

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Influencia de la aplicación de la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo del Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay-Apurímac- 2023**

Asesor:

Mg. Sc. Maldonado Mendivil, Ángel

Autor:

Cuba Monzón, Lady Aracelly

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay - Apurímac – Perú

2025



# Universidad Tecnológica de los Andes



Transformando vidas  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 029

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de **marzo** día **viernes** del **07** siendo las **05:00** de la **tarde**, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0267-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha **28** de **febrero** del **2025**, de la Escuela Profesional de Facultad de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ing. Morales Holguin, Marco Antonio
Dictaminante:	Ing. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia de la aplicación de la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo del Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay-Apurímac- 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Cuba Monzón, Lady Aracelly

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)


Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
<u>Cuba Monzón, Lady Aracelly</u>	<u>Aprobado</u>

Siendo las **19:00** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Ing. Morales Holguin, Marco Antonio 

Dictaminante: Ing. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo 

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén 

Abancay 07 de marzo del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 336.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# Influencia de la aplicación de la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo del Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay-Apurímac- 2

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	6%
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	3%
3	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://docslide.us">docslide.us</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Politécnica del Perú Trabajo del estudiante	1%
6	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>		
Apellidos y nombres	:	Lady Aracelly Cuba Monzón
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	72553285
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0009-0000-0496-0488">https://orcid.org/0009-0000-0496-0488</a>
<b>Datos del Asesor</b>		
Apellidos y nombres	:	Maldonado Mendivil Ángel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0000-0001-9002-1910">https://orcid.org/0000-0001-9002-1910</a>
<b>Datos de la investigación</b>		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2023-2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	20%
URL de OCDE	:	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01</a>

### **Dedicatoria**

A mis padres, Dina y Alfredo, por ser mi mayor ejemplo de perseverancia y fortaleza. Gracias por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles, por confiar en mí incluso cuando yo dudaba, y por brindarme su amor y apoyo incondicional. Sus enseñanzas me han guiado en cada paso de mi vida, recordándome siempre que nunca debo rendirme. Este logro es tan suyo como mío.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por acompañarme en cada paso, dándome la fuerza y la sabiduría para seguir adelante.

A mi familia, por el apoyo incondicional. Gracias por las palabras de aliento, por los consejos y por nunca dejarme solo en este viaje.

A mis docentes y compañeros, porque más allá de compartir conocimientos, me brindaron su apoyo y compañía en este proceso. Gracias por cada enseñanza, cada conversación y cada gesto que hizo más llevadero este camino.

## Resumen

Esta investigación analiza el impacto de la geomalla TriAx® en el diseño estructural del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el Km 11+400 y el Km 12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay, Apurímac. La incorporación de geomallas en pavimentos flexibles mejora la resistencia del suelo, optimiza la distribución de cargas y disminuye los costos de mantenimiento, prolongando así la vida útil de la infraestructura vial.

El Tipo de investigación es descriptiva, nivel explicativo, Diseño Experimental, Enfoque cuantitativo. El estudio comparó un diseño convencional de pavimento con uno reforzado con geomalla TriAx®. Los resultados evidenciaron que la incorporación de la geomalla permitió una reducción del 49.15% de su base granular, pasando de 295 mm a 150 mm, y del 7.78% en la subbase, disminuyendo de 450 mm a 415 mm, sin afectar el desempeño estructural. Además, el análisis del costo del diseño convencional, estimado en S/ 67.21 por m<sup>2</sup>, se redujo a S/ 35.51 por m<sup>2</sup> con el uso de geomalla, lo que representa un ahorro del 47.16%.

Se concluye que el uso de la geomalla TriAx® mejora la estructura del pavimento al disminuir tanto los espesores como los costos de construcción, asegurando un mejor desempeño a largo plazo gracias al incremento del Número Estructural. Se recomienda evaluar su aplicación en distintas condiciones geotécnicas y climáticas, así como implementar programas de monitoreo para analizar su durabilidad y comportamiento estructural.

**Palabras claves:** geomalla TriAx®, pavimento flexible, CBR, subrasante, resistencia, durabilidad.

## Abstract

This research analyzes the impact of the TriAx® geogrid on the structural design of the flexible pavement in the section between Km 11+400 and Km 12+500 of the bypass road of the city of Abancay, Apurímac. The incorporation of geogrids in flexible pavements improves soil resistance, optimizes load distribution and reduces maintenance costs, thus prolonging the useful life of the road infrastructure.

The type of research is descriptive, explanatory level, Experimental Design, Quantitative Approach. The study compared a conventional pavement design with one reinforced with TriAx® geogrid. The results showed that the incorporation of the geogrid allowed a reduction of 49.15% of its granular base, going from 295 mm to 150 mm, and 7.78% in the subbase, decreasing from 450 mm to 415 mm, without affecting structural performance. Furthermore, the cost analysis of the conventional design, estimated at S/ 67.21 per m<sup>2</sup>, was reduced to S/ 35.51 per m<sup>2</sup> with the use of geogrid, which represents a saving of 47.16%.

It is concluded that the use of TriAx® geogrid improves the pavement structure by reducing both thicknesses and construction costs, ensuring better long-term performance thanks to the increase in the Structural Number. It is recommended to evaluate its application in different geotechnical and climatic conditions, as well as implement monitoring programs to analyze its durability and structural behavior.

**Keywords:** TriAx® geogrid, flexible pavement, CBR, subgrade, strength, durability.

## Índice general

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Acta de sustentación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Reporte de similitud</b> .....	<b>iii</b>
<b>Metadatos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>xv</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xvi</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>17</b>
<b>II. Planteamiento del problema</b> .....	<b>18</b>
2.1 Descripción y formulación del problema.....	18
2.1.1 <i>Problema general</i> .....	20
2.1.2 <i>Problemas específicos</i> .....	20
2.2 Objetivos.....	21
2.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	21
2.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	21
2.3 Justificación e importancia.....	21
2.3.1 <i>Justificación Practica</i> .....	21

2.3.2	<i>Justificación social</i> .....	22
2.3.3	<i>Justificación Teórica</i> .....	22
2.3.4	<i>Justificación Metodológica</i> .....	22
2.4	<i>Hipótesis</i> .....	23
2.4.1	<i>Hipótesis General</i> .....	23
2.4.2	<i>Hipótesis Específicas</i> .....	23
2.5	<i>Variables</i> .....	23
2.5.1	<i>Variable Independiente</i> .....	23
2.5.2	<i>Variable Dependiente</i> .....	23
2.5.3	<i>Cuadro de Operación de variable</i> .....	24
<b>III.</b>	<b>Marco Teórico</b> .....	<b>25</b>
3.1	<i>Antecedentes</i> .....	25
3.1.1	<i>A nivel internacional</i> .....	25
3.1.2	<i>A nivel nacional</i> .....	29
3.1.3	<i>A nivel regional y local</i> .....	32
3.2	<i>Bases teóricas</i> .....	33
3.2.1	<i>Geosintéticos</i> .....	33
3.2.2	<i>Geomalla TriAx®</i> .....	34
3.2.3	<i>Funciones de la geomalla TriAx®</i> .....	35
3.2.4	<i>Beneficios obtenidos con la geomalla TriAx®</i> .....	39
3.2.5	<i>Especificaciones de la geomalla TriAx®</i> .....	41
3.2.6	<i>Estructura del pavimento flexible</i> .....	42

3.2.7	<i>Determinar los espesores de la estructura del pavimento flexible por el diseño del método convencional.....</i>	46
3.2.8	<i>Determinar los espesores de la estructura del pavimento flexible al aplicar la geomalla TriAx®.....</i>	50
<b>IV.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>56</b>
4.1	Tipo y nivel de investigación.....	56
4.1.1	<i>Tipo de investigación.....</i>	56
4.1.2	<i>Nivel o alcance de investigación.....</i>	56
4.2	Ámbito temporal y espacial.....	56
4.2.1	<i>Ámbito temporal.....</i>	56
4.2.2	<i>Espacial.....</i>	57
4.3	Población y muestra.....	57
4.4	Instrumentos.....	57
4.5	Procedimientos.....	58
4.6	Análisis de datos.....	59
4.7	Consideraciones éticas.....	59
<b>V.</b>	<b>Resultados y discusión.....</b>	<b>60</b>
5.1	Introducción.....	60
5.2	Resultados.....	60
5.2.1	<i>Estudios preliminares.....</i>	60
5.2.2	<i>Cálculo del pavimento flexible – método convencional.....</i>	71
5.2.3	<i>Cálculo del pavimento flexible - refuerzo geomalla.....</i>	73
5.2.4	<i>Presentación de los resultados.....</i>	74
5.3	Análisis de Resultados.....	76

5.4	Comparación con Estudios Previos.....	77
5.5	Implicaciones Prácticas.....	79
5.6	Limitaciones del Estudio.....	80
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>82</b>
<b>VII.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>84</b>
<b>VIII.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>86</b>
<b>IX.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>93</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Tabla de operacionalización de variables.....	24
<b>Tabla 2</b> Granulometría en base granular.....	43
<b>Tabla 3</b> Agregado grueso.....	43
<b>Tabla 4</b> Agregado Fino.....	44
<b>Tabla 5</b> Granulométrica para Subbase Granular.....	45
<b>Tabla 6</b> Ensayos especiales.....	45
<b>Tabla 7</b> Categoría de subrasante.....	46
<b>Tabla 8</b> Representación para identificar las técnicas y recolección de muestras.....	58
<b>Tabla 9</b> Estación meteorológica.....	61
<b>Tabla 10</b> Precipitación total mensual.....	61
<b>Tabla 11</b> Temperatura mínima media mensual.....	62
<b>Tabla 12</b> Temperatura máxima media mensual.....	62
<b>Tabla 13</b> Relación de calicatas ejecutadas.....	63
<b>Tabla 14</b> Los equipos de laboratorio.....	63
<b>Tabla 15</b> Ensayos en laboratorio.....	64
<b>Tabla 16</b> Resumen de los ensayos de laboratorio.....	65
<b>Tabla 17</b> Condición estructural del terreno.....	65
<b>Tabla 18</b> Categoría de la sub rasante.....	65
<b>Tabla 19</b> Ubicación de la estación de conteo.....	66
<b>Tabla 20</b> IMD anual (entrada), Ruta PE – 3S – cementerio Puca Puca (Alt. Km 5+200)..	66
<b>Tabla 21</b> IMD anual (salida), Ruta PE – 3S – cementerio Puca Puca (Alt. Km 5+200)....	67
<b>Tabla 22</b> IMD anual (ambos sentidos), Ruta PE – 3S – cementerio Puca Puca (Alt. Km 5+200).....	68

<b>Tabla 23</b> Tramo I: RUTA PE-3S- CEMENTERIO PUCA PUCA (ALT. KM. 5+200).....	70
<b>Tabla 24</b> Parámetros de diseño.....	72

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Geomalla TriAx®.....	34
<b>Figura 2</b> Trabazón de los agregados con la geomalla.....	34
<b>Figura 3</b> Menor esfuerzo en las subrasantes.....	35
<b>Figura 4</b> Distribución de esfuerzos.....	35
<b>Figura 5</b> Reducción del movimiento de tierras y espesor de la capa base.....	36
<b>Figura 6</b> Restricción de desplazamientos laterales y confinamiento de material.....	37
<b>Figura 7</b> Aumento de la capacidad soporte.....	38
<b>Figura 8</b> Efecto membrana.....	39
<b>Figura 9</b> Optimización de pavimento flexible.....	40
<b>Figura 10</b> Especificaciones de producto – geomalla TriAx® TX160.....	41
<b>Figura 11</b> Estructura del pavimento flexible.....	42
<b>Figura 12</b> Estructura del pavimento – método convencional .....	73
<b>Figura 13</b> Ajuste en el Número Estructural con geomalla.....	74
<b>Figura 14</b> Comparativa de la estructura del pavimento .....	75

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia.....	94
<b>Anexo 2</b> Matriz de operacionalización de variables.....	95
<b>Anexo 3</b> Instrumento de recolección de información.....	96
<b>Anexo 4</b> Panel fotográfico.....	108
<b>Anexo 5</b> Planos.....	117

## **I. Introducción**

El uso de geomallas, particularmente la geomalla TriAx®, se ha consolidado como una alternativa eficaz para incrementar la resistencia y prolongar su vida útil en el pavimento flexible. Este tipo de material, elaborado en polipropileno y diseñado con una estructura triangular, permite una mayor rigidez multidireccional, facilitando la distribución uniforme de las cargas vehiculares y disminuyendo la deformación en la superficie de los pavimentos.

El tramo comprende del KM11+400 al KM12+500 ubicada en la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay, resulta relevante evaluar los beneficios de incorporar geomallas TriAx® para el diseño estructural de pavimentos. Esta investigación permitirá determinar si su inclusión mejora aspectos fundamentales como la capacidad portante y la resistencia ante el tránsito constante, además de optimizar las condiciones del terreno y las capas del pavimento.

Diversos estudios han evidenciado que la aplicación de geomallas triaxiales puede contribuir a la reducción de espesores en las capas granulares, disminuyendo los costos de construcción y mantenimiento, al tiempo que incrementa la durabilidad de las estructuras viales. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el impacto del uso de geomalla TriAx® para el diseño de un pavimento flexible en el tramo mencionado, evaluando la influencia en su estabilidad estructural y el rendimiento general de esta vía, acorde a las condiciones del terreno y las exigencias vehiculares presentes durante el año 2023.

## II. Planteamiento del problema

### 2.1 Descripción y formulación del problema

Últimamente, en la construcción de carreteras, se está poniendo mucha atención en encontrar soluciones tecnológicas innovadoras para los problemas que tienen los pavimentos flexibles. Con la construcción de puentes, caminos y carreteras se generará la integración de la población rural y urbana para dar acceso a los servicios y bienes, transporte de productos a los mercados así reduciendo costo de transporte y tiempo de desplazamiento.

El sistema Vial en el Perú se divide en 3 niveles: Red Vial Vecinal (113 857 km) del cual se encarga los gobiernos locales de la ejecución y mantenimiento de dichas vías, Red Vial Departamental está constituido por una longitud de 27 505 km el cual es responsabilidad el Gobierno Regional y la Red Vial Nacional está constituido por 27 109 km que está a cargo el MTC. De acuerdo con los datos del MTC aumentó de 59.90 por ciento en 2012 a 79.10 por ciento en 2018 la Red Vial pavimentada Nacional, es diferente de la Red Vial Departamental el cual cuenta con una longitud total de 3.623 km, alcanzando un 13.20 por ciento de vías pavimentadas en 2018. (ComexPerú, 2020)

Según el estudio realizado con AASHTO en base al inventario de las vías existentes a nivel nacional, se estima que aproximadamente el 20% de los caminos pavimentados sufren daños debido a una falta de capacidad de soporte del suelo y mayor resistencia estructural. Aproximadamente El 80% de las carreteras del mundo no están pavimentadas y, en general, soportan volúmenes de tráfico inferiores a los que fueron diseñados para ellas sin pavimentar y, en general, manejan volúmenes de tráfico menores a los que fueron diseñados para ellos. (Soca, Wulff, Sánchez Fonseca, & Saavedra, 2010).

De acuerdo con el Sistema Vial del país existen varios tipos de superficie de rodadura, las cuales son: adoquines, vías afirmadas, trochas, pavimento flexible, entre otras. El sistema del pavimento flexible muestra deterioro estructural, funcional y superficial con el tiempo ya sea por desgaste, fatiga, fallas en el diseño y proceso constructivo, etc., por lo tanto, debido a los factores antes mencionados el pavimento flexible presenta

deterioros en la superficie, el cual genera problemas al tránsito y a los usuarios, por lo cual será necesario identificar y evaluar los tramos de las vías que presentan deterioros (Rodas Montenegro & Ybarra Chauca, 2018, p.1).

El estado de las vías en nuestro país se encuentra en malas condiciones, de acuerdo con el MTC las vías están en un pésimo estado y conforman el 8vo motivo de accidentes de tránsito que ocurren en el país, de acuerdo con la UNI las pistas que son diseñadas para un periodo de vida útil se conservan en buen estado en un promedio de 03 años (Construyendo camino, 2014).

La mayor parte del pavimento de la Av. Mesones en Chiclayo está a nivel de afirmado con presencia de bajo CBR el cual cuenta con un perfil estratigráfico que contiene arcillas y limos, por lo que cuando comience a transitar los vehículos, la carga se transferirá a través de las llantas hacia las diferentes capas del afirmado, va a generar la consolidación del suelo de fundación que es razón de las dificultades encontradas durante la construcción. (Paredes Guevara, 2018, p.14)

La estructura del pavimento flexible tiende a sufrir daños recurrentes por las fuerzas ejercidas por los vehículos en un corto tiempo, el cual no cumple con su propósito para el cual fue diseñado y requiere un mantenimiento periódico con el cual se incrementa el costo del proyecto (Elaboración propia).

La problemática a la cual se tiene que solucionar en el diseño correspondiente se realizará en el sistema de la estructura del pavimento con un CBR de baja calidad, uno de los métodos para dar solución a esta problemática es la utilización del método convencional el cual consiste en mejorar o cambiar las diferentes capas que componen la vía, con material de calidad que cumpla las características o especificaciones para que soporte las cargas sobre el cual se va ejercer, y otra de las soluciones que se va emplear es la aplicación de suelo reforzado con geomalla TriAx®, por lo que se mejorara el comportamiento y las características de acuerdo a la ubicación en la cual se colocara la geomalla TriAx® y se va tener un mejor comportamiento en la distribución de las fuerzas ejercidas por los vehículos y un mejor confinamiento lateral del afirmado con la cual el

pavimento va a llegar a cumplir con su vida útil para el cual es diseñado, donde se tendrá un menor mantenimiento periódico. (Elaboración propia)

Para el diseño de vías de suelos que se encuentran en la categoría S3, S4 y S5 el cual se registra con una buena calidad de CBR, por lo usual en este tipo de diseños se tiene espesores mínimos por el método convencional y si hacemos la aplicación de geomalla TriAx® en este tipo de suelos solo se tendrá un beneficio, que es tener un mejor desempeño de la vía ante las cargas ejercidas por los vehículos. (Elaboración propia)

El diseño de vías sobre suelos arcillosos y limosos de bajo CBR por lo usual conlleva a tener mayores espesores del pavimento flexible para soportar el tránsito requerido; razón por el cual la solución más adecuada para este tipo de suelos es la utilización de la geomalla TriAx® que probablemente disminuya considerablemente los espesores del pavimento y así mejore también el comportamiento de la vía. (Elaboración propia)

### **2.1.1 Problema general**

¿Como influye la aplicación de la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo del Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2023?

### **2.1.2 Problemas específicos**

- ¿De qué manera los espesores de la aplicación de la geomalla TriAx® influye en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento en la ciudad de Abancay-Apurímac- 2023?
- ¿Como la variación de espesores influye en la aplica en la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2023?
- ¿Como el método convencional influye en la aplicación de la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo del Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay - Apurímac- 2023?

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo General**

- Determinar la influencia de la aplicación de la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo del Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay-Apurímac- 2023.

### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar de qué manera los espesores de la geomalla TriAx® influyen en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento en la ciudad de Abancay-Apurímac - 2023.
- Analizar cómo la variación de espesores en la geomalla TriAx® afecta el comportamiento estructural del pavimento flexible en el tramo Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento en la ciudad de Abancay-Apurímac - 2023.
- Evaluar la influencia del método convencional en comparación con la aplicación de la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay-Apurímac - 2023.

## **2.3 Justificación e importancia**

### **2.3.1 Justificación Practica**

En esta investigación la problemática que se genera en las vías nacionales, regionales y vecinales es el asentamiento lateral por el mal confinamiento de los agregados, menor área de distribución de los esfuerzos ejercidos de los vehículos lo cual conlleva que el pavimento flexible tenga una menor vida útil y un mantenimiento periódico constante. La vía el cual se va a realizar el estudio se encuentra en la Red Vial Nacional el cual tuvo un crecimiento 19.2% de vías pavimentadas en el año 2018.

### **2.3.2 Justificación social**

Estamos investigando cómo la geomalla TriAx® puede ser una buena opción para que los pavimentos flexibles de las carreteras funcionen mejor. Queremos aplicar esto en la vía de evitamiento de Abancay para que los pavimentos resistan más las cargas de los coches y no se deterioren tan rápido

Con este estudio, queremos mejorar el aspecto económico y social, y también cuidar el medio ambiente. Vamos a comparar cómo funciona el diseño tradicional con el empleo de geomalla TriAx® en pavimento flexible. Esto nos ayudará a hacer los pavimentos más delgados, a que las cargas de los coches se distribuyan mejor, y así durarán más tiempo. Además, aceleraremos la construcción y ahorraremos dinero en el proceso.

### **2.3.3 Justificación Teórica**

La geomalla TriAx® tiene una forma geométrica triangular equilátero con ángulos de 60°, la cual distribuye las fuerzas ejercidas por los vehículos en tres direcciones (x, y, z) mediante el cual se genera una mejor trabazón de los agregados, durante el esfuerzo de compresión ejercido por los vehículos que pasan por el pavimento flexible.

Analizando los estudios de suelos del Expediente Técnico “Construcción de la vía de Evitamiento de la Ciudad de Abancay”, el cual tiene un CBR promedio de diseño de 28.1% con categoría se sub-rasante S4 (subrasante muy buena), debido a que el CBR de diseño determinado se encuentra en el rango entre 20% y 30% según lo señalado en el MTC. Por ello con este trabajo de investigación se tendrá los nuevos espesores propuestos con la aplicación de geomalla TriAx®.

### **2.3.4 Justificación Metodológica**

La investigación adopta un enfoque cuantitativo y aplicado, utilizando un método comparativo para analizar el diseño del pavimento adicionando la geomalla TriAx® y otra en pavimento convencional. Se realizarán pruebas de laboratorio, como el ensayo CBR, para evaluar las propiedades de los materiales, y simulaciones computacionales para modelar el desempeño del pavimento bajo diferentes cargas.

Esta metodología permite obtener datos confiables sobre la influencia de la geomalla en la estabilidad, el espesor de capas y su vida útil. Su selección se justifica por la necesidad de comparar y validar la viabilidad técnica y económica del uso de geomallas en el tramo KM11+400 al KM12+500, con resultados aplicables a proyectos similares.

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis General**

- La aplicación de la geomalla TriAx® influencia en el diseño de la estructura del pavimento flexible en el tramo del Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay- Apurímac- 2023.

### **2.4.2 Hipótesis Especificas**

- El espesor de la geomalla TriAx® influye significativamente en la capacidad estructural y el desempeño del pavimento flexible en el tramo Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento en la ciudad de Abancay-Apurímac - 2023.
- La variación de espesores en la aplicación de la geomalla TriAx® modifica las propiedades mecánicas y la estabilidad del pavimento flexible en el tramo Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento en la ciudad de Abancay-Apurímac - 2023.
- El método convencional de diseño estructural del pavimento flexible presenta diferencias significativas en comparación con el uso de la geomalla TriAx® en el tramo Km11+400 al Km12+500 de la vía de evitamiento en la ciudad de Abancay-Apurímac - 2023.

## **2.5 Variables**

### **2.5.1 Variable Independiente**

Aplicación de la geomalla TriAx®.

### **2.5.2 Variable Dependiente**

Espesores de la estructura del pavimento flexible.

### 2.5.3 Cuadro de Operación de variable

**Tabla 1**

Tabla de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
<b>Variable independiente:</b>  Aplicación de la geomalla TriAx®.	La geomalla TriAx® es un material geosintético fabricado a partir de polímeros de alta resistencia, con una estructura triangular que permite una mejor distribución de cargas en suelos y pavimentos. Su uso en pavimentos flexibles contribuye a la reducción de deformaciones, optimización de espesores y aumento de la vida útil de la estructura (Giroud & Han, 2004).	Evalúa la aplicación de geomalla TriAx® en el diseño de pavimento flexible mediante análisis comparativo con y sin su uso. Se consideran parámetros como tipo de geomalla, ubicación dentro de la estructura del pavimento y método de instalación, para medir su impacto en la resistencia estructural y reducción de espesores (Koerner, 2012).	Incorporación de la geomalla TriAx® en el pavimento flexible.	Incremento del CBR	Fichas de recolección de datos.
				Reducción espesores	de Software Spectra pave
<b>Variable dependiente:</b>  Espesores de la estructura del pavimento flexible.	El espesor del pavimento flexible es la suma de las capas estructurales que lo componen, como la subbase, base y carpeta asfáltica. Su determinación depende del tránsito vehicular, Las características de la fundación de suelo y la inclusión de materiales estabilizadores como geomallas y la inclusión de materiales estabilizadores como geomallas (AASHTO, 1993).	Se analizará la variación en los espesores de las capas estructurales del pavimento mediante el diseño con y sin geomalla TriAx®, utilizando el método AASHTO 93 y la metodología mecanicista-empírica, considerando valores de CBR, módulo resiliente y tráfico de diseño (Huang, 2004).	Diseño estructural del pavimento flexible por el método ASSTHO 93.	Valor del CBR	Fichas de recolección de datos.
				Estudio de trafico	Ficha IMD
				Incremento del valor del CBR	Fichas de recolección de datos.
				Espesores	Método ASSTHO 93.

*Nota:* Elaboración Propia

### **III. Marco Teórico**

#### **3.1 Antecedentes**

##### **3.1.1 A nivel internacional**

Andrade y Valle (2023), su tesis titulada “Análisis de eficiencia para la implementación de geomalla tipo: fibra de vidrio en pavimento flexible”, realizada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), analizaron la efectividad de las geomallas de fibra de vidrio como refuerzo en la estructura de pavimentos flexibles. La investigación tuvo como principal objetivo evaluar el impacto de las geomallas en la prevención de fisuras y grietas que se presentan comúnmente debido a variaciones en la rigidez de la base o el tipo de soporte, particularmente en áreas con altas demandas vehiculares e importantes suelos de baja capacidad. Para determinar las propiedades mecánicas de las geomallas y su interacción con los materiales del pavimento, se realizaron pruebas de laboratorio como parte del enfoque experimental del estudio. y su interacción con los materiales del pavimento, se realizaron pruebas de laboratorio como parte del enfoque experimental del estudio. Además, se realizaron simulaciones computacionales para modelar el comportamiento de los pavimentos reforzados bajo condiciones de tráfico pesado y diferentes cargas. Entre los aspectos evaluados se incluyeron la resistencia a la tracción, el control de deformaciones permanentes, y la capacidad de redistribuir las cargas para minimizar los esfuerzos internos. Los resultados revelaron que las geomallas de fibra de vidrio mejoraron significativamente el desempeño estructural del pavimento, permitiendo una distribución más uniforme de las cargas vehiculares y reduciendo la aparición de fisuras en un 40%. Además, se logró una disminución de los costos de mantenimiento a largo plazo y un aumento de vida útil del pavimento del 25%. El estudio también destacó la viabilidad económica de implementar geomallas, especialmente en proyectos donde el presupuesto es limitado y se requiere optimizar la eficiencia de la infraestructura vial.

Esta investigación concluye que las geomallas son una herramienta clave para mejorar la calidad y durabilidad de los pavimentos flexibles, y su uso es especialmente

relevante en zonas con alta carga vehicular y terrenos desafiantes. Este estudio aporta datos relevantes para la implementación de soluciones innovadoras en el diseño de pavimentos en América Latina.

Bermúdez y Álvarez (2020), su tesis titulada “Análisis comparativo del uso de geomallas biaxiales como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles”, realizada en la Universidad Piloto de Colombia, analizaron el impacto del uso de geomallas biaxiales Refuerzo en el diseño y desempeño de pavimentos flexibles en suelos de capacidad relativamente baja. El objetivo principal de la investigación fue evaluar cómo este tipo de tecnología influye en la mejora de la estabilidad, durabilidad y capacidad portante de las vías, comparando estructuras tradicionales con aquellas que integran geomallas en sus capas granulares. La metodología empleada se basó en un enfoque cuantitativo y experimental. Se realizaron ensayos de laboratorio, incluyendo pruebas de resistencia a la tracción, ensayos triaxiales y el ensayo de soporte CBR, para medir el desempeño de los materiales reforzados con geomallas. Adicionalmente, se utilizaron simulaciones computacionales para modelar el comportamiento de los pavimentos bajo diferentes escenarios de carga y condiciones de tráfico, considerando tanto el efecto a corto como a largo plazo. Los resultados de esta investigación revelaron que la inclusión de geomallas biaxiales en las bases granulares permitió mejorar significativamente la distribución de las cargas, reduciendo las deformaciones permanentes hasta en un 35%. También se observó una disminución del espesor de las capas granulares en un promedio del 20%. Además, la vida útil del pavimento se incrementó en más de un 25%, evidenciando la efectividad de las geomallas como solución técnica y económica en proyectos viales. En conclusión, esta tesis enfatiza el uso de geomallas biaxiales como herramienta clave para optimizar el diseño estructural de pavimentos flexibles, particularmente en zonas con suelos problemáticos y alto tráfico automovilístico. Los resultados obtenidos ofrecen una base técnica para futuros proyectos de ingeniería civil en contextos similares.

Alarcón Iturríos (2023), su tesis titulada “Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos flexibles con la implementación de geomallas”, realizada en la

Universidad Autónoma de Sinaloa, analizó el impacto del uso de geomallas como refuerzo en las capas estructurales de pavimentos flexibles, específicamente las capas base y subbase. Este estudio tuvo como objetivo determinar la viabilidad técnica y económica de este tipo de refuerzo, evaluando su capacidad para reducir deformaciones. La metodología empleada incluyó ensayos de laboratorio con la pista cargada de Hamburgo, para simular las condiciones de tráfico pesado y medir las deformaciones permanentes en el pavimento. Adicionalmente, se aplicaron los lineamientos del método AASHTO 93 y el uso del software MacREAD Pavement Design para modelar el comportamiento estructural de diferentes diseños con y sin geomallas. Los resultados indicaron que la utilización de geomallas permitió reducir su espesor de la capa base de 25 cm a 18 cm (reducción del 28%), manteniendo una capacidad portante adecuada para un tránsito proyectado de 20 años y un índice de confiabilidad del 95%. Asimismo, las deformaciones permanentes disminuyeron en un 35%, mejorando la distribución de cargas y reduciendo los esfuerzos en la subrasante. Económicamente, el diseño con geomallas presentó una reducción del 15% en los costos iniciales de construcción y hasta un 20% de costos acumulados de mantenimiento durante su vida útil del pavimento. Además, el uso de geomallas incrementó su resistencia a deformaciones y prolongó su vida útil del pavimento en un 25%, lo que lo convierte en una solución eficiente y sostenible para infraestructuras viales en regiones con alto tráfico y suelos de baja capacidad portante. En conclusión, este estudio destacó la efectividad técnica y económica de las geomallas como refuerzo en pavimentos flexibles, proporcionando datos relevantes para su aplicación en proyectos de infraestructura vial en México y otras regiones con características similares.

Gómez (2021), en su tesis titulada "Implementación de geosintéticos en la ingeniería de pavimentos como medida de estabilización en suelos altamente deformables", realizada en la Universidad Católica de Colombia, evaluó la efectividad de los geosintéticos, específicamente geomallas, como medida de estabilización en pavimentos construidos sobre suelos altamente deformables, predominantemente arcillosos. La metodología utilizada incluyó ensayos de laboratorio para determinar las

propiedades físicas y mecánicas de los suelos deformables, así como simulaciones computacionales para evaluar el impacto del uso de geomallas en la mejora del desempeño estructural del pavimento. Además, se analizaron casos de estudio en vías con alta carga vehicular para observar el comportamiento del refuerzo en condiciones reales. Los resultados mostraron que las gravas, cuando se aplican sobre pavimentos flexibles, mejoran la capacidad portante del suelo, reducen significativamente las deformaciones permanentes y extienden la vida útil del pavimento en un promedio de 30%. De más, optimizando los costos de construcción y mantenimiento, el estudio reveló una reducción de hasta el 20% en los espesores de las capas estructurales. Se concluye que geomallas son una solución técnica y económicamente viable para la construcción de pavimentos flexibles sobre suelos de baja capacidad portante, de manera que las estructuras viales sean más estables y durables.

Elías Alvarado (2022), en su tesis titulada “Propuesta de modificación de la División 300 subbases y bases de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos”, realizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Evaluó cómo mejorar la estabilidad y rendimiento de las capas estructurales de los pavimentos flexibles implica actualizar las especificaciones técnicas mediante la incorporación de geomallas y geotextiles. La metodología utilizada consistió en comparar las especificaciones actuales con estándares internacionales (AASHTO y normas mexicanas), ejecutar simulaciones con software especializado y realizar pruebas de laboratorio como el CBR (California Bearing Ratio) para evaluar la capacidad portante de suelos reforzados con geomallas. Los resultados fueron los siguientes: El uso de geoceldas da como resultado en una reducción del 40% en del CBR en suelos arenosos de baja capacidad, en suelos arenosos de baja capacidad, sin pérdida de estabilidad estructural, el espesor de la subbase se reduce en un 30%, pasando de 30 cm a 21 cm. La duración del pavimento aumenta de 10 años a 12,5 años, un incremento del 25%. Gracias a la optimización de los materiales se redujeron los costes iniciales de construcción en un 15%. Durante el ciclo de vida del pavimento, los costos de mantenimiento se reducirán en un

20%, los costes de mantenimiento disminuirán en un 20%. En conclusión, está investigación apoya el uso de geoceldas y geotextiles como técnicamente viables y económicamente viables. Soluciones rentables para mejorar la capacidad estructural y la durabilidad. Para mejorar la capacidad estructural y durabilidad de pavimentos flexibles en Guatemala. De pavimentos flexibles en Guatemala. Se asegura que la inversión en infraestructura vial será más eficiente debido a la propuesta.

### **3.1.2 A nivel nacional**

Perales & Arce (2020), en su tesis titulada “Aplicación de geomallas biaxiales en el refuerzo de pavimentos para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento flexible de la Avenida César Canevaro, en el distrito de San Juan de Miraflores - Lima”, realizada en Perú, Objetivo evaluar la influencia de las geomallas biaxiales en la capacidad estructural de pavimentos flexibles mediante ensayos de laboratorio y análisis de campo con suelos de relativamente baja capacidad. La metodología que se utilizó tuvo un enfoque cuantitativo, un alcance descriptivo, enfoque y, alcance descriptivo y diseño experimental, la capacidad portante del pavimento y una reducción en las deformaciones permanentes fueron mostradas por los resultados. La investigación demuestra que las geoceldas pueden optimizar el diseño del pavimento y extender su vida útil. Esta La tesis es pertinente al presente estudio porque apoya la efectividad de las geomallas .la efectividad de las geomallas en el diseño estructural de pavimentos flexibles en suelos significativamente baja. Diseño estructural de pavimentos flexibles en suelos de capacidad significativamente baja.

Ruiz Gómez (2022), en su tesis titulada “Análisis comparativo del uso de geomallas biaxiales como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles”, realizada en la Universidad César Vallejo, evaluó el impacto técnico y económico del uso de geomallas biaxiales en la mejora del desempeño estructural de pavimentos flexibles. El estudio se centró en analizar cómo la incorporación de geomallas en la subrasante contribuye a incrementar la capacidad portante, optimizar los espesores de las capas estructurales y reducir los costos de construcción y mantenimiento. La metodología empleada incluyó el diseño de dos

alternativas de pavimento: una convencional y otra reforzada con geomallas biaxiales. Para ello, se utilizaron las directrices del Método AASHTO 93 y las normas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Los diseños fueron sometidos a análisis de carga y simulaciones de tráfico pesado, con una proyección de vida útil de 20 años, para evaluar su comportamiento bajo condiciones reales de servicio. Los resultados arrojaron que el uso de geomallas biaxiales permitió reducir el espesor de la capa base en un 30%, pasando de 25 cm a 17.5 cm, y el espesor de la subbase en un 20%, de 40 cm a 32 cm, sin comprometer la capacidad portante del pavimento. Además, se observó un incremento del 35% en la resistencia a la deformación permanente, mejorando significativamente la distribución de las cargas y reduciendo los esfuerzos sobre la subrasante. Económicamente, el diseño con geomallas mostró una reducción del 18% en los costos iniciales de construcción y hasta un 25% en los costos acumulados de mantenimiento durante la vida útil del pavimento. Esto se traduce en una solución viable y sostenible para proyectos viales, especialmente en regiones con suelos de baja capacidad portante y alta demanda de tráfico. En conclusión, este estudio destaca la eficacia técnica y económica del uso de geomallas biaxiales en pavimentos flexibles, proporcionando una alternativa eficiente para mejorar la durabilidad y reducir los costos asociados a la infraestructura vial.

Mandujano (2020), en su tesis titulada "Uso de geomallas biaxiales en pavimento flexible para alargar vida útil en suelos de la asociación Nuevo Amanecer, Lima 2019", realizada en la Universidad César Vallejo, evaluó cómo la estabilización de suelos blandos mediante la incorporación de geomallas biaxiales contribuye a mejorar el desempeño estructural y la vida útil de los pavimentos flexibles. El estudio se centró en zonas con suelos de baja capacidad portante, como la asociación Nuevo Amanecer, en Lima, donde las condiciones del terreno representan un desafío significativo para la construcción de infraestructura vial duradera. La metodología incluyó un enfoque experimental, realizando diseños comparativos de pavimentos con y sin geomallas biaxiales. Se aplicaron ensayos de laboratorio como el CBR (California Bearing Ratio) y pruebas triaxiales para determinar la capacidad de soporte del suelo, así como simulaciones para analizar la distribución de

cargas y la resistencia a la deformación. Los parámetros evaluados incluyeron la reducción de espesores de las capas estructurales, la resistencia a las cargas vehiculares y la durabilidad del pavimento. Los resultados demostraron que la incorporación de geomallas biaxiales permitió reducir hasta un 25% los espesores de las capas de base y subbase, mejorando al mismo tiempo la resistencia del pavimento frente a cargas cíclicas. Esto se tradujo en un incremento del 30% en la vida útil estimada del pavimento y una reducción significativa en los costos de mantenimiento a largo plazo. Además, se evidenció una mejora en la distribución de las cargas vehiculares, reduciendo el impacto sobre la subrasante y prolongando su capacidad portante. En conclusión, esta investigación respalda la aplicación de geomallas biaxiales como una solución técnica y económicamente viable para optimizar la estructura de pavimentos flexibles en suelos de baja resistencia, asegurando mayor durabilidad y eficiencia en la inversión de infraestructura vial.

Buitrón Julca y Castañeda Loyola (2021), en su tesis titulada “Análisis técnico-económico aplicando geomalla triaxial en el diseño del pavimento flexible en la avenida 11 de enero entre la avenida Grau, Ancón 2020”, realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería, evaluaron el impacto de la incorporación de geomallas triaxiales TX-160 en el diseño de pavimentos flexibles en suelos con baja capacidad portante. La metodología se basó en la comparación de dos diseños: Un diseño convencional de pavimento flexible, siguiendo las especificaciones tradicionales. Un diseño optimizado mediante la implementación de geomallas triaxiales. Para ello, se aplicaron ensayos de laboratorio como el CBR (California Bearing Ratio) para evaluar la capacidad de soporte del suelo, así como simulaciones y cálculos estructurales bajo los lineamientos de la metodología AASHTO 93.

Los resultados mostraron que: La capacidad portante del suelo mejoró en un 40%, lo que permitió optimizar las capas estructurales del pavimento. Se logró una reducción del 30% en el espesor de la subbase, disminuyendo de 30 cm a 21 cm. Los costos iniciales de

construcción se redujeron en un 15%, gracias a la disminución en el volumen de materiales necesarios. El diseño con geomallas incrementó la vida útil del pavimento en un 25%, pasando de 10 años a 12.5 años. Los costos de mantenimiento se redujeron en un 20%, debido a la mejora en la distribución de cargas y la resistencia a las deformaciones. En conclusión, esta investigación demostró que la incorporación de geomallas triaxiales en el diseño de pavimentos flexibles no solo mejora el desempeño técnico del pavimento, sino que también optimiza los costos y prolonga la durabilidad de la infraestructura vial, lo que lo convierte en una solución viable y eficiente para zonas con suelos de baja resistencia.

Chalco Alfaro, Yudith Noemi (2022), en su tesis titulada “Análisis comparativo entre un pavimento flexible y un pavimento con geomallas multiaxiales Triax TX130S, carretera Panamericana Norte, tramo: km 499+000 al 503+000, distrito Chao, Trujillo, departamento La Libertad 2022”, Realizado en la Universidad Privada del Norte, se evaluó la eficacia del uso de geomallas multiaxiales Triax TX130S en el diseño de pavimentos flexibles en suelos de capacidad relativamente baja. Se utiliza para ambos diseños para determinar los espesores de las capas del pavimento. Manteniendo la capacidad estructural requerida, la incorporación de geomalla permitió una reducción del 30 % en el espesor de la subbase, de 30 cm a 21 cm. Como resultado de reducida en un 30%, pasando de 30 cm a 21 cm, gracias a la incorporación de geomalla, aunque la capacidad estructural requerida se mantuvo igual. Ahorro Ahorros: mediante la implementación de geomalla se logró una disminución del 15% en los costos iniciales de construcción y una reducción del 20% en los costos de mantenimiento durante el ciclo de vida del pavimento. Pensamientos: Se descubrió en la investigación que utilizar geomallas multiaxiales Triax TX130S en pavimentos flexibles es una opción técnica y rentable para mejorar el rendimiento estructural y la durabilidad de las vías en suelos con baja capacidad significativa.

### **3.1.3 A nivel regional y local**

A nivel regional o local, existe una falta de investigaciones o publicaciones previas sobre el método convencional y la aplicación de la geomalla TriAx® al pavimento flexible para determinar las diferencias de pendiente de diseño.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Geosintéticos**

De acuerdo con el libro de Manual de Diseño con Geosintéticos (Pavco), los geosintéticos son definidos como un producto que se presenta como un filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, y está utilizado en contacto con el suelo u otros materiales en el campo de la geotecnia o la ingeniería civil. (Geosistemas Pavco de Maxichem, 2009, p.5)

La experiencia internacional con los geosintéticos hasta ahora ha mostrado cómo estos materiales se comportan frente a sustancias dañinas y su resistencia física. Esto ha llevado a que los geosintéticos puedan usarse para diferentes propósitos. Por ejemplo, los geotextiles tienen la tarea específica de drenar y evitar la contaminación; En el ámbito de las geomallas se encuentra la función específica de armado o refuerzo del terreno, la explanada o los pavimentos; en el campo de las geomembranas se encuentra la función de impermeabilización o protección. (Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos., 2013, p.125)

Los materiales que se usen tienen que cumplir con ciertos estándares mínimos establecidos por las normas peruanas del INDECOPI o del MTC. Si no hay normas locales, se seguirán las normas internacionales. Además, la forma en que se instalan y ejecutan debe seguir las reglas técnicas generales del MTC para la construcción de carreteras, que son las que están vigentes ahora. (Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos., 2013, p.131)

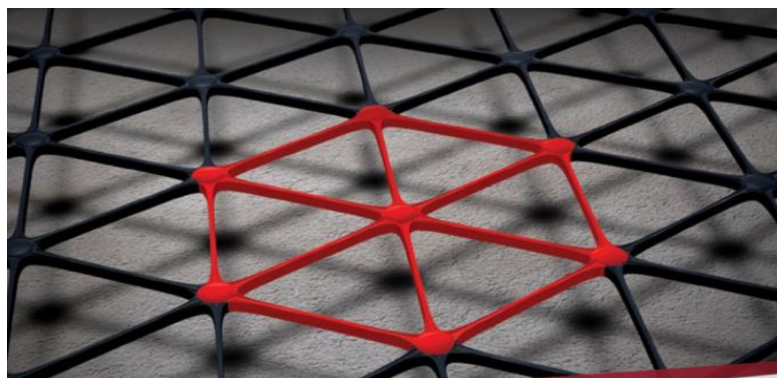
Los geosintéticos ayudan a mantener separados los materiales de la carretera y el suelo debajo, evitando que se mezclen. Esto es importante porque incluso en suelos que parecen fuertes, las partículas finas pueden moverse. También permiten que el agua pase sin llevarse los sólidos, lo que es útil en suelos muy húmedos. Además, los geosintéticos refuerzan la carretera al reducir las tensiones y mejorar su capacidad para soportar cargas con el tiempo (Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos., 2013, p.126).

### 3.2.2 Geomalla TriAx®

La geomalla TriAx® es fabricada a partir de polipropileno (geosintéticos), geometría triangular con uniones hexagonales el cual provee una mayor resistencia y rigidez al contacto con materiales pétreos, La geomalla TriAx® tiene la tarea principal de distribuir las cargas de manera tridimensional en todas las capas del material, lo que ayuda a que funcione muy bien como refuerzo en una capa estabilizada mecánicamente. Además, está diseñada para ser mejor que las geomallas Tensar BX al distribuir mejor las cargas radiales. (Tensar International Corporation, 2013, p.4).

#### Figura 1

*Geomalla TriAx®*



Nota: Tensar International Corporation

#### Figura 2

*Trabazón de los agregados con la geomalla*

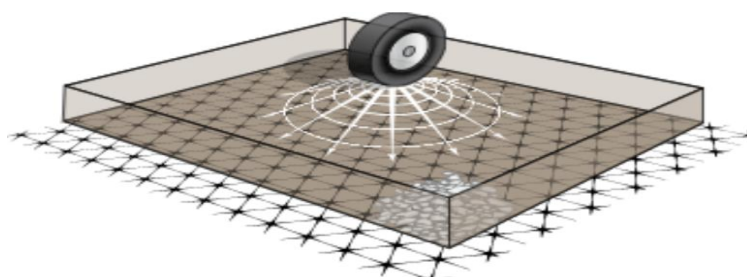


Nota: Tensar International Corporation

Por lo tanto, las geomallas TriAx® están compuestas por polímeros de tipo polietileno y polipropileno el cual tiene como ventajas principales un bajo costo y una actividad química nula ante el medio ambiente, creando un material de suelo reforzado mediante la trabazón de los agregados con la geomalla y su distribución de carga de compresión en forma radial (x, y, z).

### Figura 3

*Menor esfuerzo en las subrasantes*



Nota: Tensar International Corporation

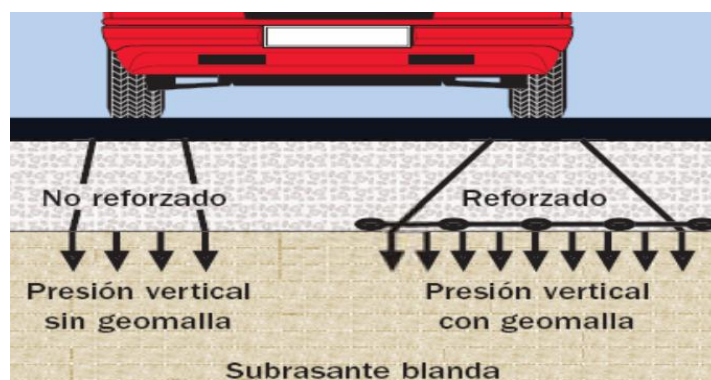
### 3.2.3 Funciones de la geomalla TriAx®

#### 3.2.3.1 Distribución de esfuerzos

La geomalla TriAx® tiene la capacidad de distribuir de mejor manera los esfuerzos que ejercen los vehículos en el sistema del pavimento flexible.

### Figura 4

*Distribución de esfuerzos*



Nota: Torres, E. A. (2006).

Esta función de refuerzo se cumple por la razón que se tiene una mejor interacción de suelo y geomalla TriAx® por el cual las fuerzas puntuales ejercidas por los vehículos se distribuyen en mayor área de manera uniforme.

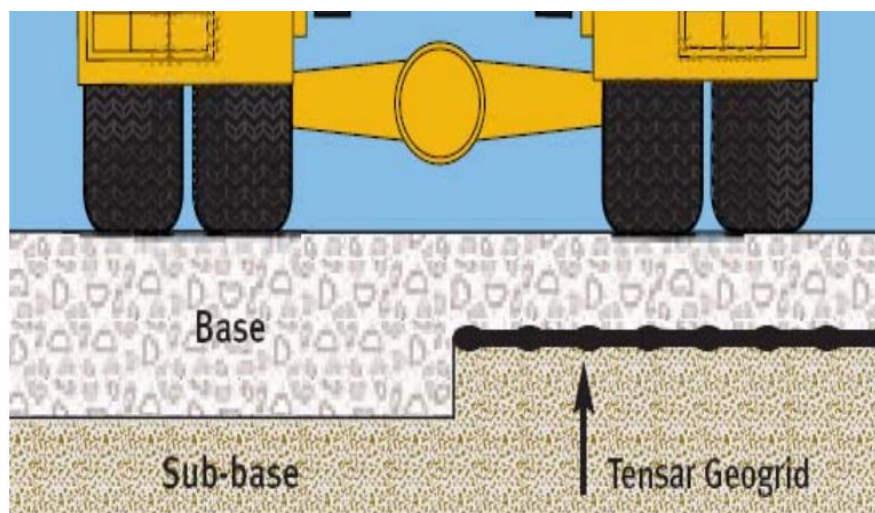
### 3.2.3.2 Reducción de las capas

Con frecuencia, los pavimentos flexibles fallan prematuramente debido a que el material de la capa base se desplaza hacia los lados donde rozan los neumáticos, dando lugar a la formación de grietas, fallar prematuramente debido a que el material de la capa base se mueve hacia los lados donde rozan los neumáticos, lo que provoca la formación de grietas. Por lo tanto, el material se desplaza del lugar más requerido para soportar el tráfico, lo cual resulta en daños a la superficie del pavimento.

Se ha comprobado que la geomalla TriAx®, cuando se utiliza, aumenta significativamente la capacidad de soporte, contribuye a reducir las capas de base y una duración del pavimento flexible. (Torres, 2006, p.41)

#### Figura 5

*Reducción del movimiento de tierras y espesor de la capa base*



Nota: Torres, E. A. (2006).

En la imagen, se comparan las capas de un pavimento flexible diseñado de manera tradicional con otro que utiliza geomalla TriAx®. Se nota que las capas son más delgadas

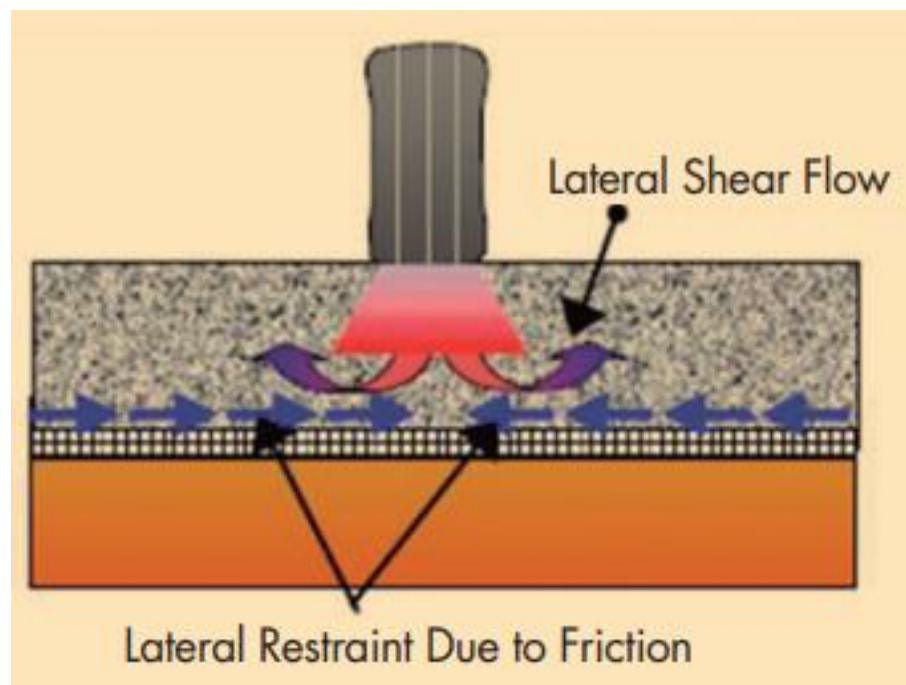
en el pavimento reforzado. Esto sucede porque la geomalla TriAx® mejora cómo funciona la estructura y la refuerza, permitiendo que soporte las cargas de los vehículos de una manera más eficiente.

### 3.2.3.3 Restricción al desplazamiento lateral

La incorporación de geomalla TriAx® limita el desplazamiento de material granular del material bajo la aplicación de cargas, por lo que habrá menos deformaciones en la subbase, lo que es una buena noticia porque implica mayor capacidad de soporte y distribución de energía. Por lo tanto, las capas se utilizan constantemente bajo compresión, esto que provoca un incremento en el módulo de rigidez. Como resultado, habrá menos deformación en la subbase, lo que es una buena noticia porque significa mayor capacidad de soporte y distribución de energía. (Torres, 2006, p.43)

#### Figura 6

*Restricción de desplazamientos laterales y confinamiento de material*



Nota: Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos

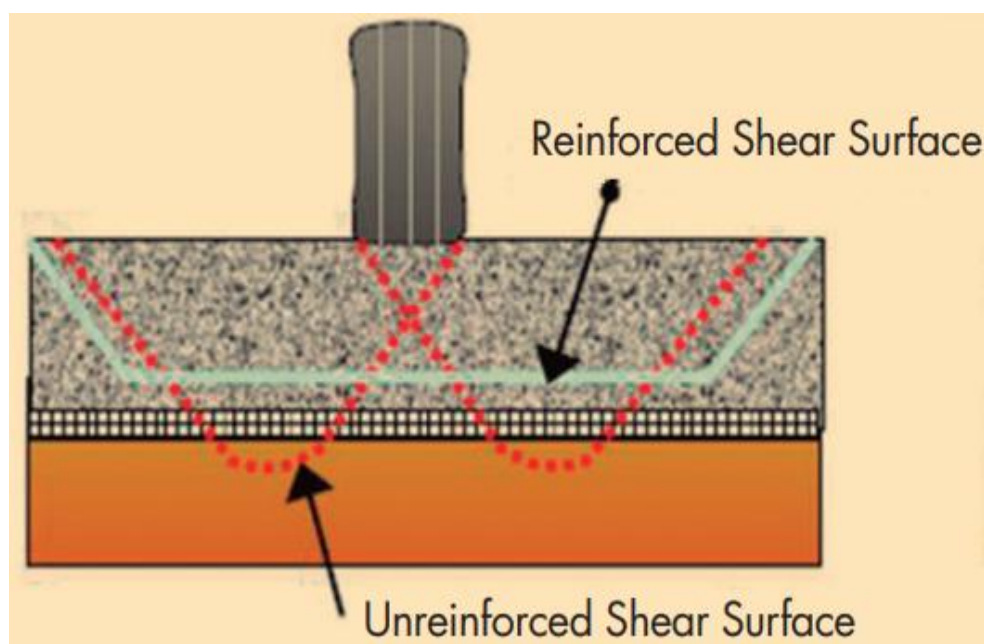
Esta función se logra teniendo un plano de confinamiento uniforme debajo de las diferentes capas del pavimento flexible el cual se da por la interacción del suelo y geomalla TriAx® ante las fuerzas ejercidas por los vehículos.

#### 3.2.3.4 Mejora la capacidad soporte

En consecuencia, el segundo mecanismo implica el desplazamiento hacia arriba desde la superficie superior de las capas dañadas del pavimento flexible, “la geomalla actúa como una barrera que controla la superficie inferior del fluido involucrado, confinándolo completamente a la capa base granular, que ofrece mayor resistencia que la subrasante. (Torres, 2006, p.50)

#### Figura 7

*Aumento de la capacidad soporte*



Nota: Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos

Esta función se logrará con la incorporación de geomalla TriAx® con la cual se logrará un mejor comportamiento y distribución de los esfuerzos ejercidos en mayor área con la cual se mejoraría la capacidad soporte de la subrasante.

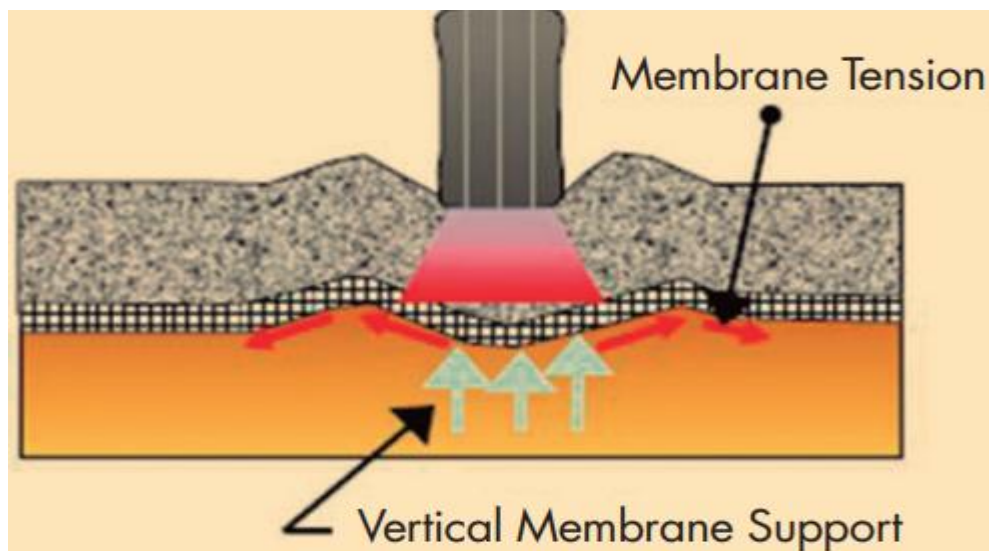
### 3.2.3.5 Efecto de membrana tensionada

Según Torres (2006) "Esta capacidad de distribución vertical de esfuerzo resultante de la tensión de una membrana deformada se fundamenta en el mejoramiento de este efecto." (p.51)

Si no se tiene la aplicación de la geomalla TriAx® como consecuencia se tiende a que el pavimento tienda a sufrir en el menor tiempo de vida útil diseñada.

### Figura 8

*Efecto membrana*



Nota: Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos

### 3.2.4 Beneficios obtenidos con la geomalla TriAx®

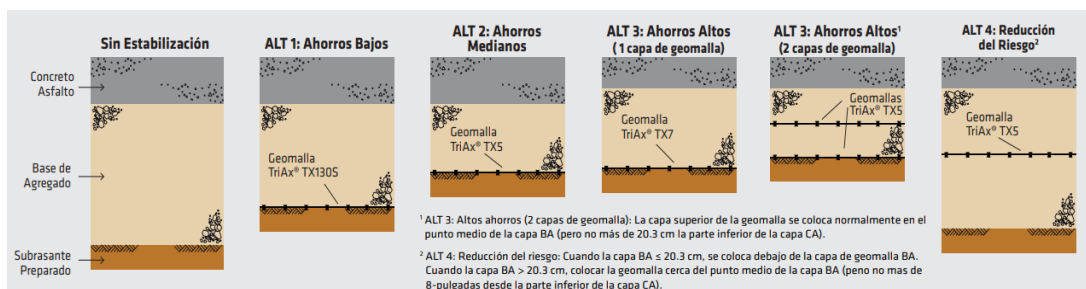
#### 3.2.4.1 Optimización de los pavimentos

Por más frecuencia, el desplazamiento lateral y la debilitación de la capa base granular provocan la falla prematura de los pavimentos. Sin embargo, el geogrip TriAx® mejora la rigidez de carreteras, estacionamientos, pistas de aeropuertos, áreas de manipulación de aeronaves y otras estructuras que soportan el tráfico vehicular, lo que genera un mejor rendimiento. Al optimizar el Rendimiento de las secciones cortadas, tramos El mantenimiento general se reducen los costes globales de mantenimiento y rehabilitación, tanto de pavimentos flexibles como rígidos, alargando su vida útil y se

reducen los costes de rehabilitación, tanto de pavimentos flexibles como rígidos, alargando su vida útil. (Tensar International Corporation, 2013, p.6).

## Figura 9

### Optimización de pavimento flexible



Nota: Tensar International Corporation

La capacidad de soportar las mismas cargas de diseño (ESAL) que fueron cargas Diseñado para (ESAL) que fueron diseñadas para la estructura del pavimento, lo cual es resultado de los diferentes espesores de las capas del pavimento, es uno de los beneficios que se pueden obtener al incluir la geomalla TriAx®.

#### 3.2.4.2 Estabilización de las subrasantes

En la construcción de caminos de uso pesado, estacionamientos y otras superficies sin pavimentar, las subrasantes débiles son un problema común. solución eficaz para el desgaste de la capa granular y la reducción del estrés del subsuelo, la capacidad de carga conduce a un acceso más fácil a los sitios de trabajo, menores costos iniciales y costos de mantenimiento futuros que se reducen significativamente. Solución eficaz para el endurecimiento de la capa granular y la reducción de tensiones del subsuelo. Se mejora la capacidad, se facilita el acceso a los lugares de trabajo y se reducen significativamente los costos de mantenimiento iniciales y futuros. (Tensar International Corporation, 2013, p.6).

Este beneficio se logrará con la incorporación de suelo reforzado con geomalla TriAx® el cual va a admitir mayores cargas ejercidas por los neumáticos, por lo tanto, se va a generar un aumento significativo del (ESAL'S) que soportara el pavimento flexible.

### 3.2.5 Especificaciones de la geomalla TriAx®

Figura 10

Especificaciones de producto – geomalla TriAx® TX160

**Tensar.** THE COMPANY YOU CAN BUILD ON®

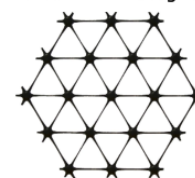
#### Especificación de Producto – Geomalla TriAx® TX160

*Tensar International Corporation se reserva el derecho de cambiar las especificaciones de su producto en cualquier momento. Es responsabilidad de la persona que especifica el uso de este producto, y del comprador, asegurarse que las especificaciones del mismo se incluyen para propósitos de diseño y son actualizadas, y que el producto es adecuado para el uso que se pretende en cada caso.*

##### General

- La geomalla es fabricada de una lámina perforada de polipropileno, la cual es orientada en tres direcciones equilaterales de tal forma que las costillas resultantes tendrán un alto grado de dirección molecular, la cual continúa al menos en parte a través de la masa del nodo o unión integral.
- Las propiedades que contribuyen al desempeño de una capa mecánicamente estabilizada incluye lo siguiente:

##### Tensar TriAx® Geogrid



Propiedades Índice	Longitudinal	Diagonal	Transversal	General
<ul style="list-style-type: none"> <li>Distancia entre costillas paralelas<sup>(2)</sup>, mm (pulg)</li> <li>Profundidad a mitad de costilla<sup>(2)</sup>, mm (pulg)</li> <li>Ancho a mitad de costilla<sup>(2)</sup>, mm (pulg)</li> <li>Forma de costilla</li> <li>Forma de apertura</li> </ul>	40 (1.60)	40 (1.60)	1.4 (0.06)	
	-	1.6 (0.06)	1.2 (0.05)	
	-	1.0 (0.04)		rectangular triangular
<b>Integridad Estructural</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Eficiencia en unión<sup>(3)</sup>, %</li> <li>Estabilidad de apertura<sup>(4)</sup>, kg-cm/grad @ 5.0kg-cm<sup>(2)</sup></li> <li>Rigidez radial a baja deformación<sup>(5)</sup>, kN/m @ 0.5% deformación</li> </ul>				93 3.6 300
		(lb/ft @ 0.5% deformación)		(20,580)
<b>Durabilidad</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia a degradación química<sup>(6)</sup></li> <li>Resistencia a luz ultravioleta e intemperismo<sup>(7)</sup></li> </ul>				100% 100%

##### Dimensiones y Despacho

La geomalla TX será entregada en el sitio de la obra en forma de rollo y cada rollo identificado individualmente y midiendo 3.0 metros (9.8 pies) y/o 4.0 metros (13.1 pies) de ancho y 75 metros (246 pies) de largo.

##### Notas

- A menos que se muestre diferente, los valores mostrados son valores mínimos promedio del rollo determinados de acuerdo con la norma ASTM D4759-02. Breves descripciones de los procedimientos de las pruebas se dan en las siguientes notas.
- Dimensiones nominales.
- Capacidad de transferencia de carga determinada según la norma GRI-GG2-87 y GRI-GG1-87 y es expresada como porcentaje de la resistencia última a tensión.
- Rigidez torsional en su plano es medida aplicando un momento a la unión central de una muestra de 225mm x 225mm fijada en su perímetro según la norma GRI-GG9 modificada.
- Rigidez radial es determinada de la rigidez a tensión medida en cualquier eje de su plano en una prueba según la norma ASTM D6637-10.
- Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando se somete a ambientes químicamente agresivos según la norma EPA 9090, prueba de inmersión.
- Resistencia a pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando se somete a 500 horas de luz ultravioleta e intemperismo agresivo según la norma ASTM D4355-05.

Tensar International Corporation  
2500 Northwinds Pkwy., Suite 500  
Alpharetta, Georgia 30009  
Tel: 770-344-2090  
www.tensar-international.com

Esta especificación reemplaza cualquier especificación previa para el producto designado arriba y no es aplicable a ningún producto despachado antes de Febrero 1, 2011. Tensar y TriAx son marcas registradas de Tensar International Corporation o sus afiliados en los EE.UU. y otros países. La geomalla TriAx® y por lo tanto su uso está protegida por la patente americana No. 7,001,112. Otras patentes o aplicaciones de patentes existen también en otros países. La determinación final de la idoneidad de la información o producto mencionados arriba para el uso contemplado, y su forma de uso son entera responsabilidad del usuario. Tensar International Corporation se exime de cualquier garantía expresa, implícita o legal, incluyendo pero no limitada a cualquier garantía de comerciabilidad o aptitud para un propósito particular referente a este producto u otros productos, tecnologías o servicios de la empresa. La información contenida aquí no constituye asesoramiento de ingeniería.

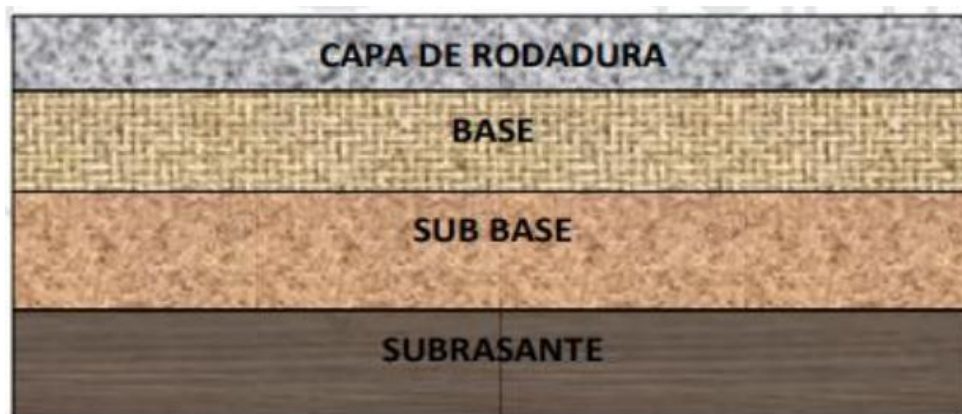
Nota: Tensar International Corporation

### 3.2.6 Estructura del pavimento flexible

Según el Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos de 2013, el pavimento flexible se define como una estructura que se compone de capas granulares (subbase, base) y una carpeta que se constituye de materiales bituminosos como aglomerantes, agregados o incluso casos. Se considera principalmente como una varilla de asfalto que cubre capas granulares: mortero asfáltico, existen diversas formas de mejorar los pavimentos, como el tratamiento superficial bicapa, el micropavimento, el macadán asfáltico y las mezclas asfálticas en caliente y en frío. El Manual de Carreteras explica estos métodos en detalle, cubriendo temas como suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

#### Figura 11

*Estructura del pavimento flexible*



Nota: MTC 2014

#### 3.2.6.1 Capa de rodadura

La capa superficial de la carretera se define como "la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de hormigón cemento Portland (rígido) adoquinado, cuya función es soportar directamente el tráfico". (Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos., 2013, p.24)

### 3.2.6.2 Base

El soporte, distribución y transmisión de las cargas causadas por el tráfico son las principales funciones de la capa que está justo debajo de la capa de rodadura. La capa debe estar compuesta de material granular que drene bien (con un CBR de al menos 80%) o tratado con asfalto, grava o cemento. Además, debe cumplir con todos los requisitos especificados en el (Manual de Carreteras, que cubre suelos, geología, geotecnia y pavimentos, publicado en 2013).

**Tabla 2**

*Granulometría en base granular*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N°4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N°10)	15 - 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N°40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N°200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Nota:(Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG- 2013).

**Agregado grueso:** Este tipo de material se clasifica según los m.s.n.m. en el cual se encontrará el proyecto.

**Tabla 3**

*Agregado grueso*

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	< Menor de 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821	-.-	80% min	80% min
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821	-.-	40% min	50% min
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx	40% máx
Partículas chatas y alargadas (1)		D 4791	-.-	15% máx	15% máx
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888	-.-	0.5% máx	0.5% máx
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	-.-	18% máx

Nota: (Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG- 2013)

**Agregado fino:** Este tipo de material se clasifica según los m.s.n.m. en el cual se encontrará el proyecto.

**Tabla 4**

*Agregado Fino*

Ensayo	Norma	Requerimientos altitud	
		< 3000 m.s.n.m.	> 3000 m.s.n.m.
Índice plástico	MTC E 111	4% máx	2% máx
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín	45% mín
Sales solubles	MTC E 219	0.55% máx	0.5% máx
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	--- ---	15% mín

Nota: (Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG- 2013)

### 3.2.6.3 Subbase.

Esta capa es de un material especial y tiene un grosor específico para apoyar la base y la superficie del pavimento. Además, ayuda a drenar el agua y a controlar cómo se mueve por la capa. Sin embargo, en algunos pavimentos, esta capa puede omitirse según su diseño. Material granular ( $CBR \geq 40\%$ ) o asfalto, cal o cemento pueden formar parte de esta capa. (Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos., 2013, p.24.

Que el material que va a ser empleado en el presente estudio tiene que cumplir los siguientes requisitos establecidos por los requerimientos granulométricos en la siguiente tabla donde se detalla la granulometría del material para a emplearse.

**Tabla 5***Granulométrica para Subbase Granular*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N°4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N°10)	15 - 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N°40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N°200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Nota: (Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG- 2013)

El material para el mejoramiento de la subbase granular de la estructura del pavimento flexible deberá cumplir los siguientes requisitos que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 6***Ensayos especiales*

Ensayo	Norma	Norma	Norma	< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
	MTC	ASTM	AASHTO		
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50% máx	50% máx
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40% min	40% min
Límite líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx	25% máx
Índice de plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	6% máx	4% máx
Equivalente de arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% min	35% min
Sales solubles	MTC E 219			1% máx	1% máx
Partículas chatas y alargadas (2)	MTC E 211	D 4791		20% máx	20% máx

Nota: (Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG- 2013)

### 3.2.6.4 Subrasante.

La subrasante es el segmento de una carretera bajo tierra que sostiene el pavimento. La que está ubicada esta parte protegida de las cargas de diseño que coinciden con el tráfico esperado. La capacidad del pavimento para soportar cargas determina el ancho de toda su estructura. (Torres, 2006, PP 1-2)

Según el (Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos., 2013), "Una vez establecido el valor del CBR de diseño, se clasificará a qué categoría de subrasante pertenece a cada sector o subtramo, para cada sector con características homogénea" (p.40), de acuerdo con lo siguiente:

**Tabla 7**

*Categoría de subrasante*

CATEGORÍAS DE SUB RASANTE	CBR
S <sub>0</sub> : Sub-Rasante Inadecuada	CBR <3%
S <sub>1</sub> : Sub-Rasante Insuficiente	3% ≤ CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub-Rasante Regular	6% ≤ CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub-Rasante Buena	10% ≤ CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Sub-Rasante Muy Buena	20% ≤ CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Sub-Rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota: (Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG- 2013)

### 3.2.7 Determinar los espesores de la estructura del pavimento flexible por el diseño del método convencional

#### Método AASHTO 1993

El diseño de pavimentos depende principalmente de dos cosas: las cargas que los vehículos ponen sobre el pavimento y las características del suelo debajo. Estos factores ayudan a decidir cuánto grosor necesitan las capas del pavimento para que sean fuertes y duraderas. (Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013, p.152)

### 3.2.7.1 Diseño del método AASHTO

Para realizar los cálculos correspondientes de los diferentes espesores, se desarrolló este método de diseño basado en modelos matemáticos, tomando en cuenta los esfuerzos ejercidos por los vehículos, la performance del pavimento y la resistencia de la sub rasante.

Según AASHTO (1993) para el procedimiento y cálculo del diseño se requiere los siguientes datos establecidos los cuales son:

#### 3.2.7.1.1 Periodo de diseño

Para la definición del plazo de diseño del pavimento se considerarán el estudio de tráfico (volumen de tráfico) y las condiciones específicas del proyecto, que oscilarán entre 10 y 20 años.

#### 3.2.7.1.2 Variables

Se muestra a continuación para realizar el cálculo correspondiente de las diferentes capas del pavimento flexible.

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

#### Número de ejes simples equivalentes (W18)

Para determinar el tráfico vial correspondiente se requiere hacer el conteo vehicular IMDA del área de influencia según los ramales que existen, definir el factor dirección y carril con el cual se va a llegar a determinar el ESAL'S de diseño para el pavimento flexible.

#### Módulo de resiliencia (MR)

El cálculo correspondiente del MR se realizará de las diferentes capas que compone el pavimento. Para el cálculo del MR se tendrá un factor importante que es el (CBR) con la cual se verificara si la superficie es la adecuada para soportar la estructura del pavimento, a fin de que el cálculo correspondiente del MR se utilizara la siguiente ecuación recomendada por la AASTHO-93.

$$\circ \quad Mr \text{ (psi)} = 2555 \times CBR^{0.64}$$

Para el correspondiente cálculo del MR de la sub base granular se tendrá en cuenta la ubicación de la cantera el cual tendrá un CBR específico y teniendo que cumplir las especificaciones establecidas según el Manual de Carreteras (2013) donde la “capa puede ser de material granular ( $\text{CBR} \geq 40\%$ ) o tratada artificialmente”. (p.24)

Para el correspondiente cálculo del MR de la base se tendrá en cuenta la ubicación de la cantera el cual tendrá un CBR específico y teniendo que cumplir con las especificaciones establecidas según el Manual de Carreteras (2013) donde la “capa será de material granular drenante ( $\text{CBR} \geq 80\%$ ) o tratada artificialmente”. (p.24)

### **Confiabilidad (%R)**

Según el Manual de Carreteras (2013) define el %R “como una probabilidad que se asume para la duración del tiempo de diseño de la estructura, de acuerdo con el comportamiento y las funciones de la variabilidad de los factores” (p.154). El nivel de confiabilidad se encuentra en la relación de 65% a 95% el cual se tomará en función al tipo de caminos y tráfico.

### **Coefficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr)**

Según el Manual de Carreteras (2013) “para un grupo de datos en una alineación normal el (Zr) simboliza el valor de la confiabilidad que se seleccionara de acuerdo tiempo de diseño” (p.155). Para el coeficiente estadístico se tomará en cuenta el tiempo de diseño entre 10 o 20 años, teniendo en consideración el tipo de camino, rango de tráfico y el número de ejes equivalente el cual se encuentra en un valor de -0.878 a -1.881.

### **Desviación estándar combinada (So)**

El Manual de Carreteras (2013) para la So recomienda según “la guía AASHTO-93 optar para los pavimentos flexibles los datos que se localizan en el rango de 0.40 y 0.50, por lo tanto, optaremos para el presente trabajo de investigación el valor de So igual a 0.45”. (pp. 157-158)

## **Índice de serviciabilidad presente (PSI)**

Según el Manual de Carreteras (2013) el PSI indica la condición de la vía que se representan con valores de 0 a 5, donde el valor cero representa una vía en mal estado y el valor 5 representa la condición teórica difícil de obtener. Entonces se llega a la conclusión que si el PSI decrece la condición de la vía de deteriora.” (p.158)

### **- Serviciabilidad inicial (Pi)**

Se define como el estado de una vía recién ejecutada. Para el cual se requiere definir el tipo de camino, tráfico y el número de ejes equivalentes calculados, de los cuales sus valores varían entre el rango de 3.80 a 4.20.

### **- Serviciabilidad final o terminal (PT)**

Se define como el estado de una vía que ha cumplido con el tiempo de vida útil para el cual fue diseñado el cual se requiere un mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción, para el cual se requiere definir el tipo de camino, tipo de tráfico y ejes equivalentes calculados y sus valores varían entre el siguiente rango de 2.00 a 3.00.

### **- Variación de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)**

Es la diferencia entre la Pi y PT para el diseño del pavimento que se desarrollará, el cual varía dependiendo del tipo de camino, tráfico y numero de ejes equivalentes acumulados y sus valores varían entre 1.80 a 1.20.

## **Coefficiente de drenaje.**

Indica la capacidad de evacuación de las aguas pluviales o de la napa freática existente en el área de influencia en función del tiempo, el cual se encuentra estructurado según la calidad de drenaje que puede ser excelente, bueno, mediano, malo y muy malo según el tiempo que demora el agua en ser evacuada.

## **Numero estructural requerido (SNR)**

El correspondiente cálculo del SNR de los distintos espesores que integran el pavimento flexible, para el desarrollo de los cálculos se tendrá diferentes soluciones de espesores que nos darán el mismo número estructural, el que realizará el diseño tendrá

que elegir dependiendo a su criterio una solución más adecuada, el SNR para una estructura del pavimento inicial esta convertido en los siguientes espesores, carpeta asfáltica, base, sub base. (Velasquez, 2002, pp.109-124)

Para el numero estructural requerido, coeficientes estructurales (carpeta asfáltica, base y subbase) el cual se trabajará con nomogramas AASTHO. En base a los datos anteriores el numero estructural requerido se calculará mediante la formula AASTHO mostrada a continuación.

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

De acuerdo con el SN (a1, a2 y a3) es igual a los coeficientes estructurales y (d1, d2 y d3) es igual a los espesores en cm, (m2 y m3) es igual al coeficiente de drenaje de las capas granulares.

### **3.2.8 Determinar los espesores de la estructura del pavimento flexible al aplicar la geomalla TriAx®**

#### **Programa Spectra Pave**

El software Spectra Pave es una herramienta integral que incluye módulos de diseño para la estabilización de subrasantes, la mejora de cimientos de pavimentos y la optimización de pavimentos. Además, cuenta con un módulo separado para la entrada de información específica del usuario y del proyecto. Este paquete de software aprovecha el conocimiento y la experiencia de Tensor en el análisis de aplicaciones de optimización de pavimentos y estabilización de subrasantes, incorporando geomallas TriAx®.

Spectra Pave permite a los usuarios:

- Diseñar pavimentos para un nivel específico de rendimiento.
- Analizar diversas condiciones de carga y soporte, así como límites de servicio.
- Evaluar y comparar diseños y costos para capas de agregados estabilizados mecánicamente y no ligados.

Realizar un análisis de costos del ciclo de vida.

### **3.2.8.1 Método de diseño por el programa SPECTRA PAVE**

Según Tensar International Corporation (2013), el software Spectra Pave tiene opciones de diseño de la estabilización la sub rasante, optimización y mejoramiento del pavimento, tiene opciones para poder ingresar los datos importantes del usuario y del proyecto que se realizara.

Spectra Pave es un software integral de Tensar que consiste en sistemas que ofrecen beneficios del conocimiento y experiencia para el análisis de optimización y mejor la resistencia de la sub rasante con la incorporación de geomallas TriAx® en los pavimentos.

- Diseño para un nivel específico de rendimiento. Análisis de una variedad de condiciones del soporte de carga y límites de servicio.
- Evaluar y comparar diseños y costos para capas de agregados estabilizados mecánicamente (MSL) y agregados no ligados. Realizar un análisis del tiempo de vida útil.

Para el diseño del pavimento flexible con incorporación de geomalla TriAx® se seguirá los siguientes pasos.

#### **a) Pantalla principal**

Al momento de iniciar la sesión muestra en la pantalla la opción de dar inicio al proyecto a desarrollar o un archivo existente guardado, también se tiene que configurar entre 2 sistemas de medida, el métrico o inglés.

#### **b) Selección de proyecto a desarrollar**

El Spectra Pave tiene en la pantalla un menú de sub carpetas desplegadas el cual se encuentra al lado izquierdo, donde se puede realizar las configuraciones para dar inicio al proyecto a desarrollar como son el sistema de unidad de medida y el tipo de diseño que se realizara.

### **c) Opción de refuerzo de sub rasante**

El Spectra Pave ofrece un icono que utiliza la geomalla TriAx® para realizar el estudio de mejoramiento de la sub rasante. Por lo tanto, se debe elegir el icono cuadrado del módulo de mejorade la sub rasante. Instantáneamente, el Spectra Pave despliega un pequeño texto de su contenido en la parte inferior de los iconos.

### **d) Opción de refuerzo de base**

Se encuentra un icono que el programa nos brinda para poder realizar el diseño usando la geomalla TriAx® para ejecutar el estudio del mejoramiento de la base granular, el Spectra Pave instantáneamente despliega en la parte inferior un pequeño texto de su contenido.

### **e) Pantalla con información general del proyecto**

Es necesario completar la información general, que incluye el nombre, ubicación, referencia, país, provincia, ciudad y, finalmente, un pequeño resumen del proyecto que se ejecutará, después de seleccionar el proyecto a realizar.

### **f) Pantalla con información general del cliente**

También se debe llenar la información general del cliente que consta del nombre y dirección del cliente o de la razón social, numero de celular, fax, correo electrónico, ciudad y código postal.

### **g) Pantalla con información general del diseñador**

Al final se debe llenar la información general del diseñador que consta del nombre y dirección de la persona que ejecutara el programa Spectra Pave, número de celular, fax, ciudad, país, correo electrónico y fecha.

### **h) Ingreso de datos para refuerzo de sub rasante**

Una vez seleccionado el tipo de mejoramiento a realizar se despliega el módulo del mejoramiento de la sub rasante donde se tiene que realizar la configuración del sistema métrico, luego de ello se deberá ingresar los siguientes datos que consta de la carga de cada eje, porcentaje de la capacidad soporte resultante del estudio de suelos, tipo de

geomalla TriAx® que se utilizara, la presión de los neumáticos, profundidad máxima permisible del ahuellamiento y el número de ejes que transitaran que dependerá del diseño.

#### **i) Resultado de espesores de sub-rasante**

Los datos anteriores han sido procesados por el software Spectra Pave, se mostrará la siguiente pantalla. Aquí podrá comparar los resultados del espesor del pavimento reforzado y no reforzado con la capacidad de carga requerida (CBR) y el tipo de geomalla TriAx®.

#### **j) Pantalla de ingreso de datos para refuerzo de base**

Una vez ingresado los datos del cliente, diseñador y haber configurado las unidades métricas se tendrá el siguiente icono donde nos muestra la opción de optimización del pavimento(refuerzo base) donde se tendrá que incorporar posteriormente los datos requeridos que constan del tipo de geomalla TriAx® que se utilizara, factor de drenaje y número total de capa para la carpeta estructura del pavimento flexible, los diferentes espesores sugeridos y módulo de elasticidad de los materiales, serviciabilidad inicial y final.

#### **k) Pantalla de resultados de análisis de refuerzo de base**

Una vez finalizado el procesamiento de datos anterior, el software Spectra Pave mostrará la siguiente pantalla donde se podrá observar el esquema de la estructura del pavimento, detallando la ubicación exacta de la geomalla TriAx® como refuerzo de base. También recibiremos el espaciamiento sugerido para el diseño correspondiente y los resultados del cálculo de vigas de carga equivalentes con y sin la geomalla TriAx®.

El software Spectra Pave es un programa practico, que facilita hacer las modificaciones de los datos ingresados y reiniciar el proceso del cálculo en donde nos permite tener los resultados en el menor tiempo posible y verificar si es conveniente la incorporación de la geomalla TriAx® en el pavimento flexible.

### **3.2.8.2 Diseño por el método AASHTO 1993 con aplicación de geomalla TriAx®**

Para el diseño correspondiente que se realizará con la aplicación de geomalla TriAx® con el método AASHTO 93 se utilizará los mismos parámetros desarrollados en el

ítem 2.2.1.1 que consta del periodo de diseño, variables Mr, %R, Zr, So, PSI, SNR, coeficiente de drenaje y número de ejes simples equivalentes (W18). (Guía AASHTO, 1993)

### **Coeficiente de aporte de la geomalla TriAx®**

Un monograma que valora el LCR con el porcentaje de la capacidad de soporte para la sub rasante será utilizado para determinar el coeficiente de contribución de la geomalla TriAx® a la estructura del pavimento flexible.

Durante los estudios que se llevarán a cabo, es esencial mantener constante el valor inicial del número estructural para agregar la geomalla TriAx® dentro de la carpeta estructural del pavimento y lograr una reducción significativa de espesores.

$$NE \text{ reforzado} = NE \text{ sin reforzar}$$

### **Cálculo del número estructural reforzado**

El diseño AASHTO 93 para pavimentos, se toma en consideración la ecuación para el SN, donde participa el LCR de la geomalla TriAx® que se utilizara para la modificación del SN inicial, para originar un nuevo valor, tomando en cuenta los coeficientes de drenaje, coeficientes de capa y los espesores de diseño. Con los cuales se procederá a ejecutar los cálculos para los nuevos espesores para el pavimento flexible.

Para el correspondiente cálculo del SN con refuerzo y utilizará la siguiente formula donde el LCR será aplicado en la subrasante, subbase o base de la estructura del pavimento.

$$NE \text{ reforzado} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 + a_3 * LCR * D_{3ref.} * m_3^{69}$$

Calculado el SN reforzado, seguidamente determinaremos los nuevos espesores de la sub rasante, bases granulares.

Para que la sección esquemática de la estructura del pavimento flexible sea viable, el SN de las capas de la sub rasante, base y sub base debe ser en lo posible igual al SN nuevo obtenido, ya que los espesores determinados por lo general son alterados para

favorecer con el proceso de construcción y se deberá revisar que la variación de los nuevos espesores no altere, el cumplimiento de la vida útil del pavimento.

El método seleccionado para determinar los diferentes espesores de las capas del pavimento flexible con aplicación de geomalla TriAx® en la presente investigación será por el programa SPECTRA PAVE, porque es un software integral basado en sistemas que brinda ventajas de experiencia y conocimiento que provee la empresa Tensar en el estudio de aplicaciones de optimización de pavimentos y estabilización de subrasante, que facilita hacer las modificaciones de los datos ingresados y reiniciar el proceso del cálculo en donde nos permite tener los resultados en el menor tiempo posible y verificar si es conveniente la incorporación de la geomalla en el pavimento.

## **IV. Metodología**

### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

#### **4.1.1 Tipo de investigación**

Debido a que se desarrollarán los métodos y parámetros de diseño utilizando geomalla TriAx® en el sistema de estructura del pavimento flexible, este tipo de investigación es descriptivo. Además, será correlacional, dado que se pretende agrupar y medir diversas variables y cálculos.

Según Sampieri (2014) define al tipo de investigación descriptiva porque “describe las tendencias de una población o grupo y busca detallar características y propiedades fundamentales de algún fenómeno que se analizará.” (p.92)

Según Sampieri (2014) define al tipo de investigación correlacional porque “va a trabajar con un patrón predecible para un grupo de población el cual se va a asociar según las variables existentes.” (p.93)

#### **4.1.2 Nivel o alcance de investigación**

Debido a su enfoque en elucidar las características de la población en estudio y observar sus comportamiento y fenómenos en su ambiente natural, este estudio se clasifica como descriptivo (F. Arias, 2012). Por lo tanto, esta La investigación sirve como procedimiento para el método convencional .para el diseño del método convencional y la aplicación de la geomalla TriAx en la estructura del pavimento flexible .Diseño y aplicación de la geomalla TriAx en la estructuraEl pavimento flexible .

La observación & registro de datos no implica la manipulación de variables, lo que lo convierte en un diseño no experimental de la investigación. Además, se considera transversal debido a que los datos serán recopilados en un instante específico. (Hernández et al., 2014).

### **4.2 Ámbito temporal y espacial**

#### **4.2.1 Ámbito temporal**

La investigación comenzó en febrero del 2024 y terminó en diciembre del mismo año, durando un total de 10 meses.

#### **4.2.2 Espacial**

La investigación se llevó a cabo en Abancay, en el tramo de la vía de evitamiento entre el kilómetro 11+400 y el kilómetro 12+500.

#### **4.3 Población y muestra**

##### **Población**

Según Sampieri (2014) indica que es un “grupo de todos los elementos de análisis que tienen relación con un determinado ámbito espacial donde se desarrolla la investigación”.

La población a considerar en el trabajo de investigación será la vía de evitamiento en tramo KM11+400 al KM12+500 de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

##### **Muestra**

definen una muestra como "un subgrupo seleccionado de una población más que una recopilación de información" (C. Arias et Alabama. (2020). En este estudio, la muestra se compone de un segmento de carretera específica que va desde el km 11+400 hasta el km 12+500.

##### **Muestreo**

El muestreo no probabilístico por conveniencia fue empleado para esta investigación. Este tipo de muestreo nos permite escoger según un criterio o juicio realizado por el investigador de acuerdo a un criterio o juicio hecho por el investigador. (C. Arias et al., 2020), También se hicieron calicatas de 1.50 metros para explorar. El número de pruebas se decidió siguiendo la norma ASMTD420 de 2018. Esta norma ayuda a identificar el tipo de suelo y permite al investigador decidir cuándo y cómo tomar las muestras

#### **4.4 Instrumentos**

Esta investigación necesita datos de laboratorio, por lo que se usarán fichas de observación y protocolos de ensayos para recopilar información. Estos protocolos están basados en indicadores que muestran los resultados.

**Tabla 8**

Representación para identificar las técnicas y recolección de muestras

Estudios	Técnicas	Instrumentos	Normativa
Propiedades de mecánica de suelos	Prospección en campo	Ensayo granulométrico	MTC E 107
		Límites de Atterberg	MTC E 110,111
		Resistencia de Compresión no confinada	NTP 339.167 ASTM D 2166
		Densidad de campo	NTP 339.143
		Peso Unitario	ASTM D-1556
		Contenido de humedad	MTC E 108
		Clasificación de suelos	ASTM D2487
		Penetración Dinámica Ligera (DPL)	DIN 4094
Estudio Topográfico	Recolección datos de campo	Estación total	Certificado de calibración de equipos
Estudio Hidrológico	Datos estadísticos	Precipitaciones máximas en 24 horas	Senamhi
Modelamiento	Análisis tecnológico	Excel AutoCAD 2021	Software de Diseño

Nota. Elaboración propia.

#### 4.5 Procedimientos

La técnica de investigación utilizada fue la observación, que consiste en ver el fenómeno, recopilar información y tomar muestras para analizarlas después. Esto nos asegura obtener información útil y fiable para nuestro estudio. Para recopilar los datos, primero reconocimos el tramo de carretera entre el kilómetro 11+400 y el kilómetro 12+500 de la vía de evitamiento de Abancay.

## **Análisis del Estudio**

### **a) Estudio topográfico**

Se hizo un levantamiento topográfico con una Estación Total, el modelo Topcon ES-105. Primero, se colocaron cinco puntos de control en lugares importantes del proyecto, fijándolos en piedras grandes y muros de concreto. Luego, usando estos puntos, se tomaron los datos para mapear el área del proyecto, incluyendo detalles de la carretera.

#### **Instrumentos utilizados**

- 01 estación total Topcon ES-105
- 03 prismas y 03 porta prismas
- 01 trípode
- 01 flexómetro de 5m
- 01 GPS Garmin 64s

### **b) Estudio de Mecánica de Suelos**

Se tomaron dos muestras de suelo usando calicatas de 1.50 x 1.50 metros y 1.50 metros de profundidad. Esto nos dio una visión detallada del suelo. Luego, en el laboratorio, se analizaron varios aspectos como la composición del suelo, límites de Atterberg, humedad, gravedad específica, clasificación del suelo, penetración dinámica y compresión no confinada, así como el perfil estratigráfico.

## **4.6 Análisis de datos**

Se hizo un análisis estadístico descriptivo para procesar los datos. Esto ayudó a comprobar las hipótesis y a ver cómo se relacionan las variables de infiltración y deslizamientos de taludes. Se usaron hojas de cálculo para organizar los datos y hacer gráficos en Microsoft Excel y SPSS para verificar las hipótesis.

## **4.7 Consideraciones éticas**

Para asegurar que la investigación sea ética y de buena calidad, se tuvieron en cuenta varios criterios. Los resultados fueron verificados por un laboratorio certificado, lo que garantiza su validez. Además, este estudio busca beneficiar a la sociedad en general.

## **V. Resultados y discusión**

### **5.1 Introducción**

El enfoque principal de este capítulo es mostrar y discutir los resultados de la investigación sobre la influencia de la geomalla TriAx® en el diseño de la estructura de pavimento flexible a lo largo del tramo del libramiento Apurímac desde el km: 11+400 hasta el km: 12+500 en la ciudad de Abancay. El estudio se enfocaba con objetivos claros como identificar los espesores óptimos de la estructura del pavimento y examinar la capacidad de la geomalla para mejorar la resistencia y durabilidad de la subrasante.

Para la ingeniería civil, especialmente en cuanto a la mejora de pavimentos, la discusión de los resultados es fundamental. Los costos de mantenimiento pueden disminuirse significativamente y la vida útil de la infraestructura vial aumentará al implementar soluciones innovadoras como la geomalla TriAx®, que garantiza optimizar la distribución de cargas y mejorar la capacidad de soporte del pavimento. En un país como Perú, donde las condiciones de las vías son a menudo deficientes, esta investigación no solo contribuye al conocimiento técnico, sino que también tiene el potencial de impactar positivamente la calidad de vida de la población al facilitar el tránsito y reducir el riesgo de accidentes.

### **5.2 Resultados**

#### **5.2.1 Estudios preliminares**

##### **5.2.1.1 Estudios hidrológicos**

La caracterización climática analiza la lluvia y la temperatura, especialmente la cantidad de lluvia y la temperatura promedio, así como las temperaturas más altas y más bajas. Estos factores pueden cambiar cómo se comporta el pavimento, afectando su resistencia y durabilidad. Por eso, se estudia el clima en la zona para entender mejor cómo afecta al pavimento. Para el estudio de la vía de evitamiento de la Ciudad de Abancay, se utiliza la estación climatológica ABANCAY, controlada por SENAMHI, ubicada en la misma ciudad y con 17 años de registro (1996-2012), lo que asegura una influencia precisa sobre la carretera.

Por lo tanto, la estación requerida, por la influencia que ejerce sobre la vía de evitamiento es Abancay

La ubicación de la estación y su detalle es el siguiente

**Tabla 9**

*Estación meteorológica*

Estación	Longitud	Latitud	Altura	Registro
Abancay	72°52"	13°36"	2776 msnm	17 años

**Tabla 10**

*Precipitación total mensual*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2003	208.2	182.9	199.6	20.5	6.7	0.0	16.3	35.8	35.7	94.9	35.5	136.6
2004	138.7	217.2	81.7	S/D	S/D	S/D	S/D	15.8	46.9	S/D	44.3	64.8
2005	78.7	150.6	S/D	57.1	S/D	0.0	16.3	S/D	83.4	69.2	137	S/D
2006	210.3	143.0	87.9	42.0	13.3	0.0	S/D	S/D	S/D	S/D	203	136.0
2007	153.1	125.5	177.8	17.8	S/D	S/D	S/D	13.0	10.3	69.4	46.1	200.0
2008	163.9	98.9	96.4	S/D	22.0	S/D	0.0	10.3	32.3	64.0	126.2	S/D
2009	169.6	191.1	126.2	69.7	4.5	0.0	17.4	16.1	S/D	145.1	55.5	S/D
2010	178	177.5	94.3	68.7	24.5	0.0	3.5	9.1	5.4	51.1	34.9	139.2
2011	226.5	238.5	180.7	S/D	S/D	7.5	S/D	S/D	S/D	S/D	102.4	92.5
2012	174	S/D	S/D	S/D	15.6	14.9	6.3	3.8	19.2	60.6	25.9	267.4

Nota: SENAMHI De la información presentada se puede indicar que los meses de máxima precipitación se dan entre diciembre y febrero, siendo el mes de febrero el de mayor precipitación (Año 2011 - 238.5 mm)

**Tabla 11***Temperatura mínima media mensual*

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
2003	11.8	11.2	10.8	10.1	9.4	8.4	8.0	9.2	9.7	11.1	11.4	11.4
2004	11.7	11.2	12.0	S/D	9.9	7.9	8.1	9.5	10.1	11.4	11.9	10.8
2005	11.9	11.9	12.0	10.3	8.9	7.7	7.7	9.7	10.5	11.4	S/D	11.6
2006	11.1	11.5	11.6	11.1	8.4	8.7	7.7	10.7	S/D	S/D	S/D	S/D
2007	11.2	12.0	10.9	10.0	8.9	8.5	S/D	S/D	10.8	10.7	10.7	10.8
2008	10.5	10.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2009	11.6	11.4	11.7	11.7	10.1	S/D	10.9	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2010	11.2	12.0	12.4	12.0	9.0	9.6	S/D	S/D	S/D	S/D	11.9	11.6
2011	11.4	11.3	11.7	S/D	S/D	9.3	S/D	S/D	S/D	S/D	11.9	11.8
2012	11.4	S/D	S/D	S/D	4.9	4.2	5.4	6.2	6.9	8.5	11.1	8.1

Nota: SENAMHI Entre los meses de mayo y junio se registraron las temperaturas mínimas en la zona.

**Tabla 12***Temperatura máxima media mensual*

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
2003	21.3	20.6	19.3	20.8	21.0	21.2	20.0	19.7	23.2	23.2	24.6	21.9
2004	21	20.5	S/D	S/D	21.9	20.1	18.6	20.4	22.3	23.7	22.0	22.0
2005	23.1	22.0	21.6	23.1	22.0	22.1	21.5	21.8	22.3	23.0	S/D	22.1
2007	22.1	22.2	19.6	22.5	21.0	20.4	S/D	S/D	22.7	23.7	24.5	S/D
2008	19.7	21.2	S/D	22.4	S/D	S/D	S/D	21.8	23.1	24.9	24.9	22.8
2009	21.4	20.5	20.5	21.2	22.4	S/D	21.3	23.4	S/D	S/D	S/D	S/D
2010	21.1	21.7	21.5	22.2	22.4	22.8	22.4	S/D	24.1	23.5	S/D	S/D
2011	21.3	20.1	19.8	S/D	S/D	21.5	S/D	S/D	S/D	S/D	21.7	21.4
2012	22.3	S/D	S/D	S/D	20.3	19.4	20.2	21.1	23.5	23.1	21.6	19.5

Nota: SENAMHI Entre los meses de octubre y noviembre se registraron las temperaturas máximas en la zona.

### 5.2.1.2 Estudios de mecánica de suelos

#### Trabajos de campo

Se ejecutaron 02 calicatas en los progresivas km: 11+700 y km: 12+050. En los registros de excavación, que incluyen tomas fotográficas y referencia del punto de ejecución, Se describieron todos los estratos del suelo, incluyendo detalles como la humedad, la compactación, la consistencia, el color, la presencia de sustancias extrañas o materia orgánica, y los tamaños de partículas mayores de 2 pulgadas, junto con su proporción en el suelo.

**Tabla 13**

*Relación de calicatas ejecutadas*

CALICATA		PROGRESIVA	PROFUNDIDAD
ID	MUESTRA	(km)	(m)
C - 01	M - 1	11+700	0.05-1.50m
C - 02	M - 1	12+050	0.00-1.50m

Nota: Informe de suelos

#### Equipos de laboratorio

**Tabla 14**

*Los equipos de laboratorio*

ITEM	EQUIPO	SERIE N°	MARCA
1	Anillo de carga (CBR) 50KN	753	-
2	Balanza mecánica 20k	-	Ohaus
3	Balanza electrónica 600g	7131122106	Ohaus
4	Balanza mecánica 311g	1813	Ohaus
5	Balanza electrónica 3k	7129332148	Ohaus
6	Balanza electrónica 30k	80031307682	Ohaus
7	Horno de temperatura gradual	831034	Memmert
8	Copa Casagrande con contador análogo	989	Pinzuar
9	Anillo de carga (CBR) 6000 lbs	1155-15-19712	ELE
10	Balanza electrónica 11k	F1980	Sores
11	Balanza electrónica 30k	80304225320	Ohaus
12	Balanza mecánica 2.610g	-	Ohaus
13	Balanza mecánica 2.610g	-	Ohaus

Nota: Informe de Suelos, los equipos de laboratorio se encuentran ubicados en la siguiente dirección: Av. Perú N° 700 Abancay, Apurímac, Perú

### Ensayos de mecánica de suelos

Se pueden explicar brevemente los ensayos y sus objetivos. Los ensayos físicos son importantes porque ayudan a determinar las propiedades básicas del suelo y a clasificarlo correctamente.

**Tabla 15**

*Ensayos en laboratorio*

<b>NOMBRE DEL ENSAYO</b>	<b>USO</b>	<b>MÉTODO AASHTO</b>	<b>ENSAYO ASTM</b>	<b>NORMA MTC</b>	<b>PROPÓSITO DEL ENSAYO</b>
Contenido de Humedad	Clasificación y Compactación	T 265	D 2216	MTC E 108	Hallar el peso del agua en una masa dada de agua
Análisis Granulométrico	Clasificación	T 88	D 422	MTC E 107	Para determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo
Límite Líquido	Clasificación	T 89	D 4318	MTC E 110	Hallar el contenido de agua entre los estados Líquido y Plástico
Límite Plástico	Clasificación	T 90	D 4318	MTC E 111	Hallar el contenido de agua entre los estados plástico y semi sólido
Proctor Modificado	Compactación y Diseño de Espesores	T 180	D 1557	MTC E 115	Determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco
CBR	Diseño de Espesores	T 193	D 1883	MTC E 132	Determinar la capacidad de carga. Permite inferir el módulo resiliente
Clasificación SUCS	Clasificación	D 2487	–	–	Determinar las propiedades mecánicas del suelo
Clasificación AASHTO	Clasificación	D 3282	–	–	Determinar las propiedades mecánicas del suelo

Nota: Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” Sección: Suelos y Pavimentos MTC

**Tabla 16***Resumen de los ensayos de laboratorio*

CALICATA		PROG. (km)	PROF. (m)	% QUE PASA		LÍMITES < N° 40			HUM. NAT. (%)	CLASIFICACIÓN	
ID	MUESTRA			N°4	N°200	L.L	L.P	I.P		AASHTO	SUCS
C - 01	M - 1	11+700	0.05- 1.50m	56.8	45.4	34.2	24.4	9.7	19.6	A-4(2)	GM
C - 02	M - 1	12+050	0.00- 1.50m	100	80.5	35.9	23.8	12.1	18.8	A-6(10)	CL

Nota: Informe de suelos

**Tabla 17***Condición estructural del terreno*

Se desprende del análisis de los resultados y del perfil estratigráfico que la capacidad de cimentación a nivel de subrasante es de buena a regular de acuerdo a la información analizada y a los valores de CBR indicados a continuación:

CALICATA		PROCTOR ASTM D 157		C.B.R	
ID	MUESTRA	D <sub>MAX</sub>	H <sub>OPT</sub>	100% MDS	95% MDS
C - 01	M - 1	2.143	5.4	32.4	25.2
C - 02	M - 1	1.673	15.8	9.6	6.2

**Tabla 18***Categoría de la sub rasante*

Categoría de Subrasante	CBR de Diseño
S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Sub rasante Insuficiente	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota: manual de carreteras: sección suelos y pavimentos

### 5.2.1.3 Estudio de tráfico

El estudio busca contar y clasificar los vehículos que pasan por la Vía de Evitamiento de Abancay, cerca del Cementerio Puca-Puca. Con los datos recogidos, se analizará el tráfico actual y se predecirá el futuro, para calcular lo necesario para diseñar bien la carretera.

**Tabla 19**

*Ubicación de la estación de conteo*

Estación	Ubicación	Formato de aplicación
<b>E1 (CONTEO)</b>	“Cementerio Puca Puca” (Vía de evitamiento km 5+200)	Conteo vehicular y peatonal

Nota: Informe de tráfico

### IMD Anual en la Estación E-1: Cementerio Puca-Puca

El IMD se calcula tomando el promedio diario semanal de los vehículos que pasan, obtenido en campo, y multiplicándolo por un factor de corrección para el mes de marzo, cuando se hizo el estudio.

En la Estación E-1, el IMD Anual alcanza un promedio de 100 vehículos diarios, con un desglose de 120 vehículos en sentido de entrada y 84 vehículos en sentido de salida.

En cuanto a la composición del flujo vehicular, los vehículos ligeros (automóviles, camionetas pick-up, vehículos rurales y micros) constituyen el 92.0% del tráfico total, mientras que los vehículos pesados (camiones y articulados) representan el 8.0%.

**Tabla 20**

*IMD anual (entrada), Ruta PE – 3S – cementerio Puca Puca (Alt. Km 5+200)*

Tipo	IMD	%
<b>Auto</b>	28	23.33
<b>Station Wagon</b>	64	53.33

<b>Tipo</b>	<b>IMD</b>	<b>%</b>
<b>Pick Up</b>	12	10
<b>C. Rural</b>	5	4.17
<b>Micro</b>	0	0
<b>Omn. 2 ejes</b>	0	-
<b>Omn. 3 ejes</b>	0	-
<b>Camión 2 ejes</b>	6	5
<b>Camión 3 ejes</b>	4	3.33
<b>Camión 4 ejes</b>	0	-
<b>Semitrayler 2S2</b>	0	-
<b>Semitrayler 2S3</b>	0	-
<b>Semitrayler 3S2</b>	1	0.83
<b>Semitrayler 3S3</b>	0	-
<b>Trayler 2T2</b>	0	-
<b>Trayler 2T3</b>	0	-
<b>Trayler 3T2</b>	0	-
<b>Trayler 3T3</b>	0	-
<b>Total</b>	120	100

Nota: Estudio de tráfico, hacia la vía de evitamiento (NE-NO), entrada.

**Tabla 21**

*IMD anual (salida), Ruta PE – 3S – cementerio Puca Puca (Alt. Km 5+200)*

<b>Tipo</b>	<b>IMD</b>	<b>%</b>
<b>Auto</b>	23	26.80
<b>Station Wagon</b>	38	45.27
<b>Pick Up</b>	9	10.68
<b>C. Rural</b>	4	4.65
<b>Micro</b>	1	1.27
<b>Omn. 2 ejes</b>	1	1.27
<b>Omn. 3 ejes</b>	0	-
<b>Camión 2 ejes</b>	5	5.63
<b>Camión 3 ejes</b>	4	4.44
<b>Camión 4 ejes</b>	0	-

Tipo	IMD	%
Semitrayler 2S2	0	-
Semitrayler 2S3	0	-
Semitrayler 3S2	0	-
Semitrayler 3S3	0	-
Trayler 2T2	0	-
Trayler 2T3	0	-
Trayler 3T2	0	-
Trayler 3T3	0	-
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100</b>

Nota: Estudio de tráfico, hacia la vía de evitamiento (NO-NE), entrada

**Tabla 22**

*IMD anual (ambos sentidos), Ruta PE – 3S – cementerio Puca Puca (Alt. Km 5+200)*

Tipo	IMD	%
Auto	51	24.76
Station Wagon	102	50.01
Pick Up	21	10.28
C. Rural	9	4.36
Micro	1	0.52
Omn. 2 ejes	1	0.52
Camión 2 ejes	11	5.26
Camión 3 ejes	8	3.79
Camión 4 ejes	0	-
Semitrayler 2S2	0	-
Semitrayler 3S2	1	0.49
Semitrayler 3S3	0	-
Trayler 2T2	0	-
Trayler 2T3	0	-
Trayler 3T2	0	-
Trayler 3T3	0	-
<b>Total</b>	<b>284</b>	<b>100</b>

Nota: Estudio de tráfico

#### **5.2.1.4 Cálculo del EAL (Equivalent Axle Load)**

Para calcular el EAL, se necesita saber cuántos vehículos pasan y qué tipo son, incluyendo camiones y cómo están configurados sus ejes. También es importante saber cómo crece el tráfico, especialmente para los vehículos pesados. El cálculo implica multiplicar el número de vehículos por 365 días y por la tasa de crecimiento anual, usando un factor de carga adecuado. Además, se consideró la presión de las llantas. Los resultados se suman para obtener el EAL total, y se calculó hasta el año 2040. Es importante señalar que, para este cálculo, se ha considerado el valor del IMD proyectado, el cual incluye los componentes: Normal, Generado y Derivado.

Tabla 23

Tramo I: RUTA PE-3S- CEMENTERIO PUCA PUCA (ALT. KM. 5+200)

CÁLCULO DEL N° DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES (8.2 Tn)																	
Vía:	RUTA PE-3S-CEMENTERIO PUCA PUCA (ALT. KM. 5+200)																
Sentido:	Hacia Vía de Evitamiento (NE-NO). Entrada																
Índice Medio Diario Anual	2017	Omnibus		Camiones			Semi Traylor			Traylera			Parcial	Acumulado	Total		
		2E	3E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3				3T2	3T3
Total	2017	7	24	100	33	3	0	5	1	0	1	1	1	0			
Fc x Fp		2.1713	4.5252	4.624	5.405	3.8533	10.1589	10.1130	9.6848	4.7623	18.5212	12.648	15.0102	12.844			
Tasa crecimiento = R		3.00%	3.00%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%			
Factor de Crecimiento		1.0300	1.0300	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045			
Días del año		365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365			
IMDa x Fc x Fp x 365	2017	5,714	39,129	169,318	65,971	4,421	0	19,287	3,535	0	7,087	4,824	6,107	0	319,678	319,678	3.20E+05
2018		5,886	40,303	176,937	68,940	4,620	0	20,155	3,694	0	7,406	5,041	6,381	0	333,476	653,154	6.53E+05
2019		6,062	41,512	184,899	72,042	4,827	0	21,062	3,860	0	7,740	5,268	6,669	0	347,878	1,001,033	1.00E+06
2020		6,244	42,757	193,220	75,284	5,045	0	22,009	4,034	0	8,088	5,505	6,969	0	362,910	1,363,943	1.36E+06
2021		6,431	44,040	201,914	78,671	5,272	0	23,000	4,216	0	8,452	5,753	7,282	0	378,600	1,742,543	1.74E+06
2022		6,624	45,361	211,001	82,212	5,509	0	24,035	4,405	0	8,832	6,012	7,610	0	394,976	2,137,519	2.14E+06
2023		6,823	46,722	220,496	85,911	5,757	0	25,116	4,603	0	9,230	6,282	7,952	0	412,070	2,549,589	2.55E+06
2024		7,028	48,123	230,418	89,777	6,016	0	26,247	4,811	0	9,645	6,565	8,310	0	429,912	2,979,501	2.98E+06
2025		7,238	49,567	240,787	93,817	6,287	0	27,428	5,027	0	10,079	6,861	8,684	0	448,536	3,428,037	3.43E+06
2026		7,456	51,054	251,622	98,039	6,570	0	28,662	5,233	0	10,532	7,169	9,075	0	457,977	3,896,014	3.90E+06
2027		7,679	52,586	262,945	102,451	6,865	0	29,952	5,490	0	11,006	7,492	9,484	0	488,270	4,364,284	4.38E+06
2028		7,910	54,163	274,778	107,061	7,174	0	31,300	5,737	0	11,502	7,829	9,910	0	509,453	4,893,737	4.89E+06
2029		8,147	55,788	287,143	111,879	7,497	0	32,708	5,995	0	12,019	8,181	10,356	0	531,566	5,425,303	5.43E+06
2030		8,391	47,462	300,064	116,913	7,834	0	34,180	6,265	0	12,560	8,550	10,822	0	554,650	5,979,953	5.98E+06
2031		8,643	59,186	313,567	122,174	8,187	0	35,718	6,547	0	13,125	8,934	11,309	0	578,747	6,558,701	6.56E+06
2032		8,902	60,961	327,677	127,672	8,555	0	37,325	6,841	0	13,716	9,336	11,818	0	603,903	7,162,604	7.16E+06
2033		9,169	62,790	342,423	133,417	8,940	0	39,005	7,149	0	14,333	9,756	12,350	0	630,164	7,792,768	7.79E+06
2034		9,445	64,674	357,832	139,421	9,343	0	40,760	7,471	0	14,978	10,195	12,906	0	657,580	8,450,348	8.45E+06
2035		9,728	66,614	373,934	145,695	9,763	0	42,594	7,807	0	15,652	10,654	13,486	0	686,201	9,136,549	9.14E+06
2036		10,020	68,612	390,761	152,251	10,202	0	44,511	8,158	0	16,357	11,134	14,093	0	716,081	9,852,630	9.85E+06
2037		10,320	70,671	406,345	159,103	10,661	0	45,514	8,525	0	17,093	11,635	14,728	0	474,275	10,599,905	1.06E+07
2038		10,630	72,791	426,721	166,262	11,141	0	48,607	8,909	0	17,862	12,158	15,390	0	779,842	11,379,747	1.14E+07
2039		10,949	74,975	445,924	173,744	11,643	0	50,795	9,310	0	18,666	12,705	16,083	0	813,844	12,193,591	1.22E+07
2040		11,277	77,224	465,990	181,563	12,166	0	53,080	9,729	0	19,506	13,277	16,807	0	849,342	13,042,933	1.30E+07

Nota: Para los factores de carga se consideró el factor según reglamento 04-2014 (Manual de Carreteras Suelos y Pavimentos) y del Estudio de Tráfico Marzo 2014.

Nota: Estudio de tráfico el tráfico de diseño (ESAL) para un periodo de 10 años es 4.38 E+06, y para un periodo de 20 años es 1.06 E+07

## 5.2.2 Cálculo del pavimento flexible – método convencional

### 5.2.2.1 Cálculo del Número Estructural (SN)

Para saber cuánto puede soportar la estructura del pavimento, se usa una fórmula específica. El método AASHTO 93 tiene una ecuación para calcular cuánto tráfico puede manejar el pavimento durante su vida útil.:

$$\log(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log(M_R) - 8.07$$

Donde:

W18: Numero esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño

ZR: Desviación estándar normalizada.

S0: Desviación estándar del error combinado en la predicción de tráfico y comportamiento de la estructura.

SN: Número estructural del pavimento.

$\Delta PSI$ : diferencia entre la serviciabilidad inicial (Po) y la final (Pf).

MR: Módulo resiliente (en psi).

### 5.2.2.2 Estructura del pavimento

El número estructural (SN) es una representación del espesor del pavimento en función de la calidad de los materiales. Para calcular el número estructural, utilizamos la siguiente fórmula:

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

Donde:

a1, a2, a3: Coeficientes estructurales de las capas (asfalto, base y subbase respectivamente).

D1, D2, D3: Espesores de las capas (en pulgadas).

m2, m3: Factores de drenaje para la base y subbase.

Valores típicos:

Coeficiente estructural del asfalto (a1): 0.40-0.44

Coeficiente estructural de la base granular (a2): 0.14

Coeficiente estructural de la subbase (a3): 0.10

Factores de drenaje (m2, m3): generalmente 1.0 si hay buen drenaje.

### 5.2.2.3 Parámetros de diseño

**Tabla 24**

*Parámetros de diseño*

PARÁMETRO DE DISEÑO	VALORES		OBSERVACIONES
PERIODO DE DISEÑO	10 años	20 años	
TRAFICO DE DISEÑO (ESAL)	4.38 E+06	1.06 E+07	
CONFIABILIDAD	90%		Bajo volumen de transito
DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMALIZADA	-1.282		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR TOTAL	0.45		Pavimento flexible
PERDIDA DE SERVICIABILIDAD	2.2		Po = 4.2 (índice inicial / pavimento flexible) Pf = 2.0 (índice final)
CBR DISEÑO	28.10%		
<b>MODULO RESILIENTE</b>			

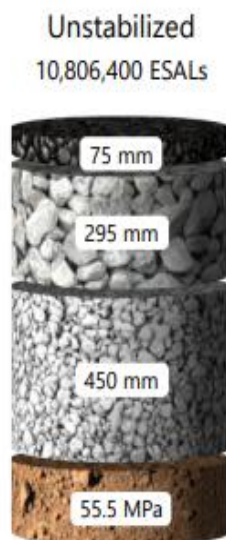
Nota. Elaboración propia

Nota. los valores mostrados en la tabla son un resumen ellos estudios previos realizados que se encuentran líneas más arriba como resumen, también se encuentran en los anexos.

### 5.2.2.4 Diseño de Pavimento Según el Método Convencional

**Figura 12**

*Estructura del pavimento – método convencional*



	Thickness	Coeff.	SN
HMA layer 1	75 mm	0.400	1.181
Aggregate base	295 mm	0.132	1.533
Subbase	450 mm	0.109	1.931
Structural number (SN)			4.645

Nota: Software tensor +, la figura muestra la estructura del pavimento sin refuerzo de geomalla, el método utilizado es el AASHTO 93, el diseño mostrado es para un periodo de 20 años

### 5.2.3 Cálculo del pavimento flexible - refuerzo geomalla

Para el diseño optimizado con geomalla Tensor TriAx®, se ajusta el coeficiente estructural de la capa de base, lo que permite reducir el espesor sin comprometer el rendimiento estructural. El proceso consiste en aplicar un factor de mejora (TIF) y ajustar el número estructural.

Traffic Improvement Factor (TIF): Representa el factor de mejora que proporciona la geomalla Tensor TriAx®. Los estudios indican que el uso de geomallas puede mejorar la capacidad del pavimento para resistir el tráfico.

Fórmula para determinar el espesor ajustado de la base estabilizada con geomalla:

$$D_{2\text{optimizado}} = \frac{D_2}{TIF}$$

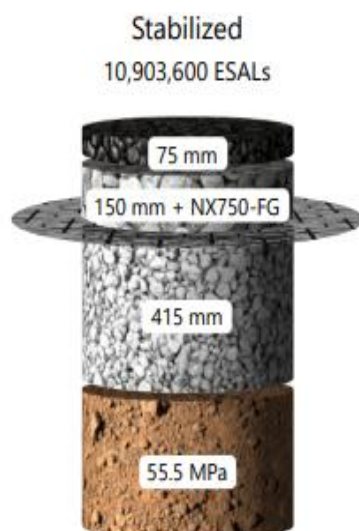
Donde TIF es el factor de mejora del tráfico, cuyo valor puede variar entre 1.3 a 2.0 dependiendo de las condiciones del suelo y del pavimento.

Ajuste en el Número Estructural con geomalla:

$$a_{2\text{mejorado}} = a_2 \times TIF$$

### Figura 13

*Ajuste en el Número Estructural con geomalla*



	Thickness	Coeff.	SN
HMA layer 1	75 mm	0.420	1.240
Aggregate base (NX750-FG)	150 mm	0.276	1.630
Subbase	415 mm	0.109	1.781
Structural number (SN)			4.651

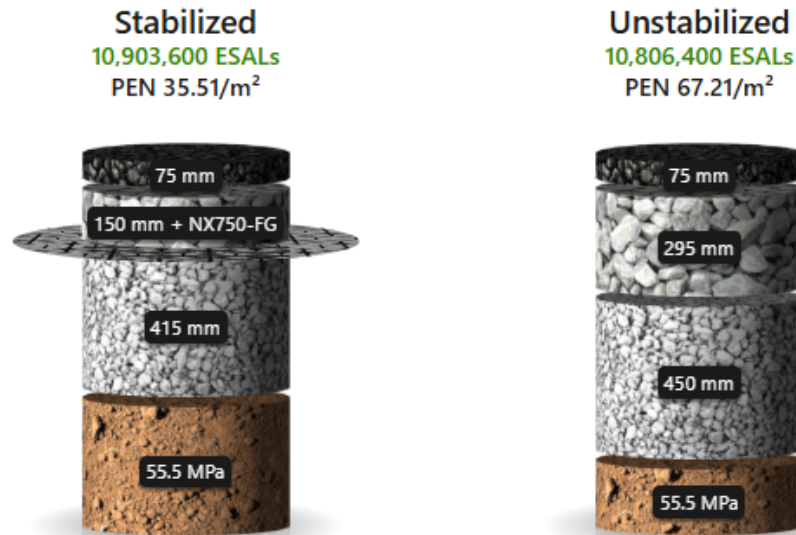
Nota: Software tensor + la figura muestra la estructura del pavimento con refuerzo de geomalla

#### 5.2.4 Presentación de los resultados:

A continuación, se muestra el detalle del procedimiento del diseño del pavimento haciendo uso del software tensor +, se aclara que este software es la que distribuye los productos tensor como la geomalla TriAx®

**Figura 14**

*Comparativa de la estructura del pavimento*



Stabilized	Thickness	Coeff.	SN
HMA layer 1	75 mm	0.420	1.240
Aggregate base (NX750-FG)	150 mm	0.276	1.630
Subbase	415 mm	0.109	1.781
Structural number (SN)			4.651

Unstabilized	Thickness	Coeff.	SN
HMA layer 1	75 mm	0.400	1.181
Aggregate base	295 mm	0.132	1.533
Subbase	450 mm	0.109	1.931
Structural number (SN)			4.645

Nota: Tensar +, la imagen muestra el diseño del pavimento, uno estabilizado y otro no estabilizado, para soportar un tráfico de 10,600,000 ESALs. Ambos diseños tienen un módulo resiliente de la subrasante de 55.5 MPa y un objetivo de confiabilidad del 90%. En el diseño estabilizado, la estructura incluye una capa de mezcla asfáltica (HMA Layer 1) de 75 mm con un coeficiente de 0.420, una base granular reforzada con Geomalla TriAx® (NX750-FG) de 150 mm y un coeficiente de 0.276, seguida de una subbase de 415 mm con un coeficiente de 0.109. El Número Estructural (SN) total es de 4.651, logrando una

mejor eficiencia estructural con menor espesor de base y subbase. En el diseño no estabilizado, la capa de mezcla asfáltica (HMA Layer 1) también tiene 75 mm con un coeficiente de 0.400, pero la base granular tiene un espesor mayor, de 295 mm, con un coeficiente de 0.132, y la subbase tiene 450 mm con un coeficiente de 0.109. El SN total es de 4.645, con mayor dependencia del espesor para alcanzar el desempeño necesario.

Nota. El diseño estabilizado con la geomalla TriAx® demuestra que la incorporación de estabilización no solo optimiza la capacidad estructural, sino que también permite reducir los espesores de las capas, lo que a su vez disminuye significativamente los costos asociados al volumen de materiales requeridos.

### **5.3 Análisis de Resultados**

La geomalla TriAx® fue incorporada entre la subbase y la base granular en la estructura del pavimento, mostrando claras ventajas en el diseño estabilizado. En este diseño, el espesor de la base granular se reduce significativamente de 295 mm a 150 mm, mientras que la subbase también experimenta una disminución, pasando de 450 mm a 415 mm. Esta optimización fue comparada con un diseño no estabilizado, es decir, sin el uso de geomalla, evidenciando las mejoras estructurales y económicas que aporta esta tecnología.

Una de las diferencias más notables entre ambos diseños es el Número Estructural (SN). En el diseño reforzado con geomalla, el SN total alcanza un valor de 4.651, frente a 4.645 en el diseño no reforzado. Aunque la diferencia numérica pueda parecer mínima, refleja la capacidad adicional de soporte proporcionada por la geomalla. Esta mejora se debe a la capacidad de la TriAx® para redistribuir de manera más eficiente las cargas aplicadas, reduciendo la deformación y mejorando la resistencia estructural bajo las mismas condiciones de tráfico proyectadas.

Además de los beneficios técnicos, el diseño estabilizado con geomalla resulta significativamente más económico. El costo estimado de la estructura del pavimento con estabilización es de S/ 35.51 por m<sup>2</sup>, mientras que el diseño sin geomalla asciende a S/ 67.21 por m<sup>2</sup>. Este ahorro en costos se explica por la reducción en los espesores de las

capas, que disminuye el volumen de materiales necesarios sin comprometer el desempeño estructural.

En conclusión, la incorporación de la geomalla TriAx® no solo optimiza el diseño del pavimento al mejorar su capacidad de soporte y reducir las deformaciones, sino que también genera ahorros significativos en costos de construcción, reafirmando su efectividad como una solución técnica y económica para proyectos de infraestructura vial.

#### **5.4 Comparación con Estudios Previos**

En la tesis realizada por Melo Sánchez (2021), se concluyó que la aplicación de geomallas triaxiales en pavimentos flexibles resultó en una reducción significativa de espesores, alcanzando una disminución del 16.67% en la capa base y del 46.67% en la subbase. Estos cambios no solo optimizaron la estructura del pavimento, sino que también mejoraron su capacidad estructural y representaron un ahorro considerable en costos, demostrando la viabilidad técnica y económica de este método

En la tesis realizada por Caballero Obregón y Yauri Jaimes (2021) concluyeron que "el uso de geomallas permitió una reducción del espesor de la capa base en un 13.05% y de la capa subbase en un 48.62%, optimizando la estructura del pavimento, mejorando su capacidad estructural y disminuyendo los costos asociados"

En la tesis realizada por Kari Benites y Olortegui Herrera (2019), se concluyó que el uso de geomallas triaxiales en el diseño de pavimentos flexibles permite una reducción del 33.33% en los espesores de las capas granulares. Este resultado refleja una disminución significativa en el material granular necesario, sin afectar la capacidad estructural de la vía. Además, se evidencia un ahorro económico derivado de la disminución en los costos de acarreo y compra de material selecto, especialmente en suelos con baja capacidad portante (CBR reducido) y altos costos de material granular

En la tesis realizada por Hinostroza (2018), se concluyó que el empleo de geomallas en pavimentos flexibles permitió una reducción significativa de las capas estructurales, disminuyendo el espesor de la base granular en 20 cm y el de la subbase en 25 cm. Este diseño, además, mostró menor deflexión al incorporar geomallas entre la subrasante y la

base, mejorando la distribución de fuerzas generadas por el tráfico y prolongando la vida útil del pavimento. Asimismo, se recomienda combinar geomallas con geotextiles para optimizar la función de refuerzo y separación de materiales

La aplicación de geomallas en el diseño de pavimentos flexibles demuestra ser una estrategia técnica y económicamente viable, como lo evidencian múltiples investigaciones. En general, las geomallas permiten una reducción significativa en los espesores de las capas estructurales del pavimento, optimizando el uso de materiales sin comprometer su capacidad estructural. Los estudios destacan reducciones en la capa base de entre el 13.05% y el 33.33%, así como disminuciones en la subbase de hasta el 48.62%, dependiendo de las características del diseño y las condiciones del suelo.

Además de la optimización de espesores, el empleo de geomallas mejora la distribución de cargas y reduce las deformaciones en el pavimento, prolongando su vida útil y aumentando la resistencia frente a las fuerzas generadas por el tráfico. En suelos con baja capacidad portante (CBR reducido), las geomallas se posicionan como una solución eficiente, disminuyendo significativamente los costos asociados al acarreo y compra de material granular. Asimismo, la combinación de geomallas con geotextiles se identifica como una recomendación clave para potenciar las funciones de refuerzo y separación de materiales.

En el presente estudio se corroboraron los resultados obtenidos en investigaciones previas, demostrando que la utilización de la geomalla TriAx® es una solución efectiva y consistente con los hallazgos anteriores. Tal como se detalla en los capítulos anteriores, la geomalla contribuye significativamente a la reducción del espesor de las capas estructurales del pavimento, lo que no solo optimiza el diseño estructural, sino que también mejora la rentabilidad del proyecto al disminuir el uso de materiales granulares y los costos asociados. Estos resultados están en línea con las conclusiones previamente expuestas, donde se evidenció que el empleo de geomallas no solo permite reducciones de hasta el 48.62% en la subbase y más del 30% en la base, sino que también mejora la distribución de cargas y prolonga la vida útil del pavimento. Por lo tanto, la incorporación de la geomalla

TriAx® reafirma su papel como una herramienta clave en la construcción de pavimentos eficientes, económicos y sostenibles.

### 5.5 Implicaciones Prácticas

La incorporación de geomallas, como la geomalla TriAx®, en el diseño y construcción de pavimentos flexibles tiene importantes implicancias prácticas en la ingeniería civil, especialmente en contextos como el del Perú, donde las condiciones topográficas y económicas plantean desafíos particulares. Estas implicancias se detallan a continuación:

- a) **Reducción de costos.** La disminución en los espesores de las capas de base y subbase reduce significativamente el volumen de materiales necesarios, impactando directamente en los costos de extracción, acarreo y colocación de material granular. La optimización de los recursos permite destinar el presupuesto para otras actividades que mejoren la calidad de los proyectos viales o la innovación de estos.
- b) **Mejora en la capacidad estructural.** Las geomallas mejoran la distribución de cargas y reducen las deformaciones en los pavimentos, especialmente en suelos con baja capacidad portante (CBR bajo), como es común en diversas regiones del país. En terrenos con condiciones pluviales extremas, como los de la selva peruana, las geomallas refuerzan la estabilidad de las capas granulares, mitigando los efectos negativos de la saturación por agua.
- c) **Mayor durabilidad de las estructuras.** El uso de geomallas prolonga la vida útil de los pavimentos, disminuyendo la frecuencia y magnitud de los mantenimientos necesarios. Esto es crucial en el Perú, donde muchas carreteras de zonas rurales tienen presupuestos limitados para su conservación.
- d) **Aplicación en proyectos de infraestructura de bajo costo.** En regiones alejadas o con recursos económicos limitados, como áreas rurales de la sierra o la selva, las geomallas representan una solución económica que mantiene estándares de calidad y desempeño. Permiten desarrollar proyectos viales más

accesibles, promoviendo el desarrollo de comunidades que dependen de vías de comunicación para transporte y comercio.

- e) **Adaptación a normativas y estándares internacionales.** En el contexto peruano, donde la ingeniería civil busca alinearse con estándares internacionales de calidad y sostenibilidad, las geomallas representan una tecnología que mejora el cumplimiento normativo y facilita la implementación de diseños más eficientes.
- f) **Contribución a la sostenibilidad.** La reducción en el uso de materiales granulares disminuye la explotación de canteras y la huella ambiental de los proyectos, lo que es esencial en el Perú, donde los recursos naturales deben gestionarse con mayor cuidado. Además, al extender la vida útil de los pavimentos, se reduce la necesidad de reconstrucciones frecuentes, minimizando los impactos ambientales y económicos.

## 5.6 Limitaciones del Estudio

A pesar que los resultados obtenidos en la investigación sobre el uso de geomallas en pavimentos flexibles son positivos, existen limitaciones que deben considerarse para su aplicación práctica en diferentes contextos:

- a) **Alcance geográfico limitado:** El estudio se enfocó en un área específica y en condiciones particulares de suelo, clima y tráfico. Por lo tanto, los resultados podrían no ser directamente aplicables a otras regiones con características distintas, como zonas con suelos altamente expansivos o regiones con tráfico pesado.
- b) **Variabilidad en la calidad de los materiales:** La calidad de las geomallas y de los materiales granulares utilizados puede variar considerablemente en la práctica. Si bien los resultados fueron favorables en condiciones controladas, es posible que las propiedades reales de los materiales empleados en campo afecten el desempeño del pavimento.
- c) **Falta de evaluación a largo plazo:** Aunque el estudio demuestra reducciones de espesores y costos, es posible que no se haya realizado un monitoreo a largo plazo para evaluar cómo las geomallas se comportan en condiciones reales de uso

prolongado, especialmente bajo efectos acumulativos de tráfico y condiciones climáticas.

**d) Limitación en los tipos de geomallas estudiadas:** El estudio se ha centrado en un tipo específico de geomalla (TriAx®). Esto deja sin explorar cómo otras tecnologías de refuerzo geosintético podrían comportarse en condiciones similares o diferentes. Además, se hizo uso del software tensor + para el diseño que es de la empresa que fabrica las geomallas, estas condiciones condicionan el uso de otras geomallas que podrían tener otras características.

**e) Consideración de variables externas:** Factores como el drenaje, el impacto de condiciones climáticas extremas (inundaciones, heladas) o la interacción entre la geomalla y su entorno no siempre son abordados de manera exhaustiva, lo que puede influir en la efectividad del diseño propuesto.

**f) Falta de comparación con tecnologías alternativas:** El estudio podría no haber comparado el desempeño de las geomallas con otras tecnologías de refuerzo de pavimentos, como geotextiles o mezclas mejoradas con aditivos químicos, limitando la evaluación integral de alternativas. Las limitaciones identificadas sugieren que los resultados del estudio deben ser aplicados con precaución, especialmente en contextos diferentes al evaluado. Además, se recomienda realizar investigaciones complementarias que incluyan análisis a largo plazo, evaluaciones en diversas condiciones geográficas y climáticas, y comparaciones con otras tecnologías de refuerzo para consolidar la validez y aplicabilidad de las conclusiones.

## **VI. Conclusiones**

### **a) Objetivo general**

Conclusión:

La incorporación de la geomalla TriAx® entre la subbase y la base granular en el diseño del pavimento flexible influye positivamente en la optimización de la estructura. Esto se evidencia en la reducción significativa de los espesores de las capas estructurales, como la base granular, que disminuyó de 295 mm a 150 mm, y la subbase, que pasó de 450 mm a 415 mm, manteniendo o mejorando la capacidad estructural del pavimento. Además, el diseño estabilizado alcanzó un Número Estructural (SN) de 4.651, comparado con 4.645 en el diseño convencional, lo que, aunque numéricamente pequeño, demuestra un refuerzo efectivo frente a las cargas proyectadas. Este diseño también redujo los costos de construcción, pasando de S/ 67.21 por m<sup>2</sup> a S/ 35.51 por m<sup>2</sup>, consolidando a la geomalla como una solución técnica, económica y sostenible para infraestructura vial en contextos como el tramo evaluado en Abancay.

### **b) Objetivo específico N°01**

Conclusión:

En el diseño del pavimento flexible mediante el método convencional, los espesores requeridos para garantizar la capacidad estructural fueron significativamente mayores, con un espesor de 295 mm para la base y 450 mm para la subbase, reflejando un mayor uso de materiales granulares. Este diseño, aunque funcional, presenta limitaciones en términos de costos y sostenibilidad, debido al volumen de materiales necesarios y la dependencia de condiciones geotécnicas favorables.

### **c) Objetivo específico N°2**

Conclusión:

La aplicación de la geomalla TriAx® entre la subbase y la base granular demostró una influencia significativa en la reducción de espesores, optimizando el diseño estructural del pavimento. La geomalla permitió reducir el espesor de la base en un 49.15% (de 295 mm a 150 mm) y el de la subbase en un 7.78% (de 450 mm a 415 mm), sin comprometer

el desempeño estructural. Esto se traduce en una mejora de la capacidad portante y la distribución de cargas, logrando reducir deformaciones y aumentando la resistencia del pavimento.

**d) Objetivo específico N°3**

Conclusión:

Al comparar los dos diseños, se observa que el pavimento con geomalla TriAx® no solo optimiza la estructura mediante la reducción de espesores, sino que también logra un ahorro económico sustancial. Mientras el diseño convencional tiene un costo estimado de S/ 67.21 por m<sup>2</sup>, el diseño reforzado con geomalla se redujo a S/ 35.51 por m<sup>2</sup>, lo que representa un ahorro de más del 47%. Además, el diseño estabilizado garantiza un mejor desempeño a largo plazo gracias a la capacidad adicional de soporte reflejada en el incremento del Número Estructural.

## VII. Recomendaciones

**Objetivo General,** La conclusión destaca la efectividad de la geomalla TriAx® en la reducción de espesores y costos, así como en la mejora de la capacidad estructural del pavimento. Ante estos resultados, se recomienda ampliar las evaluaciones del desempeño de la geomalla en distintas condiciones geotécnicas y climáticas para validar su eficacia en contextos variados. Asimismo, es fundamental establecer programas de monitoreo a largo plazo que permitan analizar la durabilidad del pavimento reforzado y los efectos acumulativos del tráfico y el clima, lo que brindaría una comprensión integral de su comportamiento y sostén a largo plazo. Estas acciones, sumadas a estudios económicos detallados que incluyan costos de mantenimiento, reforzarán la argumentación para la adopción generalizada de este método innovador.

**Objetivo Específico N°01,** La conclusión indica que el diseño convencional requiere espesores mayores, elevando los costos y limitando la sostenibilidad. En línea con esto, se recomienda investigar la aplicación de la geomalla TriAx® en situaciones donde las condiciones geotécnicas sean desfavorables, como suelos expansivos o saturados, para contrastar sus beneficios frente al diseño convencional. Paralelamente, se aconseja desarrollar estudios económicos más detallados que no solo contemplen los costos iniciales, sino también los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo, con el fin de cuantificar de manera precisa los beneficios económicos y sostenibles de reducir el uso de materiales en el diseño.

**Objetivo Específico N°2,** La conclusión subraya la significativa reducción de espesores gracias a la geomalla, optimizando la distribución de cargas y la resistencia del pavimento. Para continuar en esta línea, se recomienda investigar la combinación de la geomalla TriAx® con otros geosintéticos, como geotextiles, y explorar el uso de estabilizadores químicos en la subrasante. Este enfoque permitiría potenciar aún más la estabilidad y durabilidad del sistema, asegurando que la reducción de espesores no solo se mantenga, sino que también se incremente la resiliencia estructural bajo diferentes cargas dinámicas elevadas.

**Objetivo Específico N°3**, La comparación de costos y desempeño entre los dos diseños confirma los beneficios económicos y estructurales de la geomalla. En concordancia con esta conclusión, se recomienda actualizar las normativas técnicas peruanas para incorporar especificaciones claras sobre el diseño y uso de geomallas en pavimentos flexibles, promoviendo su difusión a través de capacitaciones y publicaciones dirigidas a ingenieros civiles. Además, priorizar su aplicación en proyectos rurales o de bajo costo permitirá maximizar el impacto social y económico, mejorando la accesibilidad y sostenibilidad de las vías de comunicación en áreas con recursos limitados.

## VIII. Referencias

- AASHTO. (1993). Guía para el diseño de estructuras de pavimento . Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte.
- Alarcón Iturríos, J. A. (2023). *Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos flexibles con la implementación de geomallas*. Universidad Autónoma de Sinaloa. [https://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/handle/DGB\\_UAS/373](https://repositorio.uas.edu.mx/xmlui/handle/DGB_UAS/373).
- Andrade, A. I., & Valle, K. A. (2023). *Análisis de eficiencia para la implementación de geomalla tipo: fibra de vidrio en pavimentos flexibles*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Recuperado de <https://repositorio.puce.edu.ec/items/d8116586-501f-407c-af72-27e2ab13e0ea>.
- Becardino, C. M. (2012). Estadística y muestreo. Bogotá. Obtenido de [https://www.academia.edu/39626329/Estad%C3%ADstica\\_y\\_muestreo\\_Ciro\\_Mart%C3%ADnez\\_Becardino\\_13ED](https://www.academia.edu/39626329/Estad%C3%ADstica_y_muestreo_Ciro_Mart%C3%ADnez_Becardino_13ED)
- Bermúdez Manrique, W. N., & Álvarez Cruz, L. D. (2020). *Análisis comparativo del uso de geomallas biaxiales como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles*. Universidad Piloto de Colombia. <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9344>.
- Buitrón Julca, L. J., & Castañeda Loyola, R. (2021). *Análisis técnico-económico aplicando geomalla triaxial en el diseño del pavimento flexible en la avenida 11 de enero entre la avenida Grau, Ancón 2020*. Universidad Nacional de Ingeniería. [geomalla TriAx® aracelly 22.11.2024.docx](#).
- Challco Alfaro, Y. N. (2022). *Análisis comparativo entre un pavimento flexible y un pavimento con geomallas multiaxiales Triax TX130S, carretera Panamericana Norte, tramo: km 499+000 al 503+000, distrito Chao, Trujillo, departamento La Libertad 2022*. Universidad Privada del Norte.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/32384/Challco%20Alfaro%2c%20Yudith%20Noemi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chicago (Ed.). (1906). The Chicago Manual of Style (15th ed.). Obtenido de <http://library.osu.edu/sites/guides/chicagogd.html>

ComexPerú. (2020). Infraestructura vial: gobiernos subnacionales estancados. Obtenido de <https://www.comexperu.org.pe/articulo/infraestructura-vial-gobiernos-subnacionales-estancados#:~:text=Seg%C3%BAAn%20cifras%20del%20MTC%2C%20el,de%20v%C3%ADas%20pavimentadas%20en%202018.>

Condori, A. N. (2016). Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geo-sintéticos. Puno, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2056>

Construyendo camino. (2014). Revista Especializada en Ingeniería de Pavimentos. Obtenido de [http://94.23.80.242/~aec/ivia/Revista\\_Construyendo\\_Caminos\\_6\\_118.pdf](http://94.23.80.242/~aec/ivia/Revista_Construyendo_Caminos_6_118.pdf)

Coronel Tenorio, R. H., & Osnar, H. E. (2019). Aplicación de geosintéticos en el diseño del tramo km 0+000 de la carretera Santa Rosa-Puerto Churo ubicado en el distrito de Píon provincia de Chota departamento de Cajamarca. Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6529>

Davila, N. E. (2017). Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua - La Maná. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6427/9.20.001877.pdf>

Elías Alvarado, J. Y. (2022). *Propuesta de modificación de la División 300 subbases y bases de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos*. Universidad de San Carlos

de Guatemala.  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/17880/1/Jaqueline%20Yanira%20Ei%20C3%ADas%20Alvarado.pdf>

Espinola Villanueva, A. T., & Gavidia Samame, J. R. (2017). "Análisis técnico de las bases granulares existentes aplicando el método CBR in situ y CBR de laboratorio en el sector Gran Chimú, el Porvenir". Trujillo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/3601>

Flores, M. P. (2018). Suelo reforzado con geosintéticos: influencia del porcentaje de volumen de suelo confinado por el geosintético en la resistencia del conjunto. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30241>

Geosistemas Pavco de Maxichem. (2009). Manual de diseño de geosintéticos. Bogotá, Colombia. Obtenido de [https://www.academia.edu/23394011/Manual\\_Diseño\\_Geosintéticos\\_OctavaEdición](https://www.academia.edu/23394011/Manual_Diseño_Geosintéticos_OctavaEdición)

Giroud, JP, y Han, J. (2004). Método de diseño para caminos sin pavimentar reforzados con geomalla. I: Desarrollo de un método de diseño. Revista de ingeniería geotécnica y geoambiental, 130(8), 775-786.

Gómez, J. C. (2021). *Implementación de geosintéticos en la ingeniería de pavimentos como medida de estabilización en suelos altamente deformables*. Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/7461ea9a-cca5-4c59-86d6-fc500932de1b/content>.

Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993. (1997). Lima. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/126459232/Guia-AASHTO-93-version-en-espanol>

Huang, YH (2004). Análisis y diseño de pavimentos (2.ª ed.). Pearson Prentice Hall.

Koerner, RM (2012). Diseño con geosintéticos (6.ª ed.). Xlibris Corporation.

Mandujano, C. J. J. (2020). *Uso de geomallas biaxiales en pavimento flexible para alargar vida útil en suelos de la asociación Nuevo Amanecer*, Lima 2019.

Universidad

César

Vallejo.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57067/Mandujano\\_CJJ-SD.pdf](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57067/Mandujano_CJJ-SD.pdf)

Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos. (2013). Lima.

Obtenido

de

[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4515.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf)

Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción.

(2013).

Lima,

Perú.

Obtenido

de

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%20](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%20)

Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. (2013). Lima. Obtenido de

[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4515.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf)

Método del instituto del asfalto. (1991). Estados Unidos. Obtenido de

[https://issuu.com/julianandrespuleciodiaz/docs/dimensionamiento\\_de\\_pavimentos\\_flex](https://issuu.com/julianandrespuleciodiaz/docs/dimensionamiento_de_pavimentos_flex)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones . (2013). Glosario de terminos de uso

frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima. Obtenido de

<http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2013/Julio/14/RD-18-2013-MTC-14.pdf>

Molina, H. A. (2018). Diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas para la

reducción de la estructura del pavimento. Ayacucho, Perú. Obtenido de

<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2784>

- Noboa, A. S. (2018). Evaluacion en el nivel de resistencia de una subrasante, con el uso combinado de una geomalla y un geotextil. Cuenca: Ecuador.
- Paredes Guevara, E. (2018). "Propuesta técnica economica para mejorar resistencia de subrasante mediante aplicación de geomallas en Av. mesones muro 0+000 -2+066.025 km- Chiclayo". Chiclayo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25683>
- Perales Vergara, J. C., & Arce Huamaní, R. C. (2021). *Aplicacion de geomallas biaxiales en el refuerzo de pavimentos para mejorar el comportamiento mecanico del pavimento flexible de la avenida César Canevaro ubicado en el distrito de san juan de miraflores, provincia y departtamento de lima*. Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/8799>.
- Perales Vergara, J. C., & Arce Huamaní, R. C. (2021). *Aplicacion de geomallas biaxiales en el refuerzo de pavimentos para mejorar el comportamiento mecanico del pavimento flexible de la avenida César Canevaro ubicado en el distrito de san juan de miraflores, provincia y departtamento de lima*. Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/8799>
- Perales, V. J. C., & Arce, H. R. C. (2020). *Aplicación de geomallas biaxiales en el refuerzo de pavimentos para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento flexible de la Avenida César Canevaro, en el distrito de San Juan de Miraflores - Lima*. Universidad de San Martín de Porres. [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/8799/perales\\_vjc-arce\\_hrc.pdf?sequence=1](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/8799/perales_vjc-arce_hrc.pdf?sequence=1)
- Razo, C. M. (2011). Como elaborar y asesorar una investigacion de tesis. México. Obtenido de <http://www.indesgua.org.gt/wp-content/uploads/2016/08/Carlos-Mu%C3%B1oz-Razo-Como-elaborar-y-asesorar-una-investigacion-de-tesis-2Edicion.pdf>

- Rodas Montenegro, J., & Ybarra Chauca, L. (2018). Análisis comparativo de daños en el pavimento con tecnología LCMS y método semiautomático para determinar PCI tramo morropón-puente la gallega (Piura). Lima. Obtenido de [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/3924/rodas\\_ybarra.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/3924/rodas_ybarra.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ruiz Gómez, L. F. (2022). *Análisis comparativo del uso de geomallas biaxiales como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles*. Universidad César Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/96324/Ruiz\\_GLF-SD.pdf?sequence=1](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/96324/Ruiz_GLF-SD.pdf?sequence=1)
- Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la investigación. México.
- Soca, A. J., Wulff, F., Sánchez Fonseca, D., & Saavedra, J. C. (2010). Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito. CAF. Obtenido de [https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/401/publicacion\\_caf\\_soluciones\\_e\\_innovaciones-oct2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/401/publicacion_caf_soluciones_e_innovaciones-oct2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tensor International Corporation. (2013). Una revolución en la tecnología de las geomallas TriAx, 4. Obtenido de [https://info.tensarcorp.com/hubfs/WH\\_Files/WH\\_Marketing%20Operations\\_Sales%20Tools/Marketing%20Support%20Files/Brochures/English/ISPN\\_TX\\_BRO\\_5.16.pdf](https://info.tensarcorp.com/hubfs/WH_Files/WH_Marketing%20Operations_Sales%20Tools/Marketing%20Support%20Files/Brochures/English/ISPN_TX_BRO_5.16.pdf)
- Terrones, J. L. (2019). Diseño estructural del pavimento de la av. Juan Pablo II y su interconexión con la vía de evitamiento utilizando geosintéticos en el distrito Víctor Larco Herrera - Trujillo - La Libertad. Trujillo, Perú. Obtenido de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5907>
- Velasquez, M. N. (2002). Optimización de cotos en carreteras aplicando el sistema de refuerzo con geomallas. Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4355>

Villegas, I. V. (2018). Análisis del uso de geosintéticos en pavimentos flexibles, como refuerzo estructural en la carretera vecinal entre la localidad de monzon y huagay, distrito de monzon - huamalies - huánuco 2018. Huánuco , Perú. Obtenido de <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/3993>.

## **IX. Anexos**

**Anexo 1** Matriz de consistencia

**Anexo 2** Matriz de operacionalización de variables

**Anexo 3** Instrumento de recolección de información

**Anexo 4** Panel fotográfico

**Anexo 5** Planos

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca de la Universidad Tecnológica de los Andes