los diferentes estratos de muestra, se pesa las capsulas que contienen las muestras.
- Colocamos las muestras al horno, donde permanecerán un lapso de tiempo, no menor de 18 horas, ni mayor a 24 horas, se encontrarán a una temperatura de 110 °C aproximadamente.
- Una vez transcurrido el tiempo establecido, se procede a quitar las muestras del horno y la dejaremos enfriar a temperatura ambiente, en un periodo de 10 minutos aproximadamente.
- Luego se toma registro de los pesos de la muestra seca y se registra en la libreta de apuntes.
- Finalmente se procede al cálculo del contenido de humedad mediante una formula:

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

$W$  = contenido de humedad, (%)

$M_{CWS}$  = peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

$M_{CS}$  = peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos

$M_C$  = peso del contenedor, en gramos

$M_W$  = peso del agua, en gramos

$M_S$  = peso de las partículas sólidas, en gramos



**Tabla 24: Valores de Contenido de humedad**

<b>Porcentaje de Humedad</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>
C1	25.64%	-
C2	31.60%	-
C3	25.72%	27.35%
C4	26.34%	-
C5	27.63%	32.27%
C6	26.07%	-
C7	23.46%	-
C8	22.53%	27.12%
C9	23.27%	-
C10	30.05%	-
C11	28.63%	-
C12	30.93%	-

Fuente: Elaboración Propia

### **5.3.3 Límite de Consistencia**

#### **5.3.3.1 Limite Liquido**

##### **Procedimiento**

- Se comienza pulverizando la muestra del suelo, una cantidad aproximada de 100 gramos de muestra seca.
- Se pasa la muestra pulverizada por el tamiz N°40, utilizando la muestra que pasa y desechando la muestra retenida.
- Tomamos la muestra y la colocamos en un plato de porcelana, donde se le va agregar agua destilada y se va a mezclar con la ayuda de la espátula, hasta obtener una pasta suave y homogénea.
- Se procede a tomar una parte de la muestra preparada, colocamos al plato de Casagrande, se nivela hasta obtener 1 cm de espesor en el

punto donde la profundidad es máxima.

- Con la ayuda del acanalador, se divide la muestra por la mitad, de abajo hacia arriba formando un surco bien definido.
- Inicia el proceso girando el manubrio a una velocidad cercana a dos golpes por segundo, lo que ocasiona la elevación y posterior liberación de la copa. El momento en que las dos partes de la muestra se unen se registra, tomando nota del número de golpes requeridos.
- Se extrae una porción del tamaño del diámetro de la espátula, en el lugar donde la muestra se juntó; se pesa la muestra y se lleva al horno.
- La muestra restante que queda en la copa, se lleva al plato, se le coloca agua destilada y se vuelve a realizar el mismo procedimiento.
- De un estrato se toman 4 muestras, 2 sobre los 25 golpes y 2 entre los 15 y 25 golpes

### Resultados

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos del límite líquido

**Tabla 25: Valores del Límite Líquido**

Limite Liquido (LL)											
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
28	28	29	28	30	29	28	27	29	30	27	26

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.2 Limite Plástico

#### Procedimiento

- De la misma muestra empleada para el ensayo de L.L, se toma una parte de la muestra.

- Con las manos se agarra la muestra y se va quitando la humedad, la hacemos rodar sobre el vidrio hasta obtener un diámetro de 1/8" (3.17 milímetros).
- Una vez alcanzada la dimensión y esta se desintegra en partes, esa muestra es colocada en una capsula y pesada, para luego ser llevada al horno para establecer su contenido de humedad

## Resultados

**Tabla 26: Valores del Límite plástico**

Límite Plástico (LP)											
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
20	20	18	20	21	19	20	18	19	21	19	20

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.3 Índice de Plasticidad

Se determina del resultado de la resta del LL y el LP. Dichos valores son:

**Tabla 27: Valores del Índice de plasticidad**

Índice de Plasticidad (IP)											
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
8	8	11	8	9	10	8	9	10	9	8	8

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.4 Análisis granulométrico

#### Procedimiento

- El proceso inicia con la pesada, numeración y calibración de las cápsulas que serán utilizadas, y se registran sus pesos en el registro de datos.
- el material se divide en porciones utilizando una comba de goma, después de lo cual se introduce en el horno. Las muestras

permanecerán en el horno durante un período de tiempo que oscilará entre 18 y 24 horas, manteniendo una temperatura aproximada de 110°C.

- Se procede a enumerar y calibrar las capsulas a emplear y se registra los pesos en la libreta de datos.
- El material extraído del horno se pesa y luego se procede al lavado utilizando la malla N°200.
- El material retenido se coloca nuevamente en el horno para el horno para el secado, una vez que la muestra se retira y enfría se vuelve a pesar, obteniendo el peso del lavado y secado al horno.
- Luego se coloca el material en el juego de mallas para realizar el tamizado.

### Cálculo

Para realizar el cálculo de la curva granulométrica se empleó la siguiente formula:

$$\%Retenido = \frac{W_{malla}}{M_1} \times 100$$

Donde:

W malla= Peso retenido por malla, en gramos.

M<sub>1</sub>= Peso de la muestra secada al horno, en gramos

### Resultados

En la tabla 25 se aprecia los valores obtenidos en el análisis granulométrico.

**Tabla 28: Valores del análisis granulométrico**

Análisis Granulométrico															
	C1	C2	C3		C4	C5		C6	C7	C8		C9	C10	C11	C12
	E1	E1	E1	E2	E1	E1	E2	E1	E1	E1	E2	E1	E1	E1	E1
D60	0.150	0.16	0.130	0.149	0.157	0.162	0.168	0.150	0.161	0.139	0.152	0.172	0.160	1.154	0.180
D30	0.381	0.395	0.360	0.380	0.396	0.400	0.415	0.324	0.400	0.300	0.349	0.509	0.397	0.351	0.576
D10	0.725	0.734	0.711	0.720	0.735	0.742	0.738	0.710	0.740	0.700	0.721	0.835	0.710	0.730	0.895

Cu	0.207	0.218	0.183	0.207	0.214	0.218	0.228	0.211	0.218	0.199	0.211	0.206	0.225	0.211	0.201
Cc	1.380	1.360	1.410	1.346	1.359	1.331	1.389	0.986	1.343	0.925	1.111	1.804	1.387	1.096	2.059

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.5 Clasificación de los suelos

#### a) Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

##### ❖ Procedimiento para suelos de grano fino ( $\geq 50\%$ pasa la malla N°200)

- Cuando el límite líquido (LI) es inferior a 50, clasificamos el suelo como arcilla plástica baja, CL.
- Cuando el límite líquido (LI) es igual o superior a 50, clasificamos el suelo como arcilla altamente plástica CH.
- Si se encuentra el suelo en la línea A (en la tabla de plasticidad), lo clasificaremos como arcilla limosa CL-ML con un rango de IP de 4-7.
- Si LI es menor que 50, clasificamos el suelo como ML.
- Si LI es igual o superior a 50, clasificamos el suelo como limo elástico MH.
- Si la materia orgánica del suelo afecta el valor de LI, reduciendo el contenido de LI en el suelo en un 75%, lo clasificaremos como limo u arcilla orgánica.
- Si el LI no secado en horno es menor al 50%, si el índice de plasticidad (Ip) es menor que 4 y menor que la línea A, el Ip es mayor o igual a 4, clasificamos como limo u arcilla orgánica OL.
- Si la LI que no pasa por el horno es mayor o igual a 50 y está en la línea A (arcilla orgánica) o por debajo de la línea A, clasificamos el suelo como arcilla o limo orgánico, OH.
- Si se retiene el 15% o más del material de prueba en la malla de 200

y es inferior al 30%, se debe agregar al símbolo "con arena o grava".

- Independientemente si el 200 de la malla retiene el 30% o más del material de prueba, debe agregarse al símbolo "arenoso o gravosos"

**☛ Procedimiento para suelos de grano grueso (50% a más es retenido en la malla N°200)**

- Clasificaremos el espécimen como grava, si se retiene más del 50% en la maya N°4.
- Clasificaremos el espécimen como arena, si pasa más del 505 por la malla N°4.
- Si el valor a través de la malla No. 200 es igual o menor al 12%, debe dibujar una curva de tamaño de partícula y usar la siguiente fórmula para determinar el coeficiente de curvatura (Cc) y el coeficiente de uniformidad (Cu).

$$Cu = D_{60}/D_{10}$$

$$Cc = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$$

Donde:

$D_{10}, D_{30}$  y  $D_{60}$  = son diámetros de las partículas que corresponden al 10, 39 y 60 % del acumulado que llega a pasar en la curva granulométrica.

- Clasificaremos el espécimen como arena bien graduada (SW) o grava bien graduada (GW), si menos del 5% pasa el tamiz N°200 y su Cu sea más que 4,0 en grava o más que 6,0 en arena y su Cc sea  $\geq$  que 1 pero menos que 3.
- Siempre que Cc y Cu no puedan cumplir con los requisitos de un suelo bien graduado, cuando menos del 5% de las partículas pasen por la malla N°200, las clasificaremos como grava (GP) o arena bien

graduada (SP).

- Clasificaremos las muestras que pasen más del 12% de la malla N°200 como arcilla o limosa según su posición en la tabla de plasticidad.
- Siempre que el valor de IP sea superior a 7, lo clasificamos como arena arcillosa (SC) o grava arcillosa (GC).
- Si su IP es menor a 4 y está por debajo de la línea A, los clasificamos como grava y arena limosa (GM, SM).
- Si se obtiene CL-ML en nuestro mapa de materiales finos, la muestra se clasifica como grava de arcilla limosa (Sc-SM) (si es arena) o grava de arcilla limosa (GC-GM) (si es grava).
- Si el 5% - 12% del material de ensayo llega a pasar el tamiz N°200 tendremos los siguientes símbolos: Para arena o grava que presenta menos del 5% (GW, GP, SW, SP) y para arena que presenta más del 12% de finos (GC, GM, SC, SM).
- Si la muestra contiene más arena o grava, pero esta llega a tener más del 15% de partículas gruesas se añadirá la palabra con grava o con arena.

## **b) Clasificación (AASHTO)**

### **☛ Procedimiento (35% a menos pasa la malla N°200)**

- Lo clasificaremos en el grupo A-1 cuando es un material bien graduado y es débilmente plástica. Lo clasificaremos como el sub grupo A-1-a, cuando presente más roca o grava. Lo clasificaremos como el sub grupo A-1-b, cuando presente más arena gruesa.
- Lo clasificaremos en el grupo A-3 cuando es un material de arena fina sin materiales limosos o arcillosos, no es plástica.
- Clasificamos como A-2 cuando presenten materiales de grava, arena,

limosas y arcillosas.

- Lo clasificamos como grupo A- 4 cuando encontremos un suelo limoso normalmente plástico o puede no ser plástico ya que puede presentar hasta 64% de arena o grava que no pasa la N°200.
- Lo clasificamos como A- 5 cuando el material llega a ser muy plástico y es similar al grupo A- 4.
- Se clasifica como A-6 cuando su componente principal es arcilla, llegando a ser plástico, y más del 75 % del material pasa por el tamiz N°200. Además, suele contener arena y grava.
- Se clasifica como A-7 cuando el suelo es elástico y se subdivide en los subgrupos A-7-5 (con índice de plasticidad moderado y potencialmente elástico) o A-7-6 (con alto índice de plasticidad y un significativo cambio de volumen)

### ❁ **Calculo**

Para determinar el índice de grupo tenemos la siguiente fórmula

$$(IG) = 0.2_a + 0.005_{ac} + 0.01_{bd}$$

a = Lo que pasa en porcentaje por la malla N°200, cuyos valores comprenden como mínimo 35% y como máximo 75%. Se expresa mediante un número entero (0 a 40).

b = Lo que pasa en porcentaje por la malla N° 200, cuyo valor comprenden como mínimo 15% y como máximo 55%. Se expresa mediante un número entero (0 a 40).

c = Fracción del límite líquido, comprende como valor mínimo 40% y valor máximo de 60%. Se expresa mediante un número entero (0 a 20).

d = Fracción del índice de plasticidad, comprende como valor mínimo 10% y valor máximo 30%. Se expresa mediante un número entero (0 a



20).

El índice de grupo comprende valores entre 0 y 20 o más. Cuando el índice de grupo se obtiene valores negativos, se coloca un cero.

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos de la clasificación de suelos por medio de los métodos AASHTO y SUCS.

**Tabla 29: Valores de la clasificación de suelos**

Clasificación															
	C1	C2	C3		C4	C5		C6	C7	C8		C9	C10	C11	C12
	E1	E1	E1	E2	E1	E1	E2	E1	E1	E1	E2	E1	E1	E1	E1
SUCS	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
AASHTO	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.6 Ensayos realizados en Laboratorio

#### 5.3.3.6.1 Contenido de Humedad

**Tabla 30: Valores del Contenido de Humedad**

Porcentaje de Humedad	E1	E2
C13	24.84%	29.07%
C14	26.08%	-

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.3.3.6.2 Límites de Consistencia

**Tabla 31: Valores del Limite Liquido**

Limite Liquido (LL)	
C13	C14
28	30

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 32: Valores del límite plástico**

<b>Límite Plástico (LP)</b>	
C13	C14
20	21

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 33: Índice de Plasticidad**

<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	
C13	C14
8	9

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.6.3 Análisis Granulométrico

**Tabla 34: Valores del análisis granulométrico**

<b>Análisis Granulométrico</b>			
	<b>C13</b>		<b>C14</b>
	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E1</b>
D60	0.167	0.179	0.161
D30	0.432	0.548	0.410
D10	0.770	0.880	0.760
Cu	0.217	0.203	0.212
Cc	1.451	1.906	1.374

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.6.4 Clasificación de Suelos

**Tabla 35: Clasificación de Suelo**

<b>Clasificación</b>			
	<b>C13</b>		<b>C14</b>
	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E1</b>

SUCS	CL	CL	CL
AASHTO	A-4(9)	A-4(9)	A-4(9)

Fuente: Elaboración Propia

#### **5.3.3.6.5 Sales**

Tabla 36: Valores del Ensayo de Sales

<b>Sales</b>																	
<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>		<b>C4</b>	<b>C5</b>		<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>		<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>	<b>C13</b>		<b>C14</b>
<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E1</b>
0.80%	0.60%	0.70%	0.75%	0.65%	0.60%	0.65%	0.60%	0.70%	0.80%	0.85%	0.65%	0.60%	0.70%	0.60%	0.60%	0.65%	0.80%

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.7 Proctor Modificado

#### ☀ Procedimiento

- Se toma una muestra que se al dejado secar al aire libre, de aproximadamente 15 Kg de masa, se utiliza el material que pasa por la malla N°4.
- Se utiliza una cantidad aproximada de 2 % de agua, para humedecer de forma homogénea toda la muestra.
- Se toma registro del peso del molde y sus dimensiones en el cuaderno de apuntes.
- Con la ayuda del pisón, se compacta la muestra en 5 capas, con 25 golpes por cada capa, distribuyendo el golpe del pisón de forma uniforme por toda la superficie.
- En la última capa se tapa los huecos que queden, se enrasa y se retira el collar.
- Se calcula el peso unitario seco que resulte.
- Se va a repetir el procedimiento, agregando el agua suficiente para determinar una relación entre el contenido de agua del suelo y el peso unitario seco.
- Los valores que se obtienen del peso unitario seco modificado y el óptimo contenido de agua, se van a determinar mediante la curva de compactación.

**Tabla 37: Valores de Ensayo de Proctor Modificado**

Proctor														
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
M.D.S	1.73	1.75	1.74	1.761	1.77	1.752	1.78	1.81	1.731	1.79	1.75	1.735	1.76	1.774
O.C.H	10.71	12	11.26	13.40	14.60	12.41	15.09	21.80	10.82	15.32	12.20	11.01	13.27	14.92

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3.8 CBR

#### ☀ Procedimiento

- De cada calicata se saca una muestra alterada, la cual se seca al aire libre.
- Se extrae una muestra de 6 Kg para cada molde de CBR, debidamente tamizada por el tamiz 3/4" pulgada.
- Sabiendo los valores de la humedad natural y la humedad optima de la muestra, se determina la cantidad de agua a añadir.
- Determine la calidad y el tamaño del molde. Una vez finalizado, el molde se ensambla con el plato base y el collar.
- Se coloca el disco espaciador, el papel filtro y se procede a compactar en 5 capas con 56 golpes por cada capa.
- Una vez compactada se retira el collar y se enrasa la muestra, llenando los espacios vacíos.
- El vástago de la válvula se ubica en la parte superior del molde con un anillo de sobrecarga. Obtenga la lectura inicial instalando el trípode en el borde y colocando el dial en el centro de la varilla. El molde se sumergió en el tanque y se leyó continuamente durante 4 días.
- Se realiza el mismo procedimiento con el segundo y tercer molde, pero estos se compactan con 25 y 10 golpes por capa, respectivamente.
- Transcurrido el periodo de inmersión, se procede a retirar los moldes sumergidos, se deja escurrir por un transcurso de 15 minutos, se le retira las sobrecargas y el vástago; se pesa y se seca el molde para realizar el ensayo de penetración.
- Después del secado, colocar el recargo. Ponemos la muestra en la

prensa y luego agregamos el pistón. Instale un dial para medir la fuerza de penetración del pistón y comience con una carga de 10 lb.

- La aguja del cuadrante de medición se encera y la carga se aplica al pistón penetrante a una uniforme velocidad de 1.27 (.05 pulgadas) por minuto a través del gato correspondiente o el mecanismo del dispositivo de carga. Y observe las lecturas de carga para las fuerzas de penetración de 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 pulgadas

**Tabla 38: Valores de Ensayo de CBR**

<b>CBR</b>														
	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>	<b>C13</b>	<b>C14</b>
CBR al 100% 0.1"	6.9	7.36	7.11	7.54	7.72	7.36	7.93	7.17	6.93	8.13	7.32	7.01	7.52	7.8
CBR al 95% de MDS (%)	5.51	5.92	5.74	6.20	6.39	6	6.61	5.8	5.54	6.83	5.96	5.63	6.18	6.48
CBR al 100% 0.2"	8.91	9.32	9.09	9.47	9.63	9.31	9.81	9.15	8.93	9.99	9.27	9	9.45	9.71
CBR al 95% de MDS (%)	7.45	8.05	7.78	8.46	8.74	8.17	9.07	7.88	7.49	9.39	8.10	7.62	8.42	8.87

Fuente: Elaboración Propia



**Tabla 39: Resumen de los estudios realizados en las 14 calicatas**

Calicatas	Contenido de Humedad	Clasificación de Suelos		Límite de Consistencia		Sales	Proctor		CBR		Análisis Granulométrico	
		AASHTO	SUCS	L. Líquido	L. Plástico		M.D.S.	O.C.H.	95%	100%	Cu	Cc
C1	25.64%	A-4(9)	CL	28	20	0.60%	1.73	10.71	5.51	6.90	0.21	1.38
C2	31.60%	A-4(9)	CL	28	20	0.60%	1.75	12.00	5.92	7.36	0.22	1.36
C3	28.54%	A-4(9)	CL	29	18	0.73%	1.74	11.26	5.74	7.11	0.87	1.04
C4	26.34%	A-4(9)	CL	28	20	0.65%	1.76	13.40	6.20	7.54	0.21	1.36
C5	29.95%	A-4(9)	CL	30	21	0.63%	1.77	14.60	6.39	7.72	0.96	0.96
C6	26.07%	A-4(9)	CL	29	19	0.60%	1.75	12.41	6.00	7.36	0.21	0.99
C7	23.46%	A-4(9)	CL	28	20	0.70%	1.78	15.09	6.61	7.93	1.10	1.34
C8	24.83%	A-4(9)	CL	27	18	0.83%	1.81	21.80	5.80	7.17	0.21	0.83
C9	23.27%	A-4(9)	CL	29	19	0.65%	1.73	10.82	5.54	6.93	0.21	1.80
C10	30.05%	A-4(9)	CL	30	21	0.60%	1.79	15.32	6.83	8.13	1.10	1.39
C11	28.63%	A-4(9)	CL	27	19	0.70%	1.75	12.20	5.96	7.32	0.20	1.10
C12	30.93%	A-4(9)	CL	26	20	0.60%	1.74	11.01	5.63	7.01	0.22	2.06
C13	26.96%	A-4(9)	CL	28	20	0.63%	1.76	13.27	6.18	7.52	0.20	0.76
C14	26.08%	A-4(9)	CL	30	21	0.80%	1.77	14.92	6.48	7.80	0.21	1.37

## 5.4 CALCULO DE ESPESOR DEL PAVIMENTO

El método recomendado para determinar el diseño de pavimento flexible se basa en los criterios de diseño de AASHTO 93, en el que encontraremos los siguientes parámetros.

### 5.4.1 Número de Ejes Equivalentes (ESAL)

Se calculó el resultado del número de ejes equivalentes teniendo como resultado un ESAL de 16624751.

*Ilustración 9: Fórmula para determinar el ESAL*

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

Fuente: Guía AASHTO 93

### 5.4.2 Módulo de Resiliencia (Mr)

Se medirá la rigidez del suelo de la subrasante, teniendo un CBR = 6.9% y a través de la siguiente fórmula obtendremos:

$$Mr(\text{psi}) = 4326 * \ln \text{CBR} + 241$$

$$Mr(\text{psi}) = 4326 * \ln 6.9 + 241$$

$$Mr(\text{psi}) = 8795.37$$

### 5.4.3 Confiabilidad (%R)

El nivel de confiabilidad lo encontraremos dependiendo el tipo de tráfico y según lo encontrado en el estudio de tráfico, para esto se aplicará conceptos estadísticos, en esta ocasión elegiremos TP12, debido a que se encuentran entre los intervalos dados.

**Tabla 40: Nivel de Confiabilidad**

Trafico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de Confiabilidad
TP12	15000000	20000000	95%

Fuente: Elaboración Propia

En la presente tabla, seleccionamos el TP12 debido a que tenemos un ESAL de 16993161 los cuales se encuentran en el rango de 15 000 000 y 20 000 000, obteniendo un %R de 95%.

#### 5.4.4 Coeficiente estadístico de desviación standard (Zr)

Se representa según la confiabilidad encontrada, en la que tendremos un tráfico de TP12 según los siguientes intervalos de la Tabla del análisis granulométrico.

**Tabla 41: Desviación estándar (Zr)**

Trafico	Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar normal (Zr)
TP12	15000000	20000000	-1.645

Fuente: Manual de Carreteras 2013

En la presente tabla, seleccionamos el TP12 debido a que tenemos un ESAL de 16993161 los cuales se encuentran en el rango de 15 000 000 y 20 000 000, obteniendo un Zr de -1.645.

#### 5.4.5 Desviación estándar combinado So

Utilizamos el recomendado según el MTC que será 0.45.

#### 5.4.6 Índices de Serviciabilidad (PSI)

Representa la comodidad que se ofrece al usuario, los valores obtenidos los obtendremos del MTC.

**Tabla 42: Índices de Serviciabilidad (PSI)**

Trafico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de serviciabilidad inicial (Pi)	Índice de serviciabilidad final (Pf)	ΔPSI
TP12	15000000	20000000	4.20	3.00	1.20

Fuente: Manual de Carreteras 2013

#### 5.4.7 Numero Estructural Requerido (SNR)

Encontraremos el SNR mediante los datos obtenidos anteriormente (ESAL, Mr, %R, Zr, Pi, Pt).

Este dato nos indica el espesor total de pavimento que se usara en las capas conformadas por la rodadura, base y sub base.

**Tabla 43: Numero estructural requerido (SNR)**

<b>SNR</b>	<b>5.927</b>
------------	--------------

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4.8 Espesor de las capas del pavimento

**Tabla 44: Tabla de resumen para la obtención del SNR**

**Tabla 42:**

*Tabla de resumen para la obtención del SNR*

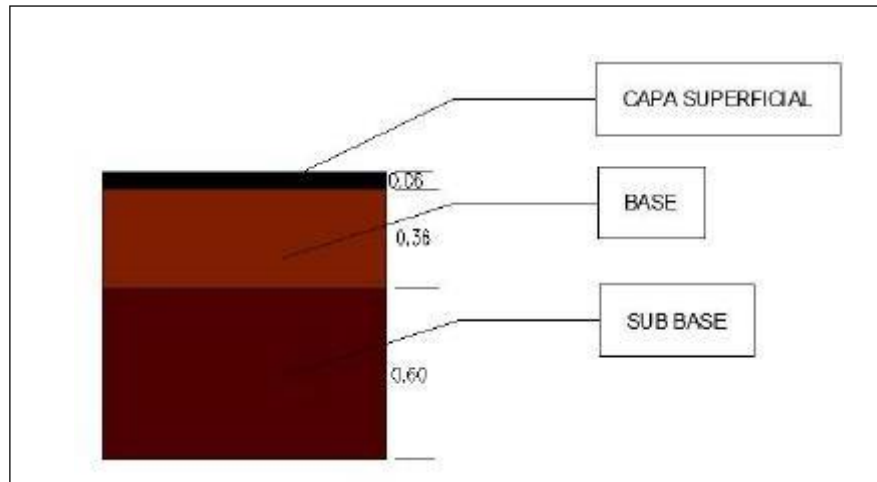
Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	16 624 751
Suelo de la subrasante	CBR =	6.9 %
Módulo de resiliencia de la subrasante	$Mr(psi) = 2555xCBR^{0.64}$	MR (psi)= 8795.37
Tipo de tráfico	VERDADERO	Tipo: TP12
Número de etapas	Etapas:	1
Nivel de confiabilidad	conf	95.0 %
Coficiente estadístico de desviación estandar normal	ZR	-1.645
Desviación estandar combinado	So	0.45
Indice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	4.2
Indice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	3
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	Δ PSI	1.2

Fuente: Elaboración Propia

### 5.4.8.1 Propuesta de Diseño de pavimento flexible

Proponemos un diseño de pavimento flexible teniendo como resultado los siguientes espesores:

**Ilustración 10: Capas de diseño de pavimento**



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 45: Resultado de espesores del pavimento**

d1	d2		d3
6 cm	36 cm		60 cm
Capa Superficial	Base		Sub Base
SNR (requerido)	5.9266	Debe cumplir SNR (resultado) > SNR (requerido)	
SNP (resultado)	5.9640	SI CUMPLE	

Fuente: Elaboración Propia

Los espesores encontrados en la Tabla 45, se tomaron teniendo en cuenta el SNR requerido (5.9266) el cual debe ser menor que el SNR del resultado (5.9640), se tomaron los siguientes espesores debido al alto volumen de tráfico y a su vez la manera más accesible y económica para la realización del proyecto.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. DISCUSIÓN

Una vez determinados los resultados de la investigación se procederá a realizar la discusión en base a los trabajos previos en relación a la línea de investigación.

El diseño de pavimento flexible aplicando el método AASHTO, permite el mejoramiento del camino vecinal Buenos Aires – Flor de Mayo, según nuestra investigación realizada es VERDADERA porque al realizar el diseño del pavimento flexible y posteriormente su ejecución se obtendrá como resultado el mejoramiento del camino vecinal tanto peatonal como vehicular.

El estudio de tráfico contribuye en el cálculo del índice medio diario anual, según la investigación que hemos realizado es verdadera porque si contribuye en la obtención del índice medio diario anual y a través de estos resultados, se sabrá a que volumen de tráfico estará sometido el pavimento.

El estudio topográfico contribuye en la elaboración de planos y secciones transversales, identificando las características del diseño del pavimento flexible contribuyendo a la realización del diseño, como la elaboración del diseño de ejes de calzada que componen la vía en estudio.

El estudio de suelos contribuye en identificar las características físicas y mecánicas, en base a ello conocemos los resultados podremos saber la resistencia del suelo y así el mejoramiento del camino vecinal.

El espesor total de 102 cm, de las diferentes capas que componen el pavimento flexible, podemos afirmar que esta es verdadera porque con los espesores ya obtenidos podrán proceder a su ejecución del proyecto lo que traerá como consecuencia el asfaltado del camino vecinal.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- ✿ La ejecución del diseño de pavimento flexible del camino vecinal ~~Buenos~~ Aires – Flor de Mayo, es de suma importancia debido a que beneficiará en la construcción de la vía a estas localidades, el cual resolverá los problemas de transitabilidad.
- ✿ En el estudio de tránsito realizado en el camino vecinal, se obtiene un ~~frte~~ flujo semanal promedio de 3204 vehículos por día, el índice diario anual promedio es de 3258 vehículos por día, se obtiene un factor de Cargas Equivalentes por eje (ESAL) de 16 624 751 KN.
- ✿ El tipo de suelo es (CL) arcilla de baja plasticidad con arena, mediante la clasificación SUCS. Por otro lado, en la metodología AASHTO se identifica un tipo de suelo (A- 4(9)), debido a que más del 35% pasa por el tamiz N°200. El CBR obtenido al 95% es de 6.9 considerándose un suelo regular – malo.
- ✿ Aplicando el método AASHTO 93, se obtiene los diferentes espesores ~~è~~ de pavimento flexible el cual estará compuesta por: Carpeta asfáltica de 6cm, la base granular de 36cm y la sub base granular de 60cm, dando un total de 102 cm.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- ✿ Investigar los métodos empleados para la realización de un diseño de pavimento flexible, cumpliendo con las normas establecidas por el ministerio de transportes y comunicaciones, así como los equipos y programas que se utilizaran para el diseño del pavimento.
- ✿ Realizar un buen estudio de tráfico, debido a que del conteo vehicular se obtiene el Índice Medio Diario Anual (IMDa), el cual es un valor fundamental en el cálculo del Factor de Cargas Equivalentes (ESAL), que es un factor primordial a la hora de diseñar el espesor del pavimento.
- ✿ Emplear el CBR mínimo, si tus resultados obtenidos del CBR de las muestras de las calicatas no varían mucho, debido a que es el más desfavorable y esto brinda un mayor margen de seguridad.
- ✿ Enfatizar en un análisis de forma más factible y económica al momento de calcular los diferentes espesores que componen las capas del pavimento.



## CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AASHTO. (1993). Guía para el diseño de estructuras de pavimentos. México: Continental S.A.
- Manual del asfalto - Instituto Del Asfalto\_decrypted; DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MS-1: INSTITUTO ASFALTO – 2020.
- Huamán, N, (2000), “Pavimentos Flexibles”. Editorial UNI, Lima Perú.
- AREVALO, M., & CHÁVEZ, O. (2015). Diseño de pavimento en la Urbanización Santa María Distrito de José Leonardo Ortiz - Chiclayo - Lambayeque. Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Chiclayo. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/1620/BC-TES-TMP447.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CHUNA, J. (2019). Diseño de la infraestructura vial para mejorar la transitabilidad usando el Método AASHTO 93 en la Urbanización Santa Rosa - Ventanilla. Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Lima. Obtenido de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/44498/Chuna\\_AJCI-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/44498/Chuna_AJCI-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- FONTALBA, E. (2015). Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación Sector Guacamayo 1° Etapa. Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2015/bmfcif678d/doc/bmfcif678d.pdf>
- SALAMANCA; GODOY. “Diseño de la Vía Timana – Cosanza en Pavimento Flexible”. Colombia, 2013. Disponible en: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/981/2/Dise%2B%C2%A6o%20la%20v%2B%C2%A1a%20Timan%2B%C3%ADCosanza%20en%20pavimento%20flexible.pdf>.

- TERRONES, G. (2018). Diseño estructural del pavimento flexible utilizando método Aashto 93 en las calles I y J de la cuarta etapa del C.H Micaela Bastidas. Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Piura. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32280>.
- TORRES, P., & PÉREZ, D. (2017). Diseño de pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en el AA. HH Ampliación Túpac Amaru, Distrito de Chiclayo, Lambayeque. Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Chiclayo. Obtenido de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16554/Torres\\_BPerez\\_BDS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16554/Torres_BPerez_BDS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- PINTO. “Método AASHTO para pavimento flexible”. Diseño de Pavimentos. Fecha de consulta: 03/07/2017. Disponible en: <http://ingenieriareal.com/metodo-aashto-parapavimento-flexible/>.
- CASANA, R. (2018). Propuesta de Diseño del Pavimento Flexible para La Av. Santo Toribio y las Calles 7 y 8 del Asentamiento Humano Las Lomas Sector I-Distrito de Huanchaco - Trujillo - La Libertad, 2018. Universidad Privada de Trujillo.
- PINCHI, L. (2017). Diseño de Pavimento Flexible con Carpeta Asfáltica en Caliente Tramo Banda de Shilcayo – Las Palmas. Universidad Nacional de San Martín –Tarapoto.