

# UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

---

## Diseño estructural del pavimento en la avenida los Algarrobos, distrito de Veintiséis de Octubre, Piura

---

**Línea de Investigación:** Ingeniería de Transportes

**Sub Línea de Investigación:** Transportes

**Autores:**

Gil Liviapoma, Piter Yampier

Saavedra Mejía, Carolina

**Jurado Evaluador:**

**Presidente :** Valdiviezo Castillo, Krissia Del Fatima

**Secretario :** Príncipe Reyes, Roger Alberto

**Vocal :** Ramal Montejo, Rodolfo Enrique

**Asesor:**

Novoa Castillo, Oscar Walter

**Código Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-4895-751X>

**PIURA – PERÚ**

**2024**

**Fecha de Sustentación: 2024/04/11**



# UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

---

## Diseño estructural del pavimento en la avenida los Algarrobos, distrito de Veintiséis de Octubre, Piura

---

Línea De Investigación: Ingeniería de Transportes

Sub Línea De Investigación: Transportes

### Autores:

Gil Liviapoma, Piter Yampier

Saavedra Mejía, Carolina

### Jurado Evaluador:

**Presidente** : Valdiviezo Castillo, Krissia del Fatima

**Secretario** : Príncipe Reyes, Roger Alberto

**Vocal** : Ramal Montejo, Rodolfo Enrique

### Asesor:

Novoa Castillo, Oscar Walter

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4895-751X>

PIURA – PERÚ

2024

Fecha de Sustentación: 2024/04/11

# DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LOS ALGARROBOS, DISTRITO DE VEINTISÉIS DE OCTUBRE, PIURA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

7%

Excluir citas

Activo

Excluir bibliografía

Activo



Dr. Oscar Walter Novoa Castillo  
Docente asesor Registro CIP: 75613

Excluir coincidencias < 2%

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **Novoa Castillo, Oscar Walter**, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada “**Diseño estructural del pavimento en la avenida los Algarrobos, distrito de Veintiséis de Octubre, Piura**”, autores **Gil Liviapoma, Piter Yampier** y **Saavedra Mejía, Carolina**, dejo constancia de lo siguiente:

El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 7%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 02 de Abril del 2024.

He revisado con detalle dicho reporte de la tesis “**Diseño estructural del pavimento en la avenida los Algarrobos, distrito de Veintiséis de Octubre, Piura**”, y no se advierte indicios de plagio.

Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Piura, 02 de Abril del 2024



**Gil Liviapoma, Piter Yampier**  
DNI: 72937198



**Saavedra Mejía, Carolina**  
DNI: 70382499



**NOVOA CASTILLO OSCAR WALTER**  
DNI: 43331324

Código Orcid : <https://orcid.org/0000-0002-4895-751X>

## **DEDICATORIA**

A Dios por haber sido el pilar principal en mis momentos de angustia, y por haberme ayudado a afrontar las situaciones de adversidad con éxito

A mis padres, porque a pesar de los obstáculos y de muchas decisiones equivocadas nunca me soltaron y siempre estuvieron ahí para darme ese aliento de ánimo que necesitaba, por sus consejos que siempre fueron el camino para llegar a ser lo que soy ahora.

A todos los docentes que han pasado a lo largo de mi carrera, porque gracias a sus conocimientos y enseñanzas me he formado como el profesional que soy ahora.

**Br. Gil Liviapoma, Piter Yampier**

A Dios por ser la luz de mi vida, y darme fortaleza suficiente para no desistir ante cualquier situación.

A Cristhian, mi ángel que me da fortaleza en los momentos difíciles y que siempre lo tengo presente y lo extraño mucho.

A mis padres por su apoyo, sus consejos y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar a pesar de los obstáculos y dificultades que se presentaron en el camino.

A mis hermanos Juan Carlos, Maricruz y William por su incondicional amor, sus compañías y motivaciones para poder seguir avanzando cada día.

**Br. Saavedra Mejía, Carolina**

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro eterno agradecimiento a Dios por guiarnos en el camino del bien y permitirme culminar mi carrera profesional.

Agradecemos a nuestros Padres por la confianza que me dieron e impulsaron mis ganas de salir adelante.

Agradecemos a nuestros hermanos por estar siempre dispuesto a apoyarme en mi formación profesional y moral.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad realizar un diseño estructural del pavimento en la avenida lo Algarrobos, para lo cual se empleó la metodología descrita por la AASTHO 93 lo cual nos permitió determinar los espesores estructurales del pavimento flexible, rígido y articulado.

De los resultados obtenidos del estudio de mecánica de suelos se a podido determinar que la vía en estudio clasifica como una subrasante de categoría regular ya que el CBR de diseño es de 8.95%, el cual a sido obtenido del promedio de los CBR de las calicatas N°1, 2 y 3, por lo cual al presentar un valor de CBR mayor al 6% nuestra zona de estudio no requiere un mejoramiento de suelo.

Respecto al estudio de tráfico se puede señalar que la carga actuante de diseño de pavimentos flexibles y articulados es de 2,988,208.94 EE (ejes equivalentes), mientras que para el caso de pavimento rígido la carga de diseño generada por el tráfico vehicular es de 3,329,305.15 EE, así mismo se debe precisar que en la zona de estudio predomina el tránsito vehicular liviano ya que el 68.54% del tránsito total está compuesto por motos mototaxi y moto lineal.

En el caso del diseño estructural de los tres tipos de pavimento se determinó que de acuerdo a las características técnicas del suelo y del tráfico vehicular, el pavimento flexible debe tener una carpeta asfáltica de 7.5 cm de espesor, una base granular de 25 cm y una subbase de 22.5 cm, mientras que en el caso del pavimento rígido se debe tener una losa de concreto de 20.5 cm de espesor y una subbase granular de 15 cm, finalmente se determinó que la estructura del pavimento articulado debe tener un adoquín de concreto de 8 cm, una cama de arena de 4 cm y una base granular de 30 cm.

Con los resultados del diseño estructural del pavimento flexible, rígido y articulado se realizó una evaluación económica por metro cuadrado donde se determinó que el pavimento flexible tiene un costo unitario de S/.120.53 soles, el pavimento rígido de S/.182.51 soles, mientras que el pavimento articulado de S/.190.38 soles. Finalmente se puede indicar que el pavimento flexible es el más adecuado para la zona en estudio ya que cumple con las condiciones técnicas y económicas para su construcción.

**Palabras clave:** Diseño estructural, evaluación, pavimento.

## ABSTRACT

The purpose of this research was to carry out a structural design of the pavement on Algarrobos Avenue, using the methodology described by AASTHO 93, which allowed us to determine the structural thicknesses of the flexible, rigid and articulated pavement.

From the results obtained from the soil mechanics study, it was determined that the road under study is classified as a regular category subgrade since the design CBR is 8.95%, which was obtained from the average of the CBRs of pits N°1, 2 and 3, so by presenting a CBR value greater than 6%, our study area does not require soil improvement.

Regarding the traffic study, it can be pointed out that the acting design load of flexible and articulated pavements is 2,988,208.94 EE (equivalent axles), while in the case of rigid pavement, the design load generated by vehicular traffic is 3,329,305.15 EE. It should also be noted that light vehicular traffic predominates in the study area, since 68.54% of the total traffic is composed of motorcycle cabs and linear motorcycles.

In the case of the structural design of the three types of pavement, it was determined that according to the technical characteristics of the soil and vehicular traffic, the flexible pavement should have an asphalt layer 7.5 cm thick, a granular base of 25 cm and a subbase of 22.5 cm, while the flexible pavement should have an asphalt layer of 7.5 cm thick, a granular base of 25 cm and a subbase of 22.5 cm, while the flexible pavement should have a subbase of 22.5 cm. 5 cm, while the rigid pavement should have a 20.5 cm thick concrete slab and a 15 cm granular subbase. Finally, it was determined that the structure of the articulated pavement should have an 8 cm concrete paver, a 4 cm sand bed and a 30 cm granular base.

With the results of the structural design of the flexible, rigid and articulated pavement, an economic evaluation per square meter was carried out, where it was determined that the flexible pavement has a unit cost of S/.120.53 soles, the rigid pavement of S/.182.51 soles, while the articulated pavement of S/.190.38 soles. Finally, it can be indicated that the flexible pavement is the most suitable for the area under study since it meets the technical and economic conditions for its construction.

**Key Words:** structural design, evaluation, pavement

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento y avenencia de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento de la Facultad de Ingeniería, es satisfactorio poner a su disposición la presente tesis titulada “DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LOS ALGARROBOS, DISTRITO DE VEINTISÉIS DE OCTUBRE, PIURA” con el propósito de adquirir el título Profesional de Ingeniería Civil.

La actual tesis ha sido trabajada de acuerdo a las normas internacionales y normas técnicas peruanas, para determinar el diseño estructural del pavimento de estudio.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	vii
PRESENTACIÓN.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Problema de investigación .....	16
1.2 Enunciado del problema.....	18
1.3 Justificación del estudio .....	18
1.3.1 Justificación técnica.....	18
1.3.2 Justificación económica.....	18
1.3.3 Justificación social .....	19
1.4 Objetivos .....	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivo específico .....	19
II. MARCO DE REFERENCIA .....	20
2.1 Antecedentes del estudio .....	20
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	21
2.1.3 Antecedentes locales.....	22
2.2 Marco teórico .....	23
2.2.1 Pavimento.....	23

2.2.2	Funciones del pavimento.....	23
2.2.3	Tipos de pavimentos.....	23
2.2.4	Estructura convencional de un pavimento .....	25
2.2.5	Índice medio diario anual (IMDA).....	26
2.2.6	Estudio de mecánica de suelos .....	34
2.2.7	Diseño estructural de pavimentos flexibles.....	41
2.2.8	Diseño estructural de pavimento semirrígidos o articulado .....	43
2.2.9	Diseño estructural de pavimentos rígidos.....	44
2.4	Hipótesis .....	46
2.5	Variables .....	46
2.5.1	Variable independiente .....	46
2.5.2	Operacionalización de variables .....	46
III.	METODOLOGÍA EMPLEADA .....	48
3.1	Tipo y nivel de investigación .....	48
3.1.1	Tipo de investigación .....	48
3.1.2	Nivel de investigación .....	48
3.2	Población y muestra de estudio .....	48
3.2.1	Población.....	48
3.2.2	Muestra.....	48
3.3	Diseño de investigación .....	50
3.4	Técnica e instrumentos de investigación.....	50
3.5	Procesamiento y análisis de datos.....	51
IV.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	52
4.1	Análisis e interpretación de resultados.....	52
4.1.1	Estudio de mecánica de suelos .....	52
4.1.2	Estudio de tráfico.....	57
4.1.3	Diseño estructural de pavimentos flexibles.....	68

4.1.4	Diseño estructural de pavimentos rígidos.....	73
4.1.5	Diseño estructural de pavimento articulado.....	78
4.1.6	Análisis económico de los tipos de pavimentos.....	80
4.1.7	Selección del pavimento para la av. los Algarrobos .....	83
4.2	Docimasia de hipótesis .....	86
V.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	87
	CONCLUSIONES.....	88
	RECOMENDACIONES .....	90
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	91
	ANEXOS .....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre el factor direccional y el factor carril .....	27
Tabla 2. Tasa de crecimiento para vehículos ligeros y pesados .....	28
Tabla 3. Cálculo del factor eje equivalente para pavimentos flexibles y semirrígidos.....	29
Tabla 4. Cálculo del factor eje equivalente para pavimentos rígidos.....	29
Tabla 5. Factor vehículo pesado por tipo de vehículo .....	30
Tabla 6. Cálculo del factor de presión de neumáticos (Fpi) .....	31
Tabla 7. Correlación entre el número de repeticiones de ejes equivalentes y el tipo de trafico.....	33
Tabla 8. Ensayos de laboratorio para el diseño de pavimentos .....	34
Tabla 9. Tamaño de tamices para distribución granulométrica .....	36
Tabla 10. Relación entre el IP y la clasificación de un suelo.....	37
Tabla 11. Correlación entre el método AASHTO y SUCS .....	39
Tabla 12. Condición de la subrasante .....	40
Tabla 13. Niveles de trafico de acuerdo a los ejes equivalentes.....	43
Tabla 14. Espesores mínimos de adoquín de concreto y cama de arena según el trafico .....	43
Tabla 15. Operacionalización de variable .....	47
Tabla 16. Puntos de investigación para el estudio de mecánica de suelos.....	49
Tabla 17. Distribución de calicatas.....	52
Tabla 18. Estratigrafía de la calicata 1 .....	53
Tabla 19. Estratigrafía de la calicata 2 .....	53
Tabla 20. Estratigrafía de la calicata 3 .....	54
Tabla 21. Resultados de los ensayos de laboratorio para la zona en estudio.....	55
Tabla 22. Resumen de ensayos proctor y CBR .....	56
Tabla 23. Estaciones de conteo vehicular .....	57
Tabla 24. Resumen del conteo vehicular semanal en la estación 1 .....	58
Tabla 25. Resumen del conteo vehicular semanal en la estación 2.....	59
Tabla 26. Factor de corrección estacional del peaje Piura – Sullana.....	60
Tabla 27. Índice medio diario semanal de la estación 1 .....	61
Tabla 28. Índice medio diario semanal de la estación 2 .....	62
Tabla 29. Cálculo del índice medio diario anual .....	63

Tabla 30. Factores para determinar la carga actuante .....	65
Tabla 31. Cálculo de la carga actuante para pavimentos flexibles y articulados..	66
Tabla 32. Cálculo de la carga actuante para pavimentos rígidos .....	67
Tabla 33. Variables de diseño de pavimentos flexibles .....	69
Tabla 34. Coeficientes estructurales de las capas del pavimento flexible .....	70
Tabla 35. Variables de diseño de pavimentos rígidos .....	75
Tabla 36. Parámetros de diseño de pavimentos articulados .....	78
Tabla 37. Comparación técnica económica de pavimentos .....	84
Tabla 38. Características de construcción del pavimento flexible .....	85
Tabla 39. Espesores estructurales de los tres tipos de pavimentos .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un pavimento flexible .....	24
Figura 2. Estructura de un pavimento semirrígido o articulado .....	24
Figura 3. Estructura de un pavimento rígido.....	25
Figura 4. Clasificación de suelos según el método SUCS. ....	38
Figura 5. Clasificación de suelos según el método AASTHO.....	39
Figura 6. Avenida los Algarrobos .....	49
Figura 7. Distribución del tráfico vehicular.....	64
Figura 8. Composición del tráfico vehicular.....	64
Figura 9. Determinación de los espesores estructurales del pavimento flexible ..	71
Figura 10. Paquete estructural del pavimento flexible – alternativa 1. ....	72
Figura 11. Paquete estructural del pavimento flexible – alternativa 2 .....	72
Figura 12. Determinación de los espesores estructurales del pavimento rígido ..	76
Figura 13. Estructura del pavimento rígido.....	77
Figura 14. Detalle de pasadores de carga en pavimentos rígidos.....	77
Figura 15. Determinación de los espesores estructurales del pavimento articulado .....	79
Figura 16. Estructura del pavimento articulado .....	80
Figura 17. Costo unitario del pavimento flexible.....	81
Figura 18. Costo unitario del pavimento rígido .....	82
Figura 19. Costo unitario del pavimento articulado .....	83
Figura 20. Comparación de costos de pavimentos .....	84

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del índice medio diario anual .....	26
Ecuación 2. Cálculo de la tasa de crecimiento acumulado .....	27
Ecuación 3. Cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes .....	32
Ecuación 4. Variables para el cálculo del número de ejes equivalentes .....	32
Ecuación 5. Cálculo del contenido de humedad (W).....	35
Ecuación 6. Cálculo del índice de plasticidad.....	37
Ecuación 7. Cálculo del número estructural requerido para diseño de pavimentos flexibles .....	41
Ecuación 8. Cálculo del número estructural propuesto .....	42
Ecuación 9. Cálculo de los espesores estructurales del pavimento rígido .....	44
Ecuación 10. Cálculo del módulo resiliente .....	68
Ecuación 11. Cálculo del módulo de elasticidad del concreto .....	74

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema de investigación

En la actualidad la infraestructura del transporte cumple un papel importante en el óptimo desempeño de las actividades económicas del país, es por ello que es fundamental realizar un diseño óptimo de la infraestructura del transporte, tanto del diseño geométrico como estructural. Con respecto al diseño estructural del pavimento es necesario indicar que existe un gran déficit de pavimentación en zonas urbanas del país, sumado a esto podemos indicar la mala calidad de los diseños estructurales, lo que se debe a la falta de ensayos básicos que se deben realizar para plantear un diseño, también es necesario señalar que la falta de conservación influye en el desempeño y la vida útil del pavimento.

En una investigación efectuada por el Instituto Nacional de Vías (2022) de Colombia mediante su entrega del estado de la red vial a su cargo, indica las condiciones que se encuentra la red vial primaria la cual alcanza una longitud de 10,946.64 km, de los cuales 8,853.25 km se encuentran pavimentados lo que representa una incidencia del 80.88%, mientras que el porcentaje sin pavimentar alcanza un 19.12%. Se debe indicar que del porcentaje de la red vial pavimentada tan solo el 53.51% alcanza las condiciones óptimas de funcionamiento, mientras que la zona sin pavimentar la cual representa un 89.72% se encuentra en condiciones pésimas, lo que indica que existe un gran déficit vial por mejorar.

De igual forma la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile en el año 2021 en su portal de información señala las condiciones de su red vial la cual cuenta con una longitud de 88,150,480 km la cual solo el 24.49% se encuentra pavimentada mediante diferentes estructuras de pavimento como carpetas asfálticas y losas de concreto, mientras que el 21.50% de esta red cuenta con soluciones básicas de bases estabilizadas, la cifra alarmante la alcanza la red vial no pavimentada la cual cuenta con una incidencia de 54.01% lo que representa 47,610,101 km de red por pavimentar, lo que señala que aún existe una gran brecha vial por implementar.

El sistema vial nacional de nuestro país no es ajeno a esta realidad, a pesar que nuestra infraestructura vial está estructurada en tres niveles, los órganos

estatales encargados no tienen la capacidad de gestionar proyectos que permitan reducir la brecha existente. De acuerdo a ello el Sistema Nacional de Carreteras a identificado que tan solo el 77.93% de la red nacional se encuentra pavimentada de la cual el 52.47% cuenta con un pavimento asfaltado, mientras que el 25.46% de dicha red se encuentra pavimentada con soluciones básicas, dicho análisis se realizó teniendo en cuenta que la red vial nacional tiene una extensión longitudinal de 29,000.4 km.

Con respecto al sistema departamental se tiene que tan solo 4,660.9 km se encuentran pavimentados lo que representa una incidencia del 14.28% de la cual el 10.67% se encuentra asfaltado, la cifra alarmante la alcanza el porcentaje de la red vial departamental sin pavimentar la cual alcanza una cifra del 85.72%, donde las regiones de Cusco, Huancavelica y la Libertad cuenta con la menor incidencia de pavimentación, mientras que Puno y Arequipa son las regiones que cuentan con mayor incidencia de pavimentación, donde la región de Puno alcanza 304.1 km y la región de Arequipa 579.1 km ambas en condiciones asfaltadas. Se debe señalar que la red vial departamental cuenta con una longitud de 32,633.3 km de extensión.

Respecto al sistema local el departamento de Piura tiene una red vial de 6,501.3 km de extensión, de la cual 333.3 km de dicha red se encuentra en condiciones asfaltadas lo que representa una incidencia del 5.12%, mientras que la red vial no pavimentada tiene una extensión de 6165.0 km de la cual solo 816.5 km están en condiciones afirmadas, las provincias de Ayabaca, Huancabamba y Morropón son las que cuentan con un gran porcentaje de red por pavimentar, mientras que las ciudades de Piura y Sechura son las que cuentan con mayor red vial asfaltada, donde Piura alcanza una longitud de 63.6 km al igual que Sechura la cual cuenta con 79.6 km de vía en condiciones asfaltadas.

Por lo anterior expuesto nuestra investigación busca mejorar el sistema vial de la avenida los Algarrobos entre los tramos de las avenidas 13 de noviembre y prolongación Chulucanas, donde se puede observar que el pavimento flexible existen a fallado, puesto que la mayor parte del tramo presenta huecos de gran magnitud, además de zonas sin rasgo de haber existido construcción de pavimento, dichas fallas originadas en la carpeta de rodadura han ocasionado que la base granular se convierta en la nueva superficie de rodamiento de los vehículos. Se

debe indicar que la vía en estudio es del tipo arterial de acuerdo a la clasificación de vías urbanas realizada por la municipal de su jurisdicción, además se debe señalar que la zona en estudio cuenta con las redes de agua y desagüe en plena operatividad.

## **1.2 Enunciado del problema**

¿Cómo el diseño estructural del pavimento en la avenida los Algarrobos, distrito de Veintiséis de Octubre, Piura me permitirá escoger un tipo de pavimento a usar?

## **1.3 Justificación del estudio**

La investigación tiene como finalidad realizar un diseño estructural del pavimento de la avenida los Algarrobos, tramo 13 de noviembre y prolongación Chulucanas, ya que la zona en estudio no cuenta con las condiciones óptimas de transitabilidad, lo que ocasiona tráfico vehicular en las horas puntas originado por el estado de conservación del pavimento.

### **1.3.1 Justificación técnica**

Realizar un diseño estructural del pavimento que tome las características de la zona, permitirá determinar un espesor óptimo y además que cumpla su periodo de diseño estimado, garantizando así un buen comportamiento y desempeño estructural, se debe indicar que se realizara un análisis técnico comparativo entre los diseños estructurales del pavimento rígido, flexible y articulado, lo cual permitirá elegir el tipo de pavimento a usar, ajustándose a la realidad de la zona en estudio y que mejore las condiciones de transitabilidad.

### **1.3.2 Justificación económica**

Nuestra investigación tiene como finalidad realizar un análisis económico comparativo entre el pavimento rígido, flexible y articulado lo cual permitirá establecer una variable para escoger el tipo de pavimento a usar, se debe señalar que el pavimento a elegir debe cumplir las condiciones técnicas y económicas, para así garantizar la transitabilidad, funcionalidad y economía durante la construcción de la zona en estudio. Es necesario precisar que todo proyecto vial debe tener un periodo determinado de mantenimiento lo que permita garantizar el cumplimiento de la vida útil del pavimento.

### **1.3.3 Justificación social**

El estado actual del pavimento de la zona en estudio, genera un mayor desorden vehicular esto debido a que los vehículos que circulan por la zona tratan de evitar los baches del pavimento, lo que ha ocasionado muchos accidentes con los peatones y vehículos. Se debe señalar que una vía en malas condiciones genera demoras para llegar al punto de destino determinado, además puede ocasionar problemas a la salud por la contaminación que genera el polvo de las zonas sin pavimento.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Elaborar el diseño estructural del pavimento en la avenida los Algarrobos, distrito de Veintiséis de Octubre, Piura.

### **1.4.2 Objetivo específico**

- Realizar un estudio de mecánica de suelos para determinar el CBR de la subrasante.
- Determinar la carga vehicular actuante mediante el estudio de tráfico.
- Calcular el espesor de los tres tipos de pavimento usando la metodología ASHHTO 93.
- Determinar el costo unitario de los tres tipos de pavimento.
- Seleccionar el tipo de pavimento más adecuado para las condiciones de la zona.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Antecedentes del estudio

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

**Bedón (2021)** en su tesis titulada “Diseño de pavimentos aplicando la Metodología AASHTO 93 mediante la programación de un Software Interactivo” tuvo como objetivo principal diseñar un software que permita resolver la ecuación del método AASHTO 93 para así determinar los espesores estructurales del pavimento rígido y flexible, para lo cual la investigación empleó la metodología empírica de AASHTO 93. Del diseño y análisis se obtuvo como resultado que al emplear un software se obtienen valores de manera precisa y rápida como por ejemplo el número estructural calculado de la zona en estudio el cual dio un valor de 2.19 a comparación del número estructural obtenido del cálculo manual empleando monogramas de AASTHO de donde se obtuvo un valor de 2.20. La investigación concluyó en la creación de una aplicación usando la extensión “App Designer” del programa MATLAB la cual permite resolver las ecuaciones para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, dicha aplicación permitió determinar los espesores estructurales óptimos del pavimento a diseñar en la zona de estudio cuyos valores obtenidos son de 5 cm para la carpeta asfáltica, 10 cm para la base y 20 cm para la subbase.

**Ospina (2018)** en su investigación titulada “Diseño estructural de pavimento rígido de las vías urbanas en el municipio del Espinal – Departamento del Tolima” tuvo como objetivo principal realizar un diseño estructural del pavimento de las vías urbanas de Santa Margarita del municipio del Espinal, para lo cual se utilizó la metodología del PCA y el método determinado por el Instituto Nacional de Vías de Colombia. Del análisis realizado de la metodología del PCA se obtuvo como resultado una propuesta de pavimento rígido el cual cuenta con espesores de 25 cm de concreto y 22.5 cm de subbase granular, mientras que por el método planteado por el Instituto Nacional de Vías se obtuvo espesores de 26 cm de concreto y 15 cm de base granular, además se debe indicar que ambas metodologías recomiendan que la zona de estudio cuente con un mejoramiento de suelo y la implementación de un geotextil en la subrasante. Luego del diseño y análisis realizado la investigación concluyó que el método del PCA es ideal para las

condiciones de la zona, lo cual permitirá tener un pavimento funcional y que cumpla las condiciones técnicas requeridas.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

**Chávez & Ruiz (2021)** en su tesis titulada “Diseño de la estructura del pavimento flexible, para la construcción de pistas en la calle real del C.P Santa Rosa, distrito de Pueblo Nuevo – Chepén – La Libertad” tuvo como objetivo principal determinar el diseño del pavimento flexible para la calle Real del centro poblado de Santa Rosa – Pueblo Nuevo – Chepén 2020, para ello se hizo uso de la metodología empírica AASHTO 93 la cual permitirá diseñar el pavimento en estudio, de ello se obtuvo como resultado los espesores estructurales del pavimento los cuales son de 5 plg para la carpeta asfáltica y de 10 plg para la base granular, dichos espesores determinaron que el número estructural obtenido de  $SN= 3.33$  es mayor que el número estructural requerido de  $SN= 3.00$ . Por lo cual la investigación concluyó que el diseño estructural obtenido del pavimento flexible corresponderá a las solicitudes de tráfico y suelo de la zona, permitiendo así garantizar un buen desempeño y funcionalidad de la vía. La investigación realizada brinda como aporte un mayor conocimiento técnico del comportamiento y diseño de un pavimento flexible.

**Bazán & Vargas (2020)** en su investigación titulada “Diseño estructural de pavimento para mejorar la transitabilidad de las calles las Margaritas, 7 de julio y Ricardo Palma del barrio 1 en el centro poblado alto Trujillo” la cual tuvo como objetivo principal diseñar la estructura del pavimento, para lo cual se aplicó la metodología determinada por AASTHO 93 y se obtuvo como resultados los espesores estructurales de cada tipo de pavimento, donde el pavimento flexible de acuerdo a las características del estudio de tráfico y suelos determino espesores de 7.5 cm para la carpeta asfáltica, 20 cm para la base y 10 cm para la subbase mientras que el pavimento rígido cuenta con 20 cm de losa de concreto, 15 cm de base, además se determinó que a nivel de inversión el pavimento flexible tendrá un costo de S/ 2,584,807.35 soles, mientras que el pavimento rígido de S/ 3,259,059.76 soles. Por lo cual la investigación concluyó que el uso del pavimento flexible para la zona en estudio cumplirá las condiciones técnicas y económicas para su ejecución, pero requerirá un costo de inversión mayor para la etapa de mantenimiento.

### 2.1.3 Antecedentes locales

**Chapoñan & Damián (2021)** en su tesis titulada “Diseño estructural del pavimento rígido en la avenida D del AA. HH los Algarrobos, Piura 2021” tuvo como objetivo principal determinar los espesores estructurales del pavimento rígido, para lo cual aplico la metodología empírica de AASTHO 93 y donde se obtuvo como resultado una losa de concreto de 24 cm y una capa de subbase granular de 20 cm, para un IMDA de 354 veh/día, una carga de ejes equivalentes 1,327,682.32 EE y suelo con CBR de 10.60%. La investigación concluyo que el pavimento rígido diseñado cumple las condiciones técnicas establecidas por la norma C.E 010 pavimentos urbanos del reglamento nacional de edificaciones y además del Manual de Carreteras, sección suelos y pavimentos. Por lo tanto, se debe indicar que la investigación realizada brinda un aporte al conocimiento técnico del diseño de pavimentos rígidos y el uso adecuado de las normas técnicas para su diseño.

**Ocaña (2018)** en su investigación titulada “Propuesta técnica para el diseño geométrico y diseño estructural del pavimento flexible, pavimento semiflexible y pavimento rígido para la avenida las Amapolas, en los distritos de Veintiséis de Octubre y Piura, provincia de Piura, región Piura” tuvo como objetivo principal determinar una propuesta técnica para el diseño geométrico y estructural de los tres tipos de pavimento en estudio para realizar el diseño urbano de la avenida las Amapolas. La presente investigación fue realizada bajo la metodología descrita por la AASHTO 93 y el manual de diseño geométrico de vías urbanas 2005, donde se obtuvo como resultados un pavimento flexible con espesores de 7.5 cm para la carpeta asfáltica, 20 cm para la base granular, 20 cm para la subbase y una capa de hormigón de 20 cm, mientras que para pavimento rígido una losa de concreto de 20 cm, subbase granular de 20 cm y una capa de hormigón de 20 cm, y para el pavimento semiflexible espesores de 8 cm de adoquín de concreto, cama de arena de 4 cm, base granular de 25 cm y una capa de hormigón de 20 cm, mientras que para el diseño geométrico se obtuvo veredas y estacionamientos de 3.00 m de ancho a cada lado de la calzada, mientras que para la vía se determinó 3 carriles por sentido separados por una vereda de 60 cm, un jardín en el centro de la vía de ancho variable y una ciclovía de ancho de 2.30 m. La investigación concluyo que la propuesta geométrica se ajusta a las condiciones de la zona, por lo cual se recomienda usar dichas medidas establecidas, mientras que para el diseño

estructural se deberá tomar en cuenta el costo de ejecución y los mantenimientos a realizar para determinar el más conveniente.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Pavimento**

Conformación estructural de capas apoyadas sobre una superficie de terreno o subrasante que permitirá soportar los esfuerzos ocasionadas por la carga vehicular del tráfico durante un periodo de diseño determinando, asegurándose de garantizar una adecuada serviciabilidad. Se debe indicar que esta definición incluye vías y estacionamientos (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

### **2.2.2 Funciones del pavimento**

De acuerdo a Menéndez en el (2009) las funciones principales que debe cumplir un pavimento son:

- Proveer una circulación confortable, cómoda y segura al usuario la cual reduzca las demoras excesivas.
- Disminuir y distribuir las cargas provenientes de tráfico para así asegurar un adecuado comportamiento de la subrasante.
- Asegurar la circulación del tráfico en cualquier condición climática.
- Eliminar la contaminación del aire y asegurar la calidad de vida.

### **2.2.3 Tipos de pavimentos**

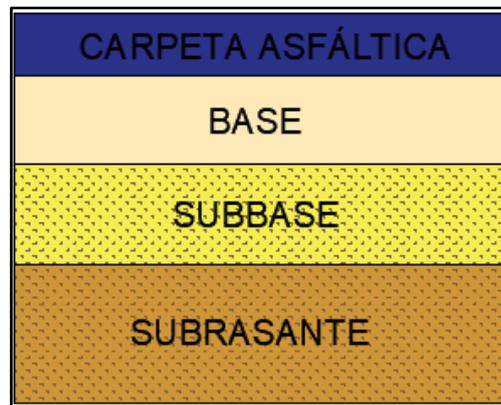
La clasificación del tipo de pavimento se origina debido a su conformación estructural como se detalla a continuación:

#### **Pavimento flexible**

Estructura diseñada principalmente de capas de concreto asfáltico de mezcla en frío o caliente, base y subbase granular de material seleccionado, donde cada capa genera un aporte estructural permitiendo así disminuir los esfuerzos impuestos por el tráfico, por lo cual cada una de ellas se debe colocar de acuerdo al diseño determinado y con las características técnicas mencionadas, para así garantizar un óptimo desempeño estructural (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

**Figura 1**

*Estructura de un pavimento flexible*



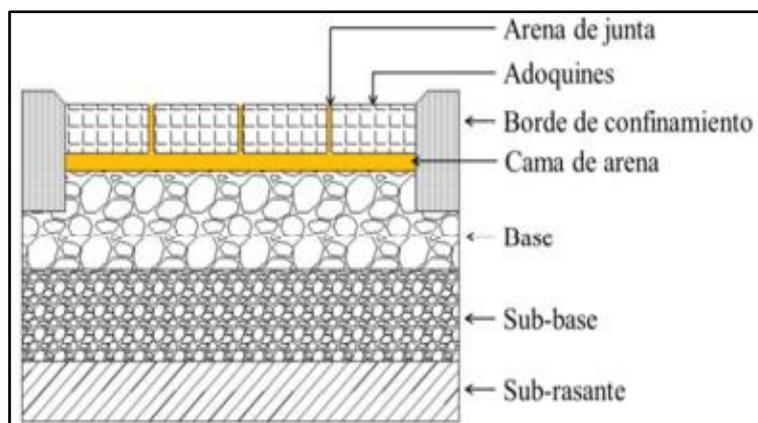
Fuente: Elaboración propia.

**Pavimento semirrígido o articulado**

Pavimento formado por capas estructurales de unidades de concreto (adoquines), cama de arena, base o subbase granular y manto de arena la cual permite sellar las juntas por medio de trabazón de agregados permitiendo así uniformizar las fuerzas en el pavimento. Se señalar que la capa de rodadura del pavimento tradicionalmente estuvo compuesta por materiales pedrosos o de madera (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

**Figura 2**

*Estructura de un pavimento semirrígido o articulado*



Fuente: (Bahamondes, 2013).

## Pavimento rígido

Pavimento de concreto también llamado rígido, debido a sus características técnicas de absorber una gran cantidad de los esfuerzos producidos por las cargas de tráfico, la cual transmite en menor magnitud la intensidad a las demás capas inferiores. La estructura principal de este pavimento está formada por una losa de concreto y una subbase granular seleccionada. Se debe señalar que existen tres tipos de pavimentos de concreto: simple con juntas, reforzado con juntas y continuamente reforzados, cada uno de ellos depende de la interacción de tráfico, aunque los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se ajustan a nuestra realidad (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

### Figura 3

*Estructura de un pavimento rígido*



Fuente: (Cámara nacional del cemento , 2014).

#### 2.2.4 Estructura convencional de un pavimento

**Superficie de rodadura:** Capa superficial de un pavimento, por donde transita directamente la carga vehicular, esta puede ser de superficie rígida, flexible o adoquinada.

**Base:** capa de material granular drenante, inferior a la superficie de rodadura cuya función es sostener y distribuir las cargas originadas por el tráfico durante el periodo de diseño.

**Subbase:** capa inferior a la superficie de rodadura y la base, cuya función es sostener a estas mismas, además de servir como material drenante, en ocasiones esta capa granular puede obviarse de acuerdo al diseño estructural del pavimento.

**Subrasante:** conocida también como suelo de fundación, cuya función es sostener al paquete estructural del pavimento, en ocasiones esta puede ser tratada o estabilizada dependiendo de las condiciones de soporte obtenidas a través de los ensayos de CBR.

### 2.2.5 Índice medio diario anual (IMDA)

El índice medio diario anual (IMDA) es un valor cuyo resultado depende del conteo y clasificación vehicular durante un periodo de tiempo estimado, su cálculo resulta fundamental para plantear un diseño estructural acorde a las características y necesidad de la vía (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014). Una vez realizado el conteo vehicular se calculará el valor del IMDA a través de la siguiente expresión matemática:

#### Ecuación 1

*Cálculo del índice medio diario anual*

$$\text{IMDA} = \text{IMDs} \times \text{FCE}$$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

Donde:

IMDs = Índice medio diario semanal, obtenido a partir del promedio del conteo vehicular realizado durante una semana.

FCE = Factor de corrección estacional, obtenido por unidad de peaje y mes que se realizan el estudio de tráfico.

#### Factor direccional y factor carril

El factor de distribución direccional es una medida de relación correspondiente al número de vehículos que transitan en una dirección o sentido del tránsito vehicular, por lo general corresponde a la mitad del total del tránsito, aunque en algunas ocasiones puede ser que en un sentido exista mayor demanda vehicular que en el otro, lo cual se determina a partir de un conteo vehicular (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

El factor de distribución de carril es aquel sobre el cual se espera una mayor aplicación de carga por eje equivalente de 8.2 tn, normalmente la mayor cantidad

de carga se canaliza en un carril (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

**Tabla 1**

*Relación entre el factor direccional y el factor carril*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado FdxFc para 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 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
2 calzada con separador central (para IMDA total de dos calzadas)	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentido	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentido	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

### **Factor de crecimiento acumulado (FCA)**

El factor de crecimiento acumulado es una variable que permite describir el aumento porcentual del tráfico en un periodo de diseño estimado, se obtiene a partir de la tasa de crecimiento del tránsito ligero o pesado según corresponda y con la estimación del periodo de diseño de la vía (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

### **Ecuación 2**

*Cálculo de la tasa de crecimiento acumulado*

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

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

Donde:

r: Es la tasa anual de crecimiento

n: Es el periodo de diseño proyectado

A continuación, se presenta los valores de la tasa de crecimiento vehicular de acuerdo a cada región del país.

**Tabla 2**

Tasa de crecimiento para vehículos ligeros y pesados

Tasa de crecimiento de vehículos ligeros		Tasa de crecimiento de vehículos pesados	
TC		PBI	
Amazonas	0.62%	Amazonas	3.42%
Ancash	0.59%	Ancash	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%	Cusco	4.43%
Cusco	0.75%	Huancavelica	2.33%
Huancavelica	0.83%	Huánuco	3.85%
Huánuco	0.91%	Ica	3.54%
Ica	1.15%	Junín	3.90%
Junín	0.77%	La Libertad	2.83%
La Libertad	1.26%	Lambayeque	3.45%
Lambayeque	0.97%	Callao	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%
San Marín	1.49%	San Marín	3.84%
Tacna	1.50%	Tacna	2.88%
Tumbes	1.58%	Tumbes	2.60%
Ucayali	1.51%	Ucayali	2.77%

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2017).

### Factor de repeticiones de ejes equivalentes (EE)

La asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes (AASHTO) definió a los ejes equivalentes (EE) como valores que indican el daño que representan las distintas cargas vehiculares al pavimento en un periodo de diseño determinado, originado por una carga patrón de un eje simple de ruedas dobles de 8.2 tn a una presión vehicular de neumáticos de 80 lb/plg<sup>2</sup> (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

**Tabla 3**

*Cálculo del factor eje equivalente para pavimentos flexibles y semirrígidos*

Tipo de eje	Eje equivalente (EE8.2tn)
Eje simple de ruedas simples (EES1)	$EES1=(P/6.6)^{4.0}$
Eje simple de ruedas dobles (EES2)	$EES2=(P/8.2)^{4.0}$
Eje tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	$EETA1=(P/14.8)^{4.0}$
Eje tándem (2 ejes ruedas dobles) (EETA2)	$EETA2=(P/15.1)^{4.0}$
Eje trídem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	$EETR1=(P/20.7)^{3.9}$
Eje trídem (3 ejes ruedas dobles) (EETR2)	$EETR2=(P/21.8)^{3.9}$
P=peso real por eje en toneladas	

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

**Tabla 4**

*Cálculo del factor eje equivalente para pavimentos rígidos*

Tipo de eje	Eje equivalente (EE8.2tn)
Eje simple de ruedas simples (EES1)	$EES1=(P/6.6)^{4.1}$
Eje simple de ruedas dobles (EES2)	$EES2=(P/8.2)^{4.1}$
Eje tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	$EETA1=(P/13)^{4.1}$
Eje tándem (2 ejes ruedas dobles) (EETA2)	$EETA2=(P/13.3)^{4.1}$
Eje trídem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	$EETR1=(P/16.6)^{4.0}$
Eje trídem (3 ejes ruedas dobles) (EETR2)	$EETR2=(P/17.5)^{4.0}$
P=peso real por eje en toneladas	

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

## Factor vehículo pesado (FVP)

El factor vehículo pesado o también llamado como factor camión es aquel valor numérico que se obtiene a partir del promedio de ejes equivalentes por tipo de vehículo, dicho promedio resultara a partir de la suma de ejes equivalentes de un tipo de vehículo seleccionado y que se determina a partir de los datos obtenidos del conteo y clasificación vehicular en un periodo de tiempo estimado, además de la carga vehicular por tipo de vehículo (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

**Tabla 5**

Factor vehículo pesado por tipo de vehículo

Tipos de vehículos		Pavimento rígido	Pavimento flexible
Vehículos ligeros	Moto "L3"	0.0000	0.0000
	Mototaxi "L5"	0.0000	0.0000
	Auto "M1"	0.0009	0.0011
	Panel "N1"	0.0009	0.0011
	Pick Up "N2"	0.015	0.0169
	Rural combi "M2"	0.015	0.0169
	Microbuses	2.5456	2.5307
Vehículos pesados	BUS "B2"	4.6077	4.5037
	BUS "B3-1"	3.6156	2.6313
	BUS "B4-1"	3.6156	2.6313
	Camión "C2"	4.6077	4.5037
	Camión "C3"	4.7308	3.2846
	Camión "C4"	4.9582	2.7736
	Semitrailer "T2S1"	7.9425	7.7419
	Semitrailer "T2S2"	8.0657	6.5229
	Semitrailer "T2S3"	8.7726	6.2097
	Semitrailer "T3S1"	8.0657	6.5229
	Semitrailer "T3S2"	8.1888	5.3038
	Semitrailer "T3S3"	8.8958	4.9906
	Tráiler "C2R2"	11.2773	10.9802
	Tráiler "C2R3"	11.4005	9.7612
	Tráiler "C3R2"	11.4005	9.7612
Tráiler "C3R3"	11.5237	8.5421	

Nota. Se muestra el factor vehículo pesado en base a los datos de cargas de los vehículos en correlación con los datos de las tablas 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

## Factor de presión de neumáticos (Fpi)

El factor de presión de neumáticos es un efecto de deterioro causado al pavimento por el aumento de presión del inflado de las llantas del vehículo. El manual de carreteras, sección suelos y pavimentos recomienda que para el diseño de pavimentos rígidos y flexible dicho valor sea tomado como 1.0.

A continuación, se presenta la tabla que permitirá obtener el factor de presión de neumático a partir de los valores de la carpeta de rodadura y la presión de los vehículos.

**Tabla 6**

*Cálculo del factor de presión de neumáticos (Fpi)*

Espesor de la carpeta de rodadura (mm)	Presión de contacto del neumático (PCN) en <del>psc</del> psc PCN=0.90 x (Presión de inflado del neumático) (psi)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

En nuestro caso siguiendo las recomendaciones del manual de carreteras asumiremos el factor de presión de neumático como 1 para diseño de pavimentos.

## Cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes (ESAL)

El número de repeticiones de ejes equivalentes o ESAL de diseño, es la cantidad de aplicaciones de cargas por eje simple estándar establecido durante un periodo de diseño determinado (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014). Este se calcula a partir de los factores de diseño establecidos a continuación.

### Ecuación 3

*Cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes*

$$\text{Nrep de EE}_{8.2 \text{ tn}} = \sum \text{EE}_{\text{día-carril}} \times \text{FCA} \times 365$$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

#### Donde:

$\text{EE}_{\text{día-carril}}$  = Es el numero de ejes equivalentes por tipo de vehículo

**Fca** = Factor de crecimiento acumulado para cada tipo de vehículo

**365**= Cantidad de días de un año

### Determinación de los ejes equivalentes para cada tipo de vehículo (EE<sub>día carril</sub>)

Es el resultado de obtener el índice medio diario anual (IMDA), por el factor de distribución direccional (Fd), por el factor de distribución de carril (Fc), por el factor vehículo pesado (Fpv) y por el factor de presión de neumáticos, cuya relación permite obtener la siguiente ecuación:

### Ecuación 4

*Variables para el cálculo del número de ejes equivalentes*

$$\text{EE}_{\text{día-carril}} = \text{IMDA} \times \text{Fd} \times \text{Fc} \times \text{Fvp} \times \text{Fpi}$$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

#### Donde:

**IMDA** = Índice medio diario anual según el estudio de tráfico

**Fd** = Factor de distribución direccional

**Fc** = Factor de distribución carril

**Fvp** = Factor vehículo pesado o factor camión para cada tipo de vehículo pesado

**Fpi** = Factor de presión de neumáticos o factor presión

### **Clasificación del número de repeticiones de ejes equivalentes por cada tipo de tráfico**

Una vez calculado el número de repeticiones de ejes equivalentes, se determinará su clasificación correlacionando el valor obtenido de la ecuación 4 con el tipo de tráfico requerido. Cabe resaltar que la siguiente tabla aplica para los tres tipos de pavimentos (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

**Tabla 7**

*Correlación entre el número de repeticiones de ejes equivalentes y el tipo de tráfico*

Tipo de tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
Tp0	> 75, 000 EE ≤ 150,000 EE
Tp1	> 150, 000 EE ≤ 300,000 EE
Tp2	> 300, 000 EE ≤ 500,000 EE
Tp3	> 500, 000 EE ≤ 750,000 EE
Tp4	> 750, 000 EE ≤ 1' 000,000 EE
Tp5	> 1' 000, 000 EE ≤ 1' 500,000 EE
Tp6	> 1' 500, 000 EE ≤ 3' 000,000 EE
Tp7	> 3' 000, 000 EE ≤ 5' 000,000 EE
Tp8	> 5' 000, 000 EE ≤ 7' 500,000 EE
Tp9	> 7' 500, 000 EE ≤ 10' 000,000 EE
Tp10	> 10' 000, 000 EE ≤ 12' 500,000 EE
Tp11	> 12' 500, 000 EE ≤ 15' 000,000 EE
Tp12	> 15' 000, 000 EE ≤ 20' 000,000 EE
Tp13	> 20' 000, 000 EE ≤ 25' 000,000 EE
Tp14	> 25' 000, 000 EE ≤ 30' 000,000 EE
Tp15	> 30' 000, 000 EE

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

## 2.2.6 Estudio de mecánica de suelos

El estudio de mecánica de suelos son un conjunto de ensayos que se realizan a partir de la toma de muestras representativas del suelo, con la finalidad de analizarlas en un laboratorio y descubrir sus propiedades físicas y mecánicas, y que permitirán determinar datos de diseño para un proyecto (Menéndez, 2009).

Los suelos son el apoyo del paquete estructural del pavimento y representan una de las variables más complejas de entender, esto originado por sus distintas propiedades que poseen y la influencia que generan en el trazo y dimensionamiento del pavimento, es por ello resulta fundamental determinar sus características ya que servirán como un suelo de fundación del proyecto (Menéndez, 2009).

En nuestro medio la técnica más usada de investigación de campo aplicable al estudio de mecánica de suelos para el diseño de pavimentos son las calicatas, cuya finalidad es extraer muestras representativas del suelo para su caracterización. A continuación, la siguiente tabla muestra los ensayos a realizarse con fines de pavimentación:

**Tabla 8**

*Ensayos de laboratorio para el diseño de pavimentos*

Denominación	Norma C.E. 010 pavimentos urbanos	Manual de carreteras sección suelos y pavimentos
Contenido de humedad	NTP 339.127	ASTM D-2216, MTC E 108
Análisis granulométrico por tamizado	NTP 339.128	ASTM D-422, MTC E 107
Límite líquido	NTP 339.129	ASTM D-4318, MTC E 110
Límite plástico	NTP 339.129	ASTM D-4318, MTC E 111
Clasificación de suelos por el sistema SUCS	NTP 339.134	ASTM D-2487
Clasificación de suelos para uso en vías de transporte - AASTHO	NTP 339.135	M - 145
Ensayo de CBR (relación de soporte de california)	NTP 339.146	ASTM D -1883 y MTC E 132

Fuente: Elaboración propia.

## Ensayos de laboratorio

### Contenido de humedad (NTP 339.127 – MTC E 108)

El contenido de humedad o la humedad natural del suelo es la relación del peso de agua entre el peso del sólido, tomada a partir de una muestra representativa del suelo, lo que indicará la cantidad del agua en un suelo expresado en porcentaje (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016). Se debe señalar que la resistencia de los suelos de subrasante en particular los suelos finos se encuentran directamente relacionado al contenido de humedad.

#### Ecuación 5

*Cálculo del contenido de humedad (W)*

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016).

Donde

W= Es el contenido de humedad expresado en porcentaje (%)

Ww= Es el peso del agua de una muestra de suelo en gramos

Ws= Es el peso de las partículas del suelo secado en el horno en gramos.

### Análisis granulométrico por tamizado (NTP 339.128 – MTC 107)

El análisis granulométrico representa la distribución de un suelo con la finalidad de determinar el tamaño de las partículas que constituyen o conforman el suelo y a su vez realizar su clasificación granulométrica, lo que permitirá caracterizar y determinar sus propiedades (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

De acuerdo a lo anterior mencionado se define lo siguiente:

- Grava: material de tamaño de partículas entre los 75 y 45 mm.

- Arena: material de tamaño de partículas entre los 4.75 y 0.075 mm
- Limos: material de tamaño de partículas finas entre los 0.075 y 0.005 mm.
- Arcilla: material de tamaño de partículas finas menor a 0.005 mm.

A continuación, se presenta los tamices recomendados para realizar los ensayos de laboratorio:

**Tabla 9**

*Tamaño de tamices para distribución granulométrica*

TAMICES	APERTURA (mm)
3"	75.000
2"	50.800
1 1/2"	38.100
1"	25.400
3/4"	19.000
3/8"	9.500
N°4	4.760
N°10	2.000
N°20	0.840
N°40	0.425
N°60	0.260
N°140	0.106
N°200	0.075

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016).

### **Límites de Atterberg (NTP 339.129 - MTC E 110 y MTC E 111)**

Los límites de Atterberg son un conjunto de ensayos que se realizan a los suelos finos con la finalidad de establecer el comportamiento del suelo con relación a su humedad natural, para ello se han definido tres estados de consistencia que pueden presentarse en un suelo a través del estado líquido, plástico o sólido, los cuales caracterizaran al límite líquido, limite plástico y límite de contracción (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

- **Límite líquido (LL):** es la máxima cantidad de humedad natural que puede contener un suelo sin perder su plasticidad, esto se presenta cuando un suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico.

- **Límite plástico (LP):** es aquel que con menor contenido de humedad se vuelve quebradizo y se rompe en trozos al intentarse moldear, esto se presenta cuando un suelo pasa del estado plástico al estado semisólido.
- **Límite de contracción:** es aquel que al perder su humedad natural deja de contraerse, originado por un cambio de estado semisólido a un estado sólido.

Obtenidos los valores del límite líquido y límite plástico a través de los ensayos correspondiente, se puede hallar un valor de caracterización del suelo a través de la diferencia numérica entre el límite líquido y límite plástico, cuyo valor resultara en el índice de plasticidad.

### Ecuación 6

*Cálculo del índice de plasticidad*

$$IP = LL - LP$$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

El índice de plasticidad (IP) es una medida establecida en un rango de humedades en la cual un suelo tiene una consistencia plástica y permite realizarle una clasificación bastante buena. Con respecto a lo anterior mencionado un suelo con un índice de plasticidad alto caracteriza a un suelo arcilloso lo cual puede ser muy riesgoso para un suelo subrasante de pavimento, mientras que un suelo con un índice de plasticidad bajo caracteriza a un suelo con poca cantidad de arcilla, lo cual puede ser beneficioso para la estructura de un pavimento. De acuerdo a lo anterior mencionado se presenta la siguiente tabla:

**Tabla 10**

*Relación entre el IP y la clasificación de un suelo*

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos
IP = 0	No plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

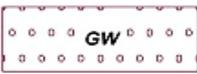
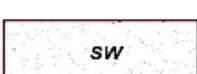
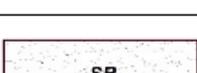
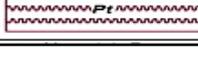
## Clasificación de suelos (NTP. 339.134 – 339.135 y M – 145)

La clasificación del suelo se refiere a un conjunto de propiedades y características que se agrupan con la finalidad de determinar el comportamiento aproximado del suelo, su clasificación se puede realizar si se conoce la granulometría y plasticidad del suelo (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

Con respecto a lo anterior mencionado existen dos sistemas de clasificación de suelos más difundidos en el Perú, uno es a través de la metodología de la asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transporte (AASTHO) y otro a través del método del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). A continuación, se presenta la correlación entre estas metodologías:

**Figura 4**

*Clasificación de suelos según el método SUCS*

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

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

**Figura 5**

*Clasificación de suelos según el método AASTHO*

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

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

**Tabla 11**

*Correlación entre el método AASHTO y SUCS*

Clasificación de suelos AASTHO AASTHO M-145	Clasificación de suelos SUCS ASTM -D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

## Ensayo de CBR (NTP. 339.146 y MTC E 132)

La relación de soporte de California (CBR) es un ensayo laboratorio que permite comprobar las características mecánicas de un suelo de subrasante, subbase y base, a través de indicadores de resistencia que son comparados con una muestra patrón de piedra caliza triturada. Se debe señalar que el valor del CBR resulta fundamental para el diseño de pavimentos (Menéndez, 2009).

Se debe tener en cuenta que para obtener el valor del CBR de diseño de la subrasante, se debe tomar en consideración lo siguiente:

- En los tramos con 6 o más valores de CBR, se calcula el CBR de diseño realizando el promedio de todos los valores obtenidos del tramo homogéneo.
- En los tramos con menos de 6 valores de CBR, se determinará el CBR de diseño en función de los siguientes parámetros
  - o Cuando los valores tengan similitud, se realizará el promedio de los valores obtenidos.
  - o Cuando los valores no tengan similitud, se utilizará el valor más bajo (es decir el más crítico de todos)

A continuación, se presentan la correlación de los valores de CBR y la categoría de la subrasante de diseño.

**Tabla 12**

*Condición de la subrasante*

Categorías de subrasante	CBR
So: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S4: Subrasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

## 2.2.7 Diseño estructural de pavimentos flexibles

### Método AASHTO 93

El método empírico determinado por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) determinado en base a ensayos a escala real en las pistas de pruebas AASHTO, cuyo propósito fue determinar una ecuación de diseño de pavimentos de la cual se obtiene un número estructural requerido dicho valor permite determinar el espesor de las capas estructurales del pavimento a diseñar. Se debe indicar que dichos espesores serán definidos una vez lograda la igual de la ecuación propuesta por el método de AASHTO 93, dicho desarrollo se puede realizar utilizando hojas de cálculo, nomogramas o aplicando software de cómputo especializado en diseño (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

No obstante, es necesario indicar que la metodología de diseño propone un conjunto de fórmulas distintas para cada tipo diseño estructural de pavimentos de donde existen variables fundamentales de diseño las cuales son:

- Calidad y capacidad portante de la subrasante.
- Características e intensidad del tráfico.
- Periodo de diseño del pavimento.
- Geometría de la vía en estudio.
- Calidad del clima y drenaje.

### Ecuación 7

*Cálculo del número estructural requerido para diseño de pavimentos flexibles*

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

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

Donde:

$W_{18}$ : Número estimado acumulado de ejes equivalentes para un periodo de diseño

$M_r$ : Módulo de resiliencia de la subrasante de diseño

$Z_r$ : Coeficiente de desviación estándar normal para un nivel de confiabilidad

$S_o$ : Error o desviación estándar combinado

$\Delta PSI$ : Variación o diferencia del índice de serviciabilidad

$SN$ : Número estructural requerido de diseño

De acuerdo al ministerio de transporte y comunicaciones (2014) una vez obtenido el valor del número estructural requerido para el diseño de pavimentos flexibles a partir de la ecuación 7, se determinará los espesores estructurales del pavimento flexible a partir del cálculo del número estructural propuesto cuyo resultado estará en función de la resistencia relativa de los materiales, así como su capacidad de drenaje. Se debe indicar que la ecuación mostrada a continuación no tiene solución única, lo cual dependerá del criterio y evaluación del ingeniero responsable del diseño de pavimento.

### **Ecuación 8**

*Cálculo del número estructural propuesto*

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

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

Donde:

$a_1, a_2, a_3$  : Coeficientes de resistencia estructural de las capas: superficial, base y subbase granular

$d_1, d_2, d_3$ : espesores estructurales del pavimento de las capas: superficial, base y subbase granular

$m_2, m_3$ : coeficientes de la capacidad de drenaje de las capas de base y subbase granular

Con respecto a los valores de los coeficientes estructurales de las capas del pavimento, se debe indicar que dichos valores dependen de la clasificación del tráfico de diseño obtenido a partir de la ecuación 3, mientras que para determinar los valores de los coeficientes de drenaje de las capas base y subbase, se deben

realizar los ensayos correspondientes para conocer dichas características de los materiales granulares de estas capas.

### 2.2.8 Diseño estructural de pavimento semirrígidos o articulado

Para el diseño de pavimentos adoquinado o semirrígidos, las normas de diseño de pavimentos establecen que se deberán seguir los criterios de pavimentos flexibles para su diseño, teniendo en consideración que este tipo de pavimentos se recomienda en tramos donde el volumen de tráfico sea hasta 15,000,000 de ejes equivalentes (EE). Sin embargo, si se desea diseñar un pavimento adoquinado con un número de ejes equivalentes mayor, el profesional responsable deberá justificar dicho cálculo a través de un análisis técnico.

**Tabla 13**

*Niveles de tráfico de acuerdo a los ejes equivalentes*

Tipos de tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
Nivel I	$> 1'000,000 \text{ EE} \leq 150,000 \text{ EE}$
Nivel II	$> 150,000 \text{ EE} \leq 7'500,000 \text{ EE}$
Nivel III	$> 7'500,000 \text{ EE} \leq 15'000,000 \text{ EE}$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

Con respecto a lo anterior mencionado y correlación con los criterios determinados por las normas de diseño, a continuación, se indica los espesores mínimos recomendados para el paquete estructural de pavimento para adoquines de concreto y la cama de arena.

**Tabla 14**

*Espesores mínimos de adoquín de concreto y cama de arena según el tráfico*

Ejes equivalentes acumulados		Capa superficial	Cama de arena
$\leq 150,000$		Adoquín de concreto: 60 mm	40 mm
150,001	7,500,000	Adoquín de concreto: 80 mm	40 mm
7,500,001	15,000,000	Adoquín de concreto: 100 mm	40 mm

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

## 2.2.9 Diseño estructural de pavimentos rígidos

### Método AASTHO 93

El método empírico AASTHO 93 determina que el cálculo de los espesores estructurales del pavimento rígido se consigue mediante un proceso iterativo de equilibrio de la fórmula AASTHO, teniendo como resultado que el espesor del concreto calculado debe resistir el número de cargas de servicio que se imponen durante su vida útil (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

A continuación, se presenta la ecuación de diseño de pavimentos rígidos a través del método AASTHO 93:

### Ecuación 9

*Cálculo de los espesores estructurales del pavimento rígido*

$$\log_{10}(W_{82}) = Z_r S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10}\left(\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 J (0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}})}\right)$$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

Donde:

$W_{8.2}$ : número estimado acumulado de ejes equivalentes durante el periodo de diseño

$Z_r$ : Coeficiente de desviación estándar normal para un nivel de confiabilidad

$S_0$ : Error o desviación estándar combinado

$D$ : Espesor de la losa de concreto (mm)

$\Delta PSI$ : Variación o diferencia del índice de serviciabilidad

$P_t$ : Índice de serviciabilidad terminal o final

$M_r$ : Módulo de resistencia del concreto a flexo tracción

$C_d$ : Coeficiente de drenaje de materiales granulares

$J$ : Coeficiente de transferencia de cargas

$E_c$ : Módulo elástico del concreto (MPa)

$k$ : Coeficiente de reacción de las capas base, subbase y subrasante

De acuerdo al ministerio de transportes y comunicaciones (2014) se debe indicar que para obtener el valor de espesor de concreto "D" mediante la ecuación AASTHO 93, se puede utilizar nomogramas de diseño, hojas de cálculo especializadas o software de diseño de pavimentos. Respecto a lo anterior mencionado en nuestro caso utilizaremos hojas de cálculo diseño de pavimento para obtener valores más precisos.

### 2.3 Marco conceptual

**Calzada:** Parte de una vía o carretera destinada al tránsito vehicular, con ancho suficiente para permitir acomodar una cierta cantidad de vehículos en carriles con direcciones distintas, garantizando así un adecuado flujo vehicular (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

**Calicata:** Excavaciones de suelos cuya profundidad es variable y permiten conocer sus propiedades y características a través de la toma de muestras, las cuales son ensayadas en laboratorio siguiente parámetros estandarizados y que permiten determinar condiciones geotécnicas (Menéndez, 2009).

**(California Bearing Ratio):** Estimación de la capacidad de soporte del suelo o material de fundación, el cual se logra obtener por la introducción de una determinada carga dentro de una masa de suelo (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

**Diseño de pavimentos:** procedimiento por el cual se determina los espesores estructurales de un tramo de carretera o vía urbana, tomando en cuenta sus características naturales como son la subrasante, condiciones ambientales y volumen de tráfico (Menéndez, 2009).

**Número estructural (SN):** Valor adimensional que determina la capacidad estructural de un pavimento, en base a las solicitaciones del suelo ( $M_r$ ), ejes equivalentes ( $E_{sal}$ ), índice de serviciabilidad (PSI) y coeficientes de drenaje del material ( $m_i$ ), permitiendo así determinar los espesores estructurales del pavimento a diseñar (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

**Periodo de diseño:** Es el tiempo de vida útil del pavimento, expresado en años desde su construcción (año cero) hasta el momento en que se requiere una rehabilitación o reconstrucción del pavimento (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

**Tráfico:** Volumen de tránsito vehicular que determina la cantidad de aplicaciones de carga de ejes equivalentes simples (EE), estimado durante el tiempo de diseño proyectado, donde la cantidad de aplicaciones EE determinara el tipo de tráfico que circula por la zona en estudio (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

## **2.4 Hipótesis**

Actualmente consideramos que el tipo de pavimento más adecuado es el pavimento rígido. No obstante, al término de la tesis se determinará con mayor precisión que tipo de pavimento será el más adecuado.

## **2.5 Variables**

### **2.5.1 Variable independiente**

- Tipo de pavimento

### **2.5.2 Operacionalización de variables**

**Tabla 15**

*Operacionalización de variable*

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
TIPO DE PAVIMENTO	Característica que permite realizar un diseño estructural del pavimento rígido, flexible y articulado, tomando en cuenta las particularidades y condiciones que establece cada uno de ellos, lo que lograra obtener espesores estructurales y costos de construcción.	Estudio de tráfico	Conteo vehicular (veh/día)	Observación directa	Ficha de registro
		Estudio de mecánica de suelos	CBR (%)	Observación experimental	Equipos de laboratorio
		Método AASTHO 93	Carga actuante vehicular (EE)	Análisis documentario	Normas de diseño C.E.0.10 pavimentos urbanos y manual de carreteras, sección suelos y pavimentos
			Características técnicas del suelo		
Presupuesto	Análisis de costos unitarios	Análisis documentario	S10 costos y presupuestos		

Fuente: Elaboración propia.

### **III. METODOLOGÍA EMPLEADA**

#### **3.1 Tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada puesto que se utiliza metodologías de diseño comprobadas, lo cual permitirá realizar nuestra investigación.

##### **3.1.2 Nivel de investigación**

Nuestro nivel de investigación es descriptivo, debido a que se obtiene información real y sin alterar a partir del estudio de tráfico y de los ensayos de campo y laboratorio realizados.

#### **3.2 Población y muestra de estudio**

##### **3.2.1 Población**

La población de estudio está representada por todas las vías urbanas del asentamiento humano los Algarrobos del distrito de Veintiséis de Octubre, Piura en el año 2022.

##### **3.2.2 Muestra**

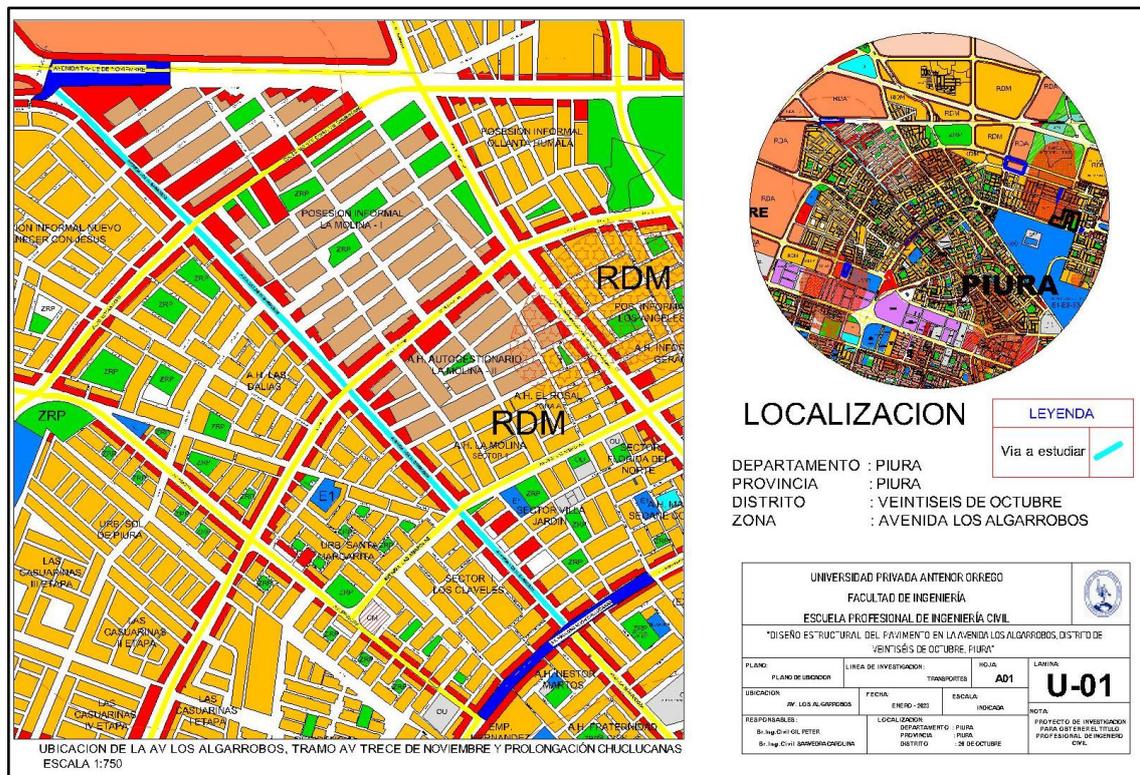
La muestra está representada por la avenida los Algarrobos comprendida entre los tramos de las avenidas 13 de noviembre y prolongación Chulucanas, la cual cuenta con una longitud de 2165 ml y además se encuentra clasificada como una vía del tipo arterial de acuerdo a la municipalidad distrital de Veintiséis de Octubre.

#### **Características de la avenida los Algarrobos**

- Región : Piura
- Provincia : Piura
- Distrito : Veintiséis de Octubre
- Longitud : 2165 ml
- Ancho promedio de la calzada : 20.085 ml
- Zona : Urbana
- Clasificación de la vía : Arterial

**Figura 6**

*Avenida los Algarrobos*



Fuente: Elaboración propia.

Dicha clasificación municipal y además la norma C.E 010 de pavimentos urbanos del reglamento nacional de edificaciones permitirán determinar los ensayos mínimos de suelos a realizar para el diseño de pavimentos, de donde se obtiene que se deberán ejecutar como mínimo 3 puntos de investigación o lo que establece la siguiente tabla:

**Tabla 16**

*Puntos de investigación para el estudio de mecánica de suelos*

Tipo de vía	Número de puntos	Área
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Fuente: (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2010).

### **3.3 Diseño de investigación**

La investigación de estudio acoge una técnica de contrastación de nivel descriptivo, puesto que describe al fenómeno en base a su realidad, de donde se espera determinar el estudio de tráfico y de mecánica de suelos los cuales se obtendrán a partir de las técnicas de observación directa y experimental, permitiendo así aplicar la metodología AASHTO 93 y determinar el tipo de pavimento a usar.

Se debe señalar que la investigación se realizara en campo y laboratorio, puesto que se necesita obtener indicadores como el conteo vehicular y la capacidad de soporte del suelo (CBR).

### **3.4 Técnica e instrumentos de investigación**

Para nuestra investigación se utilizará las técnicas de observación directa y experimental, así como el análisis documentario, los cuales me permitirán determinar el diseño estructural del pavimento. A su vez se utilizarán instrumentos de recolección de datos como fichas de registro, equipos de laboratorio y manuales de diseño de pavimentos como la norma C.E. 010 de pavimentos urbanos y el manual de carreteras sección suelos y pavimentos.

Aplicando la técnica de observación directa, las fichas de registro del conteo vehicular y manuales de diseño de pavimentos como el manual de carreteras sección suelos y pavimentos se obtendrá el tipo de vehículo lo que a su vez permitirá obtener la carga vehicular actuante de cada uno de ellos sobre la vía en estudio.

Mediante la observación experimental y usando equipos de laboratorio se pretende realizar el estudio de mecánica de suelos, para así obtener las características naturales de la zona como son el CBR (capacidad de soporte del suelo), se debe señalar que se realizara la contratación para la ejecución de este servicio, pero se efectuara la inspección durante el proceso de campo y laboratorio para corroborar la veracidad de los datos a obtener.

Finalmente, con los datos obtenidos de la observación directa y experimental, se aplicará la técnica de análisis documentario y las normas de diseño para determinar lo espesores estructurales de cada tipo de pavimento.

### **3.5 Procesamiento y análisis de datos**

La técnica que se empleará para el procesamiento y análisis de datos será la estadística descriptiva la cual permitirá recolectar, sintetizar, procesar y obtener datos estadísticos usando gráficos, tablas, diagramas y ecuaciones.

Para ello se utilizará el programa Excel el cual me permitirá determinar la carga actuante del tráfico sobre la vía y además me permitirá iterar y obtener los distintos espesores estructurales de cada tipo de pavimento.

También se empleará el software S10 costos y presupuestos para determinar el costo unitario de cada pavimento y obtener el más económico, cabe resaltar que el diseño estructural influirá directamente en el valor de cada tipo de pavimento.

Finalmente, empleando nuevamente el programa Excel realizaremos un análisis técnico económico y escogeremos el pavimento más adecuado para la zona en estudio, cumpliendo los requisitos mínimos establecidos por las normas de diseño.

## IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis e interpretación de resultados

#### 4.1.1 Estudio de mecánica de suelos

El estudio de mecánica de suelos con fines de pavimentación tuvo como finalidad determinar las características físico mecánicas del suelo, para lo cual se realizaron 03 calicatas a lo largo de la vía en estudio. A si mismo se debe señalar, que la profundidad de excavación alcanzo 1.50 m desde la capa superficial del terreno existente.

**Tabla 17**

*Distribución de calicatas*

Descripción	Calicata N°1	Calicata N°2	Calicata N°3
Simbología	C-01	C-02	C-03
Progresiva (km)	0+200	1+000	1+800
Coordenada	N-9425810	N-9426219	N-9425779
	E-537833	E-536931	E-538994
Calzada	Izquierda	Derecha	Izquierda
Dimensiones	1x1x1.50	1x1x1.50	1x1x1.50
Nivel freático	No	No	No

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla 17 se puede señalar que la zona en estudio no presenta un nivel freático hasta 1.50 m de profundidad lo cual se comprobó al realizar las exploraciones de suelo. A si mismo se debe señalar que para la ejecución de los estudios de campos en la avenida los Algarrobos se contó con los permisos de la Municipalidad Distrital de Veintiséis de Octubre.

Es necesario indicar que las exploraciones de campo mediante calicatas se realizaron el día 6 de marzo del 2023, donde se contó con personal de apoyo para las excavaciones de suelo a lo largo de la vía.

### a) Perfil estratigráfico de la avenida los Algarrobos

A continuación, se muestra la composición del suelo de la avenida los Algarrobos proveniente del registro exploratorio en campo y los resultados obtenidos del análisis de muestras en laboratorio.

**Tabla 18**

*Estratigrafía de la calicata 1*

Calicata	Profundidad (m)	Muestra	Descripción del estrato	Clasificación
C-1	0.00 - 0.15	M-1	Relleno de material contaminado	-----
	0.15 - 1.00	M-2	Arena de grano fino mal graduada no plástica	SP A-3(0)
	1.00 - 1.10	M-3	Lente de arcilla con algo de arena	CL A-6(12)
	1.10 - 1.50	M-4	Arena arcillosa de grano fino de color verduzco	SC A-2-4(0)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19**

*Estratigrafía de la calicata 2*

Calicata	Profundidad (m)	Muestra	Descripción del estrato	Clasificación
C-2	0.00 - 0.25	M-1	Material de relleno contaminado con ladrillos, palos, jebes, etc.	-----
	0.25 - 1.10	M-2	Arena limosa de grano fino mal graduada	SM A-2-4 (0)
	1.10 - 1.50	M-3	Arena limosa de grano fino de baja plasticidad	SP A-2-4 (0)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 20***Estratigrafía de la calicata 3*

<b>Calicata</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Muestra</b>	<b>Descripción del estrato</b>	<b>Clasificación</b>
C-3	0.00 - 0.25	M-1	Material de relleno contaminado	-----
	0.25 - 1.50	M-2	Arena arcillosa de grano fino color verduzco	SC A-2-4(0)

Fuente: Elaboración propia.

De análisis de la tabla 18 se puede determinar que la gran parte que conforma la calicata 1 es originada por arenas de grano fino mal graduadas (SP), mientras que en la calicata 2 de la tabla 19 se muestra una composición mayoritaria de arenas limosas de grano fino (SM), finalmente en la tabla 20 se evidencia que la calicata 3 en su mayoría está compuesta por arenas arcillosas de grano fino (SC).

**b) Ensayos de laboratorio**

De acuerdo a lo establecido en las normas técnicas y a lo definido en nuestro marco teórico, se puede indicar que durante el proceso de diseño de pavimentos resulta fundamental definir las características del suelo a través de los siguientes ensayos: contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, clasificación y capacidad de soporte (CBR).

De lo anterior mencionado a continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos, los cuales me permitirán predecir el comportamiento mecánico del suelo de la avenida los Algarrobos. A si mismo se debe indicar que en nuestros anexos se encuentra el sustento de cada ensayo realizado.

**Tabla 21**

*Resultados de los ensayos de laboratorio para la zona en estudio.*

<b>CALICATA</b>	<b>C - 1</b>			<b>C - 2</b>		<b>C - 3</b>
<b>Muestra</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 2</b>
Profundidad (m.)	0,15 - 1,00	1,00 - 1,10	1,10 - 1,50	0,25 - 1,10	1,10 - 1,50	0,25 - 1,50
% Pasa Malla N.º 4	100	100	100	100	100	100
% Pasa Malla N.º 200	2.9	81.4	37.3	24.1	15.7	36.5
% GRAVA	0	0	0	0	0	0
% ARENA	97.1	18.6	62.7	75.9	84.3	63.50
% LIMOS - ARCILLAS	2.9	81.4	37.3	24.1	15.7	36.5
Límite líquido	NP	36.7	31.5	21.1	21.4	32.3
Límite Plástico	NP	21.78	23.35	17.69	17.5	22.55
Índice Plasticidad	NP	14.92	8.15	3.41	3.89	9.75
Contenido de humedad %	7.20%	7.60%	7.80%	1.20%	1.40%	0.95%
Clasificación de Suelos "SUCS"	SP	CL	SC	SM	SP	SC
Clasificación de suelos "AASTHO"	A-3(0)	A-6(12)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-4 (0)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 22***Resumen de ensayos proctor y CBR*

DATOS				RESULTADOS DE ENSAYOS					
Ubicación	Nº de Calicata	Nº de Muestra	Profundidad (m)	Clasificación		Proctor		CBR (0.2")	CBR (0.1")
Coordenada				SUCS	AASHTO	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)	100%	95%
UTM									
537833 - 9425810	C - 1	M - 2	0,15 - 1,00	SP	A-3(0)	1.80	12.4	17.63	9.9
537833 - 9425810	C - 1	M - 4	1,10 - 1,50	SC	A-2-4(0)	1.77	8.8	11.93	7.2
536931 - 9426219	C - 2	M - 2	0,25 - 1,10	SM	A-2-4(0)	1.79	10.2	15.28	10.1
536011 - 9426521	C - 3	M - 2	0,25 - 1,50	SC	A-2-4(0)	1.70	6.5	12.50	6.90

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 22 se puede determinar que la subrasante de la avenida los Algarrobos cumple los requerimientos normativos mínimos para el diseño de pavimentos ya que la capacidad de resistencia del suelo representada por su CBR es mayor al 6% lo cual indica que no es necesario el planteamiento de un mejoramiento del suelo, así mismo se debe señalar que mediante el análisis técnico de la tabla 21 se pudo determinar que en la zona de estudio predomina el tipo de suelo arenoso.

### 4.1.2 Estudio de tráfico

El estudio de tráfico tuvo como objetivo determinar el aforo vehicular diario a lo largo de la vía, para lo cual se establecieron estaciones de conteo vehicular, las cuales mediante un análisis y procesamiento de datos me permitirán obtener el índice medio diario anual de diseño.

**Tabla 23**

*Estaciones de conteo vehicular*

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	UBICACIÓN	NORTE	ESTE
Estación N° 1	E1	Pról. Chulucanas	9429162.5	537808
Estación N° 2	E2	Av. Las Dalias	9430017.5	537022.5

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 23 se escogieron dos estaciones de conteo vehicular, la primera estación de control se ubicó en la avenida los Algarrobos intersección con la prolongación Chulucanas, mientras que la segunda estación se situó en la avenida los Algarrobos intersección con la av. Las Dalias, donde a través de los formatos de conteo vehicular del Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) se procedió a realizar la toma de datos.

Se debe indicar que el conteo vehicular se realizó durante 7 días consecutivos, desde el 21 al 27 de marzo del 2023, donde junto al personal de apoyo se efectuó el conteo y clasificación de todos los vehículos que circulaban en ambos sentidos de la vía, así mismo se debe indicar que la toma de datos se realizó desde las 6:00 am hasta las 8:00 pm.

A continuación, se muestra los resultados del conteo vehicular en las estaciones de control 1 y 2, a si mismo se debe señalar que en nuestros anexos se encuentra la evidencia del estudio de tráfico realizado en los periodos descritos anteriormente.

**Tabla 24**

*Resumen del conteo vehicular semanal en la estación 1*

DIAS DE ESTUDIO DE CONTROL		VEHICULOS LIVIANOS								VEHICULOS PESADOS	
		MOTO LINEAL	MOTOTAXI	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	CAMIÓN	
						PICK UP	PANEL	RURAL (COMBI)		2 E	4E
MARTES	21/03/2023	3294	4876	2822	341	391	145	70	100	86	27
MIÉRCOLES	22/03/2023	3823	6125	3091	442	572	285	102	149	111	43
JUEVES	23/03/2023	3318	5921	2733	384	395	153	67	86	67	23
VIERNES	24/03/2023	4072	6556	3171	444	596	287	107	127	109	46
SÁBADO	25/03/2023	3572	6059	2911	410	454	277	72	95	41	27
DOMINGO	26/03/2023	3440	5252	2896	388	446	226	25	48	4	4
LUNES	27/03/2023	3930	6472	3035	450	562	278	109	149	100	47
<b>TOTAL SEMANAL</b>		<b>25,449.00</b>	<b>41,261.00</b>	<b>20,659.00</b>	<b>2,859.00</b>	<b>3,416.00</b>	<b>1,651.00</b>	<b>552.00</b>	<b>754.00</b>	<b>518.00</b>	<b>217.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 25**

*Resumen del conteo vehicular semanal en la estación 2*

DIAS DE ESTUDIO DE CONTROL		VEHICULOS LIVIANOS								VEHICULOS PESADOS			
		MOTO LINEAL	MOTOTAXI	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	CAMIÓN			SEMI TRAYLER
						PICK UP	PANEL	RURAL (COMBI)		2 E	3E	4E	2S1/2S2
MARTES	21/03/2023	1646	2425	511	139	245	186	69	62	34	40	7	5
MIÉRCOLES	22/03/2023	1898	2845	651	195	385	242	79	113	53	48	15	10
JUEVES	23/03/2023	1786	2677	595	167	329	214	73	72	40	32	7	7
VIERNES	24/03/2023	2038	3069	735	251	413	298	77	113	59	40	17	13
SÁBADO	25/03/2023	1842	2789	623	223	357	270	69	93	40	27	17	4
DOMINGO	26/03/2023	1038	1835	326	140	252	171	14	38	2	0	2	0
LUNES	27/03/2023	2094	3209	791	307	469	354	95	139	62	37	15	13
<b>TOTAL SEMANAL</b>		<b>12,342.00</b>	<b>18,849.00</b>	<b>4,232.00</b>	<b>1,422.00</b>	<b>2,450.00</b>	<b>1,735.00</b>	<b>476.00</b>	<b>630.00</b>	<b>290.00</b>	<b>224.00</b>	<b>80.00</b>	<b>52.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Mediante las tablas 24 y 25 se muestran los resultados provenientes del conteo vehicular realizado durante el periodo de una semana, así mismo se debe indicar, que a lo largo de la vía en estudio existe una demanda vehicular tanto de tráfico ligero como pesado.

**c) Cálculo del factor de corrección estacional (FCE)**

A partir de las recomendaciones del Ministerio de transportes y comunicaciones (2014) se calculará el factor de corrección estacional cuyo valor permite predecir la demanda vehicular semanal a partir del comportamiento anualizado del tráfico. A si mismo se debe indicar que dicho valor se obtiene de las estaciones de peajes más cercanos a la zona de estudio, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 26**

*Factor de corrección estacional del peaje Piura – Sullana*

PEAJE	MESES	FCE.VEHICULOS LIGEROS	FCE.VEHICULOS PESADOS
Piura Sullana	Enero	1.1032	1.077
	Febrero	1.0808	1.0635
	Marzo	1.178	1.1221
	Abril	1.0977	1.0607
	Mayo	1.0536	1.0386

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 26 cuya estación de peaje es de Piura a Sullana se pudo determinar que el factor de corrección estacional para el mes de marzo del 2023 es de 1.178 para vehículos ligeros, mientras que para vehículos pesados es 1.1221.

**d) Cálculo del índice medio diario semanal (IMDs)**

Mediante los datos obtenidos del conteo vehicular, se calculará el índice medio diario semanal cuyo valor resulta del promedio por tipo de vehículo registrado durante un periodo de tiempo determinado.

**Tabla 27**

*Índice medio diario semanal de la estación 1*

Tipo de vehículo		Periodo semanal							Total semanal	IMDS(Veh/día)	Cantidad
		Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes			
Vehículos ligeros	Moto lineal	3294	3823	3318	4072	3572	3440	3930	25,449.00	3636	13803
	Mototaxi	4876	6125	5921	6556	6059	5252	6472	41,261.00	5895	
	Auto	2822	3091	2733	3171	2911	2896	3035	20,659.00	2952	
	Station Wagon	341	442	384	444	410	388	450	2,859.00	409	
	Pick Up	391	572	395	596	454	446	562	3,416.00	488	
	Panel	145	285	153	287	277	226	278	1,651.00	236	
	Rural Combi	70	102	67	107	72	25	109	552.00	79	
	Micro	100	149	86	127	95	48	149	754.00	108	
Vehículos pesados	Camión 2E	86	111	67	109	41	4	100	518.00	74	105
	Camión 4E	27	43	23	46	27	4	47	217.00	31	
<b>TOTAL</b>									<b>97,336.00</b>	<b>13,908.00</b>	<b>13,908.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 28**

*Índice medio diario semanal de la estación 2*

Tipo de vehículo		Periodo semanal							Total semanal	IMDS (Veh/día)	Cantidad
		Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes			
Vehículos ligeros	Moto lineal	1646	1898	1786	2038	1842	1038	2094	12,342.00	1764	6022
	Mototaxi	2425	2845	2677	3069	2789	1835	3209	18,849.00	2693	
	Auto	511	651	595	735	623	326	791	4,232.00	605	
	Station Wagon	139	195	167	251	223	140	307	1,422.00	204	
	Pick Up	245	385	329	413	357	252	469	2,450.00	350	
	Panel	186	242	214	298	270	171	354	1,735.00	248	
	Rural Combi	69	79	73	77	69	14	95	476.00	68	
	Micro	62	113	72	113	93	38	139	630.00	90	
Vehículos pesados	Camión 2E	34	53	40	59	40	2	62	290.00	42	94
	Camión 3E	40	48	32	40	27	0	37	224.00	32	
	Camión 4E	7	15	7	17	17	2	15	80.00	12	
	SEMI TRAYLER 2S1/2S2	5	10	7	13	4	0	13	52.00	8	
<b>TOTAL</b>									<b>42,782.00</b>	<b>6,116.00</b>	<b>6,116.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el análisis técnico de las tablas 27 y 28 provenientes del cálculo de índice medio diario semanal, se determinó que la estación de control 1 (tabla 27) presenta mayor aforo vehicular, por lo cual dicha estación se tomara para el cálculo del índice medio diario anual.

**e) Cálculo del índice medio diario anual (IMDA)**

Como se definió en nuestro marco teórico el valor del índice medio diario anual resulta del cálculo del índice medio diario semanal y del factor de corrección estacional, dichos parámetros ya fueron definidos anteriormente por lo cual a partir de la ecuación 1 se procederá a determinar el IMDA.

**Tabla 29**

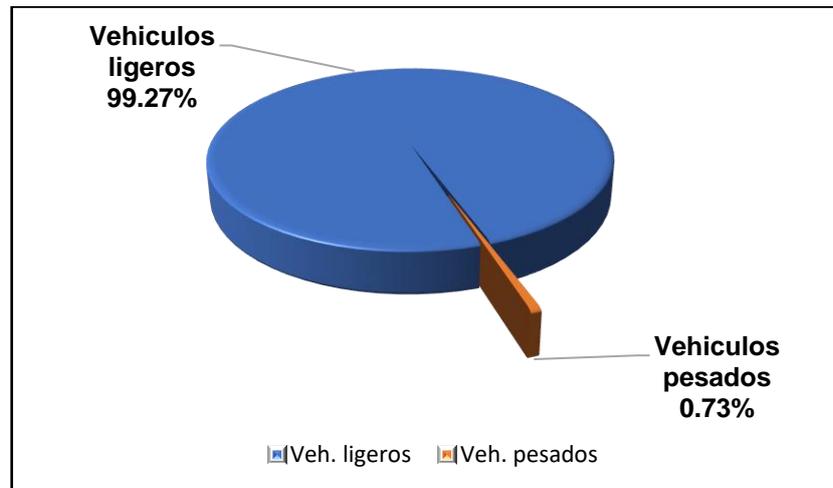
*Cálculo del índice medio diario anual*

TIPO DE VEHICULO		IMDS	FC	IMDA		DISTRIBUCIÓN	
Veh. ligeros	Moto lineal	3636	1.178	4284	16,265.00	26.15%	99.27%
	Mototaxi	5895	1.178	6945		42.39%	
	Auto	2952	1.178	3478		21.23%	
	Station Wagon	409	1.178	482		2.94%	
	Pick Up	488	1.178	575		3.51%	
	Panel	236	1.178	279		1.70%	
	Rural Combi	79	1.178	94		0.57%	
	Micro	108	1.178	128		0.78%	
Veh. pesados	Camión 2E	74	1.122	84	119.00	0.51%	0.73%
	Camión 4E	31	1.122	35		0.21%	
<b>TOTAL IMDA</b>				<b>16,384.00</b>	<b>16,384.00</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7**

*Distribución del tráfico vehicular*

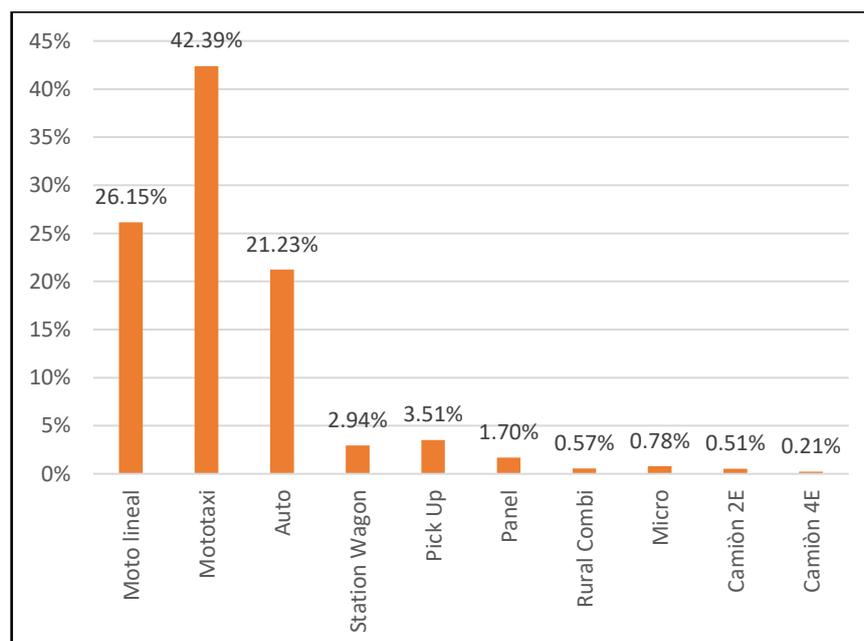


Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 29 se puede indicar que el IMDA para la avenida los Algarrobos es de 16,384 vehículos de donde 16,265 son vehículos ligeros y 119 son vehículos pesados, esto nos da un indicar porcentual donde se puede determinar que el 99.27% de tráfico está representado por vehículos livianos y el 0.73% por vehículos pesados.

**Figura 8**

*Composición del tráfico vehicular*



Fuente: Elaboración propia.

Mediante el análisis de la figura 8 se puede determinar que los vehículos ligeros como motos lineales y mototaxi representan un 68.54% de tráfico, aunque su incidencia no tiene gran influencia en el diseño de pavimentos, a comparación de los vehículos de carga como los camiones de 2 a 4 ejes.

#### f) Carga vehicular actuante de la vía en estudio

A partir de lo establecido en el manual de carreteras sección suelos y pavimentos, y de lo descrito en nuestro marco teórico, se calculará la carga vehicular actuante de la zona de estudio, para lo cual resulta fundamental definir ciertos parámetros de diseño como son: el factor direccional, el factor carril, el factor vehículo pesado, el factor de presión de neumáticos y el factor de crecimiento acumulado, así mismo se debe indicar que el periodo de diseño para el cálculo de la carga actuante será de 20 años.

A continuación, se muestra el cálculo de los factores antes mencionados a través de la siguiente tabla, obtenida a partir de las características de la zona de estudio:

**Tabla 30**

*Factores para determinar la carga actuante*

<b>Variables</b>	<b>Característica</b>	<b>Valor obtenido</b>
Factor direccional (Fd)	Geometría de la vía (2 calzadas, 2 carriles, 2 sentidos)	0.5
Factor carril (Fc)		0.8
Factor presión (Fpi)	e=5cm 80 lb/plg <sup>2</sup>	1
Periodo de diseño (n)	años	20
Tasa de crecimiento de vehículos ligeros (ri)	Crecimiento poblacional	0.87%
Factor de crecimiento para vehículos ligeros (Fca) - ri	Incidencia del periodo de diseño (n) y tasa de crecimiento (ri)	21.74
Tasa de crecimiento de vehículos pesados (rp)	PBI	3.23%
Factor de crecimiento para vehículos pesados (Fca) - rp	Incidencia del periodo de diseño (n) y tasa de crecimiento (rp)	27.51

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores obtenidos de la tabla 30, a continuación, se calculará la carga vehicular actuante en la avenida de estudio.

**Tabla 31**

*Cálculo de la carga actuante para pavimentos flexibles y articulados*

Tipo de vehículo	IMDA	Fvp	Fp	Fd	Fc	EE(día - carril)	Fca	Número de días del año	ESAL de diseño
Moto lineal	4284	0.00000	1	0.5	0.8	0.00000000	21.74	365	0.00
Mototaxi	6945	0.00000	1	0.5	0.8	0.00000000	21.74	365	0.00
Auto	3478	0.00110	1	0.5	0.8	1.53032000	21.74	365	12,144.68
Station Wagon	482	0.00110	1	0.5	0.8	0.21208000	21.74	365	1,683.07
Pick Up	575	0.01690	1	0.5	0.8	3.88700000	21.74	365	30,847.38
Panel	279	0.00110	1	0.5	0.8	0.12276000	21.74	365	974.23
Rural Combi	94	0.01690	1	0.5	0.8	0.63544000	21.74	365	5,042.88
Micro	128	2.53070	1	0.5	0.8	129.57184000	21.74	365	1,028,286.95
Camión 2E	84	4.50370	1	0.5	0.8	151.32432000	27.51	365	1,519,356.95
Camión 4E	35	2.77360	1	0.5	0.8	38.83040000	27.51	365	389,872.81
<b>IMDA =</b>	<b>16,384.00</b>					<b>EE (día-carril)=</b>	<b>326.11</b>	<b>ESAL DE DISEÑO =</b>	<b>2,988,208.94</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 31 se puede indicar que la carga vehicular actuante para el diseño de pavimentos flexibles y articulados es de 2,988,208.94 (EE) ejes equivalentes.

**Tabla 32***Cálculo de la carga actuante para pavimentos rígidos*

Tipo de vehículo	IMDA	Fvp	Fp	Fd	Fc	EE(día - carril)	Fca	Número de días del año	ESAL de diseño
Moto lineal	4284	0.0000	1	0.5	0.8	0.00000	21.74	365	0.00
Mototaxi	6945	0.0000	1	0.5	0.8	0.00000	21.74	365	0.00
Auto	3478	0.0009	1	0.5	0.8	1.21424	21.74	365	9,635.11
Station Wagon	482	0.0009	1	0.5	0.8	0.16828	21.74	365	1,335.29
Pick Up	575	0.0150	1	0.5	0.8	3.44232	21.74	365	27,315.14
Panel	279	0.0009	1	0.5	0.8	0.09740	21.74	365	772.91
Rural Combi	94	0.0150	1	0.5	0.8	0.56272	21.74	365	4,465.25
Micro	128	2.5456	1	0.5	0.8	130.33472	21.74	365	1,034,219.04
Camión 2E	84	4.6077	1	0.5	0.8	154.81872	27.51	365	1,554,557.99
Camión 4E	35	4.9582	1	0.5	0.8	69.41480	27.51	365	697,004.42
<b>IMDA =</b>	<b>17,372.00</b>			<b>EE (día-carril) =</b>	<b>360.05</b>	<b>ESAL DE DISEÑO =</b>	<b>3,329,305.15</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la tabla 32 se puede determinar que la carga vehicular actuante para el diseño de pavimentos rígidos es de 3,329,305.15 (EE) ejes equivalentes.

### 4.1.3 Diseño estructural de pavimentos flexibles

Mediante los datos obtenidos de los estudios básicos como son el de mecánica de suelos y el de tráfico, se procederá a diseñar estructuralmente el pavimento flexible de la avenida los Algarrobos para lo cual se empleará la metodología empírica descrita por la AASTHO 93.

Se debe señalar que de acuerdo al manual de carreteras “sección suelos y pavimentos” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el método AASTHO 93 es aquel que nos permite determinar los espesores estructurales de un pavimento, a partir de las variables de tráfico, suelo, serviciabilidad, periodo de diseño y confiabilidad, lo cual se indica a continuación:

#### Valor del periodo de diseño (n)

Es aquel tiempo de vida útil del pavimento diseñado, a partir de los criterios técnicos establecidos por el proyecto, en nuestro caso el periodo de diseño o vida útil del pavimento será de 20 años.

#### Determinación del módulo resiliente (Mr)

El módulo resiliente o también conocido como el factor de rigidez del suelo, es aquel valor que caracteriza el comportamiento mecánico del suelo subrasante, cuyo resultado se obtiene a partir de la estimación del CBR de la subrasante y a partir de la siguiente expresión:

#### Ecuación 10

*Cálculo del módulo resiliente*

$$Mr = 2555 \times CBR^{0.64}$$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

En nuestro caso de acuerdo al estudio de mecánica de suelos realizado se obtuvieron valores de CBR de la subrasante de 9.9%, 10.1% y 6.90% a lo largo de la vía en estudio, por lo cual para el cálculo del CBR de diseño se tomará en cuenta las recomendaciones dadas por las normas técnicas donde se indica que al tener menos de 6 valores de CBR se deberá realizar un promedio aritmético, teniendo en cuenta estos criterios se determinó que el CBR de diseño para la avenida los

Algarrobos es de 8.95%. A si mismo se debe señalar que a partir del valor del CBR de diseño y aplicando la ecuación 10 se determinó que el módulo de resiliencia de la subrasante es de  $M_r = 10,338.615 \text{ lb/plg}^2$ .

### **Cálculo de los Ejes equivalentes de diseño (W18 o Esal)**

Los ejes equivalentes de diseño corresponden a la carga actuante generada por el tráfico a lo largo de la zona en estudio, dicha carga de diseño permite estimar los espesores estructurales del pavimento a construir, en nuestro caso la carga de diseño para la avenida de los Algarrobos es de 2,988,208.94 EE.

### **Estimación de la confiabilidad (%R) y la desviación estándar normal (Zr)**

La confiabilidad es aquella medida de seguridad que se incorpora en el diseño de pavimentos, ya que nos permite estimar el posible comportamiento estructural de un pavimento. Tras realizar el cálculo de los ejes equivalentes de diseño se determinó que el nivel de confiabilidad será del 85%, mientras que la desviación estándar normal es de -1.036.

### **Determinación de la serviciabilidad (PSI) y el error estándar combinado (So)**

El índice de serviciabilidad se expresa como una medida estimada de comodidad al usuario, en nuestro al tener la carga actuante determinada por los ejes equivalentes de diseño, se indica que el valor de la serviciabilidad inicial será de 4, mientras que la serviciabilidad final será de 2.50. En el caso del error estándar combinado la guía de diseño del manual del MTC recomienda un valor de  $S_o=0.45$ .

**Tabla 33**

*Variables de diseño de pavimentos flexibles*

<b>Variabes</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>
Periodo de diseño	N	20 años
Módulo resiliente	$M_r$	10,338.615 lb/plg <sup>2</sup>
Ejes equivalentes de diseño	W18	2,988,208.94 EE
Confiabilidad	%R	85%
Desviación estándar normal	Zr	-1.036
Serviciabilidad Inicial	Pi	4.00
Serviciabilidad Final	Pt	2.50
Error estándar combinado	So	0.45

Fuente: Elaboración propia.

## Cálculo del número estructural propuesto (SNP)

Finalmente se determinará los espesores estructurales de las capas del pavimento flexible lo cual se obtendrá a partir de la aplicación de la ecuación 8 descrita en nuestro marco teórico, se debe indicar que el cálculo del número estructural propuesto estará en función de los valores de la resistencia relativa de los materiales (coeficientes estructurales de capa) y la capacidad de drenaje del pavimento, como se muestra a continuación:

**Tabla 34**

*Coefficientes estructurales de las capas del pavimento flexible*

Módulo estructural del pavimento	Nomenclatura	Coefficientes estructurales	Características
Capa Superficial			
Carpeta Asfáltica en Caliente, modulo 2,965 Mpa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	$a_1$	0.170/cm	Capa Superficial para todos los tipos de Tráfico.
Capa base			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	$a_2$	0.052/cm	Capa de Base recomendada para tráfico menores 10'000,000 EE
Capa subbase			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	$a_3$	0.407/cm	Capa de subbase recomendada por CBR mínimo 40%, para todos los tipos de trafico

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

A partir de la tabla 34 se puede determinar que los coeficientes estructurales de las capas del pavimento flexible serán de 0.170/cm para la carpeta asfáltica, 0.052/cm para la base granular y 0.407/cm para la subbase granular, se debe señalar que los valores obtenidos representan la resistencia relativa de los materiales que conforman la estructura del pavimento a diseñar.

En función de las recomendaciones dadas por el Manual de Carreteras sección suelos y pavimentos del MTC, se a determinado que los coeficientes de drenaje para la base y subbase granular del pavimento flexible serán de 1.00.

**Figura 9**

*Determinación de los espesores estructurales del pavimento flexible*

<b>TESIS: DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LOS ALGARROBOS, DISTRITO DE VEINTISEIS DE OCTUBRE, PIURA</b>						
<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO - MÉTODO AASTHO 93</b>						
<b>PROYECTO:</b>	Av. Los Algarrobos		<b>FECHA :</b>	Marzo del 2023		
<b>AUTORES:</b>	Saavedra Mejia Carolina Gil Liviapoma Peter		<b>ASESOR:</b>	Rodriguez Ramos, Mamerto		
<b>1. PARÁMETROS DE DISEÑO</b>						
a. Periodo de diseño (años)				20		
b. Número total de ejes equivalentes de diseño (W18)				2,988,208.94		
c. Serviciabilidad inicial (Pi)				4.0		
d. Serviciabilidad final (Pt)				2.5		
e. Nivel de confiabilidad (%R)				85%		
f. Desviación estandar normal (Zr)				-1.036		
g. Error estándar combinado (So)				0.45		
<b>2. PROPIEDADES DE MATERIALES</b>						
$Mr = 2555 \times CBR^{0.64}$						
a. Módulo resiliente de la base granular en KSI (CBR=80%)				42.21		
b. Módulo resiliente de la subbase granular en KSI (CBR=40%)				27.08		
c. Módulo resiliente de la subrasante del terreno natura en KSI (CBR=8.95%)				10.39		
<b>3. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)</b>						
$\log_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5})}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_{Ri}) - 8.07$						
<b>SN Requerido</b>	<b>G<sub>t</sub></b>	<b>N18 NOMINAL</b>		<b>N18 CALCULO</b>		
3.62	-0.25527	6.48		6.48		
<b>4. CÁLCULO DE LOS ESPESORES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE</b>						
<b>a. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>						
Concreto asfáltico (a1)				0.43		
Base granular (a2)				0.14		
Subbase granular (a3)				0.12		
<b>b COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>						
Base granular (m2)				1.00		
Subbase granular (m3)				1.00		
$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$						
<b>ALTERNATIVA</b>	<b>SNreq</b>	<b>SNresul</b>	<b>Asfalto D1(cm)</b>	<b>Base D2(cm)</b>	<b>Subbase D3(cm)</b>	<b>Espesor total Dt</b>
1	3.62	3.71	7.5	25	22.5	55
2	3.62	4.39	10	27.5	25	62.5

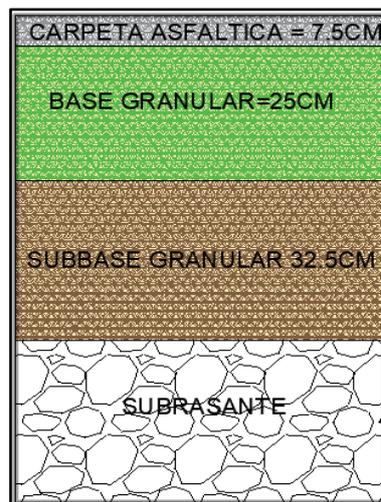
Fuente: Elaboración propia.

A partir del cálculo mostrado en la figura 9, se obtuvieron dos alternativas para el paquete estructural del pavimento flexible de la avenida los Algarrobos, los cuales se describirán a continuación:

**Alternativa 1:** paquete estructural con una capa de 7.5 cm de carpeta asfáltica, 25 cm de base granular y 22.5 cm de subbase granular, lo cual nos indica una estructura de pavimento flexible de 55 cm de espesor.

**Figura 10**

*Paquete estructural del pavimento flexible – alternativa 1*

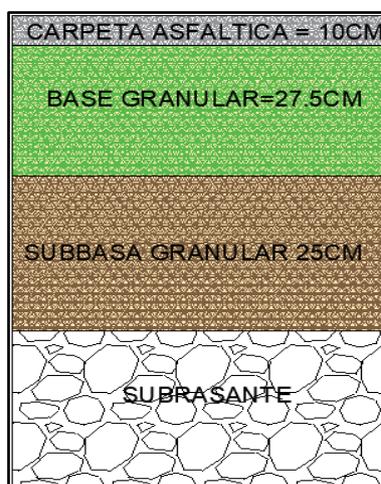


Fuente: Elaboración propia.

**Alternativa 2:** carpeta asfáltica con un espesor de capa de 10 cm, base granular de espesor de 27.5 cm y una subbase granular de 25 cm, lo cual nos determina una estructura de pavimento flexible de 62.5 cm de espesor.

**Figura 11**

*Paquete estructural del pavimento flexible – alternativa 2*



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.4 Diseño estructural de pavimentos rígidos**

En este apartado se mostrará el procedimiento para obtener los espesores estructurales del pavimento rígido, para lo cual se empleará la metodología AASTHO 93 así como las recomendaciones dadas por las normas técnicas de diseño, se debe señalar que nuestra investigación busca determinar un diseño óptimo de pavimento para lo cual es fundamental definir correctamente cada una de las variables de diseño, como se muestra a continuación:

##### **Valor del periodo de diseño**

Es el tiempo de vida útil o de servicio que transcurre hasta que el pavimento presente fallas que requieran una intervención mediante una reconstrucción o rehabilitación total o parcial, en nuestro caso se a estimado un tiempo de vida útil del pavimento de 20 años.

##### **Cálculo de los ejes equivalentes de diseño (W18 o Esal)**

Es la carga actuante generada por las repeticiones del tráfico a largo de la zona en estudio representada por ejes equivalentes de diseño, en nuestra investigación se a identificado que la carga actuante de diseño será de 3,329,305.15 (EE) para la avenida los Algarrobos como se muestra en la tabla 32.

##### **Estimación de la confiabilidad (%R) y la desviación estándar normal (ZR)**

El nivel de confiabilidad se a definido como una variable de seguridad en el diseño de pavimentos, lo cual corresponde a un aumento de tránsito en un periodo estimado, en nuestro caso se a definido que, al tener una carga actuante de 3,329,305.15 (EE) le corresponde un nivel de confiabilidad del 85%, así como una desviación estándar normal del -1.036.

##### **Determinación de la serviciabilidad (PSI) y el error estándar combinado (So)**

La serviciabilidad de diseño en nuestro caso se a definido a partir del cálculo de los ejes equivalentes cuyo valor se determinó de 3,329,305.15 (EE) por lo cual le corresponde un índice de serviciabilidad inicial de 4.30 y un índice de serviciabilidad final de 2.50, lo cual nos permite determinar que la serviciabilidad de diseño del pavimento rígido será de 1.80. En el caso del error estándar combinado el MTC recomienda un  $So=0.35$ , por lo cual nuestra investigación usará dicho valor.

### **Estimación del módulo de reacción combinado (Kc)**

Es una medida que caracteriza el comportamiento de la subrasante en combinación con una capa de material granular la cual mejora el soporte del terreno de fundación y permite disminuir el espesor de diseño del pavimento rígido. Se debe señalar que para el cálculo del módulo de reacción combinado resulta fundamental obtener los valores del CBR de la subrasante y la carga actuante de diseño expresa por los ejes equivalentes. En nuestro caso se determinó que el CBR de diseño será de 8.95%, mientras que la carga actuante será de 3,329,305.15 (EE), esta última nos permite determinar que la subbase granular debe tener la característica de un CBR como mínimo del 40%.

### **Cálculo del módulo de rotura (Mr)**

El módulo de rotura también llamado resistencia media del concreto es una propiedad que se estima a partir de la intensidad del tráfico y que representa la resistencia de los pavimentos de concreto a los esfuerzos de flexión. Los valores obtenidos para nuestra investigación de acuerdo a la carga actuante del tráfico (3,329,305.15 EE) han sido determinados a partir de las recomendaciones dadas por el MTC de donde se obtuvieron que el  $Mr=40 \text{ kg/cm}^2$  (4 Mpa) y que la resistencia del concreto a la compresión deberá ser de  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , se debe señalar que es importante lograr una adecuada resistencia a la compresión del concreto lo cual permitirá garantizar obtener el módulo de rotura estimado en el diseño de pavimentos.

### **Determinación del módulo de elasticidad del concreto (Ec)**

Es una variable que estima el comportamiento elástico del concreto, la cual se obtiene a partir de las propiedades mecánicas del concreto como es la resistencia a la compresión definida anteriormente con un valor de  $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ , el método AASTHO 93 a definido que el módulo elástico del concreto se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 11**

*Cálculo del módulo de elasticidad del concreto*

$$E_c = 57,000x (f'c)^{0.5}$$

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

En nuestro caso al calcular el módulo de elasticidad del concreto se a obtenido un resultado de  $E_c = 3,597,118.22$  PSI lo que equivale a 24,801.26 MPA.

### **Coeficiente de transmisión de cargas (J) y el coeficiente de drenaje (Cd)**

Es una medida que expresa la capacidad de transmitir las cargas entre estructuras del pavimento rígido a través de las juntas que se realizan, el cálculo del coeficiente de transmisión de cargas depende de la definición de ciertos parámetros como son el tipo y el material de la berma lateral, así como los elementos que permitirán la transferencia de cargas.

Para nuestra investigación se a definido que el coeficiente de transferencia de carga será de  $J=2.8$ , lo cual indica que el tipo de berma será de concreto y contará con pasadores del tipo dowells.

En el caso de los valores del coeficiente de drenaje del pavimento se utilizará las recomendaciones dadas por el manual del MTC donde se indica que el  $C_d=1.00$  para la capa granular.

**Tabla 35**

*Variables de diseño de pavimentos rígidos*

<b>Variables</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>
Periodo de diseño	N	20 años
Ejes equivalentes de diseño	W18	3,329,305.15 EE
Confiabilidad	%R	85%
Desviación estándar normal	Zr	-1.036
Serviciabilidad inicial	Pi	4.3
Serviciabilidad final	Pt	2.50
Error estándar combinado	So	0.35
Cbr de la subrasante	CBR	8.95%
Cbr de la subbase	CBR (sb)	40%
Módulo de rotura	Mr	4 Mpa
Módulo de elasticidad del concreto	Ec	24,801.26 Mpa
Coeficiente de transferencia de carga	J	2.8
Coeficiente de drenaje	Cd	1.00

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados de la tabla 35 y utilizando la ecuación 9, a continuación, se muestra el diseño estructural del pavimento rígido de la av. los Algarrobos:

**Figura 12**

*Determinación de los espesores estructurales del pavimento rígido*

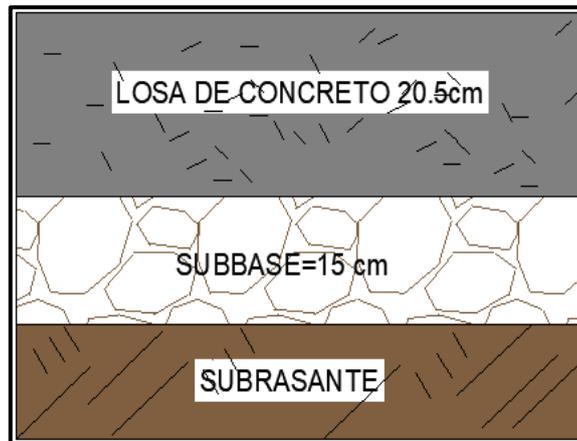
<b>DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LOS ALGARROBOS, DISTRITO DE VEINTISÉIS DE OCTUBRE, PIURA</b>					
<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO - MÉTODO AASTHO 93</b>					
<b>PROYECTO:</b>	Av. Los Algarrobos	<b>FECHA:</b>	Marzo del 2023		
<b>TRAMO:</b>	Saavedra Mejía Carolina Gil Liviapoma Peter	<b>ASESOR:</b>	Rodríguez Ramos, Mamerto		
<b>1 - PÁRAMETRO DE DISEÑO</b>					
1.1	Tránsito: Ejes Equivalentes de Diseño	3,329,305	EE	n =	20
1.2	Suelo de Fundación: CBR	8.95	%	ko =	52.52
1.3	Nivel de Confiabilidad	85	%	Zr =	1.036
1.4	Desviación Normal (So)	0.35			
1.5	Índice de Serviabilidad Inicial (Pi)	4.3			
1.6	Índice de Serviabilidad Final (Pf)	2.5			
<b>2 - PROPIEDAD DE LOS MATERIALES</b>					
2.1	Espesor Subbase Granular	15	cm		
2.2	CBR Subbase Granular	40	%	k1 =	116.21
2.3	Módulo de Reacción Combinado	59.06	MPa/m		
2.4	Coefficiente de Drenaje	1			
2.5	Resistencia Media Flexotracción	4	MPa		
2.6	Modulo Elástico	24,801	MPa		
2.7	Coefficiente Transferencia de carga	2.8			
<b>3 - CÁLCULO DE LOS ESPESORES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO</b>					
Mediante la ecuación AASTHO 93 se obtiene los espesores del pavimento					
$\log_{10} W_{32} = Z_r S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{4.5}}} + (4.22 - 0.32 P_r) \log_{10} \left( \frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 k_f \left( 0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_r / k)^{0.25}} \right)} \right)$					
3.1	Espesor de la losa de concreto	20.5	cm	8.07	plg
3.2	Espesor de la subbase granular	15	cm	5.91	plg
3.3	Espesor total del pavimento rígido	35.5	cm	13.98	plg
3.4	Ejes equivalente de servicio	3,761,693	EE	<b>CUMPLE</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Del cálculo mostrado en la figura 12 se puede determinar que los espesores estructurales del pavimento rígido quedan conformados de la siguiente manera: una capa de 20.5 cm de losa de concreto y una subbase granular de 15 cm.

### Figura 13

#### *Estructura del pavimento rígido*

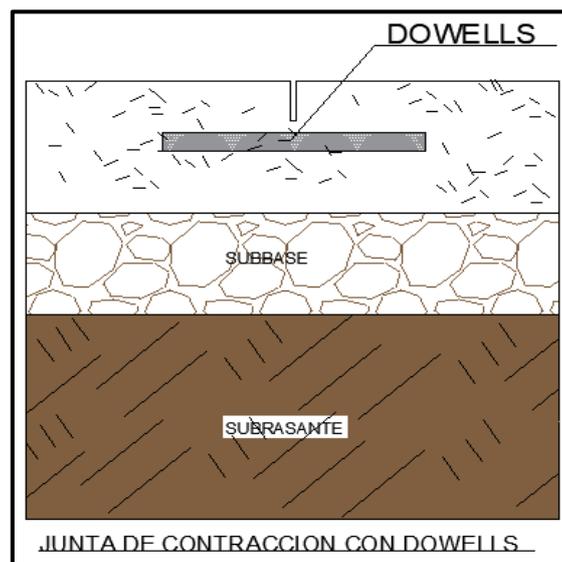


Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al diseño estructural del pavimento rígido mostrado en la figura 13, se determinó una losa de concreto de 20.5 cm de espesor, lo cual en correlación con las recomendaciones dadas por el manual de carreteras del MTC, nos permite definir que las barras de acero de transferencia de carga (Dowells) serán de un diámetro de 1 ¼" con una longitud de extensión de 46 cm, separadas cada 30 cm entre pasadores de carga.

### Figura 14

#### *Detalle de pasadores de carga en pavimentos rígidos*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5 Diseño estructural de pavimento articulado

También llamado pavimento semirrígido, es aquel que tipo de pavimento que se diseña teniendo en consideración las características establecidas de un pavimento flexible y rígido, se debe señalar que la metodología AASTHO 93 y las normas técnicas peruanas indican que las ecuaciones de diseño estructural de pavimentos flexibles también deben ser empleadas para determinar el diseño estructural de un pavimento articulado.

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) en el manual de carreteras sección suelos y pavimentos se establece que en el caso de pavimentos articulados con adoquines de concreto estos deberán ser diseñados con una carga actuante hasta de 15,000,000 ejes equivalentes (EE), sin embargo al realizar el estudio de tráfico en la zona en estudio se a determino que la carga actuante es menor a la establecida por lo cual se procederá al diseño estructural del pavimento articulado, para lo cual resulta fundamental definir los siguientes parámetros:

**Tabla 36**

*Parámetros de diseño de pavimentos articulados*

<b>Variables</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>
Ejes equivalentes de diseño	W18	2,988,208.94 EE
Módulo resiliente	Mr	10,338.615 lb/plg <sup>2</sup>
Confiabilidad	%R	85%
Periodo de diseño	N	20 años
Desviación estándar normal	Zr	-1.036
Error estándar combinado	So	0.45
Diferencia de la serviciabilidad	PSI	1.50
CBR de diseño	%CBR	8.95

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos en las tablas 34, 35 y además en función de las recomendaciones dadas por el MTC se a determinado que los coeficientes de drenaje de las capas base y subbase granular para el pavimento articulado serán de 1.00, por lo cual a continuación se muestra el diseño estructural del pavimento:



Del cálculo realizado en la figura 16, se puede determinar que el paquete estructural del pavimento articulado de la avenida los Algarrobos queda constituido de la siguiente manera: Adoquín de concreto de 8 cm de espesor, cama de arena de 4 cm y una base granular de 30 cm.

### **Figura 16**

*Estructura del pavimento articulado*



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.6 Análisis económico de los tipos de pavimentos**

A partir de los resultados obtenidos del diseño estructural del pavimento flexible, rígido y articulado de la zona en estudio, a continuación, se muestra el análisis económico realizado por metro cuadrado para cada tipo de pavimento para lo cual se a tenido en consideración los espesores estructurales calculados en base de la metodología AASTHO 93.

##### **g) Evaluación económica para el pavimento flexible**

Para definir el costo unitario del pavimento flexible se a empleado las capas estructurales definidas en la figura 8, la cual nos indica que el pavimento está conformado por: 7.5 cm de carpeta asfáltica, 25 cm de base granular y 22.5 cm de subbase granular.

**Figura 17**

*Costo unitario del pavimento flexible*

<b>Presupuesto</b>					
<b>Presupuesto</b>	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LOS ALGARROBOS, DISTRITO DE VEINTISEIS DE OCTUBRE, PIURA				
<b>Subpresupuesto</b>	PAVIMENTO FLEXIBLE				
<b>Cliente</b>	UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO			<b>Costo al</b>	<b>May-23</b>
<b>Lugar</b>	PIURA - PIURA - PIURA				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>01</b>	<b>PAVIMENTO - MÉTODO AASTHO 93</b>				<b>S/ 120.53</b>
<b>01.01</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				<b>S/ 3.40</b>
01.01.01	TRAZO, NIVEL Y REPLANTEO DE OBRA	m2	1.00	S/ 3.40	S/ 3.40
<b>01.02</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>S/ 22.58</b>
01.02.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA	m3	0.55	S/ 11.13	S/ 6.12
01.02.02	PERFILADO, NIVELADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m2	1.00	S/ 5.15	S/ 5.15
01.02.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE PROVENIENTE DEL CORTE	m3	0.63	S/ 17.95	S/ 11.31
<b>01.03</b>	<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE</b>				<b>S/ 94.55</b>
01.03.01	SUBBASE GRANULAR E=22.5 CM	m2	1.00	S/ 14.98	S/ 14.98
01.03.02	BASE GRANULAR E=25 CM	m2	1.00	S/ 18.43	S/ 18.43
01.03.03	IMPRIMACIÓN ASFALTICA	m2	1.00	S/ 6.30	S/ 6.30
01.03.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=7.5 CM	m2	1.00	S/ 54.84	S/ 54.84
<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>S/</b>	<b>120.53</b>
<b>SON : CIENTO VEINTE Y 53/100 NUEVOS SOLES</b>					

Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo mostrado en la figura 17 se puede indicar que el costo unitario por metro cuadrado del pavimento flexible para la avenida los Algarrobos será de S/. 120.53 soles.

#### **h) Evaluación económica para el pavimento rígido**

De los resultados mostrados en la figura 11 se puede indicar que el pavimento rígido está conformado por una losa de concreto de 20.5 cm de espesor y una subbase granular de 15 cm, lo cual nos permite determinar el siguiente costo unitario del pavimento:

**Figura 18**

*Costo unitario del pavimento rígido*

Presupuesto						
Presupuesto	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LOS ALGARROBOS, DISTRITO DE VEINTISEIS DE OCTUBRE, PIURA					
Subpresupuesto	PAVIMENTO RIGIDO					
Cliente	UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO				Costo al	May-23
Lugar	PIURA - PIURA - PIURA					
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>01</b>	<b>PAVIMENTO - MÉTODO AASTHO 93</b>					<b>S/ 182.51</b>
<b>01.01</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>					<b>S/ 3.40</b>
01.01.01	TRAZO, NIVEL Y REPLANTEO DE OBRA	m2	1.00	S/ 3.40	S/ 3.40	
<b>01.02</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					<b>S/ 16.52</b>
01.02.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA	m3	0.36	S/ 11.13	S/ 4.01	
01.02.02	PERFILADO, NIVELADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m2	1.00	S/ 5.15	S/ 5.15	
01.02.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE PROVENIENTE DEL CORTE	m3	0.41	S/ 17.95	S/ 7.36	
<b>01.03</b>	<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RIGIDO</b>					<b>S/ 162.59</b>
01.03.01	SUBBASE GRANULAR E=15 CM	m2	1.00	S/ 11.83	S/ 11.83	
01.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA	m2	0.41	S/ 41.26	S/ 16.92	
01.03.03	COLOCACIÓN DE DOWELLS EN JUNTAS TRANSVERSALES E=1 1/4"	und	6.00	S/ 6.72	S/ 40.32	
01.03.04	CONCRETO PARA PAVIMENTO RIGIDO DE F'C=280 KG/CM2	m3	0.205	S/ 376.84	S/ 79.14	
01.03.05	CORTE Y SELLADO DE JUNTAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	m	3.00	S/ 4.30	S/ 12.90	
01.03.06	CURADO DE LOSA DE CONCRETO	m2	1.00	S/ 1.48	S/ 1.48	
<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>S/</b>	<b>182.51</b>	
<b>SON : CIENTO OCHENTIDOS Y 51/100 NUEVOS SOLES</b>						

Fuente: Elaboración propia.

De la figura 18 se puede indicar que el costo unitario por metro cuadrado del pavimento rígido de la avenida los Algarrobos es de S/. 182.51 soles.

**i) Evaluación económica para el pavimento articulado**

A partir de los resultados del diseño del pavimento articulado mostrado en la figura 14, se puede indicar que su estructura está conformada por: un adoquín de concreto de 8 cm de espesor, una cama de arena de 4 cm y una base granular de 30 cm, con ello se a determinado el costo unitario por metro cuadrado mostrado a continuación:

**Figura 19**

*Costo unitario del pavimento articulado*

<b>Presupuesto</b>					
Presupuesto	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LOS ALGARROBOS, DISTRITO DE VEINTISEIS DE OCTUBRE, PIURA				
Subpresupuesto	PAVIMENTO ARTICULADO				
Cliente	UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO			Costo al	May-23
Lugar	PIURA - PIURA - PIURA				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
<b>01</b>	<b>PAVIMENTO - MÉTODO AASTHO 93</b>				<b>S/ 190.38</b>
<b>01.01</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				<b>S/ 3.40</b>
01.01.01	TRAZO, NIVEL Y REPLANTEO DE OBRA	m2	1.00	S/ 3.40	S/ 3.40
<b>01.02</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>S/ 18.44</b>
01.02.01	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA	m3	0.42	S/ 11.13	S/ 4.67
01.02.02	PERFILADO, NIVELADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE	m2	1.00	S/ 5.15	S/ 5.15
01.02.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE PROVENIENTE DEL CORTE	m3	0.480	S/ 17.95	S/ 8.62
<b>01.03</b>	<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ARTICULADO</b>				<b>S/ 168.54</b>
01.03.01	BASE GRANULAR DE E=30 CM	m2	1.00	S/ 21.01	S/ 21.01
01.03.02	CONFORMACIÓN DE LA CAMA DE ARENA PARA ADOQUINES E=4 CM	m2	1.00	S/ 12.57	S/ 12.57
01.03.03	ADOQUIN DE CONCRETO E= 8 CM	m2	1.00	S/ 125.46	S/ 125.46
01.03.04	SELLADO Y COMPACTADO FINAL DEL PAVIMENTO	m2	1.00	S/ 9.50	S/ 9.50
<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>S/</b>	<b>190.38</b>
<b>SON : CIENTO NOVENTA Y 38/100 NUEVOS SOLES</b>					

Fuente: Elaboración propia.

De lo mostrado en la figura 19 se puede indicar, que el costo unitario por metro cuadrado del pavimento articulado para la av. los Algarrobos es de S/. 190.38 soles.

#### **4.1.7 Selección del pavimento para la av. los Algarrobos**

Con los resultados obtenidos del diseño estructural de los tres tipos de pavimentos mediante el método AASTHO 93 y a partir del análisis económico realizado, a continuación, se llevará a cabo un análisis comparativo técnico y económico, lo cual me permitirá escoger el tipo de pavimento más adecuado para la zona en estudio.

**Tabla 37**

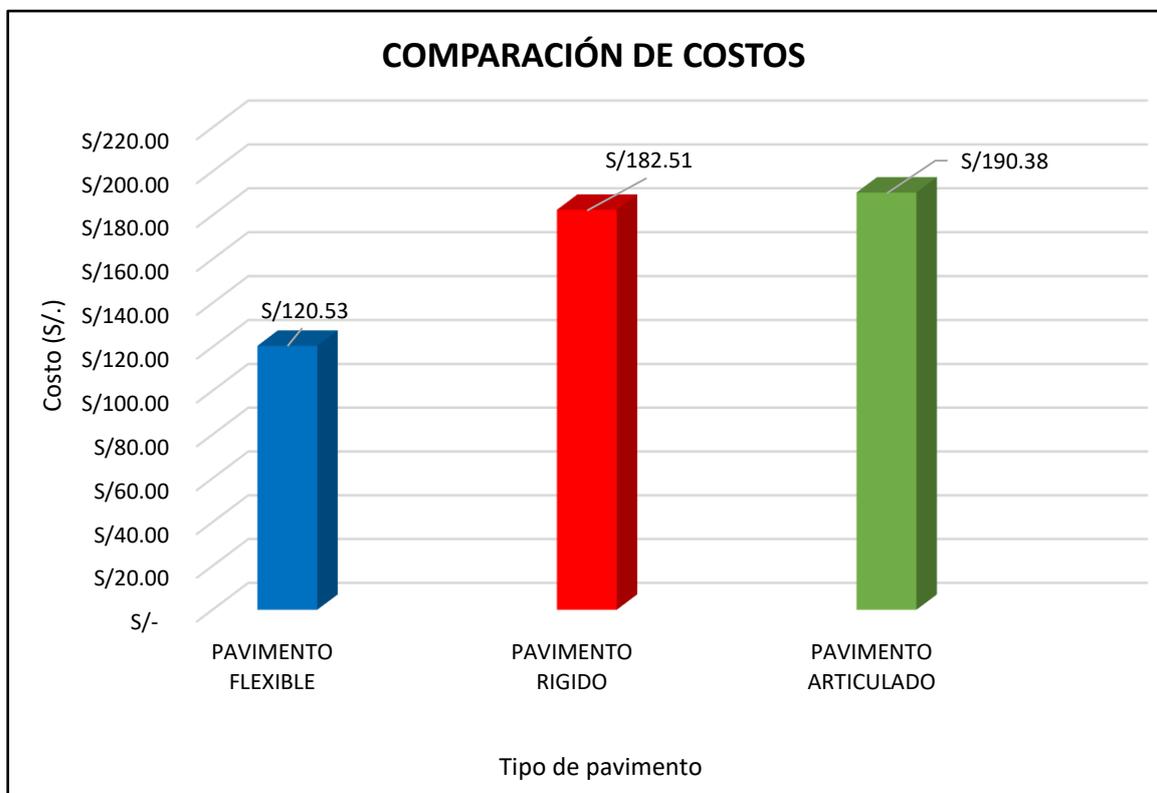
*Comparación técnica económica de pavimentos*

INDICADOR	PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO ARTICULADO
Costo directo por m2	S/ 120.53	S/ 182.51	S/ 190.38
Espesor estructural del pavimento	55 cm	35.5 cm	42 cm
Carga actuante generada por el tráfico	2,988,208.94 EE	3,329,305.15 EE	2,988,208.94 EE
Durabilidad (vida útil)	15 - 20 años	20 - 40 años	20 - 40 años
Mantenimiento periódico rutinario	5 años	10 años	10 años

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 20**

*Comparación de costos de pavimentos*



Fuente: Elaboración propia.

Mediante el análisis realizado a la tabla 36 y en base a lo mostrado en la figura 20, se puede indicar que el pavimento flexible es el más adecuado para la avenida los Algarrobos entre los tramos de las avenidas 13 de noviembre y la prolongación Chulucanas, ya que este tipo de pavimento cumple con los requerimientos técnicos estipulados en el manual de carreteras del MTC y a su vez resulta más económico a comparación del pavimento rígido y articulado.

Por lo cual de acuerdo a lo señalado anteriormente se puede indicar que para la zona en estudio resulta más factible construir un pavimento flexible con las siguientes características técnicas:

**Tabla 38**

*Características de construcción del pavimento flexible*

<b>Descripción</b>	<b>Espesores estructurales</b>
Carpeta asfáltica	7.5 cm
Base granular	25 cm
Subbase granular	22.5 cm
<b>Espesor total</b>	<b>55 cm</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Docimasia de hipótesis

**Hipótesis:** Actualmente consideramos que el tipo de pavimento más adecuado es el pavimento rígido. No obstante, al término de la tesis se determinará con mayor precisión que tipo de pavimento será el más adecuado.

De acuerdo a los resultados obtenidos del diseño estructural de los tres tipos de pavimentos y a la evaluación económica realizada, se a podido determinar que el pavimento flexible es el más adecuado para la avenida los Algarrobos, ya que cumple con los criterios técnicos y económicos para su construcción, sin embargo, se debe señalar que el pavimento rígido también es una opción viable de ejecución pero al tener un costo inicial de inversión elevado no a podido ser seleccionado para la zona en estudio.

Finalmente, se señala que la hipótesis planteada no es válida ya que el pavimento flexible es el más adecuado zona en estudio, no obstante se debe precisar que el pavimento rígido es una opción aceptable siempre y cuando se piense en un proyecto vial a largo plazo ya que se tendría menores costos de mantenimiento y mayor tiempo de vida útil del pavimento, en nuestro caso la investigación realizada busca un equilibrio técnico y económico por ello se a elegido el pavimento flexible como una opción viable de ejecución.

## V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En base a la investigación efectuada por Chávez y Ruiz (2021), se concluyó que mediante la aplicación de ensayos de laboratorio orientados a obtener el CBR se puede caracterizar y predecir el comportamiento mecánico de un suelo desde el punto de vista de su resistencia. A sí mismo en mi investigación se ratifica dicha idea, ya que al realizar ensayos de laboratorio a partir de las muestras obtenidas de las exploraciones de campo se puede determinar la capacidad de resistencia de un suelo (CBR).

De acuerdo a los resultados de nuestra investigación se puede indicar que para la aplicación correcta de la metodología AASTHO 93 es necesario realizar un adecuado estudio de tráfico y de mecánica de suelos, ya que estas dos variables resultan fundamentales para obtener los diversos espesores estructurales de un pavimento, de igual forma lo da a conocer Chapoñan y Damián (2021) en su investigación donde a partir de las características del tráfico y del suelo se a podido determinar una estructura optima de pavimento para su zona en estudio.

Según Bazán y Vargas (2020) en su investigación realizada a determinado que un pavimento flexible a nivel de costo inicial de inversión resulta menor que un pavimento rígido, sin embargo, se señaló que si se piensa en un proyecto vial a largo plazo el pavimento rígido resultaría más económico ya que tiene un costo menor de mantenimiento y un periodo de vida útil mayor. En nuestro caso afirmamos lo indicado por los autores ya que nuestra investigación de acuerdo a los resultados obtenidos a determinado que un pavimento flexible tiene un costo de inversión menor que un pavimento rígido, por lo cual este a sido elegido como el pavimento más adecuado para nuestra zona en estudio.

Finalmente podemos indicar que nuestra investigación a sido realizada correctamente ya que los hallazgos encontrados en las diferentes investigaciones señaladas permiten comprobar nuestros resultados.

## CONCLUSIONES

- Al realizar el estudio de mecánica de suelos en la zona de estudio, se pudo determinar que la calicata 1 está conformada en su mayoría por una arena de grano fino (SP), así mismo esta presenta una capacidad de soporte (CBR) de 9.9%, para la calicata 2 la mayor parte de su composición es originada por un arena limosa de grano fino (SM) de donde se obtuvo como resultado un CBR de 10.1%, finalmente en la calicata 3 se determinó que su composición es originada por arenas arcillosas de grano fino (SC) la cual presenta una capacidad de soporte (CBR) de 6.9%, a partir de estos resultados se a determinado que el CBR de diseño para la avenida los Algarrobos es de 8.95%.
  
- Mediante el estudio de tráfico se identificó una carga vehicular actuante de 2,988,208.94 EE (ejes equivalentes) para el pavimento flexible y articulado, mientras que para el pavimento rígido la carga de diseño será 3,329,305.15 EE, así mismo se debe precisar que para ambos casos se estableció un periodo de diseño de 20 años.
  
- Concluimos indicado que bajo la metodología AASTHO 93 y en base de las recomendaciones dadas por las normas técnicas se a podido determinar los siguientes espesores estructurales para cada tipo de pavimento:

**Tabla 39**

*Espesores estructurales de los tres tipos de pavimentos*

<b>Tipo de pavimento</b>	<b>Espesores estructurales</b>
<b>Pavimento flexible</b>	Carpeta asfáltica = 7.5 cm
	Base granular = 25 cm
	Subbase granular = 22.5 cm
<b>Pavimento rígido</b>	Losa de concreto = 20.5 cm
	Subbase granular = 15 cm
<b>Pavimento articulado</b>	Adoquín = 8 cm
	Cama de arena = 4 cm
	Base granular = 30 cm

Fuente: Elaboración propia.

- De la evaluación económica realizada por metro cuadrado se a determino que la estructura del pavimento flexible tiene un costo unitario de S/.120.53 soles, mientras que para el pavimento rígido es de S/.182.51 soles, finalmente se puede señalar que el pavimento articulado tiene un costo de inversión de S/. 190.38 soles.
  
- En nuestra investigación concluimos que el pavimento flexible es el más adecuado para la zona en estudio, ya que se a diseñado teniendo en consideración lo estipulado en las normas técnicas por lo cual se a determinado una estructura optima de 7.5 cm de carpeta asfáltica, 25 cm de base granular y 22.5 cm de subbase granular, así mismo mediante la evaluación económica se a establecido que tiene un costo unitario de construcción de S/.120.53 soles lo que resulta 1.51% más económico que un pavimento rígido y 1.58% más barato que un pavimento articulado. Por lo cual al cumplir las condiciones técnicas y económicas el pavimento flexible es ideal para la avenida los Algarrobos.

## RECOMENDACIONES

- Durante nuestra investigación se a determinado que un pavimento flexible resulta más económico que un pavimento rígido y articulado, sin embargo, se debe señalar que, debido a las condiciones climáticas lluviosas del departamento de Piura, el pavimento rígido es una opción más viable ya que ofrece una infraestructura vial de mayor vida útil y con un menor costo de mantenimiento.
- Se recomienda que para la ejecución de un proyecto de pavimento se deberá realizar un diseño de un sistema pluvial urbano, ya que esto permitirá evacuar correctamente las aguas pluviales durante los periodos lluviosos.
- Se recomienda que el proyecto de pavimentación de la avenida Los Algarrobos sea diseñado con los parámetros y criterios técnicos determinados en nuestra investigación, ya que estos han sido obtenidos a partir de las recomendaciones dadas por el manual de carreteras sección suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Las entidades gubernamentales nacionales, regionales y distritales deben priorizar los proyectos de inversión pública con la finalidad de disminuir la brecha social existente en el sistema vial del país, ya que este en su mayoría es precario e ineficiente.
- Es necesario señalar que para todo proyecto de pavimento resulta fundamental realizar estudios básicos como lo son el estudio de mecánica de suelos y el estudio de tráfico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bahamondes, R. (diciembre de 2013). *Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón*. Obtenido de SCIELO: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-915X2013000300002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000300002)
- Bazan, C., & Vargas, O. (2020). *Diseño estructural de pavimento para mejorar la transitabilidad de las calles las Margaritas, 7 de Julio y Ricardo Palma del barrio 1 en el centro poblado de alto trujillo [Tesis de título profesional, Universidad Privada Antenor Orrego]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7092>
- Bedón, A. (2021). *Diseño de pavimentos aplicando la Metodología AASHTO 93 mediante la programación de un Software Interactivo [Tesis de título profesional, Universidad de San Francisco de Quito]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/11449>
- Cámara nacional del cemento . (2014). *Pavimentos*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/Yoelbin/pavimento-37600329>
- Chapoñan, L., & Damian, G. (2021). *Diseño estructural del pavimento rígido de la avenida D del AA.HH los Algarrobos, Piura 2021 [Tesis de título profesional, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/85793>
- Chavez, J., & Ruiz, D. (2021). *Diseño de la estructura del pavimento flexible, para la construcción de pistas en la calle real del C.P Santa Rosa, distrito de Pueblo Nuevo - Chepén - La Libertad [Tesis de título profesional, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28936>
- Menéndez, J. (diciembre de 2009). *Ingeniería de pavimentos, materiales, diseño y conservación*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/378106092/4-Ingenieria-de-Pavimentos-Materiales-Diseno-Y-Conservacion-Jose-Rafael-Menendez-Acurio-1ra-Edicion#>

Ministerio de transportes y comunicaciones. (09 de abril de 2014). *Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos*. Obtenido de Manuales de Carreteras:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos\\_Manual\\_de\\_Carreteras\\_OK.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf)

Ministerio de transportes y comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Obtenido de Manuales de carreteras:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-06-16%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-06-16%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)

Ministerio de transportes y comunicaciones. (2017). *Ficha Técnica Estándar para Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión de Carreteras Interurbanas*. Obtenido de Plataforma digital única del estado peruano :

<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/345336-ficha-tecnica-estandar-para-formulacion-y-evaluacion-de-proyectos-de-inversion-de-carreteras-interurbanas>

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (13 de enero de 2010). *Norma técnica de edificación C.E.010 pavimentos urbanos*. Obtenido de Plataforma digital única del estado peruano:

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2365614/14%20CE.010%20PAVIMENTOS%20URBANOS%20DS%20N%C2%B0%20010-2010.pdf?v=1636051827>

Ospina, J. (2018). *Diseño estructural de pavimento rígido de las vías urbanas en el municipio del Espinal - Departamento de Tolima [ Tesis de título profesional, Universidad Cooperativa de Colombia]*. Repositorio Institucional. Obtenido de

[https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/7482/1/2019\\_dise%C3%B1o\\_estructural\\_pavimento\\_r%C3%ADgido.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/7482/1/2019_dise%C3%B1o_estructural_pavimento_r%C3%ADgido.pdf)

## ANEXOS