

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

ESCUELA DE POSTGRADO



**“DISEÑO DE UNA BASE GRANULAR REFORZADA CON
GEOMALLA BIAXIAL; PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD EN
LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES,
TRAMO TAYABAMBA – ONGON. PROVINCIA DE PATAZ.
LA LIBERTAD”.**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
TRANSPORTES Y CONSERVACION VIAL

AUTOR:

Miranda Ramos Eddy Cristiam

ASESOR:

Sagastegui Plasencia Fidel German

F. Sust. : 21 de Junio 2019

Trujillo - Perú

2019

DEDICATORIA

A MIS PADRES ALEJANDRO Y ALCIRA,
QUIENES CON SU APOYO INTEGRAL
HICIERON, QUE SEA UN HIJO CON VALORES.

A MIS HERMANOS, QUIENES CON SU APOYO
EMPRESARIAL Y MORAL; SON LA UNIDAD FAMILIAR Y
MOTIVACION PARA LOGRAR LAS METAS TRAZADAS.

A MI HERMANO OVED, QUIEN ME GUIA DESDE
EL CIELO. LO ESCUCHO, LO SIENTO QUE ME
ACOMPaña SIEMPRE.

A MIS HIJOS OBED Y CALEB,
QUIENES SON MI MOTIVACION
PARA SEGUIR ADELANTE.

EDDY CRISTIAM

AGRADECIMIENTO

A TODOS LOS DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO , ESCUELA DE POSTGRADO ; Y EN ESPECIAL A MI ASESOR AL Dr. SAGASTEGUI PLASENCIA FIDEL GERMAN , QUIEN ASESORO MI TESIS EN EL MOMENTO OPORTUNO, PARA HACER REALIDAD LA CULMINACION DE ESTE TRABAJO DE INVESTIGACION.

JURADO EVALUADOR

Tesis : DISEÑO DE UNA BASE GRANULAR REFORZADA CON GEOMALLA BIAxIAL; PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, TRAMO TAYABAMBA- ONGON. PROVINCIA DE PATAZ. LA LIBERTAD.

Tesista : Br. EDDY CRISTIAM MIRANDA RAMOS

Ms. Narváez Aranda Ricardo Andrés
PRESIDENTE

Dr. Hurtado Zamora Oswaldo
SECRETARIO

Ms. Henríquez Ulloa Paul
VOCAL

Dr. Sagastegui Plasencia Fidel German
ASESOR DE TESIS

RESUMEN

La presente investigación tuvo como principal objetivo evaluar el uso de la geomalla biaxial como refuerzo del pavimento flexible en la interfaz de la base y subbase aplicado en la carretera Tramo Tayabamba. Ongon. Provincia de Patate. La Libertad.

El procedimiento para realizar la evaluación fue diseñar la estructura del pavimento flexible sin refuerzo mediante el método de AASHTO 93 que requiere de un análisis de una serie de parámetros de los cual los más importantes son el diseño de tráfico y el cálculo del módulo de resiliencia, este a su vez es obtenida a través del CBR que se determinó en los ensayos de laboratorio realizadas a la muestra de suelo extraída de la localidad, y a partir de este diseño se realizó dos diseños con dos tipos de geomalla de diferente resistencia, la geomalla biaxial LBO 202 que es de 20 KN y la geomalla LBO 302 que es de 30 KN, para ambos diseños se hizo mediante el método Geosoft Pavco V 3.0, esto con el fin de determinar los espesores de la base y subbase reforzada con la geomalla, además, se realizó los metrados para cada diseño obtenido con el objetivo de analizar los costos para cada escenario.

La metodología utilizada para la investigación es de diseño experimental en un grado de manipulación de la variable independiente de presencia – ausencia, además, tiene un enfoque cuantitativo y por la orientación se define como una investigación aplicada.

De la comparación realizada entre los tres diseños se obtuvo como resultado que la geomalla LBO 202 genera una disminución de 4% en la base y 43% en la subbase y la geomalla biaxial LBO 302 disminuye en un 8% la base y 50% la subbase la estructura del pavimento flexible, por otro lado, los costos se ven reducidos en un 2.31% y 3.73% respectivamente.

Palabras claves: Geomalla biaxial, base, subbase, espesor, costo.

ABSTRACT

The main objective of the present investigation was to evaluate the use of the biaxial geogrid as a reinforcement for the flexible pavement at the interface of the base and subbase applied to the Tayabamba section road. Ongon. Province of Patataz. Freedom.

The procedure to carry out the evaluation was to design the structure of the flexible pavement without reinforcement using the AASHTO 93 method, which requires an analysis of a series of parameters of which the most important are the traffic design and the calculation of the resilience module, This in turn is obtained through the CBR that was determined in the laboratory tests performed on the sample of soil extracted from the locality, and from this design two designs were made with two types of geogrid of different strength, the biaxial geogrid LBO 202 which is 20 KN and the LBO 302 geogrid which is 30 KN, for both designs was made by the Geosoft Pavco V 3.0 method, this in order to determine the thickness of the base and subbase reinforced with the geogrid, in addition , the measurements were made for each design obtained in order to analyze the costs for each scenario.

The methodology used for the research is of experimental design in a degree of manipulation of the independent variable of presence - absence, in addition, it has a quantitative approach and by orientation is defined as an applied research.

From the comparison made between the three designs, it was obtained that the LBO 202 geogrid generates a 4% decrease in the base and 43% in the subbase and the biaxial LBO 302 geogrid decreases the base by 8% and the subbase by 50% The structure of the flexible pavement, on the other hand, costs are reduced by 2.31% and 3.73% respectively.

Keywords: Biaxial geogrid, base, subbase, thickness, cost.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
JURADO EVALUADOR	IV
RESUMEN.....	ivi
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. EL PROBLEMA	1
1.1.1. Realidad problemática.....	1
1.1.2. Enunciado del problema.....	8
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	10
1.3. OBJETIVOS.....	10
1.1.3. Objetivo general	10
1.1.4. Objetivos específicos	10
1.4. HIPÓTESIS	10
1.5. VARIABLES.....	11
II. MARCO DE REFERENCIA	12
2.1. ANTECEDENTES	12
2.2. MARCO TEÓRICO	19
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	26
III. MATERIAL Y PROCEDIMIENTO.....	39
3.1. POBLACIÓN	39
3.2. MUESTRA.....	39
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	<u>41</u>
3.5. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	44

IV. RESULTADOS.....	46
4.1. PRUEBAS DE LABORATORIO	46
4.2. MECANISMO DE REFUERZO GENERADOS POR LAS GEOMALLAS	48
4.3. METODO AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES	51
V. DISCUSIÓN	78
VI. CONCLUSIONES	80
VII. RECOMENDACIONES	82
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

I. INTRODUCCIÓN

1.1. EL PROBLEMA

1.1.1. Realidad problemática

“Las carreteras están sometidas a importantes cargas dinámicas debido a la circulación de los vehículos, cargas que provocan la aparición de grietas que, junto con el agua, aceleran el proceso de deterioro de la estructura del pavimento flexible”.(Gavilanes , N. 2012; pag. 34)

“La existencia de grietas interrumpe la transmisión de las fuerzas transversales inducidas por la acción del tráfico, disminuyendo las propiedades mecánicas de las capas que la conforman. Tradicionalmente el procedimiento que se emplea para solucionar este problema es el tendido de una nueva capa de asfalto, sin embargo, la experiencia ha demostrado que, con el paso del tiempo, si las condiciones del tráfico no varían o disminuyen, las fisuras aparecen nuevamente en la nueva capa”.(MENÉNDEZ, J. 2016 ; Pag. 68)

“Para intentar retrasar este fenómeno, se han empleado carpetas de rodadura con espesores mayores, lo cual representa una solución antieconómica y poco práctica, ya que la transmisión de esfuerzos cortantes entre ambas capas es mínima, debido principalmente a la discontinuidad entre estas, lo que en algunos casos puede provocar deslizamientos entre la capa superior e inferior”.(MINAYA S. Y ORDOÑEZ , A. 2016 ; Pag. 32)

“El deterioro en el pavimento se produce, entre otras razones debido a la aplicación reiterada de las cargas de tráfico, llamado efecto dinámico, este proceso puede originar una falla estructural del pavimento deteriorándolo de manera acelerada. Las cargas ambientales son inducidas por las condiciones climáticas, como las variaciones en la temperatura o la humedad en la sub-rasante, que también pueden causar deterioros estructurales”.(PADILLA, R. A. 2015 ; Pag. 78)

Los ciclos de humedad y sequedad (o congelación y descongelación) pueden causar el deterioro del material de la capa de base. Los procedimientos constructivos también afectan el comportamiento del pavimento. El uso de suelos con un exceso de finos especialmente los considerados plásticos, puede ocasionar un rápido deterioro del pavimento. Además, el deterioro del pavimento también se provoca por falta de mantenimiento (Yoder y Witczak 2018 ; Pag. 48)).

“La tecnología en los últimos años ha sido y seguirá siendo la solución de problemas que, a medida que pasan los años, la ingeniería va encontrando en sus distintas ramas, ya sea en edificaciones, saneamiento o infraestructura vial. El uso de estas tecnologías se da comúnmente cuando se precisa optimizar costos y tiempo al momento de ejecutar los proyectos o en otros casos para soluciones técnicas”. (ORREGO , D. 2014 ; Pag. 46)

“En la infraestructura vial una de estas nuevas tecnologías es el uso de geosintéticos los cuales comenzaron a aparecer en Europa a mediados de los años 1950, como una alternativa para aplicaciones de drenaje y evitar la erosión, posteriormente comenzó a emplearse en América Latina como una solución para pavimentos, para cumplir la función de separación y refuerzo”.(TINGAL , W. 2013 ; Pag. 87)

Según (Geosistemas Pavco, 2012 p. 1) “El uso de geosintéticos en América Latina ha tenido en los últimos años un gran incremento respondiendo a una necesidad que cada vez se hace más crítica en los proyectos de ingeniería”.

“Hoy en día para mantener las vías de comunicación en condiciones óptimas, es necesario contar con un buen diseño y realizar una buena construcción de la estructura de un pavimento flexible, (la base y subbase); que nos brinde dar seguridad, comodidad y disminuir los costos de operación. Sin embargo, la mayoría de empresas constructoras de pavimentos, cuentan con una guía de proceso constructivo para las capas de

base y subbase que está fundamentada en los resultados del experimento vial de la AASHTO 93”. (MINAYA , S. Y ORDOÑEZ A. 2016 ; Pag. 49)).

“En el Perú, en la actualidad las metodologías para el análisis y diseño de la estructura de pavimentos flexibles son de carácter empírico y empírico-mecanicista. Los métodos empíricos no incorporan directamente en el diseño el comportamiento de los materiales bajo condiciones de pruebas representativas, valiéndose únicamente de las propiedades físicas de los materiales y de un índice de resistencia llamado Valor Relativo de Soporte, VRS (también denominado CBR por sus siglas en inglés, California Bearing Ratio)”. (PADILLA R. ,A. 2015; Pag. 86))

“En cambio, los métodos empírico-mecanicistas ya consideran leyes de fatiga de los materiales en los cálculos de vida útil y manejan el concepto de Modulo de Resilencia, pero solo como parámetro de cálculo que se correlaciona con el CBR y no como una propiedad fundamental del material. (RICO RODRIGUEZ, A. Y TELLEZ GUTIERREZ, R. 1998).

“Sin embargo, existen los métodos mecanicistas o racionales, los cuales tienen en cuenta como el estado de Esfuerzo – Deformación (Modulo de Resilencia) que experimentan las capas que conforman la estructura del pavimento, influyen en el comportamiento del mismo, además esta metodología estudia las propiedades de los materiales, tipo de tránsito volumen y condiciones ambientales que estará sometida el pavimento siendo este método de diseño el más apegados al comportamiento real de las estructuras de pavimento”.(MINAYA, S Y ORDOÑEZ, A. 2016).

“Estos diseños típicos de estructuras de pavimento de vías conllevan al uso elevado de recursos naturales y por ende un costo muy alto para la realización de las mismas”. (MINAYA, S Y ORDOÑEZ, A. 2016).

“Debido al elevado costo de asfalto y agregados, además del aumento de la presión del medio ambiente en la construcción y mantenimiento de vías, se ha generado que en otros países del mundo tanto agencias gubernamentales

como los constructores investiguen en el uso de nuevas técnicas para el diseño de estructuras de pavimentos, siendo una de las tantas investigaciones el Refuerzo con Geomallas”. (RICO RODRIGUEZ A Y TELLEZ GUTIERREZ R. 1998).

“Los Refuerzos con Geomallas en la estructura del pavimento son vistos como una solución particularmente prometedora, ya que pueden ser diseñados para proporcionar una vida útil equivalente con menos material de pavimento. Esta reducción en el espesor del pavimento conduce a la reducción de la construcción de infraestructura y los costos de mantenimiento “. (MINAYA, S Y ORDOÑEZ, A. 2016).

“En el Perú, no existe un procedimiento fundado en una teoría general, producto de un conocimiento metodológico seguro, que permita diseñar los pavimentos flexibles. De hecho, parece que puede concluirse que no se conoce con el detalle suficiente el funcionamiento estructural de los mismos”. (PADILLA RODRIGUEZ, A. 2015)

“En Nuestro País, la existencia de suelos blandos que trabajan como subrasante presenta un problema común para la construcción de pavimentos flexibles debido a que la falla prematura de esta representa un deterioro que se refleja sobre la estructura terminada”. (MTC. 2016. MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES).

“Algunas soluciones para este problema pueden ser el reemplazo del material pobre o contaminado por otro de características adecuadas, la estabilización con algún agente externo (cemento, cal, etc.), uso de pilotes o insertos utilizando fragmentos de roca, un sistema de drenaje que permita controlar la saturación del suelo, uso de algún material sintético (geotextiles o geomallas), etc”..(MTC . 2016.MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES).

“Los vehículos de antaño ejercían esfuerzos superficiales sobre los pavimentos menores que los de hoy, puesto que los reglamentos al respecto

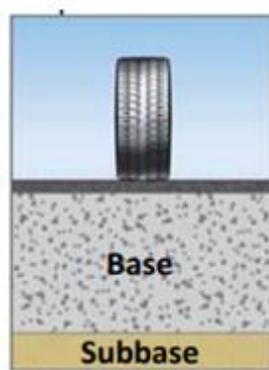
han tenido que ir reconociendo la situación de facto del desarrollo de los vehículos de carga en dimensiones y peso bruto. A la vez, aquellos esfuerzos superficiales disminuían mucho más rápidamente con la profundidad, de manera que en un pavimento típico de entonces era relativamente exigida una capa superior del orden de 30 ó 40 cm de espesor. Los vehículos actuales, con esfuerzos mayores, más que duplican esta profundidad de influencia”. (MTC. 2016. MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO O CONSERVACIÓN VIAL).

“El gran crecimiento del transporte nacional en número y peso de los vehículos presenta entonces nuevas condiciones, que han de ser tomadas en cuenta por los actuales diseñadores y constructores de pavimentos asfálticos”. (MTC. 2016. MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO O CONSERVACIÓN VIAL)

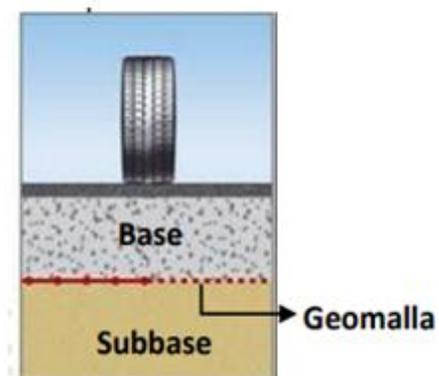
En tal sentido se crea la necesidad de realizar el diseño de una base granular reforzada con Geomalla Biaxial; para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles, tramo Tayabamba – Ongon. Provincia Pataz. La Libertad; correspondiente al tramo III; en una longitud de 15 Kilómetros.

- Mayor explotación de canteras.
- Mayor impacto ambiental.
- Mayor costo de ejecución.
- Mayor tiempo de ejecución.
- Menor tiempo de vida útil.

- Menor explotación de canteras
- Menor impacto ambiental
- Menor costo de ejecución
- Menor tiempo de ejecución
- Mayor tiempo de vida útil.



(a)



(b)

Figura N° 01 : (a) Pavimento convencional (sin optimizar); (b) Pavimento con geosintético (optimizado).



Fotografía N° 01 : Vista de carretera a Tayabamba. Provincia Pataz.



Fotografía N° 02 : Vista del Distrito de Ongon. Provincia Pataz.

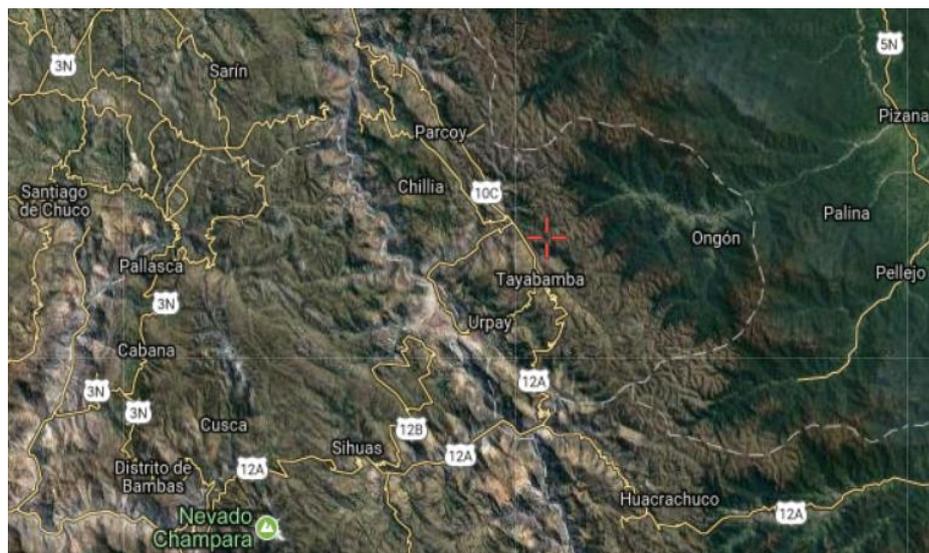


Figura N° 02 : Ubicación de Tayabamba y Ongón en la Provincia de Patate.

El desarrollo de esta investigación precisamente consiste en realizar el diseño de una base granular reforzada con Geomalla Biaxial; para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles, tramo Tayabamba – Ongón. Provincia Patate. La Libertad; correspondiente al tramo III; en una longitud de 15 Kilómetros.



Fotografía N° 03 : Vista de Carretera Tayabamba – Ongón

1.1.2. Enunciado del problema

¿Como es el diseño de una base granular reforzada con geomalla biaxial; para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles? Tramo Tayabamba- Ongon. Provincia de Pataz. La Libertad ?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Se justifica la Investigación a realizar dado que por medio de la misma se busca proponer una geomalla biaxial en la base granular en pavimentos flexibles, cuyo refuerzo de las capas estructurales del pavimento (base y sub-base) para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles y mejorar el desempeño de la estructura a través del control del ahuellamiento producido en la superficie debido al desplazamiento lateral de las partículas granulares al intentar alejarse del área de aplicación de las cargas de tráfico.

La aplicación de las geomallas biaxiales no como estabilizadores, sino como sistema estructural que nos ayudara a la reducción del espesor de base y subbase en la construcción de pavimentos, y reducir costos y tiempo de ejecución e indirectamente conlleva a la reducción de la explotación de canteras y minimizar el impacto ambiental.

Justificación técnica: Las geomallas biaxiales tienen propiedades físico-mecánicas muy eficientes que son duraderas, además de ello, son elaborados por diferentes tipos de polímeros que estos a su vez llegan a hacer económicos y de fácil uso, no requiriendo mano calificada para su aplicación en la construcción de carreteras.

Justificación económica: Con la aplicación de geomallas biaxiales, la construcción de pavimento flexible se hace más económico (menos horas máquina, menos explotación de canteras, menos tiempo y además son económicos.

Justificación académica: El tema de la aplicación de Geomallas Biaxiales en general, es un tema muy amplio, pues existen diferentes tipos de Geomallas Biaxiales, que actúan estructuralmente, así como también existe métodos en estudio

para aplicar en diseño de pavimentos flexibles, muchas veces mejorando y así reduciendo la capas base y subbase, el cual debe ser un motivo importante de estudio.

Justificación social: Al aplicar las geomallas biaxiales en un pavimento flexible, surge directamente la reducción de explotación de canteras, y esto beneficia a la sociedad, por el simple hecho de lograr un menor impacto ambiental. También en la aplicación de geomallas biaxiales, en la construcción de carreteras genera el uso de mano de obra no calificada y la aplicación puede hacer cualquier personal obrero de la zona.

Debido a estas razones es importante realizar el diseño de una base granular reforzada con geomalla biaxial, para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles, cuya aplicación será en la carretera Tayabamba-Ongon. Provincia Pataz. La Libertad, en el Tramo III : desde el Km 29 + 860 al Km 45 + 613.79 ; haciendo un total de 14 Kilómetros más 753. 79 Metros.



Fotografía N° 04 : Vista de Tesista en carretera Tayabamba – Ongon.

1.3. OBJETIVOS

1.1.3. Objetivo general

Realizar el Diseño de una base granular reforzada con geomalla biaxial; para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles, Tramo Tayabamba-Ongon. Provincia de Pataz. La Libertad.

1.1.4. Objetivos específicos

- a) Estudiar su clasificación, aplicación y propiedades físicas-mecánicas mediante ensayos de laboratorio de las diferentes Geomallas Biaxiales, en la construcción de la base y subbase de una carretera para mejorar la calidad se suelos.
- b) Realizar las mediciones deflectométricas de la base granular con y sin geomalla biaxial, caso del estudio en la carretera Tayabamba – Ongon; tramo III : Km 29 + 860 al Km 45 + 613.79 . Provincia de Pataz, Departamento La Libertad .
- c) Determinar la influencia de la Geomalla Estructural Biaxial en el comportamiento del Esfuerzo - Deformación Permanente a múltiples niveles de esfuerzo para un material tipo Base Granular del tramo III de la carretera Tayabamba – Ongon.
- d) Diseñar una base granular reforzada con geomalla biaxial para optimizar la calidad en la vida útil de la carretera Tayabamba- Ongon.
- e) Determinar el costo y el tiempo del proceso constructivo de bases y subbase con alternativas de construcción tradicionales y la construcción con el uso de Geomallas Biaxiales en carreteras.

1.4. HIPÓTESIS

El Diseño de una base granular reforzada con geomalla biaxial; optimizará la calidad y vida útil en la construcción de pavimentos flexibles, Tramo Tayabamba-Ongon. Provincia de Pataz. La Libertad..

1.5. VARIABLES

Variable Independiente:

Tramo Tayabamba- Ongon. Provincia de Pataz. La Libertad.

Variable Dependiente:

Diseño de una base granular reforzada con geomalla biaxial; para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES

RESEÑA HISTÓRICA DE LAS GEOMALLAS

A lo largo de la historia, el hombre ha intentado aprovechar de la mejor manera posible los materiales disponibles a su alrededor. El suelo, uno de los elementos más utilizados por el hombre, no se ha quedado atrás en este intento por encontrar un material final con mejores características. Es así que podemos encontrar intentos de “suelo reforzado” desde los inicios de la civilización: existen pruebas del uso de troncos con el fin de estabilizar suelos arcillosos o pantanosos, o intentos por construir taludes con una mayor pendiente usando fibras naturales o vegetación como refuerzo.

Sin embargo, el desarrollo de fibras sintéticas hizo posible un mayor desarrollo de esta aplicación ya que ofrecían una ventaja muy importante: las fibras naturales utilizadas eran propensas a la biodegradación por parte de la matriz donde se encontraba mientras que las fibras fabricadas en base a polímeros presentaban una resistencia mucho mayor.

A mediados de mil ochocientos se desarrollan los primeros polímeros sintéticos. Un polímero es una macromolécula (generalmente orgánica) formada por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Los polímeros naturales más conocidos son el ADN, las proteínas y la celulosa. A partir de estas se desarrollan polímeros sintéticos en laboratorios; dentro de los más usados actualmente podemos mencionar el nylon, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno, etc.

El uso de estos materiales permitió la creación de una nueva clase de materiales: los geosintéticos. La norma ASTM D4439 define un geosintético como “un material planar fabricado a partir de materiales poliméricos usado en contacto con suelo, roca, tierra u otro material relacionado con la ingeniería geotécnico y que es parte de un proyecto

realizado por el hombre”. La estructura, la composición y el comportamiento molecular de los polímeros utilizados para formar este material tienen una influencia directa en sus propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas, y en su comportamiento.

Los primeros materiales en desarrollarse fueron los geotextiles, un conjunto de textiles desarrollados como “telas filtrantes”. Estos alcanzaron gran popularidad durante los años 1950 ya que se empezaron a utilizar como una alternativa al uso de material granular en aplicaciones de drenaje y control de erosión. Anos después, en Francia, se dan los primeros intentos del uso de geosintéticos en vías no pavimentadas, debajo de balastos (ferrocarriles), dentro de terraplenes y como refuerzo de presas de tierra; en estos casos se buscaba que el material cumpla las funciones de separación y refuerzo.

Según Koerner (2005), podemos definir a las geomallas como materiales geosintéticos que consisten en juegos de costillas paralelas conectadas con aberturas de tamaño suficiente que permitan la trabazón del material con el que están en contacto.

Como ya se mencionó anteriormente, este material tiene como principal función el **refuerzo** del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante. Adquiere una mayor importancia en la industria de la ingeniería civil al tener un mejor desempeño que los geotextiles al ser usados como refuerzo de muros, taludes, pavimentos y fundaciones de diversas estructuras.

Existe una gran variedad de geomallas de acuerdo a su proceso de fabricación, el material del que están hechas, el tipo de unión con el que se fabrican, etc. Cada una de estas tiene diferentes propiedades y beneficios de acuerdo a la aplicación en las que se use.

En el año 1979, el Dr. Brian Mercer, junto con otros, publicó la patente de este nuevo material e impulsó su uso como refuerzo de suelos en diferentes aplicaciones. Asimismo, buscó la participación activa de universidades y

entidades en el Reino Unido a través de la investigación; buscando desarrollar soluciones aplicadas a la ingeniería civil que permitan la Utilización de estos materiales.

Los materiales que fueron desarrollados a partir de estas investigaciones pertenecen al grupo de las “geomallas homogéneas”, llamadas así por el proceso que se sigue para su fabricación y que será explicado más adelante. Las investigaciones realizadas concluyeron que se pueden lograr soluciones sencillas, confiables y muy rentables con el uso de estos materiales, en comparación con soluciones tradicionales. Es por esto que alcanzan una gran popularidad rápidamente y actualmente son un material utilizado en una gran cantidad de obras alrededor del mundo.

INVESTIGACIONES INTERNACIONALES

1.- JORDAN ORRALA Y SUÁREZ GONZÁLEZ (2017) ; en su tesis titulada “Diseño de pavimentos flexibles con el uso de geosintéticos como refuerzo aplicado a vías de acceso a la ciudadela La Milina del Cantón Salinas”, tuvo como objetivo principal analizar el uso de geosintéticos como refuerzo en el diseño de pavimentos flexibles con el fin de mejorar el comportamiento estructural en las vías ya mencionadas anteriormente, la metodología fue concebida en la investigación fue de tipo aplicada, para la obtención de los resultados se realizaron los ensayos correspondientes determinando así que están ante la presencia de un suelo blando con baja capacidad portante que presenta un CBR menor al 3%, además el autores hicieron la comparación entre los espesores del diseño tradicional de pavimento flexible mediante el método AASHTO 93 y el diseño con refuerzo con geomalla biaxial, según estos métodos los autores determinaron cada uno de los espesores de cada capa de la estructura, los resultados para el método de AASHTO 93 obtenido fue que la sub base será de 27 pulgadas, una base de 11 pulgadas y una carpeta asfáltica de 4 pulgadas, por otro lado, con el refuerzo de la geomalla biaxial, los autores determinaron que para la estructura será necesario una sub base de 22 pulgadas, una base de 6 pulgadas y una carpeta asfáltica de 4 pulgadas, con estos resultados y haciendo la comparativa los autores obtuvieron como conclusión que

la disminución de los espesores es de un 2% lo que representa una alternativa con alto porcentaje de factibilidad que disminuye los espesores para así hacer más viable el proyecto económicamente. El aporte de la investigación realizada por los autores es considerable ya que la metodología utilizada para obtener los resultados será influyente en el desarrollo de mi investigación.

2.- BUSTAMANTE NOBOA, (2016) en su tesis titulada “Evaluación en el nivel de resistencia de una Subrasante, con el uso combinado de una Geomalla y un Geotextil” tuvo como objetivo principal determinar el nivel de resistencia que puede proporcionar la colocación de un geotextil y una geomalla en el interface capa granular y subrasante como refuerzo, la metodología usada por este autor fue realizar ensayos en laboratorio que le permitiría obtener las curvas esfuerzo/deformación para cada caso que necesitaba analizar además planteó determinar el número estructural (SN) para cada caso. El autor planteo cuatro casos para analizar, el primero una estructura de pavimento flexible convencional, la segunda reforzada con geotextil, la tercera reforzada con geomalla y por ultimo una estructura reforzada con geotextil y geomalla a la vez de los cuales obtuvo como resultado que para el caso donde se reforzó con geomalla alcanzó una mayor rigidez respecto a los otros, por otra parte, cuando se analiza la carga-deformación obtuvo como resultado, de la comparación entre el pavimento reforzado con geotextil y reforzado con geotextil y geomalla, que no existe diferencia significativa por ende esto sería un gasto innecesario al ejecutar el proyecto. Como resultado en general obtuvo que el espesor de la capa de mejoramiento se reduce en un 60% en los tres escenarios donde se refuerza en comparación con la estructura no reforzada, en consecuencia esto representaría menores costos, así lo expresó el autor. El aporte de la investigación realizada por este autor es bastante interesante ya que se puede observar qué escenario ofrece un mejor comportamiento técnico y económico para ejecutar un proyecto vial.

3.- GAVILANES DAVILA, (2012) en su tesis titulada “Diseño de la Estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua – La Maná”, El autor para esta investigación presentó como objetivo un estudio enfocado en el análisis del pavimento de la estructura

tradicional en comparación con la estructuración de un pavimento reforzada con geomalla biaxial, este estudio se realizó en la ciudad de La mana en la carretera Latacunga en Ecuador. La metodología que utilizó fue el estudio y recopilación de una serie de parámetros para proceder a diseñar y calcular los espesores de la estructura, la localidad donde realizó la investigación el autor encontró un tipo de suelo predominante que corresponde a limo arenoso (ML) en el cual realizó los ensayos correspondientes y determinó los resultados según el Proctor Modificado los valores promedios de humedad optima de 18.10% y densidad máxima 1.65 gr/cm³, también realizó el ensayo de California Bering Ratio y obtuvo valores promedio de 5.61% para 0.1" y 5.83% para 0.2". De acuerdo a estos valores el autor realizó el diseño del pavimento sin reforzar y el pavimento reforzado empleando una geomalla biaxial Mac Grid 20s con el fin de hacer la comparación con el cual obtuvo que el ahorro de material granular asciende al 30% además obtuvo los siguientes espesores: Para el pavimento sin reforzar, una carpeta asfáltica de 10 cm, base granular de 20 cm y sub base granular 15 cm, en cambio, con el refuerzo de la geomalla obtuvo, carpeta asfáltica de 10 cm, base granular de 15 cm y sub base granular de 15 cm, este diseño se realizó según el método de la ASSHTO 93 y con un diseño de 10 años, finalmente el autor concluyó que el pavimento reforzado no requiere de un equipo especializado y disminuye considerablemente los costos de mantenimiento a diferencia del precio por el pavimento tradicional además del ahorro en material. En aporte de la investigación realizada por el autor es de gran importancia para la realización de mi proyecto debido a que se puede observar la realidad de otra localidad y los beneficios obtenidos con la geomalla biaxial.

4.- ZORNBERG JORGE G. (2017) ; Professor, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA ; Realizó una investigación cuyo título es : SISTEMAS DE PAVIMENTOS REFORZADOS CON GEOSINTÉTICOS; y que llegó al siguiente resumen :

a) Los geosintéticos se han utilizado como inclusiones de refuerzo para mejorar el comportamiento del pavimento. Si bien hay evidencias incuestionables de las ventajas de utilizar refuerzos geosintéticos, las condiciones o mecanismos específicos que rigen el refuerzo de pavimentos son, al menos, poco claras y se han mantenido prácticamente sin cuantificación.

b) Se ha llevado a cabo recientemente una significativa investigación con el fin de: (i) determinar las propiedades relevantes de geosintéticos que contribuyen a la mejora del comportamiento de los sistemas de pavimentos, (ii) el desarrollo de métodos analíticos y empíricos, capaces de cuantificar el comportamiento del pavimento, y (iii) predecir el comportamiento del pavimento en función de las propiedades de los diversos tipos de geosintéticos.

INVESTIGACIONES NACIONALES

1.- DÍAZ CHUQUIMANGO, (2017) ; en su tesis titulada “Influencia de la geomalla en el diseño del pavimento flexible en la Vía de Evitamiento Norte – Cajamarca, 2017”, en esta investigación se planteó como objetivo general determinar la influencia de la geomalla en el diseño del pavimento flexible en la Vía de Evitamiento Norte de la ciudad de Cajamarca. El autor de esta investigación optó por una metodología del tipo aplicada donde realizó la comparación entre tres alternativas de diseño, los cuales fueron: diseño de pavimento flexible convencional según AASHTO, diseño de pavimento flexible reforzado con geomalla Tenax Ibo 202 y diseño de del pavimento flexible reforzado con geomalla Tenax Ibo 302. Realizado los diseños para cada alternativa el autor tuvo como resultado de la comparación entre los pavimentos reforzados con las geomallas Tenax Lbo 202 y Tenax Lbo 302 lo siguiente: para la base granular obtuvo una reducción de 7.50 cm en ambos casos, para la sub base granular la geomalla Ibo 202 genero una reducción de 11.00 cm en cambio, la geomalla Ibo 302 generó una reducción de 13.00 cm, por otra parte, el autor también realizó la comparación económica donde obtuvo como resultado que el costo del pavimento flexible convencional reforzado con las geomallas Tenax Lbo 202 y Tenax Lbo 302 genera un ahorro de S/ 32.73 y S/ 37.86 por m² respectivamente. Finalmente el autor concluyó que el uso de la geomalla Tenax Ibo 302 genera mayor beneficio debido a que técnicamente reduce la base granular en un 32,6 %, la sub base granular en 32.1% y en consecuencia económicamente reduce el costo en un 18,23% por m². El aporte de esta investigación será de gran utilidad debido a que el autor en sus conclusiones determinó económicamente los beneficios de la geomalla.

2.- AGUIRRE ZÚÑIGA Y FLÓREZ ROJAS, (2016) en su tesis titulada “Análisis de reducción de costos en obras viales mediante optimizaciones de ingeniería en los diseños de pavimentos flexibles: caso de estudio, obra mejoramiento de la carretera CU-110 “Huaroscondo – Pachar”, ubicado en los distritos de Huaroscondo y Ollantaytambo, provincias de Anta y Urubamba, región Cusco”, para esta investigación los autores plantearon como objetivo analizar el uso de geomallas como refuerzo de bases granulares dentro de la estructura de pavimento flexible, además, establecen determinar si son una alternativa para la reducción de costos en comparación a un diseño de pavimento flexible convencional. La metodología de esta investigación por su finalidad fue de tipo aplicativo donde, para su recolección de datos, hizo uso del método AASHTO para calcular los espesores de un pavimento convencional y de otro reforzado con geomalla biaxial. En los resultados de la investigación se destaca que la reducción de espesores empleando geomalla biaxial varía desde 5% hasta un 45% y finalmente los autores llegaron a la conclusión que la aplicación de la geomalla para bases y sub base granulares en el pavimento flexible genera un 3.30% de reducción en el costo de la construcción del proyecto en estudio. El aporte de la investigación realizada por estos autores será importante ya que presentan punto de vista global y la influencia que genera en un proyecto real.

3.- NUÑEZ CONDORI ANSELMO (2016); de la Universidad Nacional del Altiplano; realizo una investigación cuyo título es: **“OPTIMIZACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS”** ; **llegando al siguiente resumen :**

- a) El presente trabajo consiste en el análisis del uso de geosintético como refuerzo de subbase granular dentro de una estructura de pavimento flexible, esto es un método moderno.
- b) Este método se está utilizando a nivel mundial para optimizar espesores de pavimento, prolongando la vida útil del pavimento, vías de comunicación más económicas, eficientes y duraderas; para nuestro caso se aplicó en forma teórica al expediente de una vía que tiene materiales óptimos para la construcción de las capas.

- c) Hay que tener en cuenta que la aplicación de geomalla en nuestro País, está restringido por falta de normativa; pero existen estudios en diferentes países, donde se muestran modelos a escala real que sirven de punto de partida para elaborar diseños aptos para nuestro País.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

2.2.2. Geomalla Biaxial

Para la sustentación teórica de los conceptos de esta investigación se definirán y explicarán las variables de estudios para la cual se acudió a diferentes autores, sobre la primera variable Geomallas:

Según (Geosistemas Pavco, 2012 p. 15) sostiene que: “Las geomallas coextruídas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante. El mencionado autor quiere decir con “coextruídas” que se trata de un material combinado con diferentes compuestos de distintas propiedades para optimizar y asegurar su función, además se puede entender que este es un geosintético que posea características que facilitan la junta entre los suelos, esto es de gran importancia ya que va contribuir a que el paquete estructural resista adecuadamente.

Por otra parte, según (Cidelsa, 2015 p. 2) las geomallas biaxiales son “Utilizadas mayormente para refuerzos de bases en todo tipo de suelos. La distribución de los refuerzos están dados por igual en ambos sentidos”. Es decir, las geomallas biaxiales trabajan de manera que generan trabazón con el agregado para de esta forma limitar su desplazamiento horizontal para así absorber y distribuir los esfuerzos a una mayor área. Dentro de las propiedades de la geomalla, existe una que es la principal función de este geosintético. Así lo define (Geosistemas Pavco, 2012 p. 15) quien expresa lo siguiente:

La principal función de las geomallas coextruídas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de geomalla está ligado a la dirección en que los esfuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como muros en suelo reforzado o en terraplenes, se utilizan las geomallas mono-orientadas que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal. Mientras, que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los dos sentidos de la grilla.

Como lo manifiesta el autor, la principal función de la geomalla es reforzar la estructura a la cual va destinada, en el caso de los pavimentos el autor menciona que se recomienda usar las geomallas bi- direccionales y la razón es porque reaccionan de igual manera en ambos sentidos, sin embargo, existen también las geomallas multi-direccionales, las cuales proporcionan una mayor rigidez a las estructuras además hace que las cargas se distribuyan en todas las direcciones haciendo que esta geomalla se diferencie de los demás existentes en la actualidad.

Los componentes estructurales como se indica en la siguiente figura son los que hacen del pavimento una vía de confort y resistencia a lo largo de los años, pues entre ellas está la capa exterior que presenta al tráfico, la superficie a la rodadura que adsorbe las cargas que derivan del tráfico.

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir, distribuir esfuerzos originados por los vehículos, mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito.

Por lo general está conformada por las siguientes: capas: base, subbase y capa de rodadura. Los materiales más costosos están en las capas superiores



Figura N° 03 : Componentes estructurales del pavimento
Fuente : MTC. 2014

Los componentes de los pavimentos en general, deben estar sometidos a ensayos como se indican en la tabla N° y que demuestren que los materiales son de buena calidad; muchos de los ensayos son especialmente para base y subbase, como se indica en la tabla N° ; para determinar sus características físico-mecánicas.

Tabla N° 01 :Ensayos más frecuentes en pavimentos flexibles
Fuente : Ministerio de Transportes y Comunicaciones , 2014.

Propiedades y características	AASHTO	ASTM	MTC	Frecuencia	Lugar de muestreo
Granulometría	T88	D422	E109	1 cada 1,500 m3	cantera
Límite Líquido	T89	D423	E110	1 cada 1,500 m3	Pista
Índice de plasticidad	T90	D 4318	E 111	750 M3	Pista
Materia Orgánica	T267	----	E118	1 cada 10,000 m3	----
CBR	T193	D 1883	E 132	2,000 M3	Cantera
Compactación	T 191 T 238	D 4718 D 2922	E 117 E 124	250 M3	Pista
Densidad	T180 T191	D1557 D1556	E115 E117	1 cada 2,500 m3 (en cada capa)	Tramo 1,500 m2

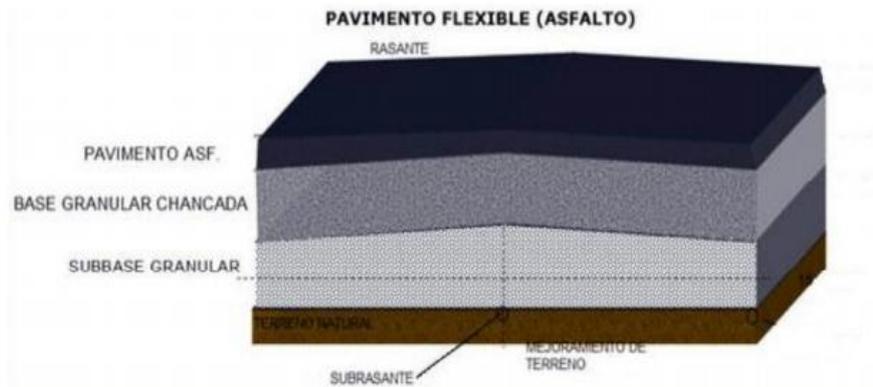


Figura N° 04 : Pavimento flexible indicando sub base , base , carpeta asfáltica
Fuente : Minaya, S. y Ordoñez A. 2016.

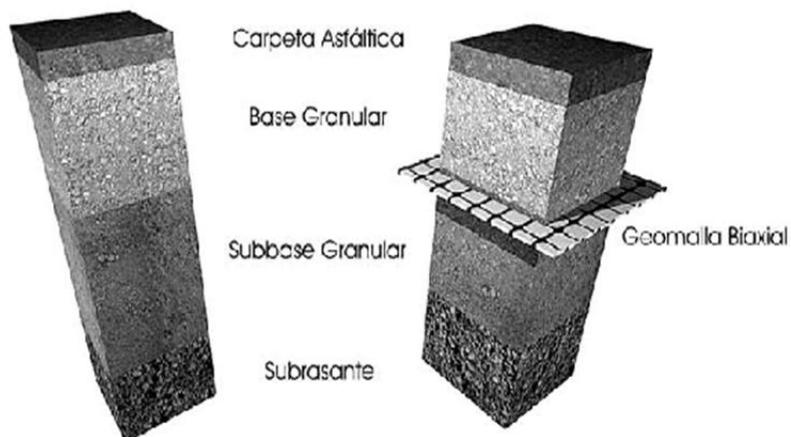


Figura N° 05 : Sección Típica de la estructura de un pavimento flexible
Fuente : Minaya, S. y Ordoñez A. 2016.

CLASIFICACIÓN DE LAS GEOMALLAS

Las geomallas pueden clasificarse según diferentes criterios que a lo largo de los años se han ido considerando, finalmente se clasifican según dos grupos que se detalla a continuación:

Sentido del desarrollo del refuerzo

Geomallas Uni-Axiales

Son las geomallas que tienen como función reforzar la estructura en una sola dirección, es decir son fabricadas con el fin de desarrollar una alta resistencia a la tensión en un solo sentido. Este tipo de geomalla son las más utilizadas en suelos especialmente de tipo granular debido a que provee un sistema de trabazón.

Según (Geosistemas Pavco, 2012 p. 15) “(...) poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160 KN/m aproximadamente. (...)”. Es decir, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión más la función de la geomalla, da el concepto de un suelo reforzado similar a la función de un concreto y acero de refuerzo.

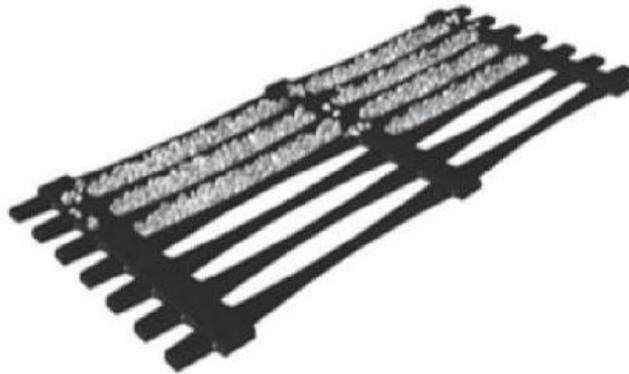


Figura N° 06 : Geomallas Uni-Axiales
Fuente : MDG, 2009.

Geomallas Bi-Axiales

Son geomallas que cumplen la función de reforzar la estructura en dos sentidos, longitudinal y transversal, además de ser utilizados para reforzar los pavimentos también son utilizados como refuerzo secundario en taludes de suelo reforzado.

La característica que presenta este tipo de geomalla según (Geosistemas Pavco, 2012 p. 16) es “(...) alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad.”



Figura N° 07 : Geomallas Bi-Axiales
Fuente : MDG, 2009.

Geomalla Multi-Axial

Son un tipo de geomalla que tiene como principal función brindar a la estructura un refuerzo de tal modo que resista a la tensión radial, en otras palabras, actúa soportando la tensión en toda la dirección debida a su diseño triangular, según Tensar (2013, p. 4) indica “(...) mayor resistencia y rigidez para mitigar el esfuerzo radial que se impone desde una superficie transitada”.

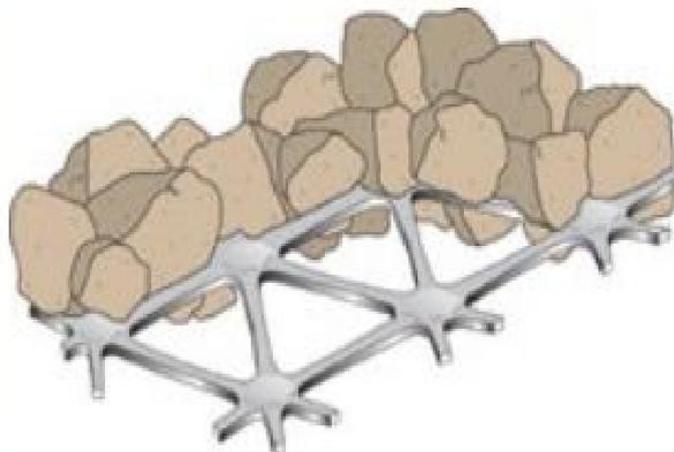


Figura N° 08 : Geomallas Multi – Axial
Fuente : Tensar, 2013



Fotografía N° 05 : Vista de carretera Tayabamba – Ongón; en mal estado
Fuente : Canal programa Patazinforma– 2019.



Fotografía N° 06: Vista de carretera Tayabamba – Ongón; en mal estado
Fuente : Canal Patazini – 2019.



Fotografía N° 07: Visita de alcalde a la Ciudad de Ongón.

Fuente : Propia

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- GEOMALLAS BIAXIALES

Son geomallas que presentan aberturas uniformes y resistencia a la tensión en dos sentidos: longitudinal y transversalmente. Se utilizan en aplicaciones de pavimentos o caminos y también como refuerzo secundario en taludes de suelo reforzado.

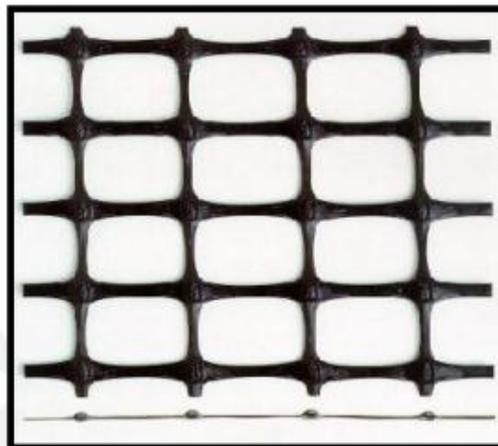


Figura N° 09 : Geomalla Biaxial

Fuente : AASHTO.(2009).

USO DE GEOMALLAS COMO REFUERZO DE PAVIMENTOS

Las vías, en general, pueden ser clasificadas dentro de dos grandes grupos: permanentes y temporales dependiendo del tráfico que recibirán, el tiempo de vida que tendrán y el desempeño que se espera de cada una de ellas. Las vías temporales, generalmente tienen un periodo de vida entre uno y tres años, aproximadamente. Estas esperan un tráfico no muy significativo y por lo tanto casi siempre son vías no pavimentadas.

Estas pueden incluir desvíos, producto de alguna obra en proceso, caminos de acceso y plataformas de construcción necesarias para la construcción de vías permanentes o terraplenes sobre suelos blandos. El uso de geosintéticos permite que el equipo pesado pueda transitar por un área que es muy débil para soportar este tipo de carga por sí misma ya que su uso puede ser una alternativa económica al uso de tratamientos de mejoramiento más costosos.

Por otro lado, las vías permanentes, que pueden ser pavimentadas o no pavimentadas, generalmente, esperan un tráfico mayor a un millón de pasadas de ejes equivalentes y un periodo de vida que supera los diez años.

En este caso, el diseño consiste en determinar los materiales adecuados para asegurar que no habrá una falla prematura de la sección proyectada del pavimento.

Se pueden definir dos tipos de fallas principales: una falla estructural y una falla funcional del pavimento.

La primera, se refiere a que el colapso de la sección total o la falla de una o más de las capas que lo componen impedirá que la sección sea capaz de soportar las cargas de tráfico para las cuales ha sido diseñada. Esta falla puede ser causada por la intrusión de material de la subrasante en las capas granulares, disminuyendo su capacidad de drenaje y sus propiedades mecánicas. También puede ser producida por el paso de cargas de tráfico superiores a las consideradas en el diseño o por asentamiento diferenciales excesivos que se producen en la subrasante.

Otra de las causas principales de las fallas estructurales de pavimentos es la excesiva presencia de agua dentro de la sección debido a un inadecuado drenaje. Esto puede resultar en cambios en el volumen de los materiales, un aumento en la presión de poros o la pérdida de resistencia en la subrasante.

En cambio, la segunda, se refiere a deficiencias superficiales que se puedan dar sobre la superficie de rodamiento que afecten la “serviciabilidad” del camino. Es decir, su capacidad para brindar un tránsito cómodo y seguro al usuario.

Por ejemplo, ondulaciones longitudinales y deformaciones transversales excesivas, textura de la superficie inadecuada, alto porcentaje de áreas reparadas, etc. En algunas ocasiones, de no llegarse a tratar este tipo de falla a tiempo, puede llegar a producirse una falla estructural.

Una de las causas de este problema puede ser el uso de materiales contaminados durante la construcción que reduzcan la capacidad de drenaje de las capas granulares.

Asimismo, un mantenimiento inadecuado de la vía después de su construcción puede generar incomodidad en los usuarios; por ejemplo, esto se puede reflejar en la aparición de grietas a través de las cuales se puede filtrar el agua hacia las capas inferiores.

Para ambos casos, existen geosintéticos que pueden ayudar a solucionar alguno de estos problemas. Para el caso específico del uso de geomallas en el área de pavimentos se conocen algunas aplicaciones principales: control de reflexión de grietas en recapeos asfálticos, mejoramiento de subrasantes y suelos blandos, refuerzo de bases o sub-bases, etc.



Fotografía N° 08 : Vista de colocación de geomalla en la construcción de un pavimento flexible.

MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de fallas, la funcional y la estructural. La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, de tal forma que no transporta cómoda y seguramente a los vehículos.

La falla estructural está asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que éste no pueden soportar las cargas a las que está sometido. No necesariamente las dos fallas se producen al tiempo; en este caso se hará referencia a la falla estructural. La falla estructural en un pavimento se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito, sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa; en este sentido la falla relaciona la deformación o la tensión producida con el número de repeticiones admisibles; esto se denomina falla por fatiga o sea por repeticiones de carga.

Estos fenómenos que se producen en el pavimento durante su funcionamiento, pueden ser modelados en el laboratorio haciéndose los llamados ensayos de fatiga; el agrietamiento que se produce en los materiales cuando se hacen las pruebas de laboratorio sobre las muestras de materiales o a escala natural, se asocia con la respuesta resiliente (recuperable) del pavimento ante las cargas dinámicas; en estos ensayos se ha determinado que las grietas se propagan de la base de cada capa hacia arriba.

Al respecto Medina (2000) afirma: “Como se considera que los materiales que conforman la estructura durante su vida útil están trabajando dentro del rango elástico, entonces la fatiga de estos es causada por repeticiones de carga (N) impuestas por el tránsito.

Por consiguiente, el comportamiento a la fatiga para las capas que conforman el pavimento se presenta normalmente como una relación entre las repeticiones de carga y la deformación”.

En términos generales, con las leyes de fatiga de los materiales se puede encontrar las deformaciones, esfuerzos y deflexiones admisibles de los materiales, y con la teoría de esfuerzo y deformación en una masa de suelo se encuentran las deformaciones, esfuerzos y deflexiones actuantes en la estructura de pavimento.

Teniendo en cuenta la gran capacidad de las herramientas computacionales actuales y con una adecuada caracterización de los materiales, se pueden programar las ecuaciones diferenciales para calcular los esfuerzos, deformaciones y deflexiones a las que está sometido el pavimento y la subrasante por acción de las cargas impuestas por el tránsito.

MODULO DINÁMICO O RESILIENTE

Para GARNICA, P., GÓMEZ, J. A., & SESMA, J. A. (2002), “los materiales que constituyen las estructuras pavimentos se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tráfico”.

Como también GARNICA, P., GÓMEZ, J. A., & SESMA, J. A. (2002) afirma “con el fin de tener en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman una estructura de pavimento, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales, se han realizado en el mundo varios trabajos experimentales, tanto en modelos a escala natural como en muestras de material probadas en el laboratorio, obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales”.

Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y suele denominarse plásticas a aquéllas que permanecen en el pavimento después de cesar la carga.

Bajo carga móvil la deformación permanente se va acumulando y para ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales. La muestra llega así a un estado tal en que toda la deformación es recuperable, en ese momento se tiene un comportamiento resiliente.

De aquí se desprende el concepto de módulo resiliente, el cual está definido como el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable. Así pues, el concepto de módulo resiliente está ligado invariablemente a un proceso de carga repetida.

Como se ha observado en los estudios llevados a cabo sobre módulo resiliente, este parámetro no es una propiedad constante del material, sino que depende de muchos factores. Los principales son: número de aplicaciones del esfuerzo, tixotropía, magnitud del esfuerzo desviador, método de compactación y condiciones de compactación.

La metodología actual para diseño de pavimentos utilizada por el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales constitutivos de la sección de una carretera es el parámetro denominado módulo resiliente ó Esfuerzo –Deformación del pavimento.

DETERMINACIÓN DE MÓDULO RESILIENTE DE ACUERDO A AASHTO 93:

El módulo resiliente es el parámetro utilizado con el fin de representar las propiedades de los suelos de la subrasante en el diseño de pavimentos flexibles.

Para AASHTO(2009) determina, “la guía recomienda realizar el ensayo AASHTO T274 sobre una muestra representativa, la cual estará sometida a una carga de duración definida bajo determinadas condiciones de esfuerzo y humedad. Normalmente resulta complicado realizar el ensayo de módulo resiliente puesto que se requiere de un equipo de laboratorio especial, el cual está constituido por una cámara triaxial para ensayos cíclicos, un marco de carga con un actuador dinámico servo controlado que nos sirve para producir una onda senosoidal media en un período y frecuencia determinados; un panel de control y de mediciones de presiones de cámara, de poros y efectiva, y una unidad de adquisición de datos con software de procesamiento”.

En este sentido, la “Guía de diseño AASTHO 93” ha propuesto correlaciones que determinan el mantenimiento rutinario (MR) a partir de ensayos de CBR.

A continuación se indican las principales:

- Correlación establecida por Heukelom y Klomp: aplicable a suelos finos con CBR saturado menor a 10%.

$$M_R(\text{psi}) = 1500 \times CBR$$

- **Correlación establecida por el Instituto del Asfalto**

$$M_R(\text{psi}) = A + B \times CBR$$

Donde:

A = De 772 a 1155

B = De 369 a 555

DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO

Para Guía de diseño AASHTO 93 determina “el módulo resiliente de diseño, en la se considera la variación de la humedad en la subrasante, recomendando para ello que se realice un estudio de las variaciones del mantenimiento rutinario con respecto a la humedad”.

Según AASHTO 93 “esta variación del módulo resiliente se le denomina módulo estacional y se determina con el propósito de cuantificar el daño relativo al que un pavimento estará sujeto durante cada estación del año”.

AASHTO 93 recomienda que “los periodos establecidos por cada año no deben ser inferiores a 15 días y las condiciones de humedad con las que se van a realizar los ensayos deben dar como resultado módulos resilientes significativamente diferentes”.

Para AASHTO 93 “el módulo resiliente de diseño o módulo resiliente efectivo de la subrasante, el cual es equivalente al efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales, se debe determinar de a acuerdo al siguiente procedimiento”:

- a) Ingresar el módulo estacional en sus respectivos períodos de tiempo.
- b) Determinar los valores del daño relativo (u_f) correspondiente a cada módulo estacional. Para ello se utilizará la escala vertical mostrada en la Figura N° 03 o la ecuación que se indica a continuación:

$$u_f = 1.18 \times 10^8 \times Mr^{-2.32}$$

Donde:

M_r = Módulo resiliente del suelo de cimentación [psi]

u_f = Daño relativo

c) Sumar los daños relativos () y dividirlos por el número de incrementos estacionales para determinar el daño relativo promedio.

d) El módulo resiliente efectivo de la subrasante será el valor correspondiente al daño relativo promedio en la escala $M_r - u_f$.

DISEÑO DE PAVIMENTOS

Según MENEDEZ (2016) “diseñar para las condiciones de tráfico, clima, suelos de fundación y materiales disponibles un pavimento flexible, que brinde seguridad y confort a los usuarios durante el periodo concebido de diseño”.

14.2.4.3.1. Parámetros de diseño

14.2.4.3.2. Módulo resiliente de diseño

Número de ejes equivalentes de diseño

Para MENEDEZ (2016) “el diseño se requiere calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes en función de las cargas de tráfico, el factor de crecimiento y el número de años. Para dicho cálculo se utiliza la información brindada por el estudio de tráfico, el cual tiene por finalidad cuantificar, clasificar y determinar el volumen de los vehículos que transitan por algún tramo de carretera, información que es indispensable para determinar las características de diseño del pavimento para el presente proyecto”.

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Par GAVILANES (2012) “El pavimento es la capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendidos entre la superficie de la subrasante y la superficie de rodadura, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie uniforme de textura apropiada y resistente a la acción del tráfico, intemperismo y de otros agentes perjudiciales, asimismo transmitir adecuadamente

al terreno de fundación los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tráfico”.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial que hace posible el tránsito fluido de los vehículos con la seguridad, confort y economía previstos por el proyecto.

Según GAVILANES (2012) “la estructuración de un pavimento, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una variedad de posibilidades; de tal manera que puede estar formado por sólo una capa o varias, y a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, procesados o sometidos a algún tipo de tratamiento o estabilización”.

GAVILANES (2012) asegura que “la actual tecnología contempla una gama muy diversa de secciones estructurales, las cuales son función de los distintos factores que intervienen en la performance de una vía, como por ejemplo: tráfico, tipo de suelo, importancia de la vía, condiciones de drenaje, recursos disponibles, etc.”

En función de las consideraciones antes indicadas se propone una estructura de pavimento que provea una buena serviciabilidad por mayor tiempo. Dicha estructura estará constituida por un pavimento flexible con superficie de rodadura de carpeta asfáltica en caliente.

DISEÑO DE PAVIMENTOS ACTUAL

Las diferentes solicitaciones de carga que pueden existir en la estructura de pavimento generan estados de esfuerzos, involucrando esfuerzos cortantes y normales.

Las condiciones cambiantes de la estructura se deben a las múltiples consideraciones que se presentan por las condiciones de carga estática presentada por la sobrecarga y carga dinámica presentada por el paso vehicular (Garnica Anguas, et al, 2002).

El paso del eje vehicular genera estados de esfuerzo en la subrasante donde los esfuerzos cortantes y normales se presentan en los puntos adyacentes a la carga puntual y un estado de esfuerzos triaxiales bajo la rueda (Figura N° 10).

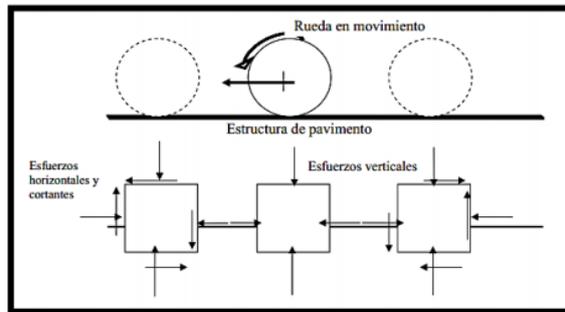


Figura N° 10 : Esfuerzos en un pavimento bajo carga en movimiento (Brown 1996)

Además para TENAX (2018) “las condiciones anteriores, los materiales utilizados, las configuraciones del pavimento y los métodos tanto tradicionales (empíricos y mecanicistas) como los métodos computacionales para el diseño influyen en las características y resistencias del pavimento”.

“Las deformaciones presentadas por las cargas, interesan desde dos puntos de vista: primero, las deformaciones excesivas pueden provocar estados de fallas y segundo, se sabe, que un pavimento con deformaciones permanentes deja de cumplir su función de servicio, independientemente de que dichas deformaciones no colapsen totalmente la estructura” (Moreno Rubio, 2005) (Rico Rodríguez & Del castillo Mejía, 1992).

De esta forma, un pavimento es diseñado para que las deformaciones permanente no sean excesivas y dichas deformaciones se disipen antes de llegar a la subrasante, que es la capa más propensa a deformarse debido a su menor rigidez y su poca capacidad portante debido a que el nivel freático generalmente es encontrado a esa profundidad.

Los métodos de diseño involucran diferentes variables que relacionan el dimensionamiento y el comportamiento estructural de las múltiples capas, siendo

las deformaciones elastoplásticas el principal parámetro de diseño en las diferentes metodologías.

MÓDULO RESILIENTE

Definición

Como se sabe, los suelos tanto de fundación como los que conforman la estructura del pavimento presentan comportamiento elastoplástico.

Así, los pulsos de carga que generan los vehículos producen deformaciones en las diferentes capas que no son recuperadas a la totalidad.

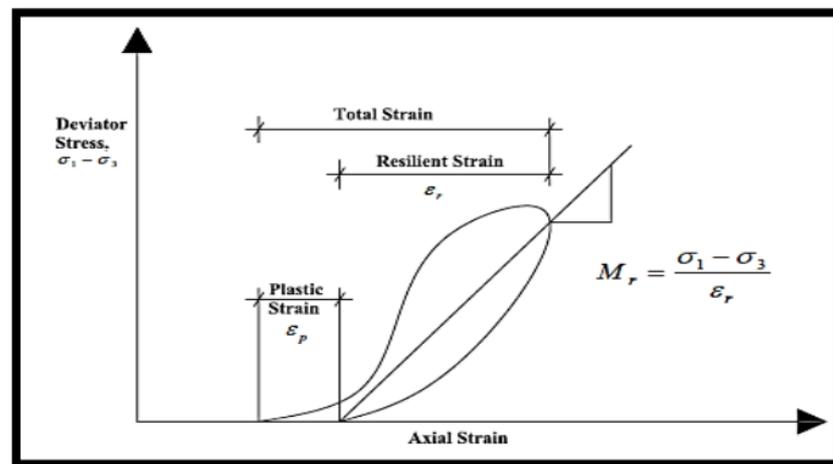


Figura N° 11 : Deformación plástica y resiliente en un ciclo de carga (Khasawneh, 2005)

Una vez terminada la carga dinámica existen deformaciones de recuperación instantánea o resiliente y deformaciones que continúan en el material (Figura N° 11)

Sin embargo, bajo cierto número de ciclos de carga y descarga el comportamiento presentado se dice que es “elástico” ya que las deformaciones tienden a recuperarse a la totalidad y las deformaciones permanentes son muy bajas en comparación con las resilientes.

La energía provocada por los ciclos de carga se disipa, generando menor histéresis en la relación esfuerzo- deformación del material para cierto número de ciclos;

aproximadamente después de 200 ciclos (Drumm, et al, 1990) el módulo elástico se vuelve constante suponiendo así respuestas lineales (Figura N° 09).

Este estado es llamado estado de resiliencia del material. A partir de esto surgió el concepto de MR, el cual matemáticamente se define como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable (Garnica Anguas et al., 2001)

$$M_r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\epsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{axial}}$$

Donde:

σ_d = esfuerzo desviador

ϵ_{axial} = deformación recuperable

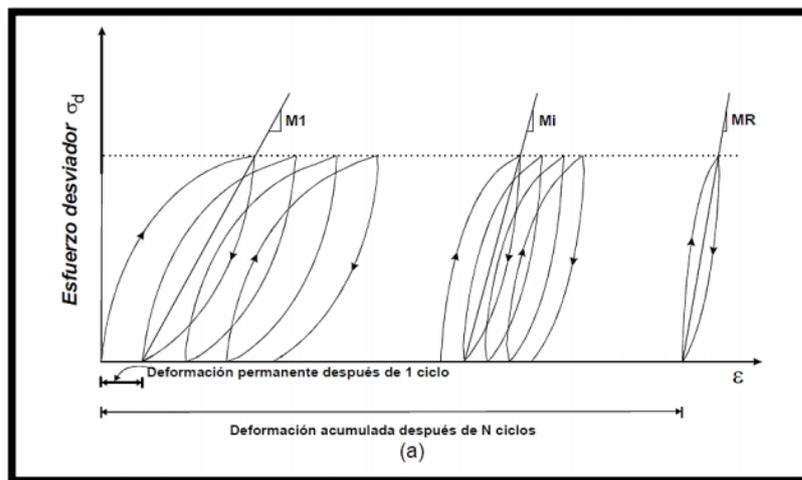


Figura N° 12 : Ciclos de histéresis presentados en el materia (Garnica Anguas et al., 2001)

IMPACTO AMBIENTAL

El Análisis de las Condiciones Ambientales, resulta muy importante la influencia que tiene el medio ambiente en el pavimento, por lo que es necesario obtener las características de los fenómenos meteorológicos en el lugar en donde se ubica una carretera. La información que es útil corresponde a los aspectos siguientes:

- Clima Predominante
- Precipitación Pluvial

- Temperaturas Máxima y Mínima
- Tipo de suelos y rocas .

III. MATERIAL Y PROCEDIMIENTO

3.1. POBLACIÓN

La población está conformada por 23,596 Kilómetros de carretera Pavimentada con mezcla asfáltica y proyectos nuevos para inclusión en desarrollo vial con superficie de rodadura asfálticas en el Perú, distribuidos conforme se indica en la siguiente Tabla :

Tabla N° 02 : Evolución del tipo de superficie de rodadura de la Red Vial Nacional 1990 á 2012 (Kilómetros)
Fuente: INEI. 2010.

Clasificador	DS-009-1995					DS-034	DS-044-2008				
	Años	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011P
PAVIMENTADO	5,740	6,477	8,523	8,731	8,911	11,178	11,370	11,500	12,445	12,663	13,040
A FIRMADO	6,958	6,602	6,762	5,901	6,721	7,537	7,601	8,069	8,601	8,383	8,006
SIN A FIRMAR	2,552	2,773	1,502	1,899	1,899	3,089	2,896	2,896	1,634	1,634	1,634
TROCHA	442	667	267	326	326	2,035	2,035	2,035	915	915	915
TOTAL	15,692	16,519	17,053	16,857	17,857	23,838	23,903	24,500	23,596	23,596	23,596

•Fuente:

Del año 1990 al año 2007: INEI. Años 2008-2009: DS 044-2008-MTC-DGCF. Para el año 2010: Estudio de Inventario Vial Básico de la RVN o Estudio de Medición de las rutas nacionales: DGCF-MTC

Proyecciones años 2011 y 2012: Estimaciones de PVN/OPEI: según criterio de intervenciones en la RVN

3.2. MUESTRA

La muestra está conformada por el total de 15 Kilómetros + 753.79 mts. tramo III; de la carretera Tayabamba – Ongon ; Km 29 + 860 al Km 45 + 613.79 . Provincia de Pataz, Departamento La Libertad

3.3. METODO

El método de investigación es cuantitativo, debido a que en la investigación la información y los resultados se expresan en magnitudes cuantificables, luego los datos se sometieron al análisis estadístico. Hernández y otros. (2006), precisan que

debe usarse la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

En el presente trabajo de investigación se propone una metodología para diagnóstico del estado estructural del pavimento de una vía de bajo volumen de tránsito a través de ensayos no destructivos y metodología estadística de discriminación de datos, estos ensayos resultaron de una combinación de mediciones de parámetros del pavimento tomados en campo, y la simulación de dichos parámetros con ayuda de un modelo numérico destinado a predecir el módulo de elasticidad del mismo.

Los parámetros del pavimento considerados son los esfuerzos y deformaciones producidos por cargas externas como el peso de vehículos pesados, los modelos numéricos pueden ser de diferentes tipos, analíticos como el de Hogg o modelos que emplean formulaciones variacionales.

La metodología que se empleará será comprobada con mediciones deflectométricas que se realizarán en el tramo III; de la carretera Tayabamba – Ongon ; Km 29 + 860 al Km 45 + 613.79 . Provincia de Patate, Departamento. La Libertad; en un total de 15 Km + 753.79 mts.

3.4. TIPO DE ESTUDIO

El estudio es experimental y bibliográfica porque se está sometiendo a evaluación distintas estrategias y algunos ensayos o experimentos y además es transversal porque se está desarrollando la investigación en un determinado tiempo y espacio en el Perú .

Así mismo en la medición de rutas se realizó:

- Calibración de Odómetro, Identificación Inicio de Ruta,
- Punto de Control: “KM. 0”.,
- Medición de Longitudes con Odómetros, con dos vehículos en tándem,
- Identificación de Puntos Notables, Toma de Fotos y Videos.

Así mismo en la georreferenciación se realizó:

- Medición con GPS Submétrico de Puntos de Control y Puntos Notables.
- Medición con GPS Submétrico de Línea del Trazado de la Ruta.
- Obtener Coordenadas y Trayectoria.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la evaluación del desempeño de los pavimentos reforzados con geomalla se realizó de diferentes formas, como son las siguientes: Pruebas de Campo, Pruebas de Laboratorio y Simulaciones Numéricas.

En las pruebas de campo se realizaron en el tramo de las carretera Tayabamba-Ongon..Provincia de Pataz. La Libertad. . La metodología de dimensionamiento se ha desarrollado recientemente y requiere datos de los materiales a colocar en la estructura para realizar la validación y calibración (Watts y Blackman 2009).

En pruebas de campo de pavimentos flexibles se acostumbra a recoger datos como: Las deformaciones en la superficie y el agrietamiento longitudinal, transversal y a la fatiga. La deformación superficial es el criterio de desempeño más importante para pavimentos reforzados y sin reforzar.

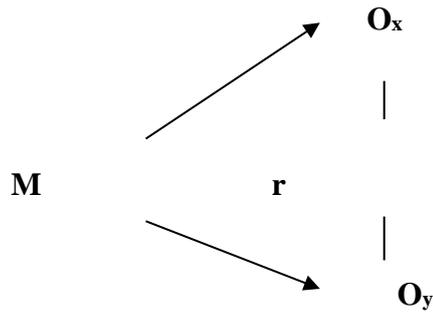
El deterioro es evaluado midiendo las deflexiones superficiales existentes en términos de profundidad de ahuellamiento que se produce debido al desarrollo de deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento. El ahuellamiento horizontal se mide en metros cuadrados, es una medida superficial y fácil de tomar.

Las mediciones de deformación también se la puede realizar con ensayos no destructivos (NDT), para esto se utiliza deflectómetro de impacto (FWD), con el cual se miden las deformaciones en el pavimento. Esta metodología se aplicó, trasladando un remolque al sitio que se desea estudiar donde se aplicaron una serie de impulsos en el pavimento con una placa de carga que se baja hidráulicamente

hasta la superficie del pavimento, y luego se deja caer un peso desde una altura conocida.

3.6. DISEÑO

El Diseño es Correlacional, porque pretende demostrar la existencia de una relación entre dos fenómenos o variables. El esquema del estudio correlacional es el siguiente:



Donde:

- M = Muestra.
- r = Relación.
- O_x = Estrategias optimas
- O_y = Conservación y desarrollo vial de superficies rodadura Asfálticas en carreteras del Perú.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. Recolección de datos e Información

Es la acción que realiza el investigador para obtener información que le van a permitir lograr los propósitos planteados en la investigación.

3.7.2. Técnicas e Instrumentos para recolectar datos

TÉCNICAS

Es el conjunto de procedimientos realizados por el investigador en concordancia con los objetivos propuestos.

INSTRUMENTOS

Son los medios que fortalecen a las técnicas, por ello que a cada técnica le corresponde sus respectivos instrumentos.

TECNICAS	INSTRUMENTOS
Observación	Guía de observación, Lista de Cotejo
Encuesta	Cuestionarios, Test
Entrevista	Guía de entrevista
Análisis de Contenido	Fichas (bibliográficas, textuales, contextuales, etc)

3.8. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

En el presente trabajo de investigación se propone una metodología para diagnóstico del estado estructural del pavimento de una vía de bajo volumen de tránsito a través de ensayos no destructivos y metodología estadística de discriminación de datos, estos ensayos resultaran de una combinación de mediciones de parámetros del pavimento tomados en campo, y la simulación de dichos parámetros con ayuda de un modelo numérico destinado a predecir el módulo de elasticidad del mismo.

Los parámetros del pavimento considerados son los esfuerzos y deformaciones producidos por cargas externas como el peso de vehículos pesados, los modelos numéricos pueden ser de diferentes tipos, analíticos como el de Hogg o modelos que emplean formulaciones variacionales.

La metodología que se empleó fue comprobada con mediciones deflectométricas que se realizaron en el tramo III; de la carretera Tayabamba – Ongon; Km 29 + 860 al Km 45 + 613.79. Provincia de Patate, Departamento La Libertad. En un total de 15 Km + 753.79 mts.

Proceso para toma de decisiones de pavimentos

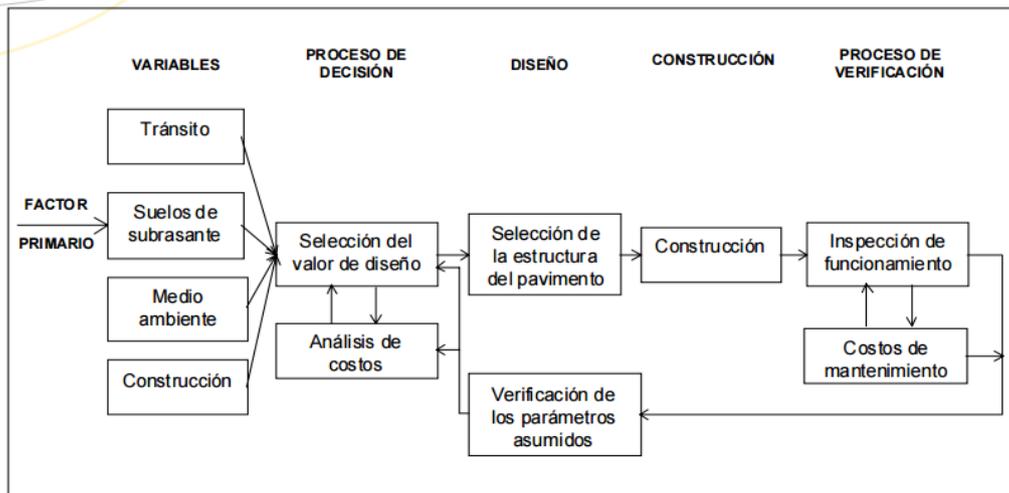


Figura N° 13 : Proceso para toma de decisiones de pavimentos flexible
Fuente : Darter et al , 1984

3.9. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

2.9.1. Proceso para el diseño de un pavimento flexible con Geomalla biaxial en la base granular.

- 1.- Cálculo del número estructural según metodología AASHTO de la estructura inicial entregada por los diseñadores del proyecto.
- 2.- Cálculo de la estructura sustituyendo la base granular.
- 3.- Cálculo del nuevo espesor de la capa de subbase con refuerzo.
- 4.- Cálculo del aporte estructural de la capa reforzada.
- 5.- Cálculo de nuevos espesores de base y subbase granular.
- 6.- Verificación del aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular e inclusión de geomalla.
- 7.- Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de la geomalla

2.9.2. Análisis estadístico de datos

En esta sección se debe mencionar los análisis estadísticos que se aplicarán a la información obtenida, los cuadros estadísticos se crearán según las variables estudiadas y los cruces de información generados.

El análisis de datos que se realizarán dependerá del tipo de datos que se hayan recolectado durante el trabajo de campo. Para el caso de datos cuantitativos será

necesario codificarlos y pasarlo a una matriz de datos en alguna Hoja Electrónica. Posteriormente se debe realizar el análisis cuantitativo o estadístico de cada variable de estudio.

IV. RESULTADOS

4.1. PRUEBAS DE LABORATORIO

Se han propuesto una serie de pruebas de laboratorio para cuantificar los mecanismos que gobiernan el comportamiento de los pavimentos flexibles reforzados con geomallas. El objetivo principal de las pruebas de laboratorio ha sido cuantificar los mecanismos de interacción suelo-geomalla en los sistemas de pavimento flexible ya sea mediante la medición de las propiedades de la geomalla o mediante la reproducción de las condiciones de campo.



Fotografía N° 09 : Vista de Tesista tomando muestra de materiales y espesores del pavimento in situ. de la carretera Tayabamba – Ongon.

Las pruebas se agrupan en dos categorías principales: pruebas confinadas y no confinadas. En la primera, las propiedades de la geomalla se miden incluyendo el confinamiento de suelo.

Para medir la resistencia a la tracción de los materiales con geomallas se llevan a cabo pruebas a una velocidad de deformación constante. En la actualidad, dos normas ASTM están disponibles para ensayos de tracción. El ensayo de tracción de agarre (D4632) se utiliza para el control de calidad de fabricación, ya que implica un espécimen geomalla estrecho. En su lugar, el ensayo de tracción en probeta ancha (D4595) se ha utilizado en aplicaciones de dimensionamiento.

Las pruebas no confinadas son simples, económicas y rápidas, a pesar de que no captan los aspectos importantes relacionados con el confinamiento por lo que no son suficientes para proyectar el comportamiento del pavimento y luego requieren correlaciones posteriores para extrapolarla a condiciones de desempeño de campo. Se ha probado que en un gran número de ocasiones los resultados de campo no concuerdan con los resultados de pruebas no confinadas por lo que las pruebas no confinadas se consideran inadecuadas para la evaluación del comportamiento de los pavimentos reforzados con geomallas.

Los resultados de las pruebas confinadas se consideran más apropiados como entrada en los métodos de dimensionamiento, como la AASHTO.



Fotografía N° 10 : Vista de Tesista en trabajos de topografía y mediciones ancho de la carretera Tayabamba – Ongon.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

Si el esfuerzo de tensión horizontal es excesivo pueden resultar grietas en la capa de rodadura. Si la fuerza vertical de compresión es excesiva resultarán deformaciones permanentes en la estructura del pavimento. Una excesiva deformación de las capas solamente puede ser controlada por las propiedades de los materiales. Todos los materiales están caracterizados por el módulo de elasticidad, llamado módulo dinámico para el caso de las mezclas asfálticas, y módulo de resiliencia para los materiales granulares sin tratar y los materiales de suelos.

Para simular los efectos de la temperatura y sus cambios a través del año, se utilizan tres distribuciones típicas del promedio mensual de temperatura que a su vez representan tres regiones típicas, donde los cambios de temperatura son significativos dependiendo de las estaciones del año. El módulo dinámico es función directa del tiempo de fraguado y un período de seis meses es utilizado para la elaboración de las tablas de diseño.

Las geomallas pueden ser de hilos de poliéster, nylon o bien fibra de vidrio de alta densidad, fabricados con polietileno de alta densidad y polipropileno, formadas por una red regular de elementos de tracción conectados en forma integral, con aberturas, uniones y costillas lo suficientemente grandes como para permitir una traba mecánica entre el suelo y el material circundantes, funcionando principalmente como refuerzo, agregando resistencia, reduciendo las deformaciones y aumentando la capacidad soporte.

MECANISMOS DE REFUERZO GENERADOS POR LAS GEOMALLAS

A través de múltiples investigaciones (Giroud y Noiray, 1981; Giroud et al. 1985; Berg et al, 2000), se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los siguientes.

4.1.1. Confinamiento lateral de la base o subbase

El cual se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son

dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla.

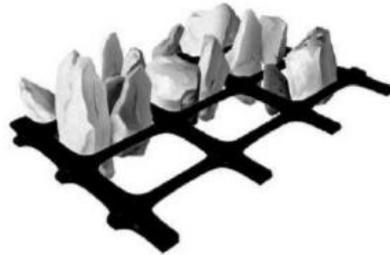


Figura N° 14 : Confinamiento lateral generado por la geomalla en un material granular.

4.1.2 Mejoramiento de la capacidad portante

Se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia. Este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto

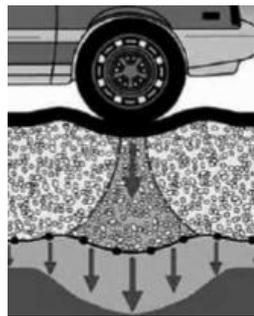


Figura N° 15 : Capacidad Portante

4.1.3 Membrana tensionada

Este efecto se origina en la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la geomalla hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la geomalla. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado.

De acuerdo con lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras viales es el confinamiento lateral, mediante el cual se alcanzarían 4 beneficios principales:

- **Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase**

La colocación de una o varias capas de la geomalla dentro o en el fondo de la capa de base permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla, a medida que la base trata de desplazarse lateralmente.

La carga por cortante es transmitida desde el agregado de la capa granular hacia la geomalla y la coloca en tensión. La alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta, situación que se generará constantemente en la zona donde se encuentra un diferencial de tipos de estructura.

Una deformación lateral más pequeña de la base o subbase se traduce en menor deformación vertical de la superficie de la vía.

- **Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo**

Se espera un incremento en la rigidez de la capa granular cuando se desarrolla una adecuada interacción entre esta y la geomalla. Un aumento en el módulo de la base resultaría también en menores deformaciones verticales dinámicas recuperables de la superficie de la vía, implicando una reducción en la fatiga del pavimento.

- **Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante**

En sistemas estratificados, cuando existe un material menos rígido por debajo de la base o subbase, un aumento en el módulo de la capa de base o subbase resulta en una distribución de los esfuerzos verticales más amplia sobre la subrasante.

En términos generales, el esfuerzo vertical en la subbase o subrasante directamente por debajo de la geomalla y de la carga aplicada debe disminuir a medida que aumenta la rigidez de la base.

Esto se refleja en una deformación superficial menor y más uniforme.

• **Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante**

La disminución de la deformación por corte transmitida desde la base o subbase hacia la subrasante a medida que el cortante de la base transmite las cargas tensionales hacia el refuerzo, sumado a los menores esfuerzos verticales genera un estado de esfuerzos menos severo que lleva a una menor deformación vertical de la subrasante

4.2. MÉTODO AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

El método AASHTO para pavimentos flexibles, se basa en la capacidad estructural de un conjunto de capas de espesores y calidades determinadas, expresado en el Número Estructural, SN, el cual es un valor abstracto que expresa la resistencia que requiere un pavimento construido sobre una subrasante con un módulo M_R .

La ecuación utilizada para el diseño, derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO Road Testen 1972, con algunas modificaciones luego de investigaciones adicionales, es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 9.39 \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Donde:

SN = Número Estructural requerido

W_{18} = Número de aplicaciones de carga de 80 KN (8.2 Ton)

Z_R = Desviación estándar normal

S_o = Error estándar combinado de la predicción de tránsito y de la predicción de comportamiento.

ΔPSI = Diferencia entre el índice de servicio inicial (pi) y el final (pf)

M_R = Módulo Resiliente (psi)

El número estructural requerido se convierte en los espesores reales de concreto asfáltico, base y subbase multiplicado cada uno, por los coeficientes de capa

respectivos representando el esfuerzo relativo de los materiales de construcción y la capacidad de drenaje. La ecuación de diseño usada es la siguiente:

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

Donde:

a_i = Coeficiente correspondiente a la capa i (1/Pulg)

D_i = Espesor correspondiente a la capa i (Pulg)

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i

Los subíndices 1, 2 y 3 se refieren a la capa de concreto asfáltico, base y subbase (si esta aplica), respectivamente. Los coeficientes de capa son basados en el módulo de elasticidad del suelo M_R y son determinados con base en cálculos de esfuerzos y deformaciones en un sistema de pavimento multicapa.

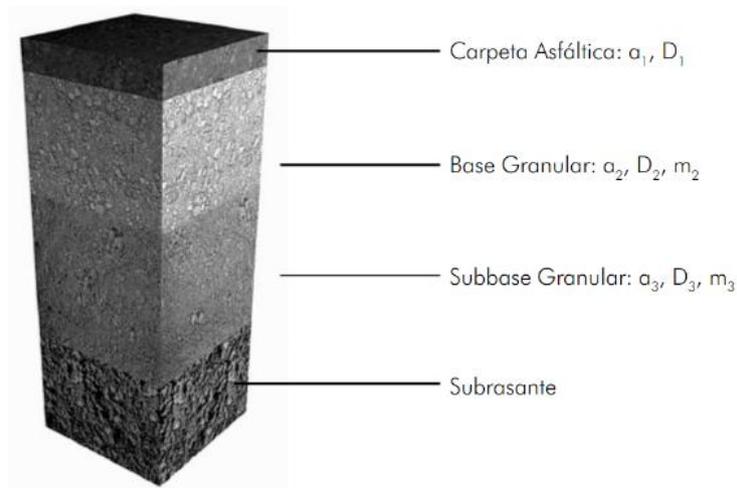


Figura N° 16 : Sección de la estructura con sus respectivos coeficientes de capa

Coeficiente de la capa a_i

La contribución estructural de un material de relleno para la resistencia de un pavimento, está representado por el adecuado coeficiente de capa, el cual mide el esfuerzo relativo del material en construcción.

De acuerdo con la ecuación anterior el diseñador necesita seleccionar valores significativos para los coeficientes de las capas a_1 , a_2 y a_3 de asfalto, base y sub-base en la sección de pavimento a diseñarse.

En la Tabla N° 03 ; se dan los valores típicos de la contribución estructural de los materiales de relleno. Las regulaciones locales o prácticas estándar pueden sugerir factores superiores para los materiales a utilizarse

Tabla N° 03 : Rango de valores recomendados (1/pulg) para los coeficientes a_1 ; a_2 ; a_3 ; para diferentes materiales.

	Material		CBR	Rango a_i [1/pulg]
a_1	Capa De Asfalto		> 100	0.40 - 0.44
	Base asfáltica		>100	0.30 - 0.40
a_2	Material Granular Bien Gradado	Piedra picada de dureza alta	80 - 100	0,14
		Piedra picada de dureza media	60 - 80	0,13
	Grava de río	40 - 70	0.10 - 0.14	0,12
		Mezcla de arena y grava	20 - 50	0,11
a_3	Base Granular	Arena limpia	10 - 30	0.06 - 0.10

Coefficiente de drenaje m_i

El método AASHTO asume que la resistencia de la subrasante y la base se mantendrán en forma constante sobre el diseño de la vida útil del pavimento. Para que esta suposición sea correcta, la estructura del pavimento debe tener un sistema de drenaje adecuado. El nivel de drenaje para un pavimento flexible es cuantificado por medio del uso de los coeficientes modificados de cada capa que conforma la estructura del pavimento. Por ejemplo un alto coeficiente de drenaje en una capa, se usaría para mejorar las condiciones de drenaje. El factor para modificar el coeficiente de drenaje es referido como m_i y es integrado al número estructural (SN) como se muestra en la ecuación anterior. El posible efecto de drenaje en la superficie de la capa del concreto asfáltico no es considerado

Tabla N° 04 : Condiciones de Drenaje

Calidad de drenaje	Evacuación del agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Justo	1 semana
Deficiente	1 mes
Muy Deficiente	No se presentará descarga

La Tabla siguiente presenta los valores recomendados para m_i en función de la calidad de drenaje y del porcentaje del tiempo en el año en el cual la estructura de pavimento estará expuesta a un nivel de humedad.

Tabla N° 05 : Valores de coeficiente de drenaje m_i , recomendados

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura de pavimento esta expuesta a niveles de humedad acercandose a saturación			
	Menos de 1%	Entre 1 - 5%	Entre 5 - 25%	Mayor de 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1,2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1,0
Justo	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0,8
Deficiente	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0,6
Muy Deficiente	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0,4

Los datos empíricos conseguidos se pueden aplicar exclusivamente a los tipos de geomalla TENAX aquí especificados:

- **Geomallas Tenax LBO SAMP** (geomallas rígidas con valores de esfuerzo y módulo de resistencia altas, ca-racterizadas por una excelente capacidad de efecto “interlock”)

Los tipos de geomalla considerados han sido divididos en dos clases basándose en los valores de su resistencia a latensión:

- Tipo A, con un valor de resistencia a la tensión de 20 KN/m
- Tipo B, con un valor de resistencia a la tensión de 30 KN/m En la siguiente tabla se listan las diferentes clases de geomalla TENAX de acuerdo a los tipos A y B,

Tabla N° 06 : Tipos de geomallas TENAX consideradas para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles

Tipo A	Tipo B
Esfuerzo a la tensión de 20 KN/m	Esfuerzo a la tensión de 30 KN/m
LBO 202 SAMP	LBO 302 SAMP
LBO 220 SAMP	LBO 330 SAMP

ESPEORES DE BASE Y SUBBASE DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Para obtener las dimensiones las capas base y subbase de pavimento flexible se llevó a cabo los ensayos necesarios a la muestra de suelo extraída de la subrasante del cual se obtuvo los siguientes resultados.

Calicata N°1

Ubicación: km 1+500

Tabla N° 07 : Resultado de Análisis Granulométrico

Análisis granulométrico de suelos					
Mallas		Peso Retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasa (%)
Serie Americana	Abertura (mm)				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
N° 4	4.750				
N° 6	3.360				
N° 8	2.360				
N° 10	2.000				
N° 16	1.180				
N° 20	0.850				
N° 30	0.600				100.0
N° 40	0.425	8.6	5.0	5.0	95.0
N° 50	0.300	46.9	27.4	32.4	67.6
N° 80	0.180	79.4	46.4	78.8	21.2
N° 100	0.150	14.8	8.7	87.5	12.5
N° 200	0.075	19.3	11.3	98.8	1.2
-200	MTC E 137-2000	2.0	1.2	100.0	

Fuente: Ensayo de laboratorio

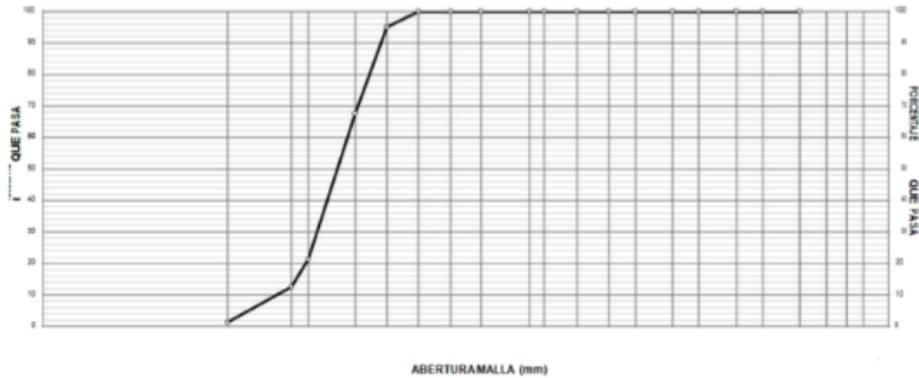


Figura N° 17 : Curva Granulométrica
Fuente : Ensayo de laboratorio

Tabla N° 08 : Clasificación de suelos
Fuente : Ensayo de laboratorio

Límite líquido	(%)	NP
Límite plástico	(%)	NP
Índice plástico	(%)	NP
Clasificación SUCS	ASTM D 2487-05	SP
Clasificación AASHTO	ASTM D 3282	A-3 (0)

Tabla N° 0 8 : Contenido de humedad
Fuente : Ensayo de laboratorio

		Contenido de humedad
Peso cápsula + suelo húmedo	(g)	886.0
Peso cápsula + suelo seco	(g)	866.3
Peso de agua	(g)	19.7
Peso de la cápsula	(g)	76.5
Peso del suelo seco	(g)	789.8
Contenido de humedad	(%)	2.5

Además, se obtuvo los siguientes resultados

Tabla N° 09 : Proctor Modificado
Fuente : Ensayo de Laboratorio

Numero de Ensayo		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	3641.00	3737.00	3824.00	3832.00
Peso molde	gr	1949.00	1949.00	1949.00	1949.00
Peso suelo húmedo compactado	gr	1692.00	1788.00	1875.00	1883.00
Volumen del molde	cm ³	951.00	951.00	951.00	951.00
Peso volumétrico húmedo	gr	1.779	1.880	1.972	1.980
Recipiente N°		10	199	187	11
Peso del suelo húmedo + tara	gr	220.00	215.00	263.00	294.60
Peso del suelo seco + tara	gr	200.70	192.60	229.40	250.50
Tara	gr	47.20	48.90	48.50	47.20
Peso de agua	gr	19.30	22.40	33.60	44.10
Peso del suelo seco	gr	153.50	143.70	180.90	203.30
Contenido de agua	%	12.57	15.59	18.57	21.69
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.580	1.627	1.663	1.627

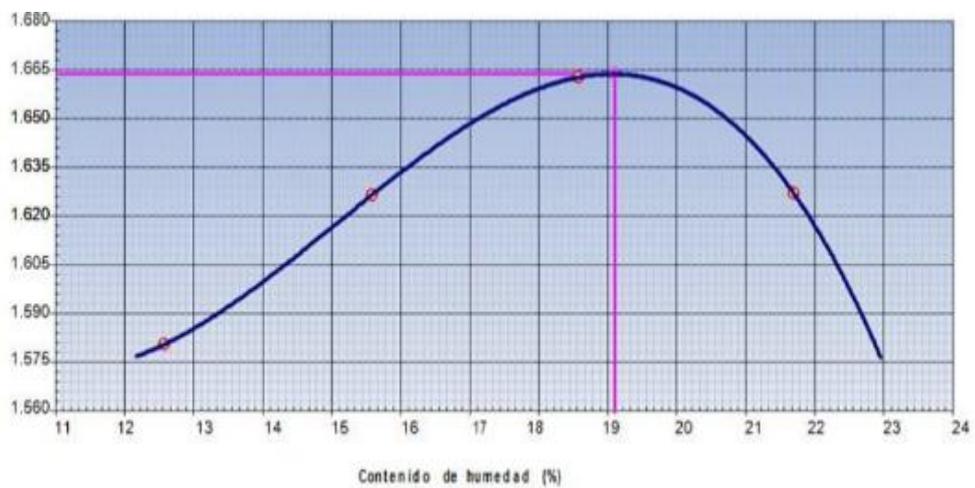


Figura N° 18 : Relación Humedad – densidad
Fuente : Ensayo de Laboratorio

Se obtuvo los siguientes resultados :

Densidad máxima (gr/cm³): 1.664

Humedad óptima (%): 19.1

Tabla N° 10 : Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)
Fuente : Ensayo de Laboratorio

	11		8		24	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	8739.00		8325.00		7950.00	
Peso de molde (g)	4482.00		4185.00		4169.00	
Peso del suelo húmedo (g)	4257.00		4140.00		3781.00	
Volumen del molde (cm ³)	2153.05		2194.71		2123.97	
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.977		1.886		1.780	
Tara (N°)	8		125		41	
Peso suelo húmedo + tara (g)	341.70		351.80		333.10	
Peso suelo seco + tara (g)	294.60		302.00		286.40	
Peso de tara (g)	46.50		45.20		41.80	
Peso de agua (g)	47.10		49.80		46.70	
Peso de suelo seco (g)	248.10		256.80		244.60	
Contenido de humedad (%)	19.0		19.4		19.1	
Densidad seca (g/cm ³)	1.662		1.580		1.495	

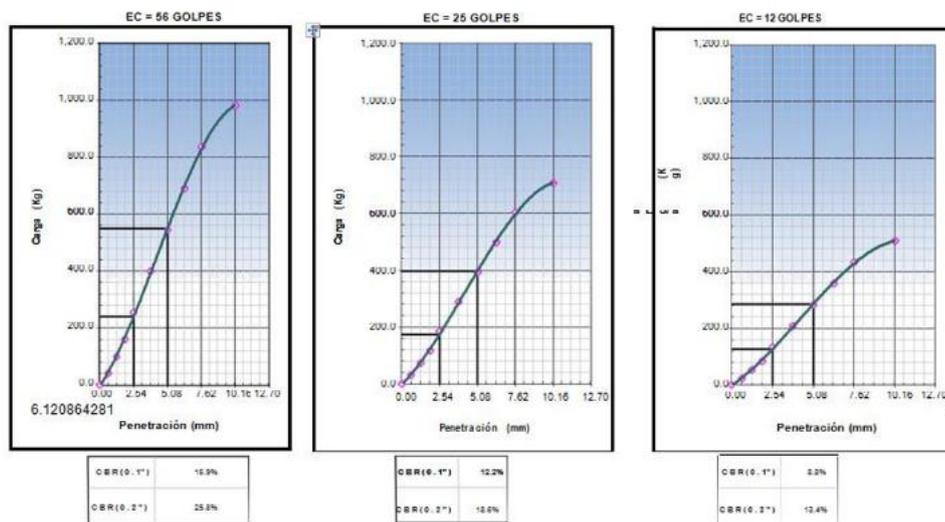


Figura N° 19 : Ensayo de CBR
Fuente : Ensayo de laboratorio

Resultado de CBR : 12.2. %

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN REFUERZO

Para realizar el diseño de la estructura del pavimento se tomó los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio (CBR) y se procedió a realizar el diseño inicial mediante el método AASHTO 93 según lo indica el manual de carreteras.

Tabla N° 11 : Datos de diseño para cálculo de SN
Fuente : Elaboración propia

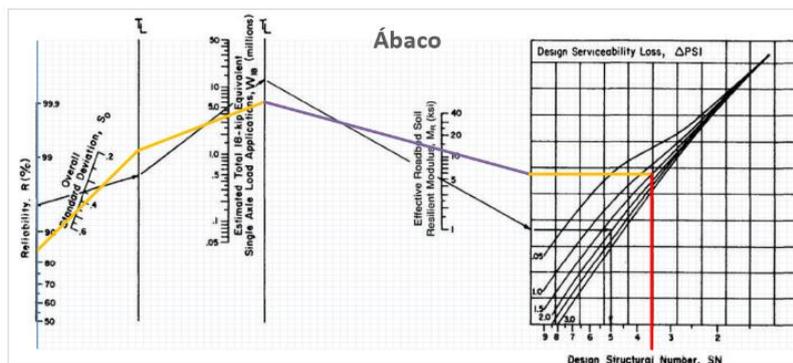
ESAL	3.74E+06
CBR	12.20 %
MR subrasante (PSI)	12666.63325
Tipo de tráfico TP	TP7
Numero de etapas	1
Nivel de confiabilidad R (%)	85%
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal (ZR)	-1.036433389
Desviación estándar combinada (SO)	0.45
Serviciabilidad inicial (PI)	4
Serviciabilidad final o terminal (PT)	2.5
Variación de Serviciosabilidad (Δ PSI)	1.5

Los valores para los parámetros “Nivel de confiabilidad”, “Coeficiente estadístico de desviación estándar normal”, “Desviación estándar combinada”, “Serviciabilidad inicial”, “Serviciabilidad final” fueron determinados en base a las recomendaciones establecidas por el manual de carreteras de acuerdo al tipo de tráfico.

De la iteración se obtuvo como resultado lo siguiente:

$$SN = 3.469$$

Además, se corroboró con el uso del ábaco:



Del ábaco se obtuvo el siguiente resultado:

$$SN= 3.47$$

Para la determinación de los espesores se siguió las recomendaciones establecidas en el manual de carreteras (MTC), para los cuales se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 12 : Coeficientes recomendados según el tráfico

Fuente : Manual de carreteras

	a1	a2	a3
Componente	Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS
Observación	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq 5'000,000$ EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $> 15'000,000$ EE
ai (Recomendado)	0.17	0.052	0.05
mi		1	1

Tabla N° 13 : Espesores del pavimento flexible sin refuerzo

Fuente: Elaboración propia

Capa	Capa Asfáltica	Capa Base	Capa Subbase
ai	0.17	0.052	0.05
Espesor	5 (cm)	25 cm	30 cm

Obtenido los espesores del pavimento flexible sin refuerzo se procedió al diseño de los espesores con el refuerzo de dos tipos de geomalla biaxial los cuales se describen a continuación :

MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES REFORZADOS CON GEOMALLAS TENAX

La contribución estructural de una geomalla TENAX en un sistema de pavimentos flexible puede cuantificarse con el incremento al esfuerzo del coeficiente de la capa de la base de la vía. Por lo anterior, la ecuación se convierte ahora en:

$$SN = \alpha_1 D_1 + \alpha_2 LCR D_2 m_2 + \alpha_3 D_3 m_3$$

Donde LCR tiene un valor superior a uno. Este valor es determinado basándose en los resultados de laboratorio y en pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin utilización de las geomallas, como se describe en la ecuación anterior. SN_r (número estructural de la sección reforzada) y SN_u (número estructural de la sección no reforzada) utilizados en la ecuación anteriores fueron evaluados bajo condiciones de pavimento iguales. Por ejemplo igual profundidad de la base, valor de CBR en subrasante, profundidad de ahuellamiento, pero utilizando diferentes períodos de vida de servicio

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{\alpha_2 D_2} + 1$$

La reducción en espesor de la base puede ser evaluada con el uso de una geomalla mediante la ecuación siguiente, asumiendo que no existe una capa de sub-base

$$D_2 = \frac{SN_r - \alpha_1 D_1 m_2}{LCR \alpha_2 m_2}$$

Se puede reducir el espesor de la capa de asfalto mediante la ecuación

$$D_1 = \frac{SN_r - LCR \alpha_2 D_2}{\alpha_1}$$

Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de la geomalla biaxial

De la variedad de geomallas biaxial existentes en el mercado hoy en día, para esta investigación se optó por el estudio de dos tipos que presentan diferentes propiedades físicas y mecánicas que a continuación se mencionan:

PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADA CON GEOMALLA BIAxIAL TIPO A (20 KN/M)

La primera geomalla biaxial tomada para esta investigación fue la geomalla biaxial “LBO 202 SAMP”, esta geomalla entre sus propiedades mecánicas tiene una resistencia máxima a la tracción de 20 KN/m, el resumen de otras propiedades se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla N° 14 : Propiedades de la geomalla LBO 202
Fuente: ficha Técnica

Propiedades Mecánicas	Método de prueba	Unidad	Lbo 202 samp	
			MD	TD
Resistencia a tracción a 2% de deformación	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	281,0 (4,1)	452,4 (6,6)
Resistencia a tracción a 5% de deformación	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	582,6 (8,5)	925,3 (13,5)
Módulo de tracción a 2% de deformación	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	14050 (205)	22618 (330)
Módulo de tracción a 5% de deformación	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	11651 (170)	18505 (270)
Resistencia a la tracción	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	891 (13.0)	1.405 (20)
Eficacia de conexiones	GRI-GG2	%	93	
Rigidez a la flexión	ASTM D 1388	mg-cm	500000	
La rigidez torsional	US ARMY	kg-cm / grado	3.20	
Resistencia al daño instalación		SC% /% SW / GP%	> 95 /> 95 /> 95	
Resistencia a la degradación UV	ASTM D 4355	%	100	

El diseño de pavimento flexible con esta geomalla se realizó con el software GEOSOF T PAVCO v3.0 donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N°15 : Datos de entrada para diseño con refuerzo tipo A
Fuente : Elaboración propia

Número Estructural SN:	3.47
Espesor Granular Equivalente Hge:	56,0
Espesor Granular Reforzado Hre:	42,424
Layer Coefficient Ratio LCR:	1,32
Eficiencia en los Nodos Geomalla Biaxial Coextruida >= 90%:	OK
Espesor Carpeta Asfáltica:	5.0 cm
Tipo de Geomalla de Refuerzo:	TIPO A P-BX 2020 (20kN/m)
Número de Capas Granulares:	2
CBR Subrasante (%):	12.2

Tabla N° 16 : Espesores de pavimento flexible con refuerzo tipo A
Fuente : Elaboración propia

Tipo de Capa	Espesor Inicial [cm]	Espesor Nuevo [cm]	Reducción Espesor [cm]
Carpeta Asfáltica	5,0	5,0	0,0
Base	25,0	24,0	1,0
Subbase	30,0	17,0	13,0

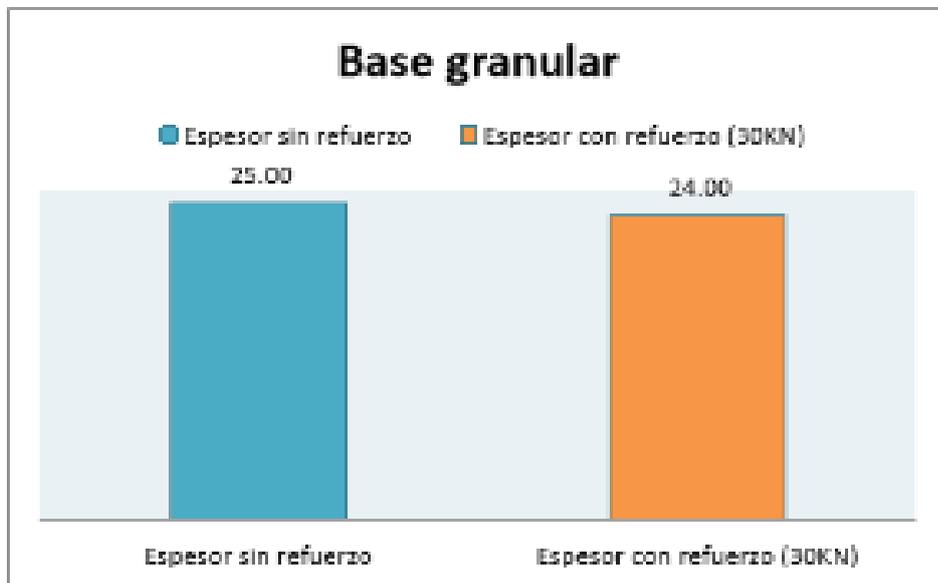


Figura N° 20 : Comparación de la base granular con geomalla tipo A.
Fuente: Elaboración propia

De la figura se puede interpretar que para la sección de la Base granular existe una reducción en comparación a de un pavimento flexible sin refuerzo, es decir, para este caso la reducción es del 4%.

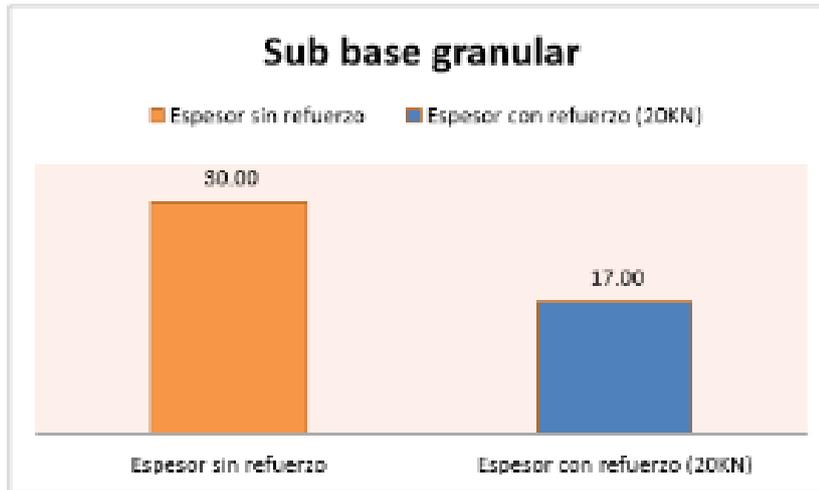


Figura N° 21 : Comparación de la Subbase Granular con geomalla tipo A
Fuente : Elaboración propia

Para la sección de la subbase se observa que sí existe una reducción del espesor al usar la geomalla biaxial LBO 202 en comparación con la sección del pavimento flexible sin refuerzo, es decir, para este caso la reducción es de un 43%.

PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADA CON GEOMALLA BIAXIAL TIPO B (30 KN/M)

El segundo tipo de geomalla para la investigación fue la geomalla biaxial “LBO 302 SAMP”, esta geomalla se caracteriza por tener una resistencia máxima a la tracción de 30 KN/m, otras propiedades mecánicas se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla N° 17 : Propiedades de la geomalla LBO 302

Fuente : Ficha Técnica

Propiedades Mecánicas	Método de prueba	Unidad	Lbo 302 samp	
			MD	TD
Resistencia a tracción a 2% de deformación.	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	411,0 (6,0)	685,4 (10,0)
Resistencia a tracción a 5% de deformación.	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	822,5 (12,0)	1370.8 (20.0)
Módulo de tracción a 2% de deformación.	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	20562 (300)	34270 (500)
Módulo de tracción a 5% de deformación.	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	16449 (240)	27416 (400)
Resistencia a la tracción.	ASTM D 6637	lbs/ft (kN/m)	1336.5 (19.5)	2159.0 (31.5)
Eficacia de conexiones	GRI-GG2	%	93	
Rigidez a la flexión	ASTM D 1388	mg-cm	750000	
La rigidez torsional	US ARMY	kg-cm / grado	7.5	
Resistencia al daño instalación		SC% /% SW / GP%	> 95 /> 95 /> 95	
Resistencia a la degradación UV	ASTM D 4355	%	100	

De la misma forma para el diseño del pavimento flexible reforzado con este tipo de geomalla se realizó en el software GEOSOFTE PAVCO v3.0 donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 18 : Datos de entrada para diseño con refuerzo tipo B

Fuente: Elaboración propia

Número Estructural SN:	3.47
Espesor Granular Equivalente Hge:	56,0
Espesor Granular Reforzado Hre:	39,437
Layer Coefficient Ratio LCR:	1,42
Eficiencia en los Nodos Geomalla Biaxial Coextruida >= 90%:	OK
Espesor Carpeta Asfáltica:	5.0 cm
Tipo de Geomalla de Refuerzo:	TIPO B P-BX 3020 (30kN/m)
Número de Capas Granulares:	2
CBR Subrasante (%):	12.2

Tabla N° 19 : Espesores de pavimento flexible con refuerzo tipo B
Fuente: Elaboración Propia

Tipo de Capa	Espesor Inicial [cm]	Espesor Nuevo [cm]	Reducción Espesor [cm]
Carpeta Asfáltica	5,0	5,0	0,0
Base	25,0	23,0	2,0
Subbase	30,0	15,0	15,0

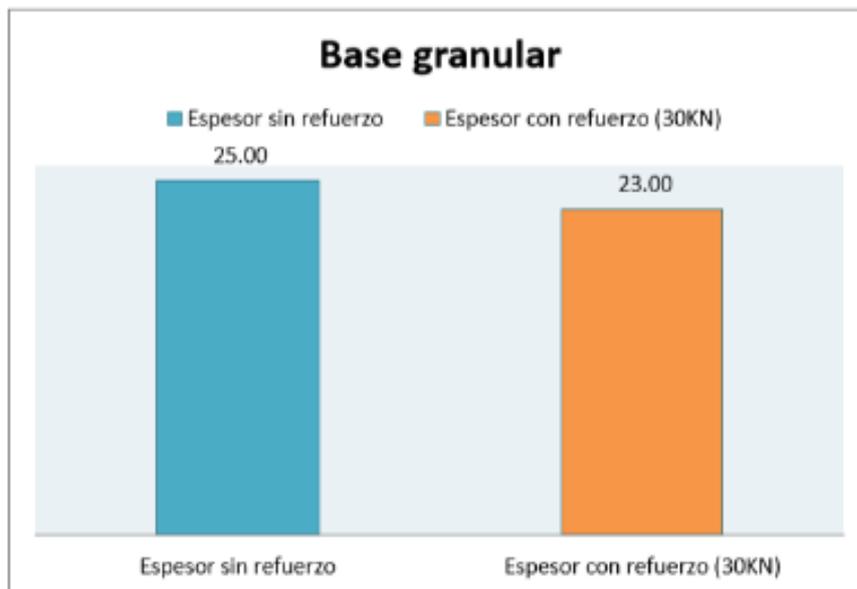


Figura N° 22: Comparación de la base granular con geomalla tipo B
Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico se interpreta que hay una reducción de 2cm para la sección de la capa base granular con el uso de geomalla biaxial LBO 302, es decir, la reducción es de un 8%

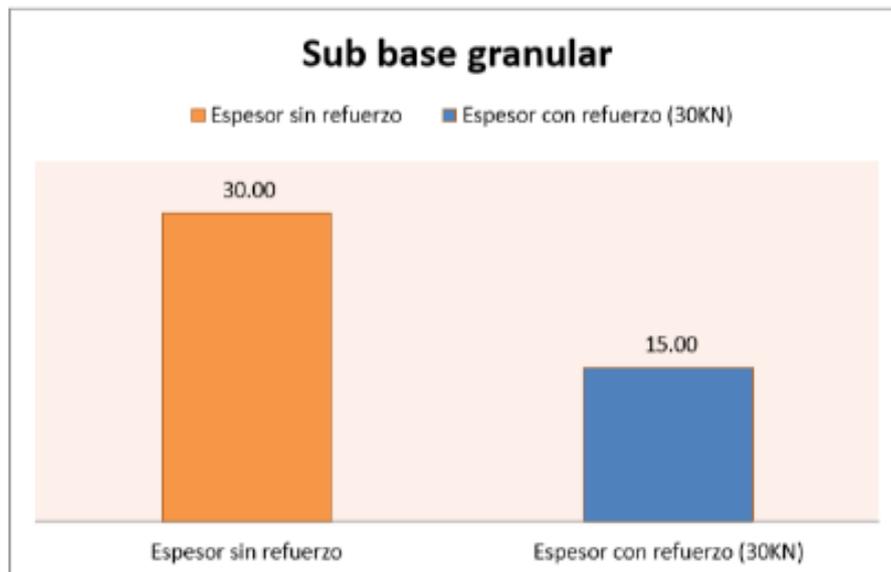


Figura N° 23 : Comparación de la subbase granular con geomalla tipo B
Fuente : Elaboración Propia

Para la sección de la Subbase se observa que la reducción fue de 15cm con el uso de geomalla biaxial LBO 302 en comparación con la sección del pavimento no reforzado, es decir, se interpreta que la reducción fue de un 50%. Así con las dimensiones obtenidas, se muestra la tabla resumen con los espesores obtenidos utilizando los dos tipos de refuerzo:

Tabla N° 20: Resumen de espesores con los dos tipos de refuerzo

	Pavimento sin refuerzo	Pavimento con refuerzo (20KN)	Pavimento con refuerzo (30KN)
Carpeta Asfáltica	5,0	5,0	5,0
Base	25,0	24,0	23,0
Subbase	30,0	17,0	15,0

COSTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Costo de pavimento flexible sin refuerzo

Con los espesores obtenidos mediante el diseño del pavimento flexible con el método AASHTO 93 ya descrito anteriormente se procedió a realizar el análisis de costos con lo que se obtuvo los siguientes resultados.

Para poder realizar un análisis de los costos se realizó previamente el metrado en m² de toda el área a pavimentar para el cual se obtuvo:

Tabla N° 21: Metrados de pavimento flexible sin refuerzo

Fuente: Elaboración propia

N°	Nombre	Und.	Metrado
1	Pavimento flexible sin refuerzo		
1.01	Sub base e=0.30m con afirmado	m2	3,600.00
1.02	Base granular e=0.25 m c/equipo pesado	m2	3,600.00
1.03	Imprimación asfáltica (dosif0.40 gl/m2-tanque 1800gl)	m2	3,600.00
1.04	Carpeta asfáltica en caliente de 7cm	m2	3,600.00

Con los metrados obtenidos se procedió a realizar el análisis de costos unitarios para cada partida y así poder obtener el precio unitario de cada una de estas.

Tabla N° 22 : Análisis de precios unitarios para la sub base granular sin refuerzo

Fuente: Elaboración propia

1.00.- Pavimento flexible sin refuerzo						
1.01.- Sub base granular E=0.30M						
Rendimiento	900.00	m2	Costo unitario directo por : m2			17.21
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial		hh	1.0000	0.0089	17.00	0.15
Peon		hh	4.0000	0.0356	15.30	0.54
						0.70
Materiales						
Afirmado para subbase		m3		0.3750	32.00	12.00
Agua puesta en obra		m3		0.0450	8.00	0.36
						12.36
Equipos						
Herramientas manuales		%MO		3%	0.70	0.02
Motoniveladora de 125hp		hm	1	0.0089	161.59	1.44
Rodillo liso vibr autopropulsado 136-170 hp 10-12 t		hm	1	0.0089	156.68	1.39
Camión cisterna		hm	1	0.0089	147.00	1.31
						4.16

Tabla N° 23 : Análisis de precios unitarios para la base granular sin refuerzo

Fuente : Elaboración Propia

1.00.- 1.02.- Rendimiento	Pavimento flexible sin refuerzo Base granular E=0.25M		Costo unitario directo por : m2				19.80
	480.00	m2					
Mano de Obra							
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Oficial		hh	1.0000	0.0167	17.00	0.28	
Peon		hh	4.0000	0.0667	15.30	1.02	
							1.30
Materiales							
Afirmado para subbase		m3		0.3250	32.00	10.40	
Agua puesta en obra		m3		0.0375	8.00	0.30	
							10.70
Equipos							
Herramientas manuales		%MO		3%	1.30	0.04	
Motoniveladora de 125hp		hm	1	0.0167	161.59	2.69	
Rodillo liso vibr autopropulsado 136-170 hp 10-12 t		hm	1	0.0167	156.68	2.61	
Camión cisterna		hm	1	0.0167	147.00	2.45	
							7.79

Tabla N° 24 : Análisis de precios unitarios para la imprimación asfáltica

Fuente: Elaboración propia

1.00.- 1.03.- Rendimiento	Pavimento flexible sin refuerzo Imprimación asfáltica (dosif0.40 gl/m2-tanque 1800gl)		Costo unitario directo por : m2				4.75
	4,000.00	m2					
Mano de Obra							
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Oficial		hh	2.0000	0.0040	17.00	0.07	
Peón		hh	2.0000	0.0040	15.30	0.06	
							0.13
Materiales							
Kerosene industrial		gal		0.0800	10.40	0.83	
Asfalto liquido rc-250		gal		0.3200	10.50	3.36	
							4.19
Equipos							
Herramientas manuales		%MO		3%	0.13	0.00	
Compresora neumática diesel 250 -330 pcm-87hp		hm	1	0.0020	79.14	0.16	
Camión imprimador		hm	1	0.0020	135.73	0.27	
							0.43

Tabla N° 25: Análisis de precios unitarios para la carpeta asfáltica

Fuente: Elaboración propia

1.00.- Pavimento flexible sin refuerzo							
1.04.- Carpeta asfáltica en caliente de 2"							
Rendimiento	510.00	m2					Costo unitario directo por : m2
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
Oficial		hh	2.6074	0.0409	17.00	0.70	
Peón		hh	8.2748	0.1298	15.30	1.99	
						2.68	
Materiales							
Mezcla asfáltica		m3		0.0593	365.00	21.64	
						21.64	
Equipos							
Herramientas manuales		%MO		3%	2.68	0.08	
Pavimentadora sobre arugas hp 10-16'		hm	1.2686	0.0199	135.30	2.69	
Rodillo neumática autopropulsado 127 hp 8-23 ton		hm	1.0009	0.0157	145.98	2.29	
Transporte de mezcla asfáltica		hm	1.0136	0.0159	38.00	0.60	
						5.67	

Con los datos anteriormente descritos, se formuló un presupuesto para realizar la comparación de precios del pavimento flexible:

Tabla N° 26: Presupuesto de pavimento flexible sin refuerzo

Fuente: Elaboración propia

N°	Nombre	Und.	Metrado	P.u.	Parcial
01	Pavimento flexible sin refuerzo				
1.01	Sub base e=0.30m con afirmado	m2	3,600.00	17.212	61962.112
1.02	Base granular e=0.25 m c/equipo pesado	m2	3,600.00	19.797	71268.96
1.03	Imprimación asfáltica	m2	3,600.00	4.755	17117.338
1.04	Carpeta asfáltica en caliente de 5cm	m2	3,600.00	29.995	107981.070
				Total=	258329.480

COSTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOMALLA BIAXIAL TIPO A (20KN)

Para realizar el análisis de costos del pavimento flexible reforzado por la geomalla biaxial tipo A ; también se realizó el metrado en m2 el cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla N° 27 : Metrados de pavimento flexible con refuerzo geomalla tipo A
Fuente: Elaboración propia

N°	Nombre	Und.	Metrado
2	Pavimento con refuerzo geomalla tipo a		
2.01	Sub base e=0.17m con afirmado	m2	3,600.00
2.02	Geomalla biaxial tipo a (20kn)	m2	3,600.00
2.03	Base granular e=0.25 m c/equipo pesado	m2	3,600.00
2.04	Imprimación asfáltica (dosif0.40 gl/m2-tanque 1800gl)	m2	3,600.00
2.05	Carpeta asfáltica en caliente de 5cm	m2	3,600.00

Además, se muestra el análisis de precios unitarios para cada partida.

Tabla N° 28 : Análisis de precios unitarios para la sub base granular
Fuente. Elaboración propia

2.00.- Pavimento con refuerzo geomalla tipo A						
2.01.- Sub base granular e=0.17m						
Rendimiento	1,500.00	m2		Costo unitario directo por : m2		9.92
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial		hh	1.0000	0.0053	17.00	0.09
Peon		hh	4.0000	0.0213	15.30	0.33
						0.42
Materiales						
Afirmado para subbase		m3		0.2125	32.00	6.80
Agua puesta en obra		m3		0.0255	8.00	0.20
						7.00
Equipos						
Herramientas manuales		%MO		3%	0.42	0.01
Motoniveladora de 125hp		hm	1	0.0053	161.59	0.86
Rodillo liso vibr autopulsado 136-170 hp 10-12 t		hm	1	0.0053	156.68	0.84
Camión cisterna		hm	1	0.0053	147.00	0.78
						2.49

Tabla N° 29 : Análisis de precios unitarios para la instalación de geomalla biaxial tipo A (20 KN)
Fuente : Elaboración propia

2.00.- Pavimento con refuerzo geomalla tipo A						
2.02.- Instalación de geomalla biaxial tipo A (20kn)						
Rendimiento	600.00	m2		Costo unitario directo por : m2		5.44
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial		hh	1.0000	0.0167	17.00	0.28
Peón		hh	1.0000	0.0167	15.30	0.26
						0.54
Materiales						
Sujetador tipo grampas "u"		pza		2.0000	0.50	1.00
Geomalla biaxial lb0202		m3		1.0000	3.89	3.89
						4.89
Equipos						
Herramientas manuales		%mo		3%	0.54	0.02
						0.02

Tabla N° 30: Análisis de precios unitarios para la base granular

Fuente: Elaboración Propia

2.00.-	Pavimento con refuerzo geomalla tipo A					
2.03.-	Base granular e=0.24m					
Rendimiento	470.00	m2	Costo unitario directo por : m2			19.98
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial		hh	1.0000	0.0170	17.00	0.29
Peón		hh	4.0000	0.0681	15.30	1.04
						1.33
Materiales						
Afirmado para subbase		m3		0.3250	32.00	10.40
Agua puesta en obra		m3		0.0360	8.00	0.29
						10.69
Equipos						
Herramientas manuales		%MO		3%	1.33	0.04
Motoniveladora de 125hp		hm	1	0.0170	161.59	2.75
Rodillo liso vibr autopropulsado 136-170 hp 10-12 t		hm	1	0.0170	156.68	2.67
Camión cisterna		hm	1	0.0170	147.00	2.50
						7.96

Tabla N° 31: Análisis de precios unitarios para la imprimación asfáltica

Fuente: Elaboración Propia

2.00.-	Pavimento con refuerzo geomalla tipo A					
2.04.-	Imprimación asfáltica (dosif0.40 gl/m2-tanque 1800gl)					
Rendimiento	4,000.00	m2	Costo unitario directo por : m2			4.75
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial		hh	2.0000	0.0040	17.00	0.07
Peón		hh	2.0000	0.0040	15.30	0.06
						0.13
Materiales						
Kerosene industrial		gal		0.0800	10.40	0.83
Asfalto liquido rc-250		gal		0.3200	10.50	3.36
						4.19
Equipos						
Herramientas manuales		%mo		3%	0.13	0.00
Compresora neumática diesel 250 - 330 pcm-87hp		hm	1	0.0020	79.14	0.16
Camión imprimador		hm	1	0.0020	135.73	0.27
						0.43

Tabla N° 32 : Análisis de precios unitarios para la carpeta asfáltica
Fuente: Elaboración propia

2.00.- Pavimento flexible sin refuerzo						
2.04.- Carpeta asfáltica en caliente de 2"						
Rendimiento	510.00	M2	Costo unitario directo por : m2			29.99
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Oficial		hh	2.6074	0.0409	17.00	0.70
Peón		hh	8.2748	0.1298	15.30	1.99
						2.68
Materiales						
Mezcla asfáltica		m3		0.0593	365.00	21.64
						21.64
Equipos						
Herramientas manuales		%MO		3%	2.68	0.08
Pavimentadora sobre arugas hp 10-16'		hm	1.2686	0.0199	135.30	2.69
Rodillo neumática autopropulsado 127 hp 8-23 ton		hm	1.0009	0.0157	145.98	2.29
Transporte de mezcla asfáltica		hm	1.0136	0.0159	38.00	0.60
						5.67

El presupuesto para el pavimento flexible reforzado con este tipo de geomalla se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 33 : Presupuesto de pavimento con refuerzo (20= KN)
Fuente: Elaboración Propia

N°	Nombre	Und.	Metrado	P.u.	Parcial
2	Pavimento con refuerzo geomalla tipo A				
2.01	Sub base e=0.17m con afirmado	m2	3,600.00	9.915	35694.067
2.02	Geomalla biaxial tipo a (20kn)	m2	3,600.00	5.453	19631.811
2.03	Base granular e=0.25 m c/equipo pesado	m2	3,600.00	19.978	71922.546
2.04	Imprimación asfáltica	m2	3,600.00	4.755	17117.338
2.05	Carpeta asfáltica en caliente de 5cm	m2	3,600.00	29.995	107981.070
Total=					252346.832

COSTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOMALLA BIAxIAL TIPO B (30KN)

Finalmente como tercer diseño se estable utilizar la geomalla tipo B y analizar los precios, se muestran los metrados para este caso.

Tabla N° 34 : Metrados de pavimento flexible con refuerzo geomalla tipo B
Fuente : Elaboración propia

N°	Nombre	Und.	Metrado
3	Pavimento con refuerzo geomalla tipo B		
3.01	Sub base e=0.15m con afirmado	m2	3,600.00
3.02	Geomalla biaxial tipo b (30kn)	m2	3,600.00
3.03	Base granular e=0.24 m c/equipo pesado	m2	3,600.00
3.04	Imprimación asfáltica (dosif0.40 gl/m2-tanque 1800gl)	m2	3,600.00
3.05	Carpeta asfáltica en caliente de 7cm	m2	3,600.00

El análisis de precios unitarios se muestra a continuación:

Tabla N° 35: Análisis de precios unitarios para la sub base granular
Fuente: Elaboración Propia

3.00.- 3.01.- Rendimiento	Pavimento con refuerzo geomalla tipo B Sub base granular e=0.15m		Costo unitario directo por : m2				8.61
	1,800.00	m2					
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Oficial		hh	1.0000	0.0044	17.00	0.08	
Peón		hh	4.0000	0.0178	15.30	0.27	
							0.35
Materiales							
Afirmado para subbase		m3		0.1875	32.00	6.00	
Agua puesta en obra		m3		0.0225	8.00	0.18	
							6.18
Equipos							
Herramientas manuales		%mo		3%	0.35	0.01	
Motoniveladora de 125hp		hm	1	0.0044	161.59	0.72	
Rodillo liso vibr autopulsado 136-170 hp 10-12 t		hm	1	0.0044	156.68	0.70	
Camión cisterna		hm	1	0.0044	147.00	0.65	
							2.08

Tabla N° 36 : Análisis de precios unitarios para la instalación de geomalla biaxial tipo B (30 KN)
Fuente: Elaboración Propia

3.00.- 3.02.- Rendimiento	Pavimento con refuerzo geomalla tipo B Instalación de geomalla biaxial tipo a (30kn)		Costo unitario directo por : m2				5.96
	600.00	m2					
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Oficial		hh	1.0000	0.0170	17.00	0.29	
Peón		hh	1.0000	0.0170	15.30	0.26	
							0.55
Materiales							
Sujetador tipo grampas "u"		pza		2.0000	0.50	1.00	
Geomalla biaxial lb0302		m3		1.0000	4.39	4.39	
							5.39
Equipos							
Herramientas manuales		%mo		3%	0.55	0.02	
							0.02

Tabla N° 37 : Análisis de precios unitarios para la base granular
Fuente : Elaboración Propia

Tabla
N° 38 :

3.00.- Pavimento con refuerzo geomalla tipo B							
3.03.- Base granular e=0.23m							
Rendimiento	460.00	m2			Costo unitario directo por : m2		19.75
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Oficial		hh	1.0000	0.0174	17.00	0.30	
Peón		hh	4.0000	0.0696	15.30	1.06	
							1.36
Materiales							
Afirmado para subbase		m3		0.3120	32.00	9.98	
Agua puesta en obra		m3		0.0345	8.00	0.28	
							10.26
Equipos							
Herramientas manuales		%mo		3%	1.36	0.04	
Motoniveladora de 125hp		hm	1	0.0174	161.59	2.81	
Rodillo liso vibr autopropulsado 136-170 hp 10-12 t		hm	1	0.0174	156.68	2.72	
Camión cisterna		hm	1	0.0174	147.00	2.56	
							8.13

Análisis de precios unitarios para la imprimación asfáltica

Fuente: Elaboración propia

3.00.- Pavimento con refuerzo geomalla tipo B							
3.04.- Imprimación asfáltica (dosif0.40 gl/m2-tanque 1800gl)							
Rendimiento	4,000.00	m2			Costo unitario directo por : m2		4.75
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Oficial		hh	2.0000	0.0040	17.00	0.07	
Peón		hh	2.0000	0.0040	15.30	0.06	
							0.13
Materiales							
Kerosene industrial		gal		0.0800	10.40	0.83	
Asfalto liquido re-250		gal		0.3200	10.50	3.36	
							4.19
Equipos							
Herramientas manuales		%MO		3%	0.13	0.00	
Compresora neumática diesel 250 -330 pcm-87hp		hm	1	0.0020	79.14	0.16	
Camión imprimador		hm	1	0.0020	135.73	0.27	
							0.43

Tabla N° 39 : Análisis de precios unitarios para la carpeta asfáltica

Fuente : Elaboración Propia

3.00.- Pavimento con refuerzo geomalla tipo B							
3.05.- Carpeta asfáltica en caliente de 2"							
Rendimiento	510.00	m2			Costo unitario directo por : m2		29.99
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Oficial		hh	2.6074	0.0409	17.00	0.70	
Peón		hh	8.2748	0.1298	15.30	1.99	
							2.68
Materiales							
Mezcla asfáltica		m3		0.0593	365.00	21.64	
							21.64
Equipos							
Herramientas manuales		%mo		3%	2.68	0.08	
Pavimentadora sobre arugas hp 10-16'		hm	1.2686	0.0199	135.30	2.69	
Rodillo neumática autopropulsado 127 hp 8-23 ton		hm	1.0009	0.0157	145.98	2.29	
Transporte de mezcla asfáltica		hm	1.0136	0.0159	38.00	0.60	
							5.67

El presupuesto para este caso se presenta en la siguiente tabla:

Tabla N° 40: Presupuesto de pavimento con refuerzo (30KN)
Fuente: Elaboración propia

N°	Nombre	Und.	Metrado	P.u.	Parcial
3	Pavimento con refuerzo geomalla tipo B				
3.01	Sub base e=0.15m con afirmado	m2	3,600.00	8.606	30981.056
3.02	Geomalla biaxial tipo b (30kn)	m2	3,600.00	5.973	21501.329
3.03	Base granular e=0.24 m c/equipo pesado	m2	3,600.00	19.752	71108.828
3.04	Imprimación asfáltica (dosif0.40 gl/m2-tanque 1800gl)	m2	3,600.00	4.755	17117.338
3.05	Carpeta asfáltica en caliente de 5cm	m2	3,600.00	29.995	107981.070
Total=					248689.620

Tabla N° 41: Comparación entre los costos para cada caso planteado
Fuente: Elaboración propia

	Pavimento sin refuerzo	Pavimento con refuerzo (20KN)	Pavimento con refuerzo (30KN)
PRESUPUESTO	S/ 258,329.48	S/ 252,346.83	S/ 248,689.62

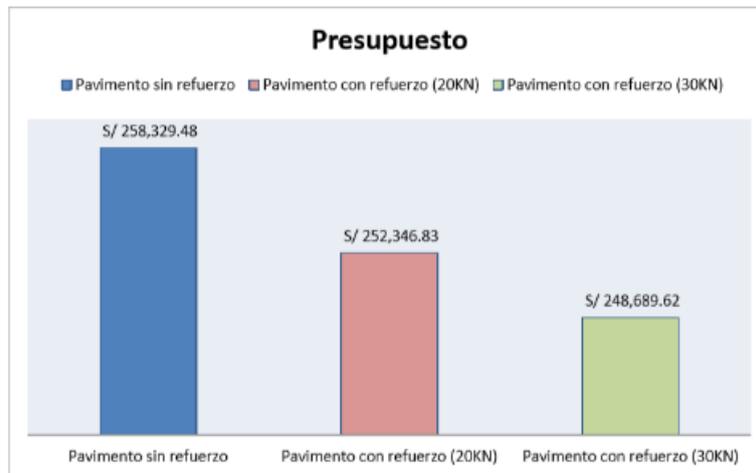
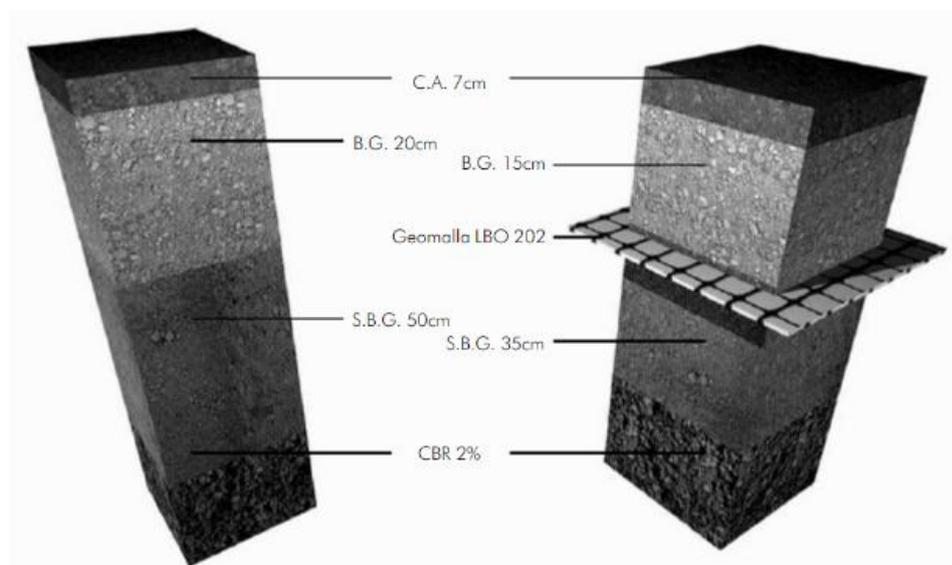


Figura N° 24 : Comparación del análisis de costos
Fuente : Elaboración propia

De la Figura N°24 ; se interpreta que existe una reducción en el costo de la construcción del pavimento flexible utilizando el refuerzo de la geomalla biaxial tipo A (20KN), es decir, la geomalla biaxial LBO 202 proporciona una reducción de S/ 5,982.65, lo que representa una reducción del 2.31%.

Así mismo, los costos de la construcción del pavimento flexible utilizando la geomalla tipo B también se reducen, la geomalla biaxial LBO 302 genera una reducción de S/ 9,639.86, es decir, el costo se reduce en un 3.73%.



Espesor de la estructura reducido

Base granular: 5 cm

Subbase granular: 15 cm

Espesor total reducido de la estructura: 20 cm

V. DISCUSIÓN

- El Uso de la geomalla biaxial para optimizar base y subbase de pavimento flexible. De acuerdo a los resultados obtenidos para el objetivo principal “Determinar el diseño de una base granular reforzada con Geomalla Biaxial; para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles, tramo Tayabamba – Ongon .Provincia de Pataz. La Libertad” se obtuvo que la geomalla biaxial optimiza la base y subbase del pavimento flexible así como también lo demostraron los autores Taípe Sarmiento y Tovar Choccelahua (2012) en su investigación titulada “Comportamiento del pavimento flexible con el uso de geomalla en el distrito de Lirkay km 0+010 camino a Ocopa departamento de Huancavelica” en comparación a la estructura del pavimento sin refuerzo.
- Uso de geomalla biaxial tipo A (20KN/m) para disminuir el espesor de la base y subbase de pavimento flexible. Según los resultados obtenidos para el primer objetivo específico “Calcular el espesor de la base y subbase de pavimento flexible con el uso de geomalla biaxial tipo A (20KN/m)” se determinó que la geomalla biaxial LBO 202 reduce el espesor de la estructura en un 24.20 % lo cual corrobora con la investigación realizada por el autor Gavilanes Davila (2012) en su tesis “Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua- La maná”, este autor determinó que los espesores del pavimento flexible con el uso de geomalla biaxial disminuyen en un 30%.
- Uso de geomalla biaxial tipo B (30KN/m) para disminuir el espesor de la base y subbase de pavimento flexible. En el segundo objetivo específico “Calcular el espesor de la base y subbase de pavimento flexible con el uso de geomalla biaxial tipo B (30 KN/m)” se determinó que la geomalla biaxial LBO 303 reduce el espesor de la estructura en un 29.09% así como también lo demostró el autor Diaz Chuquimango (2017) en su investigación “Influencia de la geomalla en el diseño del pavimento flexible en la Vía de Evitamiento Norte – Cajamarca, 2017” donde obtuvo que la geomalla LBO 303 reduce los espesores de la base en un 33.40 % y a subbase en un 31.80%

- Uso de geomalla biaxial para reducir el costo de construcción de pavimento flexible. De acuerdo al tercer objetivo específico “Analizar el costo de construcción de pavimento flexible con el uso de geomalla biaxial” se obtuvo que los costos de construcción se reducen, la construcción del pavimento flexible reforzada con la geomalla LBO 202 reduce los costos en un 2.59 % y la geomalla LBO 303 reduce los costos en un 4.01 % para este tramo de la investigación, los autores Aguirre Zúñiga y Flórez Rojas (2016) en su investigación titulada “Análisis de reducción de costos en obras viales mediante optimizaciones de ingeniería en los diseños de pavimentos flexibles: caso de estudio, obra mejoramiento de la carretera CU-110 “Huaroscondo – Pachar”, ubicado en los distritos de Huaroscondo y Ollantaytambo, provincia de Anta y Urubamba, región Cusco” determinaron que la geomalla biaxial genera una reducción de 3.30 % en los costos de la construcción del proyecto.

VI. CONCLUSIONES

- La muestra está conformada por el total de 15 Kilómetros + 753.79 mts. tramo III; de la carretera Tayabamba – Ongon ; Km 29 + 860 al Km 45 + 613.79 . Provincia de Pataz, Departamento La Libertad; en un total de 15 Km + 753.79 mts.
- En obras viales se requiere que la estructura de pavimento tenga la capacidad de recibir las cargas dinámicas aplicadas y que cumpla con su vida útil, para ello se utilizan varios métodos de diseño que principalmente se basan en dar espesor a las capas que constituyen la estructura de pavimento.
- Que las cargas superficiales de tráfico se convierten en esfuerzos en las capas interiores del pavimento y que estos deben de ser asimilados por la estructura. La geomalla es un elemento de última generación, ya que con un entramado de plástico se logra varios beneficios para la estructura de pavimento.
- La geomalla genera una frontera que no permite la mezcla de las capas adyacentes de material en un pavimento, aumentando su vida útil, además logra disipar de mejor forma los esfuerzos provocados por las cargas superficiales, repartiendo el mismo en un área mayor y también la geomalla provee de una capacidad de resistencia que se suma a la capacidad del suelo.
- Se determinó al comparar el diseño de pavimento flexible sin refuerzo y con el uso de refuerzo que la base y subbase del pavimento flexible se optimizan en espesor y costo con el uso de la geomalla biaxial tipo A (LBO 202) y geomalla biaxial tipo B (LBO 302), sin embargo, de la comparación realizada a los dos tipos de refuerzo se observa que la mayor optimización se genera con el uso de la geomalla biaxial LBO 302 para el tramo en estudio.
- El uso de la geomalla biaxial LBO 202 como refuerzo del pavimento flexible en el tramo Tayabamba – Ongon. Provincia de Pataz; se determinó que genera como resultado un espesor de 0.24 m y 0.17m para la capa base y subbase respectivamente, es decir, la capa base se disminuye en un 4% y

la capa subbase disminuye en un 43% según se muestra en la Tabla N° 16 (Espesores de pavimento flexible con refuerzo tipo A). Se determinó que el pavimento flexible en el tramo Tayabamba – Ongon . Provincia de Patatez. La Libertad. reforzado con la geomalla biaxial tipo B (30KN) genera como resultado unos espesores de 0.23m y 0.15m para la capa base y subbase respectivamente lo que representa una reducción de 8% de capa base y 50% de capa subbase así se muestra en la Tabla N° 19. Espesores de pavimento flexible con refuerzo tipo B).

- Con respecto al análisis de costos, se determinó que la utilización de las geomalla biaxial tipo A (20KN) reduce el costo de la construcción en un 2.31%, por otro lado, la geomalla biaxial tipo B (30KN) genera una reducción en la construcción de un 3.73% según se presenta en la Tabla N° 41. Comparación entre los costos para cada caso planteado)

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de la geomalla biaxial a nivel de refuerzo para base y subbase de pavimento flexible, además, tener en cuenta para los futuros proyectos a realizarse en la provincia de Pataz, debido a que genera los beneficios importantes como la disminución de espesores en las capas base y subbase y además es un material de fácil instalación que ahorra tiempo en la construcción del pavimento.
- Utilizar la geomalla biaxial del tipo A y tipo B para pavimentos flexibles verificando que la instalación de este material sea en óptimas condiciones y supervisar el proceso constructivo para evitar que esta disminuya su resistencia, además, la elección del material granular es importante ya que es necesario que se genere la trabazón del material en la geomalla biaxial, de esa manera obtener su mejor rendimiento.
- Respecto a los costos se recomienda utilizar la geomalla debido a que se reduce la cantidad de materiales y a su vez el tiempo de ejecución de las partidas disminuye lo que representa una menor duración del proyecto.
- Para obtener un mayor beneficio con el uso de los geosintéticos se recomienda realizar un estudio respecto a la utilización de geotextil tejido con el fin de utilizar el material de la zona y realizar la comparación con los beneficios obtenidos con el uso de la geomalla biaxial.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACADEMIA de investigación (2018). Manual para la elaboración de tesis y trabajos de investigación. Puebla : s.n., 47 pp.
- ACOSTA y MACÍAS (2017). Estudio sobre materiales granulares de la cantera Río de Oro utilizados como Base para pavimentos Flexibles-Bucaramax. Tesis (Ingeniero civil).
- Al-Qadi, I.L., Dessouky, S.H., Kwon J. and Tutumluer, E. (2018). Geogrids in flexible pavements: Journal of the Transportation Research Board, No. 2045, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. pp. 102-109.
- AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures (Guía de la AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento). Washington.
- AASHTO.(2003). Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate base Course of Flexible Pavement Structures PP 46-01. 4 p.
- AASHTO.(2009). Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate base Course of Flexible Pavement Structures R 50-09. 4 p.
- BROWN, S. F. (1996). Soil mechanics in pavement engineering. Géotechnique, 46(3), 383–426. doi:10.1680/geot.1996.46.3.383
- CARRASCO, Sergio (2015). Metodología de la investigación científica [en línea]. Lima: San Marcos. ISBN: 9972342425.
- CIDELSA. Cidelsa Geomallas. [En línea]. Lima: 2015. [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2017.] Disponible en <http://www.cidelsa.com>.
- DEPARTAMENTO de Administración y Evaluación de Pavimentos. Identificación de Fallas en Pavimentos y Técnicas de Reparación. República Dominicana: Dirección General de Reglamentos y Sistemas, 2016.
- GARNICA ANGUAS, P., GÓMEZ LÓPEZ, J. A., & SESMA MARTÍNEZ, J. A. (2002). Mecánica de materiales para pavimentos. Instituto Mexicano del Transporte, (197), 234.

- GARNICA ANGUAS, P., PÉREZ GARCÍA, N., & GÓMEZ LÓPEZ, J. A. (2001). Módulo de resiliencia en suelos finos y materiales granulares. Instituto Mexicano del Transporte, (142), 58.
- GAVILANES, Nydia. Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintético aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua- La Maná. Disertación (Ingeniero Civil). Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2012.
- GEOSISTEMAS Pavco. Manual de diseño con geosintéticos. Mexico : Zetta Comunicadores S.A., 2012. 127 pp.
- HAAS, Ralph, Walls, Jamie y R., Carrol.(2010). Geogrid Reinforcement of Granular Bases in Flexible Paviments.
- HIGUERA S, CARLOS HERNANDO. (2010). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimento para carreteras. Volumen II. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia., ISBN 978-958-660-152-8, Tunja. 28-29.
- JORDAN y SUÁREZ (2017). Diseño de pavimentos flexibles con el uso de geosintéticos como refuerzo aplicado en las vías de acceso a la ciudadela La Milina del Cantón Salinas. Tesis (Ingeniero Civil). Santa Elena, Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- KOERNER, Robert. (2012). Designing with Geosynthetics. United States of America: Xlibris Corporation. ISBN: 978-4628-8288-
- MANUAL DE CARRETERAS. SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS – SECCIÓN: SUELOS Y PAVIMENTOS (FEBRERO 2013).
- MENEDEZ, José (2016). Ingeniería de pavimentos tomo 3. Perú. Instituto Nacional y Gerencia. ISBN: 9786124280177.
- MENEDEZ, José (2016). Ingeniería de pavimentos tomo 2. Perú. Instituto Nacional y Gerencia. ISBN: 9786124280160
- MENEDEZ, José (2016). Ingeniería de pavimentos tomo 1. 5ª ed. Perú. Instituto Nacional y Gerencia. ISBN: 9786124280153.
- MINAYA, S. Y ORDOÑEZ A. (2016). Diseño Moderno de Pavimentos.Edit. Limusa. México.

- MINISTERIO de transporte y comunicaciones (2013). Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. MTC. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Resolución Directoral N° 18-2016-MTC/14
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2016). Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial. Lima Perú.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2016). Manual de ensayo de materiales. Lima Perú.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2016) Norma Peruana de Diseño Geométrico. DG 2012. Lima Perú.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (2016). Manual de Seguridad Vial . Lima Perú.
- MONTEJO, Alfonso. (2012) Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá: Agora Editores. ISBN: 9589603629.
- ORREGO, Daniel (2014). Análisis técnico económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Pontificia universidad Católica del Perú.
- PADILLA RODRIGUEZ A. (2015). Deformaciones plásticas en capas de rodadura de pavimentos asfálticos. Edit. UPC. Lima . Perú.
- PÉREZ, P. (2013). Manual de carreteras suelos, geología, geotécnica y pavimentos, sección suelos y pavimentos.
- SAMPIERI, Roberto (2010) . Metodología de la investigación. México: s.n.. ISBN: 9701057538.
- RODRIGUEZ y Valdeoriola. (2012). Metodología de la Investigación. México: Red Tercer Milenio.
- RONDÓN y REYES (2018). Metodologías de diseño de pavimentos flexibles: tendencias, alcances y limitaciones. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.

- JIMENEZ ROSA (2017). Metodología de la investigación. La Habana: Ciencias médicas, . ISBN: 9592120668.
- SABOGAL, Fernando y Sánchez. Copérnico (2016). [En línea]. 6 de noviembre de 2016. [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2017.] Disponible en:http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO_207.pdf.
- SANCHEZ, José (2016). Los métodos de investigación. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- SILVA, Mayra (2016). Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX 160, aplicado a un tramo de la calle Alemania- La molina- Cajamarca 2016. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- SOWERS, George B. y Sowers, George F. (2012) . Introducción a la mecánica de suelos y cimentación manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos.
- TAIPE y Tovar (2012). Comportamiento del pavimento flexible con el uso de geomalla en el distrito de Lircay KM 0+010 camino a Ocopa departamento de Huancavelica. Tesis (Ingeniero civil). Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica. 2012. 126 pp.
- TENAX, TDS006 (2018) : Design Of Flexible Road Pavements With Tenax Geogrids
- TENSAR (2013). International Corporation. Propiedades y ventajas en el desempeño de las geomallas tensar triax.
- TINGAL, William (2013). Comportamiento entre el diseño de pavimento tradicional (AASHTO) y el diseño con geomalla en la pavimentación de la Av. Salomón Vélchez Murga de la ciudad de Cutervo. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. 154 pp.
- YODER y WITCZAK (2018). Deterioro del pavimento por falta de mantenimiento. EEUU.
- ZORNBERG, J. (2013). Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos. Ciencia e Ingeniería, pp. 5-23