



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Aplicación de la Geomalla Triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabaylo – 2017”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Lloni Novoa Fernández

ASESOR:

Ing. Jorge John Gabriel Beltran

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

Lima - Perú

2017


Página del Jurado



Mg. César Teodoro Arriola Prieto
PRESIDENTE



Mg. Raúl Heredia Benavides
SECRETARIO



Mg. Jorge John Gabriel Beltran
VOCAL

Dedicatoria

A Dios por la fortaleza, salud y acompañarme e iluminarme durante mis años de estudio para cumplir mis objetivos académicos, a mi familia por guiarme a lo largo de mi vida y estar presente en mis penas y alegrías y a mis hermanos por ser cómplices de mis objetivos, por brindarme su apoyo sincero.

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad César Vallejo por la formación integral a lo largo del desempeño académico de la carrera, a los catedráticos que con su experiencia contribuyeron a fortalecer las competencias de ingeniero y de forma muy especial a los asesores.

Agradezco a mi madre Etelvina Fernández y mi padre Víctor Raúl Novoa que desde el cielo está muy orgulloso por mi esfuerzo, a mis hermanos, Miguel por darme siempre su apoyo incondicional a mis tíos primos y toda mi familia por su apoyo.

Declaratoria de autenticidad

Yo, Lloni Novoa Fernández con DNI N° 33962007, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presente en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, septiembre del 2017



Lloni Novoa Fernández

Presentación

Señores miembros del Jurado, presento ante ustedes la Tesis titulada “Aplicación de la geomalla triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabayllo – 2017”, con la finalidad de dar cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Esperando cumplir con los requisitos y aprobación de introducción, método, resultados, discusión, conclusiones, recomendaciones y referencias. Teniendo como resultado que la aplicación de la geomalla triaxial mejora la estabilización de suelos blandos.

El Autor

Índice

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad problemática.....	2
1.2 Trabajos previos.....	5
1.2.1 Internacionales.....	5
1.2.2 Nacionales.....	9
1.3 Teorías Relacionadas al Tema.....	12
1.3.1 Geomallas triaxiales.....	12
1.3.2 Clasificación de los geotextiles.....	14
1.3.3 Aplicaciones típicas.....	18
1.4 Formulación del problema.....	29
1.4.1 Problema general.....	29
1.4.2 Problema específico.....	29
1.5 Justificación del estudio.....	30
1.5.1 Teoría.....	30
1.5.2 Práctica.....	30
1.5.3 Metodológica.....	30
1.5 Socioeconómico.....	31
1.6 Hipótesis.....	32
1.6.1 Hipótesis general.....	32
1.6.2 Hipótesis específicas.....	32

1.7	Objetivos.....	32
1.7.1	Objetivo general.....	32
1.7.2	Objetivos específicos.....	32
II.	MÉTODO.....	33
2.1	Diseño de investigación.....	34
2.1.1	Tipo de estudio.....	34
2.2	Variables y operacionalización de variables.....	36
2.2.1	Variable independiente: Geomallas triaxiales.....	36
2.2.2	Variable dependiente: Estabilización de suelos blandos.....	36
2.2.3	Operacionalización de variables.....	36
2.3	Población.....	38
2.3.1	Población.....	38
2.3.2	Muestra.....	38
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	38
2.4.1	Técnicas.....	38
2.4.2	Instrumentos.....	39
2.5	Métodos de análisis de datos.....	39
2.6	Aspectos éticos.....	39
III.	RESULTADOS.....	40
3.1	Descripción del proyecto.....	41
3.2	Investigaciones de campo.....	42
3.2.1	Exploración de calicatas.....	42

3.3 Ensayos estándar.....	43
3.4 Clasificación de suelos.....	44
3.4.1 Descripción de los perfiles estratigráficos.....	47
3.5 Diseño del pavimento flexible.....	51
3.5.1 Diseño convencional.....	51
3.5.2 Propuesta de pavimento flexible reforzado con geomalla.....	68
3.5.3 Metodología de diseño y referencias.....	69
3.5.4 Comportamiento mecánico de las geomallas.....	69
3.5.5 Diseño de pavimento flexible – Método de la Ashto – 1993.....	76
IV. DISCUSIÓN.....	81
V. CONCLUSIONES	89
VI. RECOMENDACIONES.....	92
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
VIII. ANEXOS.....	98
ANEXO N° 1: Matriz de consistencia.....	99
ANEXO N° 2: Panel fotográfico.....	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1. Operacionalización de variables.	37
Tabla 3. 1. Resumen de exploración del primer tramo.	43
Tabla 3. 2. Resumen de exploración del segundo tramo: Av. Parque Zonal.	43
Tabla 3. 3. Calicata N°1, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 65).	44
Tabla 3. 4. Calicata N°2, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 65).	44
Tabla 3. 5. Calicata N°3, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665).	45
Tabla 3. 6. Calicata N°4, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665).	45
Tabla 3. 7. Calicata N°5, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).	45
Tabla 3. 8. Calicata N°6, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).	46
Tabla 3. 9. Calicata N°7, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).	46
Tabla 3. 10. Calicata N°8, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).	46
Tabla 3. 11. Ensayos de CBR según ASTM D-1883, Av. Señor de Caudivilla.	47

Tabla 3. 12. Ensayos de CBR según ASTM D-1883 (km. 0+000 – km. 0+1184).	47
Tabla 3. 13. Valores Sugeridos de confiabilidad (Tabla 2.2 de la guía de diseño AASHTO-93).	54
Tabla 3. 14. Valores para la desviación estándar normal (AASHTO, 93).	55
Tabla 3. 15. Calidad de drenaje.	57
Tabla 3. 16. Valores recomendados para modificar los coeficientes de drenaje.	58
Tabla 3. 17. Espesores mínimos recomendados por la AASHTO-93 en función del ESAL.	64
Tabla 3. 18. Estimación de espesores y costos de la estructura del pavimento flexible.	66
Tabla 3. 19. Estimación del ESAL.	76
Tabla 3. 20. Índice de confiabilidad y la desviación estándar.	77
Tabla 3. 21. Módulo de resiliencia.	77
Tabla 3. 22. Cambio de serviciabilidad.	77
Tabla 3. 23. Estructura del pavimento flexible estabilizado o reforzado con geomalla.	77
Tabla 3. 24. Espesores y costos de la estructura del pavimento flexible con geomalla triaxial	78
Tabla 4. 1. Espesores del pavimento flexible sin geomalla triaxial.	83
Tabla 4. 2. Espesores del pavimento flexible con geomalla triaxial.	83
Tabla 4. 3. Costo de construcción del pavimento flexible.	87

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. 1. Productos geosintéticos disponibles hoy en día.	14
Fig. 1. 2. Geomalla Uniaxial.	15
Fig. 1. 3. Estructura de una geomalla biaxial.	16
Fig. 1. 4. Geomalla multiaxial.	16
Fig. 1. 5. Proceso de fabricación de las geomallas uniaxiales y biaxiales.	17
Fig. 1. 6. Geomalla uniaxial de poliéster tejida.	18
Fig. 1. 7. Geomalla uniaxial de polietileno soldada.	18
Fig. 1. 8. Ejemplo de un suelo reforzado con geomalla.	19
Fig. 1. 9. Aplicación de taludes en suelo reforzado, adaptado de FHWA, 2001.	20
Fig. 1. 10. Mecanismos típicos de degradación en vías.	21
Fig. 1. 11. Influencia del refuerzo con geosintéticos en el comportamiento de vías no pavimentadas.	22
Fig. 1. 12. (Izq) Gráfico típico para diseño, (Der) Construcción de una vía no pavimentada reforzada sobre arcilla orgánica blanda.	22
Fig. 1. 13. (Izq.) Daños en un pavimento convencional, (Der.) Aplicación de geosintéticos en pavimentos.	23
Fig. 1. 14. Funciones del geosintético en el desempeño de vías pavimentadas.	24
Fig. 1. 15. Incremento del tiempo de vida de un pavimento debido al uso de refuerzo geosintético.	25
Fig. 3. 1. Ubicación de la zona en estudio.	42
Fig. 3.2. Mediante la ecuación de diseño propuesta en la guía AASHTO 1993.	53
Fig. 3. 2. Estructura del pavimento flexible.	53
Fig. 3. 3. Distribución normal de la probabilidad de falla del pavimento.	55
Fig. 3. 4. Coeficiente de aporte estructural de la carpeta asfáltica.	60

Fig. 3. 5. Coeficiente de aporte estructural de la base.	60
Fig. 3. 6. Coeficiente de aporte estructural de la sub-base.	61
Fig. 3. 7. Carta de diseño para pavimentos flexibles.	62
Fig. 3. 8. Proceso iterativo para estimar NS.	63
Fig. 3. 9. Valores del coeficiente estructural asociados es costos por metro lineal.	65
Fig. 3. 10. Estructuración del diseño del pavimento para un periodo de 0-20 años.	68
Fig. 3. 11. Confinamiento lateral e incremento de la capa reforzada.	71
Fig. 3. 12. Confinamiento lateral e incremento de la capa reforzada.	71
Fig. 3. 13. Mejoramiento de capacidad portante.	72
Fig. 3. 14. Efecto de membrana tensionada.	72
Fig. 3. 15. Trabazón de las partículas en las aberturas de la geomalla.	73
Fig. 3. 16. Vista en planta de la vía utilizada para el diseño.	74
Fig. 3. 17. Incremento del valor de tráfico VS CBR de la subrasante.	75
Fig. 3. 18. Relación entre el LCR y el CBR de la subrasante.	76
Fig. 3. 19. Estructuración del diseño del pavimento flexible con geomalla TX160.	80
Fig. 4. 1. Sección típica del pavimento flexible propuesto.	82
Fig. 4. 2. Comportamiento de la base granular bajo carga vehicular.	84
Fig. 4. 3. Aporte estructural de cada capa en la capacidad portante del pavimento.	84
Fig. 4. 4. Espesores de las capas del pavimentos flexible con y sin geomalla triaxial.	85
Fig. 4. 5. Capacidad portante del pavimento flexible requerido e instalado.	86
Fig. 4. 6. Costo total de la pavimentación de las vías en estudio.	88

RESUMEN

En este trabajo se analizó las ventajas del uso de geosintéticos, en específico las geomallas multiaxiales, como refuerzo para estabilizar suelos de baja capacidad portante dentro de una estructura de pavimento flexible. Por otro lado, el objetivo principal es determinar si la geomalla multiaxial como refuerzo es una alternativa técnicamente y económicamente viable sin disminuir la capacidad estructural de la vía proyectada en el proyecto de análisis. Para tal fin, se realizó dos diseños bajo los mismos parámetros: la primera alternativa es una sección convencional (siguiendo la metodología de la AASHTO-93). Como segunda alternativa se decidió usar la geomalla triaxial TX160 (ver Anexo 03). Además, se realizó una revisión del estado del arte sobre los mecanismos de refuerzo y sus efectos en desempeño de la estructura del pavimento y las ventajas que ésta ofrece frente a los métodos tradicionales.

Con la utilización de la geomalla triaxial se logró una reducción del 14% del costo inicial del proyecto. Con lo cual se validó la hipótesis general que la aplicación de la geomalla triaxial mejoró la estabilización de los suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabayllo.

Palabras Clave: Geomalla triaxial, pavimento flexible, suelo blando.

ABSTRACT

In this work, the advantages of the use of geosynthetics, in particular the multiaxial geogrids, were analyzed as a reinforcement to stabilize soils of low carrying capacity within a flexible pavement structure. On the other hand, the main objective of this work was to determine if the multiaxial geogrid as reinforcement is a technically and economically viable alternative to build a flexible pavement to this project. For this purpose, two designs were made under the same parameters: the first alternative is a conventional section (following the AASHTO-93) As a second alternative, it was decided to use the TX160 triaxial geogrid (see Annex 03). In addition, a review of the state of the art on reinforcement mechanisms and their effects on the performance of the pavement structure and the advantages it offers over traditional methods was made.

With the use of the triaxial geogrid a reduction of 14% of the initial cost of the project was achieved. With this, the general hypothesis was validated that the application of the triaxial geogrid improved the stabilization of the soft beds on Trapiche Chillón Avenue, Carabayllo.

Keywords: Triaxial geogrid, flexible pavement, soft soil,

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

Las empresas constructoras en los países desarrollados industrialmente como Japón, Francia y EE. UU sufren grandes problemas por la baja programación de las obras viales en razón a que los trabajos de los sistemas de pavimentos, construcción en suelos blandos no se evalúan a tiempo el crecimiento urbano de la ciudad y esta carga vehicular genera enormes deformaciones físicas ocasionando deterioro en los pavimentos y vías públicas. Estos conjuntos de incidencias son causados por factores ante la baja preparación de la sub-rasantes en la construcción vial de las avenidas, calles y rutas de la ciudad. En tal razón, los factores que afectan fuertemente a esta problemática son: las estructuras de pavimento impropias, el agrietamiento tipo piel de cocodrilo, el agrietado en bloques, las fragmentaciones causadas por la humedad, cuando un programa de construcción o un presupuesto se vean perturbados por sub-rasantes de baja resistencia, las cargas pesadas, las capas gruesas de relleno, los tipos de costos elevados de relleno, la sub-rasante contaminada o líneas de suministro de servicios públicos a corta profundidad, esto exige dar prioridad a nivel de la ingeniería civil a la aplicación de la geomalla triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos.

En los países de América Latina como Brasil, Argentina, Colombia, México, Chile y Ecuador las empresas dedicadas a la construcción de obras viales que trabajan con dirección hacia los sistemas de pavimentos, la raíz de la problemática está afectada por factores como: durabilidad, bajo rendimiento de la capa de áridos, la resistencia, simplificación de la obra de construcción, requerimientos de materiales, bajo rendimiento de la capa de sub-rasante, costos, control de tiempos y la durabilidad. Pero, el conjunto de deficiencias impide el beneficio positivo de los factores como: Ajuste de suelos delicados. Es excepcionalmente básico que en las obras callejeras encontremos tipos distintivos de suelos con varias propiedades mecánicas y físicas, y adicionalmente su adaptación o geografía. Los suelos delicados, embarrados o de baja carga sujetos a cargas puntuales o dinámicas son un peligro para la vida de las estructuras basadas en estas calles despejadas, ferrocarriles, establecimientos, etapas, ya que esta tiene tendencia a torcerse. Una tierra fortificada con geomallas bioorientadas tiende a disminuir fundamentalmente

su desfiguración ya que éstas retendrán y transportarán en una zona más prominente las cargas transmitidas. El refuerzo de muros y taludes. El contexto de esta problemática al no priorizar los puntos componentes como: Sostener con divisores es una opción increíble para mejorar el rango de desarrollo y adquirir niveles con el límite de carga requerido. Se espera que un divisor de mantenimiento mantenga el contraste entre los niveles del suelo con el punto de construir calles, estacionamientos, hojas de aproximación en tramos, franjas de celdas de vertedero, llegar a pendientes, canales para canales y arroyos, bancos en el privilegio del camino, recreación de inclinaciones comunes. Estos grupos de incidencias afectan a la problemática y demanda de “la aplicación de geomalla triaxial para la mejora de la estabilización de los suelos blandos.

El Perú políticamente está formado por 26 regiones, 184 provincias y 1840 distritos esto genera una demanda de las obras vial para pavimentos en calles, avenidas y sistemas viales esto demanda de los componentes relacionados a: pavimentación de carreteras principales y de caminos secundarios; arreglo de calles principales y calles auxiliares; detener las costas de las oficinas comerciales; pistas y terminales de difusión de camiones de carga; tiendas con aparatos abrumadores en las oficinas portuarias; ferrocarriles y cursos mecánicos y calles para actividades sustanciales. Las geomallas son esenciales, ya que fortalecen el relleno y diseminan los montones terminaron una región más grande para permitir un mejor acceso a la temporada de los largos días ventosos. En consecuencia, tal problemática se genera por falta de conocimientos y de la metodología de diseño para separación, refuerzos de taludes, refuerzos de terraplenes y estabilización de vías que permita definir los requerimientos y los tipos de materiales. En consecuencia, las condiciones reducen el punzonamiento y la formación de los hoyos o surcos en el proceso de pavimentación. Frente a ello, se plantea la “Aplicación de geomalla triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabaylo - 2017”.

La empresa peruana, dedicada al desarrollo de proyectos integrales de ingeniería y Construcción de obras civiles, con los valores que son guías básicas para tomar cualquier decisión dentro de la organización de la empresa con un compromiso, responsabilidad, trabajo en equipo e innovación, con la visión de ser para el año

2021 una empresa constructora que atiende a un mercado diversificado y con una capacidad de contratación muy significativa, y su misión es contribuir con el desarrollo de la infraestructura del país, proporcionando servicios de construcción con un enfoque en la innovación, con calidad consistente y demostrando compromiso con la seguridad, la salud, el cuidado del medio ambiente y el desarrollo de nuestros colaboradores. La empresa está ubicada en el distrito de Carabayllo donde se observa la falta de pavimentación en las principales avenidas y su mal estado de conservación representando una oportunidad para la empresa y a la vez un aporte a la mejora del transporte a la comunidad. En ese sentido la técnica de las geomallas apoya a las cargas, maximiza la capacidad de carga de cualquier sub-rasante y es una alternativa en la reducción de los costos operativos, factor tiempo de construcción, mano de obra, ahorro de materiales, y la vida útil del proceso. En el punto en que se requieren áreas de relleno profundas, las geomallas pueden reducir el espesor de las capas de relleno hasta la mitad, adquiriendo un tiempo similar, la difusión de la carga requerida. Al aplicar cargas a las capas de relleno, el fortalecimiento de la geomalla tiene lugar aquí y allá a través del relleno, diseminando hábilmente el relleno sobre un territorio de aumento para anticipar una carga excesiva. Los planes para desarrollos en los suelos delicados con geomallas incluyen la garantía de las condiciones de carga más extremas, la calidad de la subrasante, el tipo y la calidad de los rellenos, el espesor de los rellenos y el fortalecimiento de las geomallas. La técnica de las geomallas debe de ser diseñadas para cumplir con estrictas exigencias cuando se trata de construir sobre sub-rasantes de baja resistencia. En efecto, ante esta problemática se plantea la: “Aplicación de geomalla triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2017”.

1.2 Trabajos Previos

1.2.1 Internacionales

Noboa, B. y Sebastián, A. (2016). "Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante, con el uso combinado de una Geomalla y un Geotextil". Tesis para optar el Título de Master en Ingeniería de Vialidad y Transporte. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería. Su objetivo fue determinar el nivel de resistencia sobre una subrasante utilizando entretanto un geotextil y una geomalla como estructura de refuerzo y desarrolle un examen con la seguridad de que puede dar el paso con las circunstancias: a) con el uso de un geotextil, b) con el uso de una geomalla y c) sin ningún tipo de de ayuda Para lograr los objetivos, explorar pruebas de la oficina se hicieron para obtener los giros de inquietud / tensión para cada una de las circunstancias analizadas. De esta manera, el plomo logrado en la oficina de exploración se repitió a través de modelos numéricos evaluados en el Item Plaxis 8.6 (Partes restringidas), que realizó las tensiones en la interfaz de la capa de sustrato granular y la posterior confirmación de los componentes vigorizantes. Las terminaciones del examen delinean: 1) una inmensa disminución en el espesor de la capa superior al sustrato 2) no hay un cambio ilustrativo al usar un geotextil y una geomalla al mismo tiempo. La tesis brinda un adecuado uso a las geomallas ya que se orienta a la mejora de la estabilización de los suelos, siendo relevante para el presente proyecto de investigación.

López, L. y Manuel, J. (2013). "Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles Aplicando Geomallas de Polipropileno como Sistema de Reforzamiento Estructural". Tesis para optar el Título de Maestro en Ingeniería Civil. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Su objetivo es: a) demostrar mediante modelos de respuesta analíticos que la incorporación de geomallas biaxiales de polipropileno, b) mejora las propiedades de resistencia a tracción en la fibra inferior de la capa de mezcla bituminosa, c) incrementar la vida de fatiga de las capas granulares y en consecuencia optimiza los espesores de diseño de las capas del pavimento flexible, generando un abaratamiento económico y técnico de la obra de infraestructura carretera. El alcance del estudio a realizar es exploratorio con una metodología de trabajo o manejo de resultados experimentales confirmatorios a

través de modelos de respuesta analíticos, que permiten corroborar la investigación. Con estos alcances de investigación se pretende plantear contribuciones para mitigar la problemática y sus consecuencias de construcción de las mismas. Se demuestra, con este trabajo de tesis que mediante artículos basados en numerosos ensayos de laboratorio y aplicaciones de modelos de respuesta analíticos permiten validar la capacidad estructural del pavimento flexible mejora con la inclusión de geomallas, logrando que los costos de operación y mantenimiento disminuyan en beneficio de los usuarios y de la economía del mismo. Concluye indicando: 1) Que el plan de un asfalto para diversas técnicas, para condiciones similares, puede generar geometrías distintivas, 2) la calidad firme de una estrategia debe evaluarse a partir de la minuciosidad con la que está conectada la metodología de bosquejo relacionada y la estimación de la dispersión de los parámetros del plan, 3) la ausencia de hipótesis lógicas sobre la conducta del asfalto, la aprobación de una estrategia del plan debe producirse utilizando la percepción exacta de la operación de largo recorrido del asfalto, 4) un punto que debe cuidarse en la instalación de geo sintéticos, como son las geomallas o geo compuestos de polipropileno, es el punto de reblandecimiento o fusión de éstos, debido a que se encuentra próximo a la temperatura de tendido de la mezcla asfáltica en caliente, que normalmente se tiende en campo entre una temperatura de 120-140 °C. Se recomienda que se trabaje con un geo compuesto para que el punto de fusión del geotextil sea $\geq 250^{\circ}\text{C}$, es la nueva capa de asfalto sean preparadas con asfaltos con modificación y con polímero o que la temperatura compacta superen los 150 °C. La tesis identifica el estudio de las geomalla para la mejora de los suelos, cuyos rangos de tolerancia que nos presenta son importantes para soportar las cargas que se desplacen por la superficie del suelo, siendo relevante para el presente proyecto de investigación ya que es importante la estabilidad de los suelos.

Beltrán, B. y Arturo, C. (2013). “Ventaja de la utilización de geo sintéticos para el refuerzo de pavimento en la carrera 7 estación transmilenio museo nacional”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva. Su objetivo es exposición a través de casos particulares, la ventaja con los usos de Geo sintéticos como medios de refuerzo para el retardo de la fisura temprana y extiende la vida útil de los pavimentos. Llego a las siguientes conclusiones: 1)

desde la perspectiva especializada, el geo diseñado es un elemento que ha permitido avanzar en el desarrollo del asfalto y la existencia útil del asfalto, a raíz de mejorar el rumbo de la estructura de asfalto; en general, con el uso de estos materiales, ha sido posible mantener en buen estado las diferentes obras de asfaltos, lo que disminuye las circunstancias en las que las calles deben ser reingresadas, 2) es fundamental usar estos elementos como (3) desde la perspectiva monetaria, los Geo fabricados han tenido la capacidad de disminuir los gastos en materiales granulares por la disminución de espesores, como lo indican los contornos en los que se consolidan dichos elementos. De la misma manera, al potenciar las propiedades, no solo de los materiales que componen una estructura de asfalto sino también de los sobres para los instrumentos selectivos de fortificación de los mismos, disminuidos creados por mantenimiento, se extienden así las frecuencias de mediación, 4) por la diferencia en la naturaleza inflexible con la ayuda de la estructura de asfalto en las carreras 10 y 7 entre las calles 27 y 30; en otras palabras, a la luz del hecho de que el asfalto tenía una parte de su ayuda en una placa inflexible y otra parte en el paisaje característico, había otro propósito detrás del fusible de ingeniería genética, para esta situación, geomallas de tipo biaxial en materiales granulares (en polipropileno) y en mezclas negras (en fibra de vidrio), 4) a causa de los asfaltos de la Estación del Museo Nacional, lo que demuestra algunos problemas geotécnicos, particularmente los asentamientos diferenciales de obras subterráneas en las carreras 10 y 7, que tenían la diferencia entre los dos en el tipo de asfalto es uno de los pasillos (entre las calles 27 y 30); como resultado del desarrollo de la estructura de asfalto desarrollada, para evitar daños sustanciales a escala y para mantener la vida del asfalto. Los geo sintéticos y su confiabilidad en el reforzamiento de suelos, son relevantes para la presente investigación ya que se busca mejorar la estabilidad de los suelos.

Mata, C. y Mendoza, C. (2011). "Los geosintéticos aplicados a obras de pavimento flexible". Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Guayaquil, Ecuador: Escuela superior Politécnica Guayaquil. El objetivo es: a) presentar una metodología innovadora para el diseño de pavimentos flexibles usando geomallas y demuestra los beneficios económicos y de optimizaciones de recursos, b) hacer una descripción de los elementos que integran un pavimento flexible y un método de diseño. Concluye considerando que: 1) la restauración de una estructura de

limpieza por métodos para geotextiles inmersos con emulsiones de tapa negra es un ensayo un poco creado en su nación, a diferencia de lo que ocurre en lo que queda del mundo, siendo este entrenamiento vital para mantenerse alejado del evento de (2) las cualidades de los geosintéticos para despejar con el uso de hardware poco común y del aparato regular, similar a la instancia de los geodrénicos, una posición relativamente favorable adicional contra el uso de materiales ordinarios, 3) se debe instar a masificar la utilización confiable de geosintéticos. Esta tesis garantiza el uso de los geosintéticos en la mejora de los suelos, uso de maquinarias y reducción de costos, sirviendo de base para el presente proyecto y la estabilidad de los suelos.

Gavilanes, D. y Nidia, E. (2012). "Diseño de la estructura de pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua - La Maná". Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Ecuador. Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Facultad de Ingeniería. Este estudio se trata de la estructura de asfalto reforzada con geomalla biaxial conectada a un segmento de la calle Latacunga - Zumbahua - La Mana. Como prueba, la prueba de Benkelman Beam se realizó en el campo a nivel de base granular para decidir las desviaciones sufridas por el asfalto y estas se encuentran dentro de los límites establecidos. La configuración de asfalto habitual dependía de algunas estrategias, por ejemplo, AASHTO 93 a la luz del número básico de la investigación del subsuelo y la capa, la técnica de Shell y el esquema reforzado que utiliza la estrategia de Tensar en vista del plan convencional del AASTHO 93 Se ejecutó como un plan electivo de asfalto inflexible con los parámetros de la Asociación de cemento de Portland que se establecen en el CBR. La presente tesis valora el uso de las geomallas en el reforzamiento de los suelos, siendo relevante para el proyecto de investigación debido a que el estudio está orientado a la mejora de la estabilidad de los suelos.

1.2.2 Nacionales

Cabanillas, O. y Alberto, D. (2014). “Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. Su objetivo es decidir si es una opción económicamente razonable sin disminuir el límite auxiliar del curso anticipado en la empresa disecada. Con este objetivo, se reconoció el plan de tres opciones bajo los parámetros del esquema: el electivo principal es un segmento regular o no fortificado; Mientras que las otras opciones adicionales comprenden áreas fortalecidas con geomallas biaxiales y multiaxiales individualmente. En ese punto, se realizó una reunión de los procedimientos del plan que se utilizaron para el caso presentado y los exámenes para adquirir los componentes vitales para comprender el contorno de los segmentos reforzados con geomallas. Esta información depende del plan de las estructuras de asfalto para nueve áreas únicas. Esto permite una investigación más completa de los elementos distintivos que afectan el último resultado con el uso de geomallas como soporte; y también encontrar las condiciones ideales donde esta opción es financiera y realmente mejor. Por fin, aparece un modelo de detalle especializado, según las reglas de las determinaciones generales introducidas por el MTC, que puede utilizarse como punto de partida para su consideración dentro de los elementos nacionales en su administración. En la tesis se identifica las ventajas que tiene el uso de las geomallas según las especificaciones generales del MTC para la mejora de los suelos.

Quispe, J. y Rondón, S. (2012). “Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe aplicación al caso de un local de adobe en la provincia de Yauyos”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). El objetivo general es mostrar una técnica exhaustiva para actualizar estructuras existentes en estructuras de adobe situadas en una zona de riesgo sísmico. Esta propuesta comprende tres fases: a) distinguir la prueba y la determinación de mejores opciones de cambio para la construcción actual de adobe, b) examen y descripción de la materia electiva electiva, c) presentación de la tarea al grupo y preparación del taller. El procedimiento propuesto está conectado a la instancia de un sitio escolar en una zona provincial

de Perú. Las conclusiones son las siguientes: 1) el trabajo electrosoldado resultó ser el más prudente a la luz del mínimo esfuerzo del trabajo y la metodología de establecimiento en la que en el fortalecimiento del mantenimiento se requiere y la cantidad de aberturas en el divisor es mucho más bajo, 2) el factor extravagante fue decisivo para la decisión de la geomalla como la mejor opción. La población estaba relacionada con la propuesta de apoyo, que tenía un problema de desarrollo con la geomalla. De esta manera, un arreglo de cambio debe ser junto con las opciones grupales dado que son el final de la tarea y la descendencia de los individuos que completarán la replicación concebible en sus otros desarrollos de alojamiento o universidades de adobe, 3) del examen del corte del sitio escolar sin mediación, se razona que los diferentes años no tienen suficiente territorio transversal para oponerse a los poderes sísmicos, en otras palabras, que se propone disminuir los rangos de ventanas, a lo largo de estas líneas acordando con los más lejanos (4) para la investigación de la flexión, se presume que es importante usar el soporte en el sentido de que los métodos son creados por el terremoto, que el adobe es un material que no evita las presiones. Por lo tanto, puede fortificarse con la geomalla y llevar a cabo la investigación poco a poco. A partir de las consecuencias de este último examen se adquirieron minutos más críticos que pueden reforzar la geomalla ($M_r = 4.12 \text{ KN.m / ml}$); por lo tanto, fueron llaves que disminuyeron los minutos creados en los separadores, siendo los 3.10 KN.m / ml más extremos. Por lo tanto, los separadores tienen los reductores, reforzados con geomalla y tirantes, a lo largo de estas líneas se verifica que el corte y la flexión generados por el temblor sísmico se mantengan por el marco de geomalla-adobe. Cuando se dice que todo está hecho, no hay culpa en la presión no adulterada en las estructuras de adobe. En cualquier caso, se confirmó que el esfuerzo más extremo fue una presión del trabajo de ladrillo de 1.86 kg / cm^2 , más pequeña que la requerida por la Norma E.080 ($2,00 \text{ kg / cm}^2$), 5) en el específico ejemplo del área de Chocos, como lo indica la Guía de Necesidades del INEI de 2009, el 40% de la población está en situación de indigencia y el 60% no está en condiciones de pobreza. El 10% del contenedor de mimbre fundamental anual por este motivo. La otra área (40%) considerada en necesidad, necesitaría financiar los lugares de adobe a través de seres vivos legislativos como no gubernamentales.

Las mejoras que tiene con el uso de las geomallas en otro tipo de proyectos demuestran eficiencia lo que es válido para el éxito del presente proyecto.

Alvarado, A. y Cornejo, A. (2014). "Estabilización de taludes en la Costa Verde - Callao". Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima, Perú. Universidad San Martín de Porres. Su objetivo fue elaborar el estudio para la estabilización de talud entre la Av. Santa Rosa – Jr. Virú. (1.3 Km); que permite evitar el riesgo de vidas e incrementar la calidad de vida de la población asimismo la obstrucción del tránsito de acuerdo a las normas vigentes del Ministerio (MTC) y otras normas relacionadas. Según las sugerencias de los profesionales de planes geosintéticos que han realizado emprendimientos comparativos a la pendiente de la Costa Verde en Colombia, la partición estándar de las estancias de la vía transversal de la zona es de 1 m de profundidad y de amarre es de 0,5 m, estas cualidades sirven para delinee la distancia a través de la estaca de acero y verifique las medidas de la zanja de seguridad superior. En la estancia de injerto, debe haber una placa de acero que soporte el intercambio de la tensión de la geomalla a la roca, el peso de disminución para cada factor de disminución. Todos los detalles del amarre se determinan en los planes individuales. Debería notarse que la protección no se ha utilizado como los cimientos subyacentes del césped una vez que se ha producido, por lo que no hay una estimación correcta de este material que no se pueda reparar. Para el contorno de las geomallas, la recurrencia adecuada no se ha considerado a la luz del hecho de que no hay confirmación de la proximidad del agua en toda la inclinación. En medio del inevitable sistema de agua del patio, la invasión del agua es insignificante; Sea como fuere, para mantener una distancia estratégica de una decepción concebible, se optó por sobreestimar el peso unitario de la tierra vegetal a 1,8 ton / m³ (la referencia, un incentivo en libros, es de 1,3 ton / m³); mayor incentivo para el suelo de acero soil.ca empapado y comprobar las medidas de la zanja de la grapa superior. Termine con una amplia respuesta al problema de la globalización y la vegetación de la costa verde; para poder tener la capacidad de tener la demanda de la grandeza del costo en el caso de obras de este tipo. En la tesis se resalta la importancia de las geomallas en el uso para estabilizar los suelos, ya que aporta al presente proyecto de investigación con el uso de geomallas.

Zamora, B. y Juan, P. (2014). "Optimización de tratamiento de suelos blandos bajo terraplenes". Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. El objetivo principal de este trabajo es clarificar obviamente las estrategias para el cambio de suelos delicados utilizando las técnicas de precarga, los agotamientos verticales y los segmentos de roca. El contorno mejorado de un terreno sobre el terreno delicado comprende un examen del estado del desarrollo de la fundación y el desarrollo temporal, y una investigación con un largo recorrido después de la unión. La precarga consisten en aplicar una carga equivalente o más prominente, en general sobre suelos delicados, lo que crea la unión que se refleja en una expansión de la protección del territorio y una reducción de asentamientos después del desarrollo. Para la aceleración de la disminución del tiempo de precargas, puede ser práctico mejorar la filtración del paisaje, introducir reducciones verticales en el suelo para disminuir las vías de agua hacia zonas más penetrables. El objetivo de esta técnica es lograr un grado adecuado en un tiempo satisfactorio. Otra estrategia para acelerar la solidificación de suelos delicados son las consideraciones verticales de roca, ya sea por trincheras o segmentos de rocas. Además, esta estrategia es una fortificación adicional para el paisaje. Cuando todo está dicho, los métodos descritos para el cambio del paisaje son excepcionalmente costosos y deben completarse después de un reconocimiento de las cualidades de la suciedad de la confirmación, y además de las otras opciones imaginables. Debe elegir la estrategia que describa los estados correctos de término, costo y ejecución, y no solamente la más económica. Es importante la presente tesis para la investigación planteada ya que mejora los suelos considerando plazo, costo y efectividad.

1.3 Teorías Relacionadas al tema

1.3.1 Geomallas triaxiales

Las geomallas triaxiales de polipropileno son extremadamente útiles para abordar problemas de ajuste y fortificación de suelos. Es concebible adquirir fondos de costo y tiempo en las obras de ajuste del suelo. Las geomallas inflexibles hechas de polímero se han convertido en un segmento que se debe considerar en construcciones estructurales. (Santillán 2010, p. 3).

Las Geomallas son geosintéticos que consisten en un curso de acción rectangular o triangular uniforme que enmarca una estructura abierta que permite que los suelos atraviese el plano; los arreglos consisten en tiras o costos de materiales unidos a un punto llamado cubo, cuyos materiales principales son poliéster, polipropileno y polietileno de alto espesor. Hay tres géneros que dependen de su procedimiento de ensamblaje: soldado, tejido o expulsado. (Pérez, J. 2010, π. 6).

Las geomallas se caracterizan por ser una estructura polimérica plana que comprende una estructura abierta y abierta de componentes de bases necesarios asociados, que se pueden unir por expulsión, fortificados o entrelazados, cuyos espacios son mayores que sus constituyentes. Es magníficamente reconocible a partir de geotextiles debido a la ruptura de huecos de más de 3-4 cm. Se caracteriza por sus excelentes propiedades mecánicas, por lo que se utiliza principalmente como parte de las capacidades de soporte. Dada su utilización genuina y su desarrollo no sorprendente, se ha convertido en un elemento excepcionalmente importante. (Ballester, Castro y Gil, 2000, p. 124).

Las geomallas TriAx incluyen tres rigideces fundamentales fundamentales, que además se refuerzan con una geometría triangular inflexible. La geometría triangular ofrece una estructura totalmente extraordinaria contrastada con diferentes geomallas actualmente monetariamente, con un alto nivel de solidez extendida a 360 grados. La dispersión tridimensional de las demostraciones de montón radialmente en todos los niveles dentro del total. Esto garantiza la ejecución óptima de la geomalla en una capa equilibrada mecánicamente. Por ello, la geomalla TriAx está diseñada para superar el desempeño de las geomallas BX de Tensar mediante una mejor distribución de los esfuerzos radiales. (Tensar, 2016, p. 4).

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil y en esta capacidad, puede usarse para funcionar como un complemento de las propiedades mecánicas del suelo, teniendo en cuenta el objetivo final de controlar las potencias transmitidas tanto en la etapa de desarrollo como en la administración de las estructuras. El geotextil tiene un componente auxiliar y una restricción de los granos del suelo, y difunde y dispersa las presiones cercanas. Estas actividades aumentan el límite y la velocidad de desarrollo. (Geosoft Pavco 2009, p.11).

1.3.2 Clasificación de los geotextiles

Geosintético se define como un producto plano fabricado a partir de un material polimérico que se utiliza con suelo, roca u otro material geotécnico como parte integral de un proyecto, estructura o sistema de ingeniería civil. La mayoría de los geosintéticos están hechos de polímeros sintéticos de polipropileno, poliéster o polietileno. Los productos geosintéticos disponibles hoy en día incluyen, pero no se limitan a, geowebbs, geogrids, geonets, geomeshes, geocomposites y geotextiles. Ver Fig. 1.1.

Fig. 1. 1. Productos geosintéticos disponibles hoy en día



Fuente: Tripti, B. 2007

Geotextil es un geosintético permeable hecho de materiales textiles. El tipo de geotextil se determina por el método utilizado para combinar los filamentos o cintas en la estructura plana.

Por el sentido del desarrollo del refuerzo

a) Geomallas uniaxiales

Las geomallas uniaxiales en la actualidad tienen un encabezado con juntas transversales, se utiliza en aplicaciones, como parte de usos donde se conoce una ciencia específica la dirección de las aplicaciones de la carga; de esta manera apoya cargas elásticas altas hacia el movimiento, por ejemplo en la fortificación de diques y divisores, principalmente de polietileno. a) (Fig. 1.2)

Estos se usan típicamente como un elemento esencial de la sociedad, lo que le brinda protección, lo que permite inclinar, verticalmente, los puntos verticales de inclinación.

Al dar seguimiento al componente, desde una perspectiva, intercambian las cargas impermeables al suelo por el empuje inactivo que se produce en los individuos transversales del mismo, y de nuevo, generan preocupaciones de fricción entre el suelo y sus superficies planas (nervios). Dos instrumentos se oponen al desarrollo del trabajo, creando un marco viable. (Cajigas, 2003).

Fig. 1. 2. Geomalla Uniaxial



Fuente: Cajigas. 2007

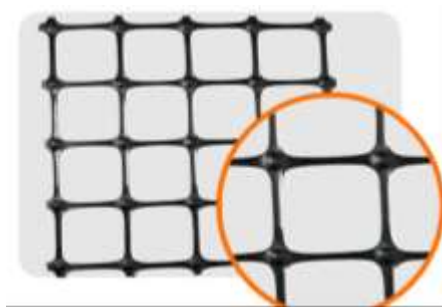
b) Geomallas biaxiales

Las geomallas biaxiales poseen su capacidad de carga en ambas direcciones (Fig. 1.3), aproximadamente perpendiculares entre sí, y se utilizan para refuerzos con cargas en direcciones variables, por ejemplo carreteras. Resisten altas cargas, a corto plazo o cargas moderadas durante períodos prolongados de tiempo, aplicadas en cualquier dirección del plano de colocación de la misma. Estas son fabricadas principalmente con resinas selectas de polipropileno, son químicas y biológicamente inertes y muy resistentes a procesos degenerativos de los suelos, además de ser resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, a fin de resistir cargas dinámicas aplicadas en cualquier dirección del plano de la malla.

Las geomallas biaxiales, son dos diferentes, geomallas inflexibles y geomallas adaptables, pueden ser reconocidas. Los primeros son de polipropileno, y el segundo en gran medida están hechos de filamentos de poliéster unidos por varias estrategias con PVC. La capacidad más vital que satisface la geomalla biaxial es llenar el soporte de las capas de la estructura de asfalto adaptable de manera adecuada soportando las cargas vehiculares sobre el mismo, y el océano en medio

del procedimiento útil, o mirar en medio de su operación. A partir de la consulta acerca de lo hecho en los Estados Unidos, se ha demostrado que para el soporte de bases granulares en asfaltos adaptables, se requiere que la geomalla biaxial sea una profundidad ideal entre veinticinco y treinta y cinco centímetros de la superficie de la banda de rodadura, mejor de la misma y de cada una de las ventajas otorgadas por la geomalla (Cajigas, 2003).

Fig. 1. 3. Estructura de una geomalla biaxial



Fuente: Cajigas. 2007

c) Geomallas multiaxiales

Son elementos elaborados a partir de láminas de resinas selectas de polipropileno (Fig. 1.4), perforadas y estiradas uniformemente en tres direcciones formando costillas con un alto grado de orientación molecular y uniones integrales de alta rigidez. Presenta una apertura triangular, con un peso y cualidades atómicas que otorgan alta protección contra la pérdida de carga o la honestidad auxiliar contra la protección causada por el establecimiento, alta protección contra deformaciones causadas por las potencias conectadas entre su utilización y alta protección contra la pérdida de límite de carga o rectitud básica contra ansias ecológicas de larga distancia. (Cajigas, 2003).

Fig. 1. 4. Geomalla multiaxial



Fuente: Cajigas. 2007

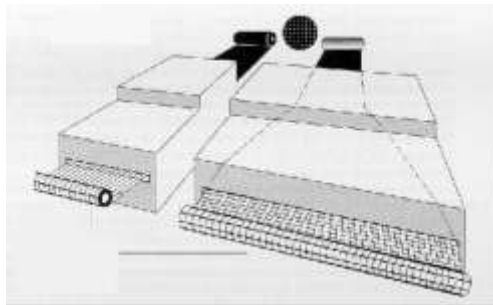
Por su fabricación

d) Geomallas extruidas

Es una geomalla proveniente de una geomembrana que ha sido troquelada y estirada en 2 direcciones insertando unos nudos de mayor espesor que asumen su resistencia en ambos sentidos (Fig. 1.5). Este material es típicamente usado en redistribución de cargas (plataformas o terraplenes) en suelos de baja capacidad portante (suelos blandos), en suelos saturados y conformados por finos, etc.

Las geomallas/geocompuestos ambos pueden ser usados para reducir el espesor del material de relleno y aumentar la capacidad de carga de la capa subyacente. La apertura de las geomallas biaxiales ayuda al agregado enclavamiento, produciendo un reforzamiento y confinamiento del suelo. Las geomallas pueden ser usadas para construir capas encima de suelos blandos (Koerner, 2005).

Fig. 1. 5. Proceso de fabricación de las geomallas uniaxiales y biaxiales

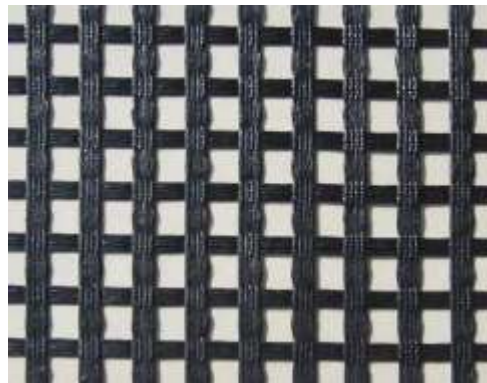


Fuente: Koerner. 2005

e) Geomallas tejidas

El material para refuerzo será una geomalla tejida producida a partir de hilos de poliéster de alta tenacidad con revestimiento en PVC para la protección del núcleo resistente a los daño de instalación, ataques químicos, biológicos y ambientales, el uso de éstas geomallas es en estructuras de muro de suelo reforzado y refuerzo en suelos blandos. Ver Fig. 1.6. (Valencia, 2009).

Fig. 1. 6. Geomalla uniaxial de poliéster tejida

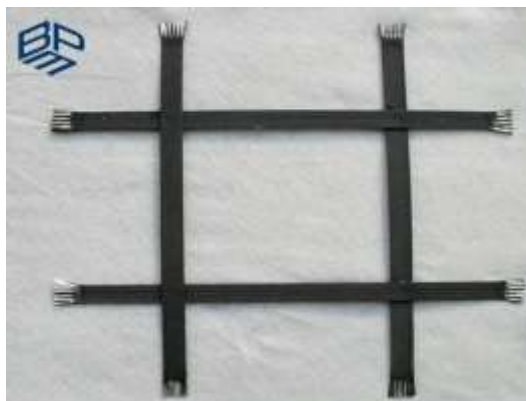


Fuente: Valencia. 2009

f) Geomallas soldadas

Las geomallas soldadas se producen mediante la soldadura de costillas de poliéster de alta resistencia utilizando el proceso de fusión. Posteriormente, estas se mantienen unidas debido a una cobertura de polipropileno que se coloca sobre ellas. De acuerdo al número, y espaciamiento, de las costillas pueden llegar a ser las geomallas con mayor rigidez y mayor resistencia, ver Fig. 1.7. (Valencia, 2009).

Fig. 1. 7. Geomalla uniaxial de polietileno soldada



Fuente: Valencia. 2009

1.3.3 Aplicaciones típicas

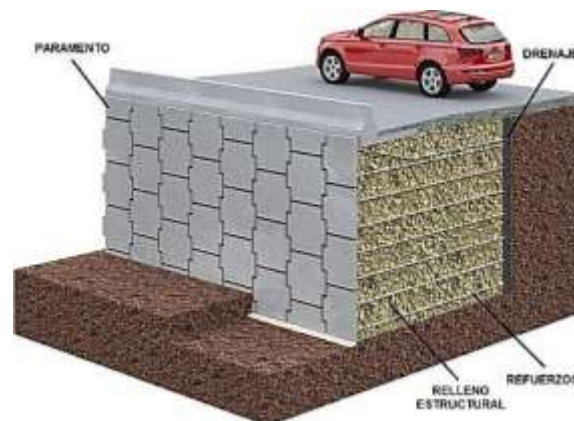
Las geomallas se postulan como una solución práctica y económica en la aplicación en los movimientos de tierras, cargas pesadas y grandes espesores de relleno siendo de utilidad a una gran variedad de mercados industriales y comerciales. Estos son las principales aplicaciones de las geomallas:

a) Muros de suelo reforzado (Fig. 1.8)

Como es notable, todo el suelo (en el estado ligado) se opone a los empujes de presión, sin embargo, no es tan flexible. La rigidez en la suciedad, que normalmente puede obtenerse mediante un fuerte impacto y mediante el frotamiento interno de los granos, puede ampliarse mediante la unión del material fortificante, que se interconecta con el mismo.

Los materiales geosintéticos más comúnmente utilizados como fortificación del suelo son geotextiles, que cooperan por erosión con el suelo, y las geogrillas, que lo hacen por enclavamiento. En estas condiciones, la distorsión de la fortificación y la del terreno es la misma. La idea de buena distorsión es central. (Tensar, 2013).

Fig. 1. 8. Ejemplo de un suelo reforzado con geomalla



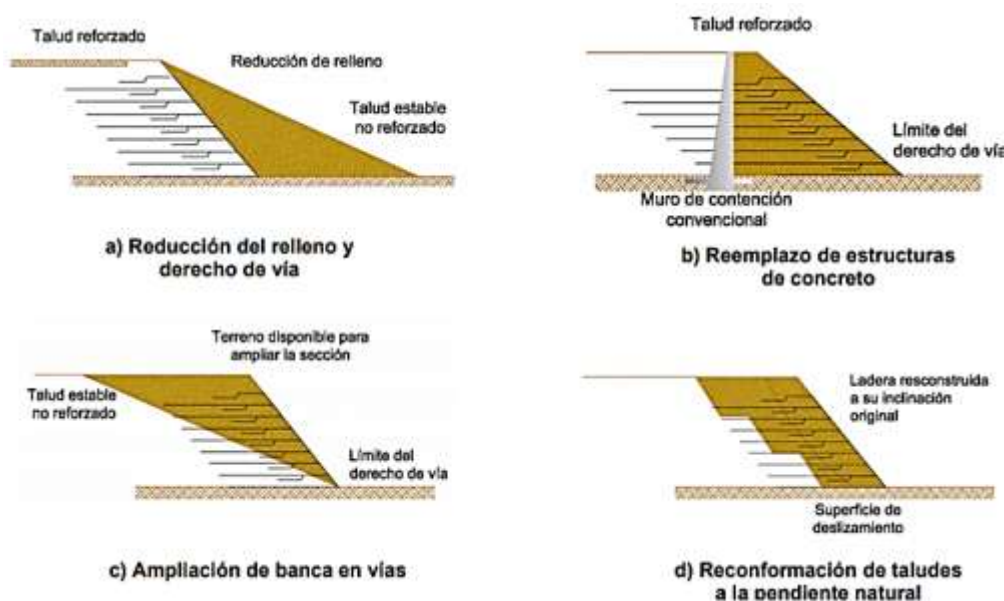
Fuente: Tensar. 2009

b) Taludes de suelo reforzado

Los taludes en suelo reforzado se diferencian de los muros por presentar una inclinación en la cara inferior a los 70° con respecto a la horizontal.

El uso de taludes en suelo reforzado es una alternativa idónea para los casos en los que se requiere conformar rellenos de alta pendiente y gran altura. La mayoría de los taludes de estructuras térreas no reforzadas y las laderas naturales pueden presentar fenómenos de remoción en masa, aun cuando cuenten con características físicas y propiedades de resistencia mecánica aceptables.

Fig. 1. 9. Aplicación de taludes en suelo reforzado, adaptado de FHWA, 2001.



(Fuente: Koemer. 2005).

Tal como muestra la Figura 1.9 durante la construcción de taludes y reconstrucción de laderas se pueden incluir en el suelo capas de geosintéticos que refuerzan el talud, aumentan la estabilidad y permiten incrementar la pendiente. En estos casos, la colocación de geosintéticos busca lograr dos objetivos principales: 1) aumentar la estabilidad del talud, cuando se requiere tener una pendiente mayor a la que se alcanzaría con el suelo natural para condiciones estables o después de la falla. 2) mejorar la estabilidad en el material que se coloca en los bordes del talud permitiendo un confinamiento lateral y una compactación eficiente, reduciendo el deslizamiento de cuñas.

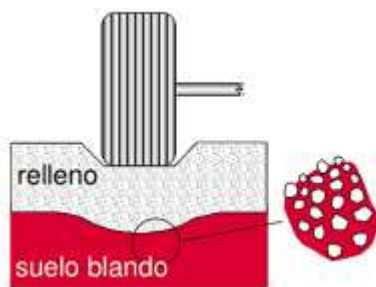
c) Refuerzo de vías no pavimentadas

Los geosintéticos se pueden utilizar con éxito en la fortificación de calles sin pavimentar y en las etapas de trabajo en suelos delicados. En el momento en que los geosintéticos están particularmente compuestos, pueden tener al menos una de las capacidades que los acompañan: partición, soporte y desperdicio. Geotextiles y geomallas son los materiales más utilizados como parte de este tipo de trabajos, Ver Fig. 1.10 (Palmeira, 2006).

En el momento en que están conectados a la fortificación en calles sin pavimentar, los geosintéticos pueden brindar las ventajas que se acompañan sobre las calles no reforzadas:

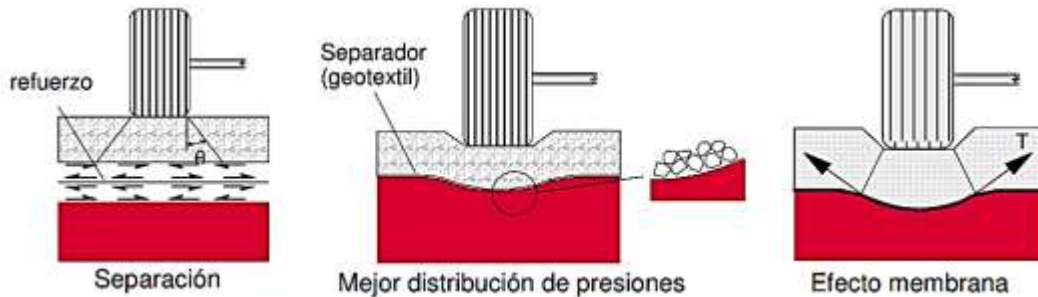
- Disminución del espesor de llenado
- Desprendimiento entre totales y suelos de baja protección, si se utiliza geotextil
- Límite de ayuda ampliado de suelos de baja protección
- Disminución de la distorsión paralela de los rellenos
- La era de una transmisión más positiva de esfuerzos
- Aumenta el transporte de ansiedad vertical aumenta
- Disminución de la torsión vertical debido al impacto de la película
- Incremento en la vida de la calle
- Disminución del soporte intermitente
- Disminución del desarrollo de las calles y costos de operación

Fig. 1. 10. Mecanismos típicos de degradación en vías con pavimento no reforzado sobre suelos blandos



Fuente: Valencia. 2009

Fig. 1. 11. Influencia del refuerzo con geosintéticos en el comportamiento de vías no pavimentadas



Fuente: Valencia. 2009

En el punto en que se expande la profundidad del surco, el estado desfigurado del geosintético ofrece una protección más prominente del impacto de la capa. El segmento vertical de los poderes maleables en la fortificación disminuye las desfiguraciones verticales en el banco (Fig. 1.11).

Algunos exámenes en la escritura han demostrado que en el camino de frente a una profundidad de celo por varias reiteraciones de carga, el líder que por la situación no se fortalece. Una fortificación material, a pesar de la unión de un suelo delicado, sus incrementos de calidad. Es concebible lograr el desperdicio de suelos delicados mediante la utilización de geotextiles con totales, geotextiles y geomallas como fortificación o geocompuestos filtrados. El ajuste del mejor suelo del establecimiento será rentable si el curso se limpia más tarde, disminuyendo los costos de desarrollo y disminuyendo las distorsiones del asfalto. (Fig. 1.12).

Fig. 1. 12. (Izq) Gráfico típico para diseño, (Der) Construcción de una vía no pavimentada reforzada sobre arcilla orgánica blanda.



(Fuente: Shahnaz. 2008).

Existen métodos de diseño, por lo que hay estrategias resumidas accesibles en la escritura, incluidas las técnicas básicas en vista del uso de diseños para la investigación preparatoria. Estas técnicas requieren parámetros consuetudinarios del suelo y parámetros de apoyo para el contorno en condiciones de rutina. Algunos diseños de planes se han hecho a fabricantes de geosintéticos para la medición preparatoria utilizando sus productos.

Refuerzo de vías pavimentadas

Caminos y autopistas son de gran relevancia para el desarrollo de los países. Se debe al tránsito sistemático de vehículos pesados, condiciones del clima y propiedades mecánicas de los materiales usados en la construcción de pavimentos, estos pueden durar considerablemente menos que los proyectados. (Palmeira, 2006).

Fig. 1. 13. (Izq.) Daños en un pavimento convencional, (Der.) Aplicación de geosintéticos en pavimentos



Fuente: Palmeira. 2006

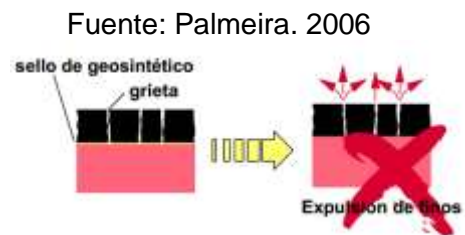
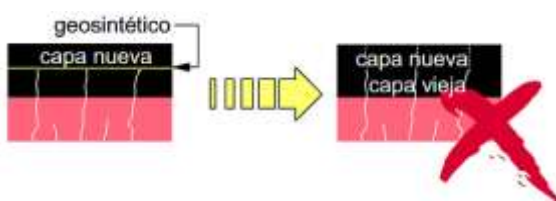
En este sentido, los geosintéticos pueden ser utilizados eficazmente para:

Fig. 1. 14. Funciones del geosintético en el desempeño de vías pavimentadas

(a) Reducir y evitar grietas por flexión.

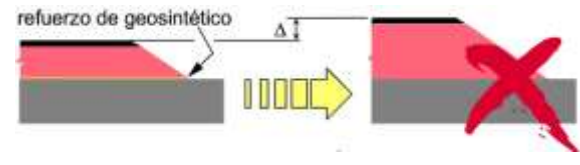
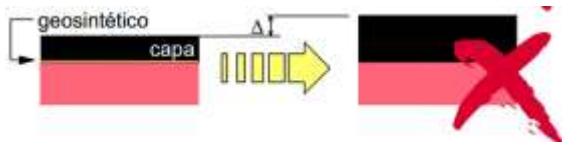
(b) Servir como una barrera para evitar la expulsión de finos.

Fuente: Palmeira. 2006



(c) Reducir el espesor de la capa de asfalto.

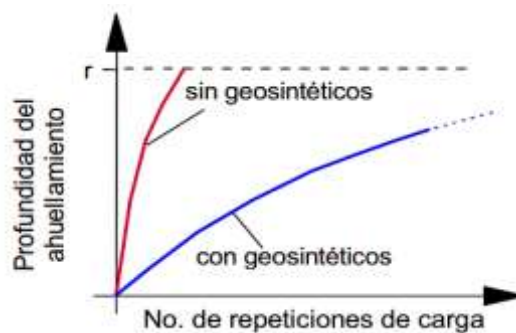
(d) Reducir el espesor del pavimento.



Fuente: Palmeira. 200

Fuente: Palmeira. 2006

(e) Aumentar el tiempo de vida útil del pav



Fuente: Palmeira. 2006

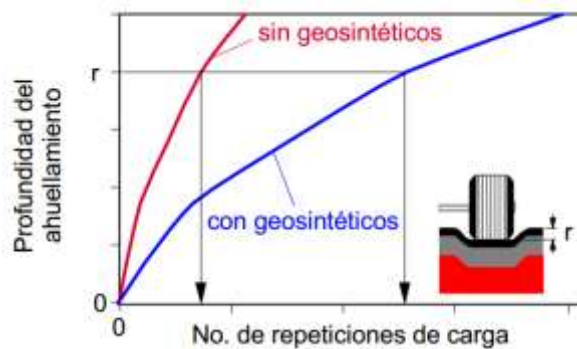
La eficiencia de los geos sintéticos como refuerzo en un pavimento puede ser estimada mediante el Factor de Eficiencia (E):

$$E = \frac{N_r}{N_u}$$

N_r : número de repeticiones de carga hasta la falla del pavimento reforzado.
 N_u : número de repeticiones de carga hasta la falla del pavimento no reforzado.

La información disponible en la literatura presenta valores de E de hasta 16, lo que demuestra que se pueden alcanzar incrementos considerables en el tiempo de vida del pavimento con el uso de geo sintéticos como refuerzo o separación. Observaciones de campo y resultados de investigaciones confirman mejoras en el desempeño del pavimento debido al uso de geo sintéticos.

Fig. 1. 15. Incremento del tiempo de vida de un pavimento debido al uso de refuerzo geosintético.



Fuente: Palmeira. 2006.

Si son especificados e instalados apropiadamente, los geo sintéticos pueden ser de costo eficiente y pueden mejorar el desempeño y la durabilidad de los pavimentos (Fig. 1.15).

Definiciones

Asfalto

El asfalto es una mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y de minerales que mayormente es empleada para construir el pavimento de las calzadas. Sus características físicas más destacadas son la viscosidad, su pegajosidad y su intenso color negro; y como bien decíamos al comienzo su uso primordial se da

como aglomerante en mezclas asfálticas a instancias de la construcción de carreteras, autovías y autopistas, ya que es capaz de unir fragmentos de varios materiales y dar cohesión al conjunto a través de transformaciones en su propia masa que dan lugar al origen de nuevos compuestos.

El principal componente del asfalto es el bitumen, también conocido como betún, el bitumen es la fracción residual, es decir, el fondo que queda tras la destilación fraccionada de petróleo se trata de la parte más pesada y que tiene el punto de ebullición más alto del proceso. Aunque comúnmente se los suele confundir y usar los términos indistintamente, no se debe confundir al betún con el asfalto, ya que este último es una mezcla de betún con minerales.

Además, el asfalto es un material que se encuentra presente en la composición del petróleo crudo.

Capa de sustrato granular

Es la capa que se encuentra bajo la capa de rodadura de un pavimento asfáltico y la Sub base. Debido a su proximidad con la superficie, posee alta resistencia a la deformación, para soportar las altas presiones que recibe. Se construye con materiales granulares procesados o estabilizados y, eventualmente con algunos materiales marginales, se utiliza para la conformación de las estructuras de los pavimentos.

Capas de protección

Corresponde a todas aquellas capas que no aportan estructura al pavimento y en general a aplicaciones cuyo espesor final no sobrepasan los 3 cm.

Capas estructurales

Las capas asfálticas estructurales son aquellas que, por condiciones de mezcla y espesor, forman una estructura resistente en el diseño de un pavimento flexible. Las capas asfálticas estructurales se pueden clasificar de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Posición relativa dentro de la estructura
- Por su granulometría,
- Huecos en la mezcla,
- Según el proceso constructivo (esto último se verá en el capítulo de mezclas en caliente).

Estabilización de suelos

La estabilización de los suelos o tierras consiste en dar estabilidad al sustrato fijándolo y garantizando la permanencia de su compactación. Se transforma el suelo del que se dispone en material de construcción de calidad especialmente en parcelas de tierra, caminos y lagos artificiales. Así, al estabilizar el suelo es posible obtener el control sobre su erosión.

Una vez hecha la estabilización el suelo sufrirá cambios y sus propiedades mejorarán enormemente de forma duradera, reduciendo en gran medida su mantenimiento y su control de erosión.

Geomalla

Estructuras planas en forma de red, fabricadas por el entrelazamiento (en ángulos rectos) de fibras sintéticas con un elevado módulo elástico, generalmente recubiertas por una capa protectora, también de material sintético (generalmente PVC o polietileno).

Geosintéticos

Son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímeros, del tipo conocido genéricamente como “plásticos”, que, de su forma elemental, de polvos o gránulos, son convertidos mediante procesos, en láminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas, etc., o en compuestos de dos o más de ellos; existiendo también algunas combinaciones con materiales de origen vegetal.

Aunque en la naturaleza existen de manera natural, sustancias poliméricas, como la seda y la celulosa, la diferencia con los geosintéticos es que estos últimos son fabricados por el hombre, a partir de productos obtenidos de la refinación del petróleo.

Otra característica particular de los geosintéticos es que su aplicación se relaciona con la actividad de la construcción, por lo que participan como parte integral de sistemas y estructuras que utilizan materiales de construcción tradicionales, como suelos, roca, agregados, asfaltos, concreto, etc.

Sus funciones dentro de tales estructuras son las de complementar, conservar, o bien mejorar el funcionamiento de los sistemas constructivos e inclusive, en algunos casos, sustituir por completo algunos materiales y procesos de la construcción tradicional.

Geotextil

Es un material textil sintético plano formado por fibras poliméricas (polipropileno, poliéster o poliamidas), similar a una tela, de gran deformabilidad, empleada para obras de ingeniería en aplicaciones geotécnicas (en contacto con tierras y rocas), cuya misión es hacer las funciones de separación o filtración, drenaje, refuerzo o impermeabilización.

Existe una gran variedad de Geotextiles; los mismos se eligen según sea su destino y en base al estudio y definición de las propiedades mecánicas e hidráulicas del terreno en cuestión. Ello permite deducir los factores de seguridad mínimos de la obra.

Pavimento

Sistema de capas superpuestas, de diferentes materiales, y compactadas en forma adecuada.

Pavimentos Rígidos

Constituido por una losa de hormigón con o sin armadura apoyada sobre una capa de Subbase granular, colocada directamente sobre la subrasante.

Pavimentos Flexibles

Se caracterizan por usar una carpeta de rodado asfáltica y como base una grava cemento (estabilizada con cemento).

Pavimentos Flexibles

Está constituido por una serie de capas que permiten transmitir las cargas de tránsito hasta el terreno natural sin que este se deforme. No siempre es necesario colocar todas las capas señaladas (depende del tránsito, tipo de suelo, etc.)

Rasante

Línea que marca la cota del camino terminado.

Subrasante

Línea que marca la cota del movimiento de tierra terminado sobre el cual se construye el pavimento

1.4 Formulación del Problema

1.4.1 Problema general

¿En qué nivel la aplicación de la geomalla triaxial mejorará la estabilización de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo -2017?

1.4.2 Problemas específicos

¿En qué nivel la aplicación de la geomalla triaxial reducirá los costos directos de construcción del pavimento en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo -2017?

¿En qué nivel la aplicación de la geomalla triaxial mejorará la estabilización de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo -2017?

1.5 Justificación del estudio

1.5.1 Teoría

En la exploración hay una legitimación hipotética cuando la motivación detrás del examen es producir reflexión y discusión escolástica civil sobre la información existente, abordar una hipótesis, diferenciar lo que ocurre o hacer una epistemología del aprendizaje existente. (Bernal, C., 2010, p. 106).

La presente investigación se busca demostrar esta teoría gracias a los sustentos de los autores consultados en esta investigación como Santillán (2010) en lo relacionado a geomallas triaxiales en la variable independiente y a Elizondo y Sibaja (2008), en la variable dependiente estabilización de suelos blandos; porque nos permite conocer y contrastar los resultados de los diferentes indicadores a medir a lo largo de la investigación los mismos que permiten encontrar oportunidades de mejoras.

1.5.2 Práctica

“Se considera que una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo” (Bernal, C. 2010, p. 106).

La investigación ha creado un soporte útil ya que se ocupa de una cuestión útil mediante la aplicación del aprendizaje hipotético de los creadores en el territorio de concentrado organizado estudio orientado a la mejora de la estabilización de suelos blandos con el uso de las geomallas triaxiales y que repercute directamente en la mejora de la construcción de la avenida Trapiche Chillón.

1.5.3 Metodológica

“En investigación científica, la justificación metodológica del estudio se da cuando el proyecto propone un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento válido y confiable” (Bernal, C. 2010, p.107).

La investigación desarrollada se justifica metodológicamente, puesto que respeta los esquemas metodológicos planteados por los protocolos de la metodología de la investigación y los lineamientos presentados por el área de investigación de la

universidad Cesar Vallejo. Contribuirán a mejorar la estabilización de los suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón mediante las comparaciones de cálculos realizados antes y después de la aplicación de las geomallas triaxiales.

1.5.4 Socioeconómica

“Cuando la investigación va a resolver problemas sociales que afectan a un grupo social; en que afectaría dicha investigación o que impacto tendría sobre la sociedad, quienes se beneficiarían con tal desarrollo. Relevancia social. Trascendencia, utilidad y beneficios. (Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagómez. 2014, p.165).

La investigación desarrollada se justifica socialmente debido a que el beneficio que tendrá la localidad de Trapiche Chillón en sus vías de transporte urbano, reflejándose una mejora en su calidad de vida a nivel individual y corporativo ya que será una inversión que tenga mayor tiempo de vida útil generando menos gastos al municipio local y al mismo tiempo una solución al sector transporte por que contarán con vías que coadyuven al cuidado de sus vehículos que circulan por dicha vía.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

La aplicación de la geomalla triaxial mejorará la estabilización mecánica de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo – 2017.

1.6.2 Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

La aplicación de la geomalla triaxial mejorará el comportamiento mecánico de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2017.

Hipótesis específica 2

La aplicación de la geomalla triaxial reducirá los costos directos de construcción del pavimento flexible en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2017.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar como la aplicación de la geomalla triaxial mejorará la estabilización del suelo blando en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2017.

1.7.2 Objetivos específicos

Establecer como la aplicación del asfalto convencional mejora la estabilización mecánica de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2017

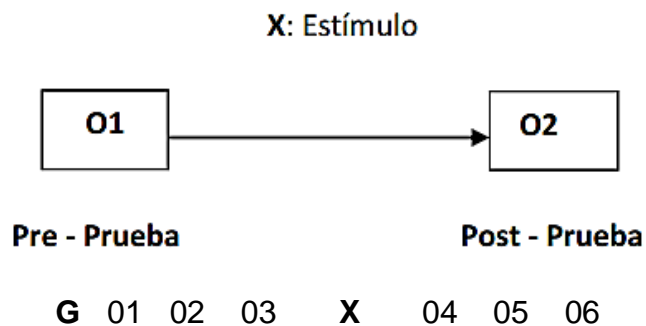
Evaluar como la aplicación de la geomalla triaxial reduce los costos directos de construcción del pavimento en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2017.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de investigación

Los diseños cuasi experimentales, son diseños de un solo grupo de control cuyo grado de control es mínimo. Generalmente es útil como un primer acercamiento al problema. En ciertas ocasiones los diseños pre experimentales sirven como estudios exploratorios, pero sus resultados deben observarse con precaución” (Hernández, Fernando y Baptista 2014, p. 137).

El diseño de la presente investigación es cuasi experimental de series cronológicas, pues el investigador ejerce un control mínimo sobre la variable independiente, no hay asignación aleatoria de los sujetos participantes de la investigación ni hay grupo de control. La investigación es cuasi experimental, específicamente se utilizará el diseño de pre prueba y post prueba con un solo grupo de series cronológicas.



Es un diseño de un solo grupo con medición previa (antes) y posterior (después) de la variable dependiente, pero sin grupo control.

Dónde: **X**: variable independiente (Geomalla triaxial).

01, 02, 03: mediciones previas (antes de la aplicación de la geomalla triaxial) de la variable dependiente (comportamiento mecánico de los suelos blandos)

04, 05, 06: medición posterior (después de la aplicación de la geomalla triaxial) de la variable dependiente (comportamiento mecánico de los suelos blandos)

2.1.1 Tipo de estudio

De acuerdo a la naturaleza de los datos obtenidos para la presente investigación, podemos tipificar el estudio de la siguiente manera:

Aplicada, sobre este tipo de investigación el autor afirma “se sustenta en la investigación teórica; su finalidad específica es aplicar las teorías existentes a la producción de normas y procedimientos tecnológicos, para controlar situaciones o procesos de la realidad” (Valderrama, 2014, p. 39). Es aplicada, porque se hará uso de las geomallas triaxiales para dar solución a la realidad problemática de la estabilización de suelos blandos.

Cuantitativa, a causa de la mayoría de las investigaciones cuantitativas, el procedimiento está conectado consecutivamente: comienza con un pensamiento que permite ser delimitado y, construye objetivos y direcciones de investigación, la escritura se modifica y una estructura o un punto de vista hipotético. Tras desglosar los objetivos y las indagaciones, las reacciones especulativas se convierten en teorías (consulte el esquema) y se resuelve el espécimen. Por fin, se recopiló información utilizando al menos un instrumento de estimación, que se contempló a través de una investigación objetiva. (Hernández et al, 2014, pp. 16-17). Es cuantitativa, porque recoge y analiza datos numéricos sobre las variables y nos permitirá tomar decisiones usando magnitudes cuantificables que pertenecen a la escala de razón y son tratadas usando herramientas de la estadística.

Longitudinal, el interés del investigador es analizar cambios a través del tiempo en determinadas categorías, conceptos, sucesos, eventos, variables, contextos o comunidades, o bien, en las relaciones entre éstas. (Hernández et al, 2014, p. 278). La presente investigación es longitudinal debido a que se tomaran los datos a través de un periodo de tiempo de 6 meses.

2.2 Variables y operacionalización de variables

2.2.1 Variable independiente: Geomallas triaxiales

Las geomallas triaxiales de polipropileno están ampliamente adoptadas para la solución de problemas de estabilización y refuerzo de suelos. Es posible conseguir ahorro de costes y de plazos en obras de estabilización de suelos. Las geomallas rígidas fabricadas con polímero han pasado a ser un componente a tener muy en cuenta en los proyectos de obra civil. (Santillán 2010, p. 3).

2.2.2 Variable dependiente: Estabilización de suelos blandos

La estabilización del ajuste es la forma de consolidar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El procedimiento puede incorporar mezclas entre los diversos géneros de suelo para lograr una graduación codiciada o la mezcla de la suiedad con sustancias añadidas accesibles monetariamente (ajuste físico y / o compuesto), que pueden mejorar su graduación, superficie o versatilidad. Por otra parte, el estabilizador puede ir sobre la publicación para la cementación del suelo.

El objetivo fundamental del ajuste es ampliar la calidad mecánica, influir en el suelo presente para trabajar entre las partes y garantizar que las condiciones de humedad cambien dentro de la correcta. Esto logrará tres objetivos vitales: suficiente velocidad de carga, solidez del límite y una menor variedad volumétrica. (Elizondo y Sibaja 2008, p.10).

2.2.3 Operacionalización de variables

La operacionalización de variables es una forma de discretizar los variables en estudio. Esta fragmentación de las variables, permite desarrollar un estudio más específico. Ver Tabla 2.1.

Tabla 2. 1. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE				
GEOMALLA TRIAXIAL	Según Santillán (2010), las geomallas triaxiales de polipropileno están ampliamente adoptadas para la solución de problemas de estabilización y refuerzo de suelos. Es posible conseguir ahorro de costes y de plazos en obras de estabilización de suelos. Las geomallas rígidas fabricadas con polímero han pasado a ser un componente a tener muy en cuenta en los proyectos de obra civil. (p. 3)	Las geomallas triaxiales para la estabilización de los suelos, se midió a través de sus dimensiones y esta a su vez será medida a través de indicadores, según las siguientes dimensiones.	Distribución de cargas	Resistencia a la tracción
		Distribución de cargas .- Distribución radial .- Resistencia a la tracción	Propiedades multidireccionales	reducciones en el espesor de las capas de áridos
		Propiedades multidireccionales: Reducción en el espesor de las capas de la estructura del pavimento.	Diseño sostenible	Resistencia de las uniones monolíticas
		Diseño sostenible: Estabilidad de las capas granulares del pavimento. Uniones monolíticas: Distribución radial.	Uniones monolíticas	Distribución radial
DEPENDIENTE				
ESTABILIZACIÓN DE SUELO BLANDO	Según Elizondo y Sibaja (2008), la estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos disponibles en el mercado (estabilización física y/o química), que pueden mejorar su graduación, textura o plasticidad. El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas. (p. 10)	Las estabilizaciones de suelos deben cumplir ciertos requisitos para el asfaltado de vías y se registró mediante fichas de control a través de sus dimensiones e indicadores: .- Estabilización mecánica .- Graduación del suelo existente .- Estabilización con aditivos .- Porcentaje de aditivos	Reforzamiento del suelo blando	Incremento de la capacidad portante
			Reducción del espesor de la estructura del pavimento flexible	Reducción del costo directo de construcción

2.3 Población

2.3.1 Población

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Hernández, Fernando y Baptista 2014, p. 174)

En la presente investigación, la población estuvo constituida por la información recolectada en forma cuantitativa en la estabilización mecánica de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón y está conformada por los 12 kilómetros de longitud que tiene la avenida Trapiche Chillón.

2.3.2 Muestra

Para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población. El investigador pretende que los resultados encontrados en la muestra se generalicen o extrapolen a la población (Hernández, Fernando y Baptista 2014, p.175).

En el caso de la investigación desarrollada, el investigador por la temporalidad en la cual se tomaron los datos y haciendo uso de su experiencia y criterio tomó la decisión de que la muestra sea igual a la población, en este caso los 1.8 kilómetros de longitud de la avenida Trapiche Chillón.

2.4 Técnicas s Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas

Existen dos formas de procesar los datos obtenidos, producto de la presente investigación:

- Procesamiento manual
- Procesamiento electrónico.

En este caso se utilizará la forma manual, este procesamiento de resultados, consiste en usar hojas tabuladas con la finalidad de concentrar la información obtenida, no se usará la otra alternativa, por considerar que son aplicados a volúmenes significativos de información.

2.4.2 Instrumentos

Los principales instrumentos que se utilizarán en la presente investigación son los siguientes:

- Guía de entrevista
- Cuestionario

2.5 Métodos de análisis de datos

En cuanto al análisis de datos y en concordancia con los objetivos y las hipótesis, se utilizará el método descriptivo, el cual se realizará en dos fases:

En la primera se analizará los datos obtenidos en los cuestionarios uno por uno y en la segunda se buscará similitud entre las respuestas que se obtienen.

A fin de uniformizar resultados finalmente se utilizará el método inductivo - deductivo, con el propósito de establecer las conclusiones y generalizar los resultados de la Investigación.

2.6 Aspectos éticos

La veracidad de los resultados, la confiabilidad de los datos obtenidos a partir de los resultados del trabajo en laboratorio, así como la identidad de los individuos que participan en el estudio, serán plenamente respetados por el investigador. Asimismo la información consignada en la presente investigación, está debidamente referenciada.

III. RESULTADOS

3.1 Descripción del proyecto

En la actualidad Lima sufre un gran problema que aparentemente es imposible de resolver: el tránsito. Distintos factores causan este problema, entre los que se pueden mencionar la gran cantidad de vehículos, el estado del parque automotor, la falta de infraestructura vial, etc.

Con el objetivo de aliviar alguno de estos problemas, se pretende evaluar las ventajas técnicas que ofrece el empleo de las geomallas como refuerzo en el diseño de pavimentos flexibles. Por tanto, en este trabajo se realizará el análisis comparativo entre un pavimento flexible diseño bajo las consideraciones de un enfoque tradicional (AASHTO, 1993) y un pavimento flexible considerando la geomalla como un elemento de refuerzo. Además, con fines comparativos el diseño se realizará en un mismo proyecto “Aplicación de la geomallas triaxiales para mejorar la estabilización de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabaylo”.

En este trabajo se presenta solamente dos tramos de la avenida Trapiche Chillón a evaluar, las que corresponden a:

- Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665).
- Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).

Cabe resaltar que de acuerdo a la visita a campo, se prevé que el suelo de subrasante corresponde, en su mayoría, a un mismo tipo de suelo.

En este capítulo se presenta los resultados de ensayos de campo y laboratorio efectuados durante la etapa de exploración y ensayos de laboratorio realizados por Lemicons (empresa que amablemente, facilitó los estudios de campo). Además, un análisis de los resultados al estudio de suelos. Luego, se presenta el diseño de pavimentos en función a los datos de campo y laboratorio realizados al suelo con los parámetros de diseño presentados en este trabajo.

La zona de estudio se encuentra en el departamento de Lima, Distritos de Carabaylo (Fig. 3.1). Las zonas en estudio tiene un acceso principal según: Av. Universitaria, desde donde se tiene acceso a toda la zona norte de Lima, y principalmente a la Estación Naranjal del Metropolitano. Se encuentra a una altitud

entre 238 a 500 metros sobre el nivel del mar. Tiene clima árido y semicálido con una temperatura promedio de 18° C; en la época de invierno hay presencia de nieblas bajas que cubren el valle.

Fig. 3. 1. Ubicación de la zona en estudio. Se evaluó la Av. Trapiche Chillón del los tramos : Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – Km 0+650) - Av. Parque Zonal - Av. Camino Real (km 0+000 – 0+1184Km)



Fuente: Google maps

3.2 Investigaciones de campo

Constaron en realizar exploraciones a cielo abierto (calicatas), se obtuvo muestras e identificó el tipo de suelo de modo visual y manual.

3.2.1 Exploración de calicatas

Constituye el medio más eficaz para la exploración y obtención de muestras con fines de investigación; las excavaciones se realizaron en forma mecánica, la sección mínima fue de 1.2x1.5 m² y tuvo una profundidad máxima de 1.50m.

Los objetivos de realizar las calicatas fueron:

- Realizar el muestreo de los estratos de suelos encontrados.

- Realizar una clasificación visual manual de los suelos, según ASTM D–2486.
- Extraer muestras para realizar ensayos de laboratorio.

Con finalidad de determinar el perfil estratigráfico de las áreas de estudio donde se ha realizado 8 calicatas fue distribuido convenientemente.

Tabla 3. 1. Resumen de exploración del primer tramo: Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km. 0+000 – km 0+665).

Calicatas N°	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	Coordenadas WGS 84	
			Este (m)	Norte (m)
C-01	1.50	NA	0279024	8686306
C-02	1.50	NA	0279025	8686376
C-03	1.50	NA	0279030	8686482
C-04	1.50	NA	0279028	8686589
Nivel Freático: No Alcanzado.				

Elaboración propia.

Tabla 3. 2. Resumen de exploración del segundo tramo: Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).

Calicatas N°	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	Coordenadas WGS 84	
			Este (m)	Norte (m)
C-05	1.50	NA	0278170	8684925
C-06	1.50	NA	0278129	8684844
C-07	1.50	NA	0278076	8684742
C-08	1.50	NA	0278029	8684647
Nivel Freático: No Alcanzado.				

Elaboración propia.

3.3 Ensayos estándar

Las muestras extraídas durante la etapa de campo, debidamente embaladas y etiquetadas, fueron enviadas para su análisis al laboratorio de Lemicons S.R.L., donde se ejecutaron los ensayos en estricto cumplimiento de los métodos

publicados como normas internacionales vigentes, con el único fin de obtener resultados altamente confiables.

Los ensayos que se ejecutaron de acuerdo a las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM), fueron:

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422.
- Límites de Atterberg ASTM D-4318.
- Contenido de humedad ASTM D-2216.
- Clasificación de Suelos SUCS y AASTHO.

3.4 Clasificación de suelos

Los suelos se han clasificado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Los resultados se muestran en los siguientes cuadros:

Tabla 3. 3. Calicata N°1, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665).

Calicata	Profundidad	Muestra	Grava	Arena	Finos	LL	IP	SUCS	Tipo
N°	(m)		%	%	%				
C-01	0.00 - 0.50	M1	29.8	40.2	30.0	21	6	SC-SM	NORMAL
C-01	0.50 – 1.10	M2	0.2	27.2	72.6	29	10	CL	NORMAL
C-01	1.10 – 1.50	M3	44.3	43.8	11.9	N.L	N.P.	GP-GM	NORMAL

Elaboración propia.

Tabla 3. 4. Calicata N°2, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665).

Calicata	Profundida	Muestra	Grava	Arena	Finos	LL	IP	SUCS	Tipo
N°	(m)		%	%	%				
C-02	0.00 - 1.30	M1	---	25.3	74.7	34	12	CL	NORMAL
C-02	1.30 - 1.50	M2	52.4	35.4	12.2	25	9	GC	NORMAL

Elaboración propia.

Tabla 3. 5. Calicata N°3, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665).

Calicatas	Profundidad	Mue stra	Grava	Arena	Finos	LL	IP	SUCS	Tipo
N°	(m)		%	%	%				
C-03	0.00 - 0.30	S/M	---	---	---	---	---	SM	NORMAL
C-03	0.30 – 1.00	M1	---	23.1	76.9	36	13	CL	NORMAL
C-03	1.00 – 1.50	M2	44.2	34.4	21.4	25	8	GC	NORMAL

Elaboración propia.

Tabla 3. 6. Calicata N°4, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665).

Calicatas	Profundidad	Mue stra	Grava	Arena	Finos	LL	IP	SUCS	Tipo
N°	(m)		%	%	%				
C-04	0.00 - 0.40	M1	30.1	41.8	28.1	22	5	SC-SM	NORMAL
C-04	0.40 – 1.20	M2	10.5	32.3	57.2	32	15	CL	NORMAL
C-04	1.20 – 1.50	M3	0.4	44.5	55.1	27	9	CL	NORMAL

Elaboración propia.

De la misma forma se clasificaron los suelos en el segundo tramo, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 3. 7. Calicata N°5, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).

Calicatas	Profundidad	Mue stra	Grava	Arena	Finos	LL	IP	SUCS	Tipo
N°	(m)		%	%	%				
C-05	0.00 - 0.25	M1	30.5	44.2	25.3	17	4	SM	NORMAL
C-05	0.25 – 1.50	M2	3.2	44.4	52.4	25	7	CL-ML	NORMAL

Elaboración propia.

Tabla 3. 8. Calicata N°6, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).

Calicatas	Profundidad	Mue stra	Grava	Arena	Finos	LL	IP	SUCS	Tipo
N°	(m)		%	%	%				
C-06	0.00 - 0.20	M1	34.0	50.0	16.0	N.L.	N.P.	SM	NORMAL
C-06	0.20 – 1.50	M2	4.7	36.1	59.2	26	8	CL	NORMAL

Elaboración propia.

Tabla 3. 9. Calicata N°7, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).

Calicatas	Profundidad	Mue stra	Grava	Arena	Finos	LL	IP	SUCS	Tipo
N°	(m)		%	%	%				
C-07	0.00 – 1.50	M1	1.2	22.4	76.4	31	11	CL-ML	NORMAL

Elaboración propia.

Tabla 3.10. Calicata N°8, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).

Calicatas	Profundidad	Mue stra	Grava	Aren a	Finos	LL	IP	SUCS	Tipo
N°	(m)		%	%	%				
C-08	0.00 - 0.20	M1	34.3	48.4	17.3	N.L.	N.P.	SM	NORMAL
C-08	0.20 – 1.50	M2	0.9	21.1	78.0	N.L.	N.P.	ML	NORMAL

Elaboración propia.

Los asfaltos, y además todas las obras afables, son impotentes ante el acontecimiento de tipos específicos de ocasiones que pueden tener un impacto adverso en su estructura y en la disminución de su administración y vida. Para mantener una distancia estratégica de esto, es importante ponderar y decidir los parámetros de protección de los materiales que componen las estructuras. En asfaltos adaptables la culpa más sucesiva es la decepción por el corte de los materiales que componen las capas distintivas, esa es la razón de los planes de protección contra el corte de los materiales.

Debido a esto, es vital cuantificar la protección de suelos utilizadas en la subrasante, base o subbase y destaca entre las pruebas más utilizadas para la prueba de Proporción de Resistencia de California (CBR), que mide la calidad de cizalla de una sujeción bajo humedad controlada y condiciones de espesor. Mediante métodos para la prueba de CBR se puede adquirir un número con el que es concebible describir los suelos y decide su utilización del material para cualquiera de las capas de asfaltos adaptables.

En el presente informe se muestra los resultados de los ensayos de resistencia al corte de un suelo utilizando como método el CBR. Estos resultados se muestran en los cuadros siguientes, para el primer y segundo tramo de la avenida Trapiche Chillón a evaluar:

Tabla 3. 11. Ensayos de CBR según ASTM D-1883, Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665).

Calicatas N°	Muestra	Clasificación S.U.C.S	Profundidad (m.)	CBR al 100% M.D.S.	CBR al 95% M.D.S. (%)	Expansión (%)
C-02	M1	CL	0.20 – 1.30	9.5	4.2	2.5
C-04	M2	CL	0.40 – 1.20	19.2	7.3	2.8

Elaboración propia.

Tabla 3. 12. Ensayos de CBR según ASTM D-1883, Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184).

Calicatas N°	Muestra	Clasificación S.U.C.S	Profundidad (m.)	CBR al 100% M.D.S.	CBR al 95% M.D.S. (%)	Expansión (%)
C-08	M2	ML	0.40 – 1.20	14.9	9.8	1.5

Elaboración propia.

3.4.1 Descripción de los perfiles estratigráficos

La descripción de los perfiles estratigráficos se realizó en función a los ensayos de campo, clasificación visual, ensayos de laboratorio. A continuación se presenta la

descripción de cada uno de las calicatas realizadas y se muestran las descripciones de los perfiles estratigráficos.

Calicatas de la Av. Señor de Caudivilla - Av. Parque Zonal (km 0+000 – km 0+665)

En este tramo se realizaron cuatro calicatas, las cuales presentaron las siguientes características.

Calicata C-01

Se presenta un primer estrato conformado por una arena limosa arcillosa con grava (SC-SM), color pardo oscuro, estado medianamente húmedo, compacidad denso y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 6%; cuya clasificación granulométrica se representa en grava con un 29.8%, arena con 40.2% y fino en un 30.0%, hasta una profundidad de 0.50m.

Continuando se encontró un suelo conformado por arcilla de baja plasticidad con arena (CL), color pardo oscuro, estado medianamente húmedo, consistencia rígida y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 10%, cuyo análisis granulométrico se representa en grava aislada con un 0.2%, arena con 27.2% y fino en un 72.6%, hasta una profundidad de 1.10m.

Subyaciendo se encuentra un suelo conformado por bolonería subredondeado representando el 15% con un tamaño máximo de 15", canto subredondeado con 5% y el 80% de volumen restante es grava pobremente graduada con limo y arena (GP-GM), color pardo oscuro, muy compacto; cuyo análisis granulométrico se representa en grava con un 44.3%, arena con 43.8% y fino en un 19.3%, hasta una profundidad de 1.50m.

Calicata C-02

Se presentó un primer estrato conformado por arcilla de baja plasticidad con arena (CL), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, consistencia muy rígida y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 12%; cuyo análisis granulométrico se representa en arena con un 25.3% y fino en un 74.7%, hasta una profundidad de 1.30m.

Subyaciendo se presentó un suelo conformado por grava arcillosa con arena (GC), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, muy compacto y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 9%; cuyo análisis granulométrico se representa en grava con 52.4%, arena con un 35.4% y en un 12.2%, hasta una profundidad de 1.50m.

Calicata C-03

Se presentó un primer estrato conformado por arena limosa con grava (SM), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, compacidad densa; cuya clasificación visual se subdivide en grava con 30%, arena con un 50% y fino en un 20%, hasta una profundidad de 0.30m.

Continuando se encontró un suelo conformado por arcilla de baja plasticidad con arena (CL), color pardo oscuro, estado medianamente húmedo, consistencia muy rígida y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 13%, cuyo análisis granulométrico se representa en arena con 23.1% y fino en un 76.9%, hasta una profundidad de 1.00m.

Subyaciendo se encontró un suelo conformado por canto subredondeado representando el 10% con un tamaño máximo de 7" y el 90% de volumen restante es grava arcillosa con arena (GC), color pardo oscuro, muy compacto; cuyo análisis granulométrico se representa en grava con un 44.2%, arena con 34.4% y fino en un 21.4%, hasta una profundidad de 1.50m.

Calicata C-04

Se presentó un primer estrato conformado por arena limosa arcillosa con grava (SC-SM), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, compacidad densa y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 5%; cuya clasificación granulométrica se subdivide en grava con 30.1%, arena con un 41.8% y fino en un 28.1%, hasta una profundidad de 0.40m. Continuando, se encontró un suelo conformado por arcilla arenosa de baja plasticidad (CL), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, consistencia rígida y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 15%, cuyo análisis granulométrico se representa en grava aislada con un 10.5%, arena con 32.3% y fino en un 57.2%, hasta una profundidad de 1.20m. Subyaciendo se encuentra un

suelo conformado por arcilla arenosa de baja plasticidad (CL), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, consistencia rígida y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 9%, cuyo análisis granulométrico se representa en grava aislada con un 0.4%, arena con 44.5% y fino en un 55.1%, hasta una profundidad de 1.50m.

Calicatas de la Av. Parque Zonal – Av. Camino Real (km. 0+000 – km. 0+1184)

En este tramo se realizaron cuatro calicatas, las cuales presentaron las siguientes características.

Calicata C-05

Se presentó un primer estrato conformado por arena limosa con grava (SM), color gris amarillento, estado ligeramente húmedo, compacidad muy denso y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 4%; cuya clasificación granulométrica se subdivide en grava con 30.4%, arena con un 44.2% y fino en un 25.3%, hasta una profundidad de 0.25m. Subyaciendo se encontró un suelo conformado por arcilla limosa arenosa (CL- ML), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, consistencia rígida y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 7%, cuyo análisis granulométrico se representa en grava aislada con un 3.2%, arena con 44.4% y fino en un 52.4%, hasta una profundidad de 1.50m.

Calicata C-06

Se presentó un primer estrato conformado por arena limosa con grava (SM), color gris amarillento, estado ligeramente húmedo, compacidad denso; cuya clasificación granulométrica se subdivide en grava con 34.0%, arena con un 50.0% y fino en un 16.0%, hasta una profundidad de 0.20m. Subyaciendo se encontró un suelo conformado por arcilla arenosa de baja plasticidad (CL), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, consistencia media y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 8%, cuyo análisis granulométrico se representa en grava aislada con un 4.7%, arena con 36.1% y fino en un 59.2%, hasta una profundidad de 1.50m.

Calicata C-07

Se presentó un primer estrato conformado por arcilla limosa con arena (CL- ML), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, consistencia media y teniendo un índice de plasticidad (IP) de 11%; cuya clasificación granulométrica se subdivide en grava aislada con 1.2%, arena con un 22.4% y fino en un 76.4%, hasta una profundidad de 1.50m.

Calicata C-08

Se presentó un primer estrato conformado por arena limosa con grava (SM), color gris amarillento, estado ligeramente húmedo, compacidad denso; cuya clasificación granulométrica se subdivide en grava con 34.3%, arena con un 48.4% y fino en un 17.3%, hasta una profundidad de 0.20m. Subyaciendo se encuentra un suelo conformado por limo con arena (ML), color pardo oscuro, estado ligeramente húmedo, consistencia media, cuyo análisis granulométrico se representa en grava aislada con un 0.9%, arena con 21.1% y fino en un 78.0%, hasta una profundidad de 1.50m.

3.5 Diseño del pavimento flexible

El pavimento debe ser diseñado para que sirva a las necesidades del tráfico durante un cierto número de años (periodo de diseño); por tanto, se debe predecir su crecimiento para determinar las necesidades estructurales de dicho pavimento.

El tránsito vehicular existente que transita en la Av. Trapiche Chillón, Carabayllo, está compuesta por vehículos ligeros (moto taxis, automóviles, camionetas) y con tráfico pesado que circulan esporádicamente, tales como camiones con mercadería, cisternas de agua, etc.

3.5.1 Diseño convencional

El método de diseño AASHTO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, este desarrollo fue validado en base a ensayos a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois. El objetivo principal fue desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que relacionen el nivel de deterioro con el nivel de solicitud de las distintas secciones ensayadas.

Desde la versión del año 1986, y su versión actualizada de 1993, el método de diseño AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas con el propósito de adaptar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original. El método AASHTO fue elegido para implementar el diseño tradicional porque a diferencia de otros métodos, éste método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

En este capítulo se analiza los conceptos de diseño sobre pavimentos flexibles. El diseño del pavimento flexible involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos parámetros son requeridos para predecir desempeño de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

Para poder diseñar los espesores del pavimento flexible hay que conocer los parámetros anteriormente ya mencionados. Adicionalmente hay que realizar el cálculo de número estructural, el cual es un valor adimensional que representa una equivalencia numérica de la capacidad estructural del pavimento y se calcula resolviendo la siguiente ecuación:

Fig. 3.2. Mediante la ecuación de diseño propuesta en la guía AASHTO 1993.

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

Dónde:

- W_{18} : número de repeticiones de eje equivalente (ESAL)
- Z_R : confiabilidad
- S_o : desviación estándar
- SN : número estructura
- ΔPSI : Pérdida de serviciabilidad
- M_R : módulo resiliente de la subrasante

Fuente: AASHTO-93.

Ya conocido el número estructural, se procedió a estructurar el pavimento conformado por las capas de subbase granular, base granular y carpeta asfáltica

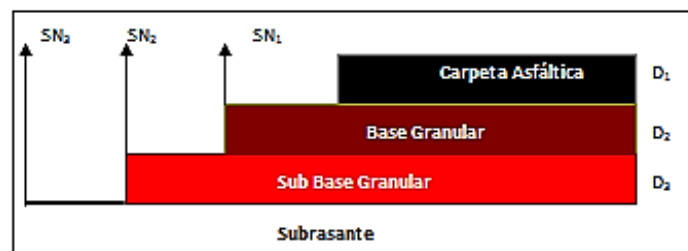
$$SN = \sum_{i=1} a_i D_i m_i$$

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

Dónde:

- a_i : coeficiente de capa en función de las propiedades de los materiales
- D_i : Espesores
- m_i : coeficientes de drenaje

Fig. 3. 2. Estructura del pavimento flexible



Fuente: AASHTO-93.

a) Confiabilidad (%R) y desviación estándar normal (Zr)

La confiabilidad es un parámetro relacionado con el grado de incertidumbre, la variación en las predicciones del tráfico y de la respuesta de los pavimentos, y la importancia de la vía los valores fluctúan entre 80% para vías locales a 99% en vías nacionales (Tabla 3.14). Considerando que a esta vía como una “Autopista”, se asume un valor promedio igual a 95%.

Tabla 3. 133. Valores Sugeridos de confiabilidad (Tabla 2.2 de la guía de diseño AASHTO-93).

Clasificación Funcional	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbano	Rural
Vías interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

Fuente: Guía de diseño AASHTO-93.

Debido a que la confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil, cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, dicho de otra forma, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito. Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

La confiabilidad (R) de un pavimento puede definirse en términos de ESALs como:

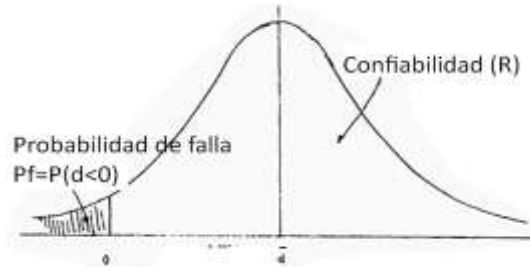
$$R (\%) = 100 P(N_t > N_T)$$

Donde:

- N_t = Número de ESALs de 80 kN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final.
- N_T = Número de ESALs de 80 kN previstos que actuarán sobre el pavimento en su período de diseño (vida útil).

Como N_t y N_T tienen una distribución normal, la diferencia entre ambas, también será una distribución normal (Fig. 3.3).

Fig. 3. 3. Distrubución normal de la probabilidad de falla del pavimento



Fuente: AASHTO-93

Se puede deducir que si el número de ESALs previsto es menor que el número de ESALs real, entonces la vida útil del pavimento será menor. Por ello, la necesidad una variable (S_0 – Desviación Estándar) que cuantifique la magnitud de la variabilidad en la respuesta dentro de unos límites permisibles, con objetivo de garantizar que el pavimento tenga un buen desempeño dentro de su vida útil.

La desviación estándar es la desviación del conjunto de valores obtenidos por AASHTO que considera la variabilidad inherente en los materiales y su proceso constructivo. En la Tabla 3.15 se muestra los valores de Desviación Standard Normal que se adopta en base al Nivel de Confianza, según la Guía de Diseño AASHTO.

Tabla 3. 144. Valores para la desviación estándar normal (AASHTO, 93).

Niveles de Confiabilidad	Desviación Estándar Normal
80	-0.842
-	-
90	-1.282
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090

Fuente: AASHTO-93

Por lo tanto, se usara el nivel de confiabilidad de 95% para pavimento flexible con una desviación estándar de -1.645.

b) Desviación estándar combinada (So)

Es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento tales como construcción, medio ambiente e incertidumbre del modelo.

La desviación estándar considerada en el diseño es de 0.45 que corresponde a la desviación estándar obtenida en la pista de pruebas AASHTO sin considerar el error de tráfico.

c) Índices de serviciabilidad

La serviciabilidad es un parámetro que relaciona la condición funcional con la condición estructural de la vía. El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta). Según la Guía AASHTO – 93 en el ítem 2.2.1. Servicialidad párrafo 2 señala: “La selección del PSI más bajo permisible o índice de servicialidad terminal (pt), está basado en el índice más bajo que será tolerado antes que se haga necesaria una rehabilitación, refuerzo principal o reconstrucción. Se sugiere un índice de 2.5 ó mayor para el diseño de carreteras principales y de 2.0 para carreteras con menores volúmenes de tráfico” y señala una servicialidad inicial de 4.2 para pavimentos flexibles, por lo tanto, para el presente diseño se emplearon los siguientes valores:

- Serviciabilidad inicial = 4.2
- Serviciabilidad final = 2.0
- $\Delta=2.0$

d) Coeficiente de drenaje

El drenaje está considerado dentro del diseño como un factor que afecta directamente el coeficiente de capa y se estima en función del porcentaje de tiempo que la estructura está expuesto a niveles de humedad cercana a la saturación y de la calidad del drenaje (Tabla 3.16).

Tabla 3. 15. Calidad de drenaje (Fuente: Cuadro 12.14 “Calidad del drenaje” - Manual de carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” Sección: Suelos y Pavimentos).

Calidad de drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada.
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: AASHTO-93

La saturación de la estructura está en función de las características granulométricas de los componentes del pavimento y de la porosidad, así como del caudal de agua que pueda ingresar por precipitaciones pluviales, capilaridad o nivel freático.

En la Tabla 3.17 se muestra los valores recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y subbase granular, frente a condiciones de humedad:

Tabla 3. 166. Valores recomendados para modificar los coeficientes de drenaje para bases y sub bases granulares no tratadas en pavimentos flexibles (Fuente: Cuadro 12.15 “Valores recomendados para modificar los coeficientes de drenaje para bases y sub bases

granulares no tratadas en pavimentos flexibles - Manual de carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" Sección: Suelos y Pavimentos).

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>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
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Malo	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Muy malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

En el caso de los coeficientes m_2 y m_3 se asumieron condiciones pesimistas, en este trabajo teniendo en cuenta la posibilidad de alguna falla en el sistema de drenaje de la vía sería crítica para la vida útil del pavimento, se consideró una condición de drenaje "regular" y un porcentaje de tiempo en el cual la estructura estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación entre 1 y 5%. Por tanto, de la Tabla 3.17 se obtienen los coeficientes de $m_2=1.10$ y $m_3=1.10$.

e) Módulo de resiliencia

El método de diseño AASHTO-93 está basado en procedimientos mecanicistas y éstas consideran que un pavimento puede ser modelado como una estructura multicapa elástica cimentada sobre una base elástica. Asumiendo que lo anteriormente planteado es válido entonces es posible calcular los esfuerzos, deformaciones o deflexiones debidas al tránsito en cualquier punto del pavimento. Sin embargo hay factores que no pueden ser modelados o considerados en este tipo de simplificaciones, por tanto, es necesario realizar calibraciones en campo para la validación de estos modelos simplificados.

En este método, la caracterización de los materiales de las cuales se conforman las capas de un pavimento se realiza a través del módulo resiliente (M_r), ésta es un parámetro que cuantifica la magnitud de las propiedades elásticas de un suelo, pero que considera la existencia de las características no lineales del suelo en su comportamiento. El módulo resiliente se obtiene de una prueba triaxial en carga repetida.

Normalmente es complicado realizar el ensayo de módulo resiliente, esto debido a que se requiere de equipos especiales, como una cámara triaxial para ensayos cíclicos, un pórtico de reacción con un actuador dinámico, etc. Por tanto, la “Guía de diseño AASTHO-93” propone correlaciones que estiman el mantenimiento rutinario (MR) a partir de ensayos de CBR (Herrera, 2014).

Expresión general en la “Guía AASHTO”.

$$M_R \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{0.65}$$

$$M_R \text{ (psi)} = 2555 \times (16.65)^{0.65}$$

$$M_R \text{ (psi)} = 15,892 \text{ psi}$$

f) Coeficiente de aporte estructural

Los coeficientes estructurales de cada capa fueron estimados a partir de las correlaciones que presenta la guía de diseño AASHTO (Fig. 3.4, Fig. 3.5 y Fig. 3.6), y las ecuaciones indicadas a continuación:

$$a_2 = 0.249(\log_{10} E_{BS}) - 0.977$$

$$a_3 = 0.227(\log_{10} E_{SB}) - 0.839$$

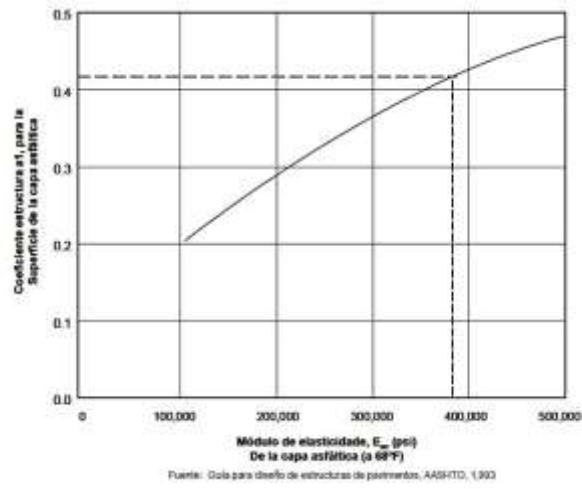
Dónde:

- E_{BS} : Módulo resiliente de la base
- E_{SB} : Módulo resiliente de la sub base

De donde se obtuvieron los siguientes aportes estructurales de cada capa:

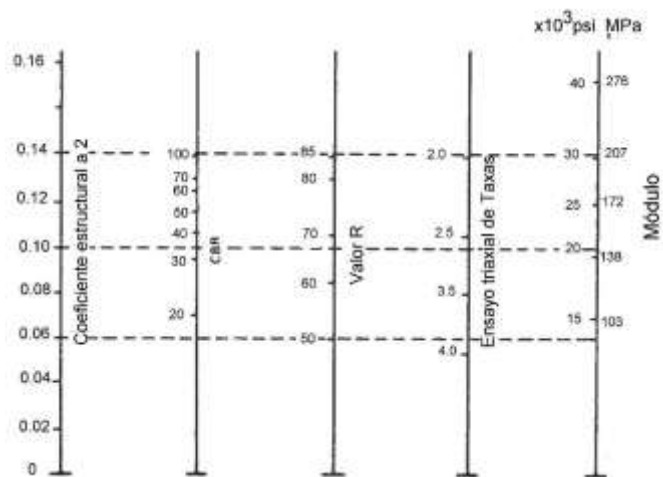
- Carpeta asfáltica → 0.165/pulg.
- Base granular → 0.165/pulg.
- Sub base granular → 0.047/pulg.

Fig. 3. 4. Coeficiente de aporte estructural de la carpeta asfáltica



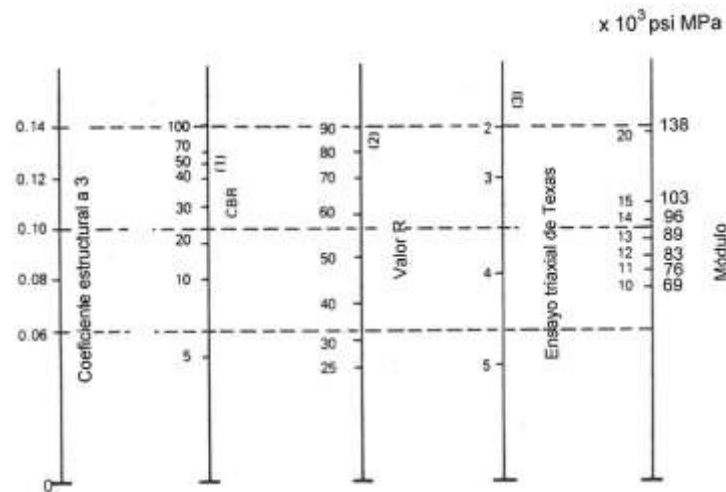
Fuente: AASHTO-93

Fig. 3. 5. Coeficiente de aporte estructural de la base



Fuente: AASHTO-93

Fig. 3. 6. Coeficiente de aporte estructural de la sub-bas



Fuente: AASHTO-93

g) Diseño de espesores del pavimento flexible (según AASHTO-93)

El método AASHTO 1993 utiliza el número estructural SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere bajo determinada capacidad de del suelo, tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad. Con la ecuación de diseño empírica usada en AASHTO 93 se busca el número estructural requerido por el proyecto:

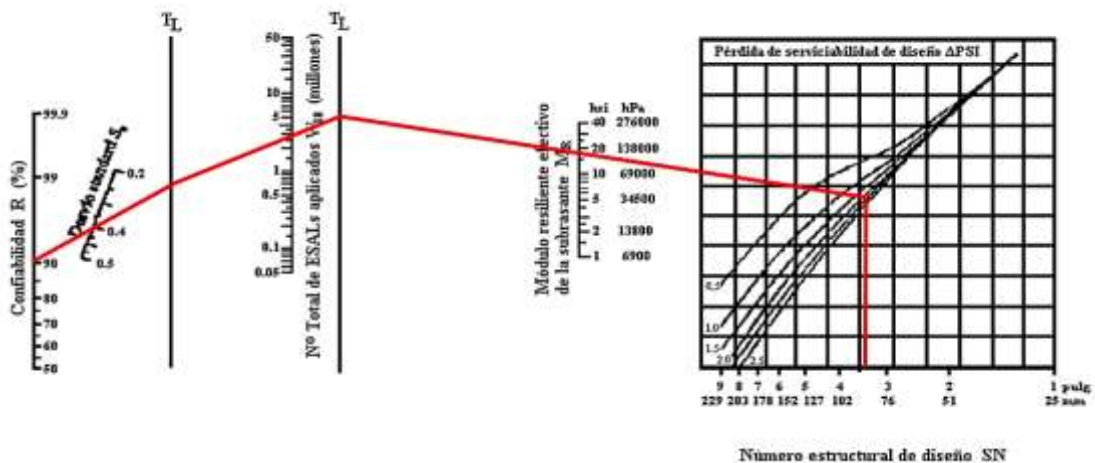
$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

De las estimaciones realizadas anteriormente se presenta un resumen con los valores de entrada o datos requeridos para estimar el número estructural.

R	: Nivel de confiabilidad	95%
Zr	: Standard Normal Desviate	-1.645
S ₀	: Overall Standard Derviate	0.45
P _i	: Serviciabilidad inicial	4.2
P _f	: Serviciabilidad final	2.0
a ₁	: Coeficiente estructural de C.A.	0.165/cm
a ₂	: Coeficiente estructural de B.G.	0.053/cm
a ₃	: Coeficiente estructural de S.B.G.	0.047/cm
m ₂	: Coeficiente de Drenaje de B.G.	1.10
m ₃	: Coeficiente de Drenaje de S.B.G.	1.10
EAL ₈₋₂	: Numero de Repeticiones Ejes Simples Equivalente	9.884*10 ⁶
CBR	: (Del estudio de suelo)	13%, 55%
Mr	: Módulo Resiliente	15,892 psi

Con los valores obtenidos procedemos a calcular el Número Estructural (NS). Para ello se puede realizar una primera estimación con la ayuda de nomogramas ().

Fig. 3. 7. Carta de diseño para pavimentos flexibles



Fuente: AASHTO-93, Nomograma 7.2

Con lo que se obtuvo un valor para NS de 3.8. Luego este valor fue reajustado empleando la ecuación presentada por la AASHTO.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Iteramos SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Cálculo:

	SN Requerido	N18 Nominal	N18 Cálculo	Diferencia
1º	2	6.99	5.18	-1.81
2º	2.5	6.99	5.79	-1.21
3º	3	6.99	6.30	-0.70
4º	3.5	6.99	6.75	-0.25
(OK) 5º	3.81	6.99	6.99	0.00

Por lo que se obtiene finalmente:

SN requerido =	3.81
----------------	------

Fig. 3. 8. Proceso iterativo para estimar NS.

El pavimento ha sido diseñado para un periodo de 20 años. A continuación se muestra la siguiente tabla con todos los parámetros de diseño requeridos para la estructuración del pavimento.

Número estructural requerido			SN	3.81
Carpeta asfáltica	---	a1 = 0.42	D1 (pulg.)	4
Base	m1 = 1.1	a2 = 0.14	D1 (pulg.)	8
Sub-base	m2 = 1.1	a3 = 0.12	D1 (pulg.)	10
Espesor total del pavimento			(pulg.)	22
Número estructural propuesto			SN'	4.11

AASHTO 1993 propone dos metodologías para determinar los espesores de las capas que compondrán la estructura del pavimento. El primero donde los espesores mínimos son referenciales y el segundo método es por espesores mínimos (que sería más una verificación para establecer una resistencia mínima), Ver Tabla 3.18.

Tabla 3. 177. Espesores mínimos recomendados por la AASHTO-93 en función del ESAL.

ESAL	Concreto asfáltico	Base granular
> 50,000	1.0 (o tratamiento superficial)	4
50,001 – 150,000	2.0	4
150,001 – 500,000	2.5	4
500,001 – 2'000,000	3.0	4
2'000,001 – 7'000,000	3.5	6
> 7'000,000	4.0	6

Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla 3.18, el espesor de la carpeta asfáltica será como mínimo de 4.0 pulg. Y el espesor de la base granular será como mínimo de 6.0 pulg. De espesor. Con lo que se verificó las estimaciones iniciales, por tanto, en la Fig. 3.9 se muestra los espesores finales obtenidos con el método tradicional de diseño da pavimentos flexibles.

Fig. 3. 9. Valores del coeficiente estructural asociados es costos por metro lineal

ESPEORES DE CAPAS - Basado en el Manual de Carreteras, Suelos, Geotecnia y Pavimentos				
COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm^A-1)	OBSERVACIÓN	PRECIO
CAPA SUPERFICIAL				
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	a1	0.170	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	S/. 470.00
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a1	0.125	Capa Superficial recomendada para tráfico $\leq 1'000,000$ EE	S/. 314.00
Micropavimento 25mm	a1	0.130	Capa Superficial recomendada para tráfico $\leq 1'000,000$ EE	S/. 300.00
Tratamiento Superficial Bicapa	a1	0.25 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehiculos	S/. 300.00
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a1	0.15 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq 500,000$ EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehiculos	S/. 350.00
(*) Valor Global (no se considera el espesor)				
BASE				
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.052	Capa de Base recomendada para tráfico $\leq 5'000,000$ EE	S/. 120.00
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.054	Capa de Base recomendada para tráfico $> 5'000,000$ EE	S/. 120.00
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 500 lb)	a2a	0.115	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico	S/. 180.00
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a2b	0.070	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico	S/. 155.00
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a2c	0.080	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico	S/. 165.00
SUBBASE				
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a3	0.047	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15'000,000$ EE	S/. 90.00
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a3	0.050	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $> 15'000,000$ EE	S/. 90.00

Elaboración propia

En las siguientes tablas se muestra un análisis de posibles configuraciones estructurales del pavimento y estos asociados a sus costos respectivos. En la Tabla 3.19 se puede apreciar que para una carpeta asfáltica de 10cm, una base granular de 15cm y una subbase de 25cm se cumple con el SNR requerido. Además, el costo total es de S/. 87.50/m².

Tabla 3. 188. Estimación de espesores y costos de la estructura del pavimento flexible.

	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 ≤ 5'000,000 EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico > 15'000,000 EE
Precio	S/. 470.00	S/. 120.00	S/. 90.00
ai (Recomendado)	0.17	0.052	0.05
ai (Definido por usuario)	<i>0.165</i>	<i>0.053</i>	<i>0.047</i>
Precio para ai Definido	<i>S/. 470.00</i>	<i>S/. 120.00</i>	<i>S/. 90.00</i>

	m1	m2
	<i>1.1</i>	<i>1.1</i>

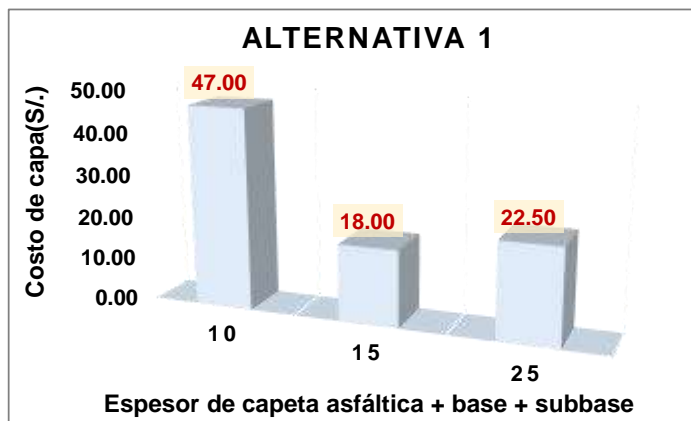
D1	D2	D3
10.0 cm	15.0 cm	25.0 cm

SNR (Requerido)	3.81	Debe cumplir SNR (Resultado) > SNR (Requerido)
SNR (Resultado)	3.93	Si Cumple

	Capa Superficial	Base	Subbase
Precio	S/.47.00	S/.18.00	S/.22.50

Elaboracion propia.

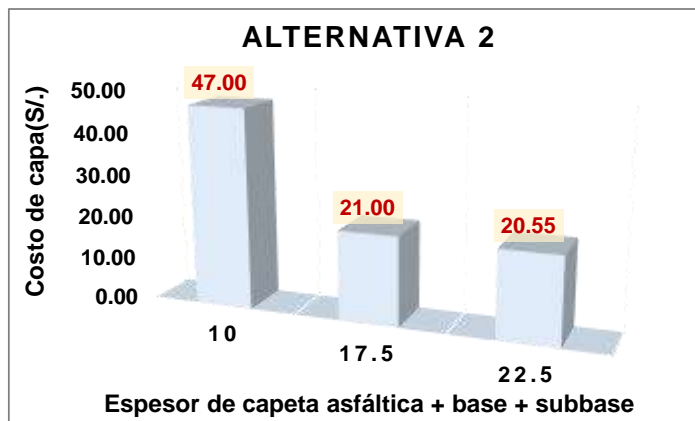
Resumen de la alternativa 1:



Alternativa 1			
Capa	Capa1	Capa2	Capa3
ai	0.165	0.053	0.047
Costo	47.00	18.00	22.50
Espesor	10	15	25
Precio	87.50	Nuevos Soles	

Elaboracion propia.

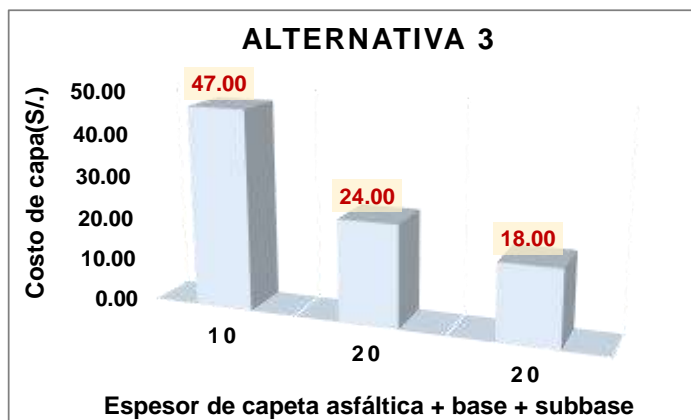
Resumen de la alternativa 2:



Alternativa 2			
Capa	Capa1	Capa2	Capa3
ai	0.165	0.053	0.047
Costo	47.00	21.00	20.55
Espesor	10	17.5	22.5
Precio	88.25	Nuevos Soles	

Elaboracion propia.

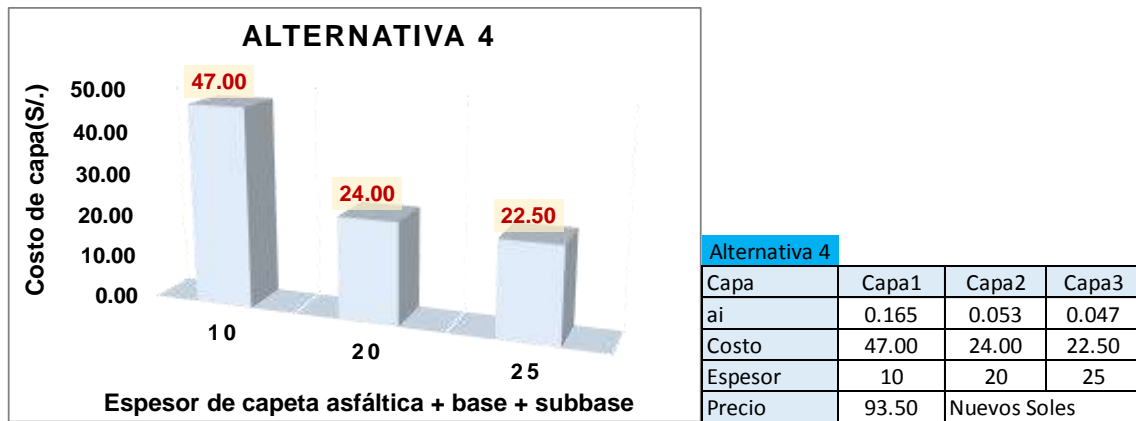
Resumen de la alternativa 3:



Alternativa 3			
Capa	Capa1	Capa2	Capa3
ai	0.165	0.053	0.047
Costo	47.00	24.00	18.00
Espesor	10	20	20
Precio	89.00	Nuevos Soles	

Elaboracion propia.

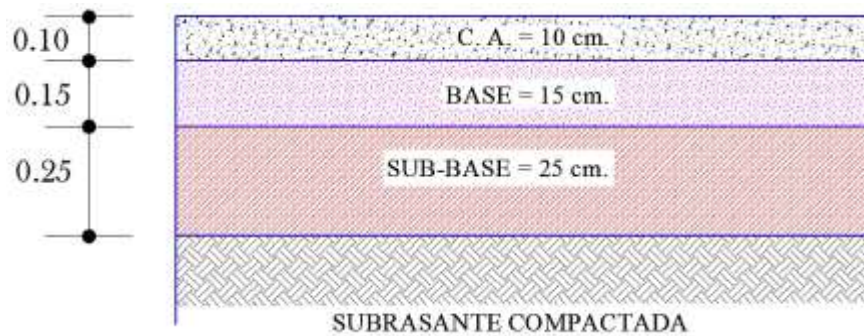
Resumen de la alternativa 4:



Elaboracion propia.

De donde se puede observar que la menor alternativa es la número 1, donde se obtiene un valor de S/. 87.50. Por tanto, la sección final sería la que se muestra en la Fig. 3.10.

Fig. 3. 10. Estructuración del diseño del pavimento para un periodo de 0-20 años.



Elaboración propia

3.5.2 Propuesta de pavimento flexible reforzado con geomalla

Los procedimientos convencionales de construcción presentan nuevos desafíos a los ingenieros, contratistas y propietarios debido a las fluctuaciones de los costos de los materiales y de su disponibilidad. Los presupuestos de construcción son evaluados constantemente a fin de conseguir un producto final de la más alta calidad por la menor cantidad de dinero posible.

Hoy en día, el uso de geosintéticos, entre ellos las geomallas y las geoceldas, permite un uso más eficiente de los recursos de los proyectos, el cual se puede incrementar mediante el conocimiento claro de los mecanismos de trabajo de estos materiales, así como de los beneficios que ellos brindan en una determinada situación. La colocación de una geomalla polimérica como refuerzo produce grandes beneficios para el proyecto ya que incrementa el módulo de la capa del material granular, mejora la capacidad portante del suelo, reduce las posibles deflexiones de la sub-rasante y aminora las tensiones transmitidas al terreno natural.

En el presente estudio se emplearán geosintéticos para reforzar la estructura del pavimento flexible del proyecto: “Aplicación de la geomalla triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo”.

3.5.3 Metodología de diseño y referencias

- AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO Designation: R 50-09 “Standard Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures.”
- FHWA NHI-07-092 (2008), NHI Course No 132013: “Geosynthetic Design and Construction Guidelines” de la Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation. 592pp.

3.5.4 Comportamiento mecánico de las geomallas

La estructura de un pavimento convencional usualmente está conformada por la sub-rasante, la sub-base, la base y la superficie de rodadura. El espesor de cada uno de estos materiales depende de factores como el tipo de vía, el tipo de vehículos circundantes, el periodo de diseño, la capacidad portante del suelo, entre otros.

De acuerdo a la metodologías AASHTO 1993, el diseño consiste en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento, que pueda soportar el nivel

de carga solicitado. Con el “SN” y el tiempo de vida estimado para el pavimento en términos de W18 (ESAL’s) para la estructura no reforzada se usó la fórmula de diseño AASHTO:

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R (S_o) + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{\frac{1094}{0.40 + (SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} (M_R) - 8.07$$

Las subrasantes pobres generalmente son un problema frecuente en la construcción de pavimentos flexibles. La subrasante al fallar conducirá a un deterioro rápido de su estructura, esto se puede apreciar cuando la carga vehicular es aplicada directamente sobre el pavimento, en ese momento las partículas individuales del relleno oscilan y rompen la parte superior de la subrasante y estas pueden causar gran reducción de su resistencia a la fricción, la capacidad portante disminuye y el agregado se mueve lateralmente creando surcos o baches en la superficie. Por tanto, las subrasantes pobres pueden ser estabilizadas mecánicamente. Entre las soluciones más eficientes se encuentra el uso de geomallas. (Tensar, 2013). Con el uso de la geomalla triaxial se logrará mejorar la resistencia mecánica que ofrece la base granular, por tanto, el uso de la geomalla tuvo una influencia directa en el número estructural en el diseño de pavimentos flexibles.

a) Geomallas multiaxiales para el refuerzo de pavimentos.

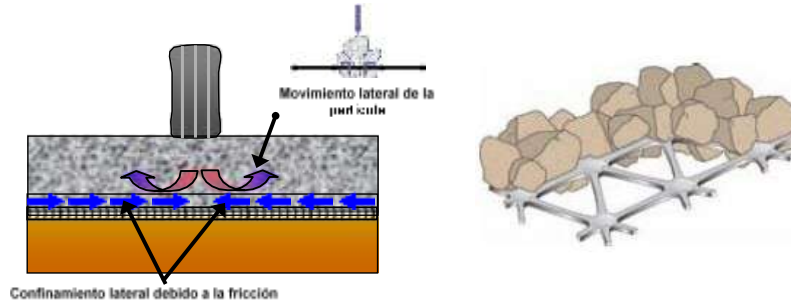
Se han identificado tres mecanismos de refuerzo de las geomallas en el refuerzo de pavimentos: confinamiento lateral de las partículas, mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural y el efecto membrana tensionada (ETL 1110-1-189).

Confinamiento lateral

Este mecanismo se logra a través de la trabazón de las partículas granulares con el refuerzo. Las geomallas aumentan el módulo de la capa reforzada al confinar las partículas e impedir su movimiento natural ante la aplicación de las cargas (Fig. 3.10). La trabazón mecánica aumenta la rigidez de la capa granular reduciendo las

deformaciones verticales en la interfase inferior y los ahuellamientos en la superficie de rodadura.

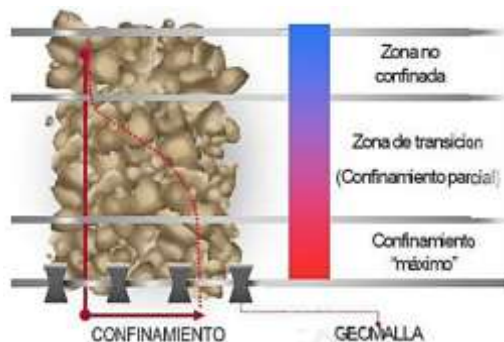
Fig. 3. 11. Confinamiento lateral e incremento de la capa reforzada



Fuente: Valencia, 2009.

Por otro lado, este confinamiento generado por la geomalla genera una capa de material más rígida. Por ello, debemos ser conscientes de la importancia de la forma y tipo de abertura en las geomallas para tener comportamiento adecuado del material. Además, es importante mencionar que se tendrá un confinamiento máximo en la zona próxima al elemento de refuerzo; mientras que, a medida de que nos alejamos de este, este efecto irá disminuyendo (Fig. 3.12) (Valencia, 2009).

Fig. 3. 12. Confinamiento lateral e incremento de la capa reforzada



Fuente: Valencia, 2009.

Mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural

La naturaleza rígida de la geomalla permite extender las cargas conectadas en una zona más prominente, disminuyendo las cargas verticales y de cortante en el territorio normal, delicado o libre. Fundamentalmente, el plano de decepción de la estructura de asfalto de un material no especializado (Delicado) se intercambió por

materiales de mejor comportamiento básico, la base / subbase. Este mecanismo de refuerzo se conoce como efecto del zapato de nieve (Fig. 3.13).

Fig. 3. 13. Mejoramiento de capacidad portante

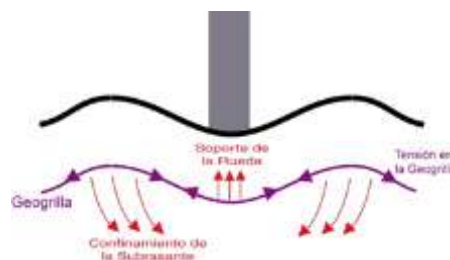


Fuente: Valencia, 2009.

Efecto membrana tensionada

Este mecanismo se presenta cuando ocurre un ahuellamiento o deformación considerable en el terreno natural debido a una carga vehicular, desarrollándose unos esfuerzos que son soportados por la resistencia a la tensión del refuerzo (Fig. 3.14). Este efecto de membrana tensionada desarrolla en el refuerzo una resistencia vertical y un confinamiento hacia abajo, aumentando la resistencia al corte del terreno natural. Este mecanismo de refuerzo para desarrollarse necesita una deformación significativa de la superficie de la carretera, que no siempre es admisible en caminos pavimentados, y adicionalmente, el tráfico debe ser canalizado.

Fig. 3. 14. Efecto de membrana tensionada



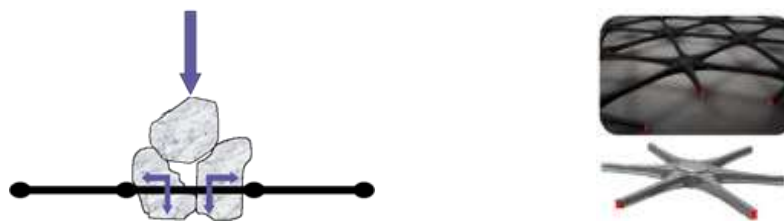
Fuente: Valencia, 2009.

Las geomallas multiaxiales pueden funcionar como un separador, puesto que, no siempre será necesario el empleo de una superficie plana, por ejemplo un geotextil, que prevenga la contaminación del relleno. En la interfase “sub-rasante/relleno granular”, van casi siempre de la mano la función de separación: previniendo la

contaminación entre 2 materiales diferentes, y la de filtración: permitiendo el flujo libre de agua mientras se presentan finos erosionables. Esto es porque a menudo las capas de sub-base o base se encuentran saturadas y las presiones de poros causadas por el paso del equipo de construcción pueden ser significativas. La solución consiste en reducir estas presiones aplicadas mediante el uso de las geomallas, las cuales producen sobre la subrasante el efecto de "zapato de nieve" de distribución de carga.

Al instalar una geomalla multiaxial por debajo de una capa de material granular, las partículas del material penetran en las aberturas triangulares de la geomalla, reduciendo la oscilación y los movimientos laterales. Este entrelazado mecánico dispersa además fuerzas verticales sobre la geomalla permitiendo que se forme un arco bajo la carga aumentando de esta forma su capacidad portante y se controlen los asentamientos diferenciales (Fig. 3.15).

Fig. 3. 15. Trabazón de las partículas en las aberturas de la geomalla



Fuente: Valencia, 2009.

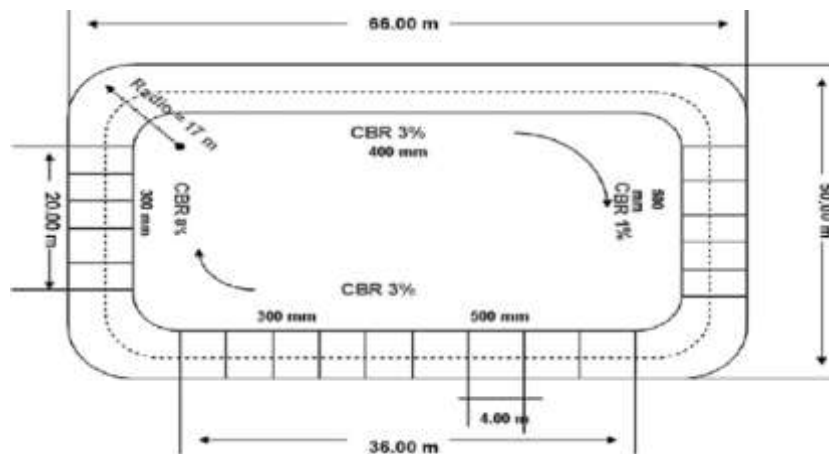
En resumen, la geomalla multiaxial trabaja como pieza estructural transmitiendo cargas a bajas deformaciones sobre un área mucho mayor e inhibiendo los movimientos laterales del agregado.

Metodología de diseño con geomallas

Los pavimentos flexibles están diseñados para absorber y disipar los esfuerzos generados por el tráfico. Como se explicó previamente, una de las metodologías más difundida para el diseño de pavimentos flexibles, es la propuesta por AASHTO 1993. En base a esa teoría que, AASHTO R50-09, desarrolló un método para incluir la geomalla como refuerzo de base dentro del diseño.

La modificación del método de la AASHTO empleando geomallas co-extruídas para refuerzo de pavimentos flexibles, se realizó con base en ensayos de laboratorio y verificaciones en campo a escala real. Las conclusiones y los resultados empíricos fueron obtenidos durante el análisis de una estructura de pavimento con secciones reforzadas y no reforzadas, utilizadas para realizar el ensayo de pavimento a escala real. Las variables que se estudiaron fueron las siguientes: Resistencia de la subrasante (CBR), espesor de la capa de grava, tipo de geosintético, número de ejes equivalentes (ESAL). La figura 3, muestra la planta de la vía utilizada para el ensayo (Fig. 3.16).

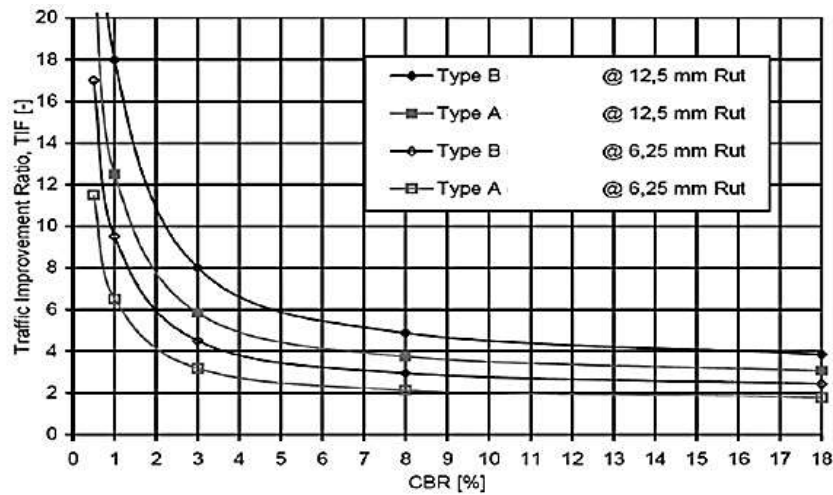
Fig. 3. 16. Vista en planta de la vía utilizada para el diseño



Fuente: ASHTO-93.

La Fig. 3.17 muestra las curvas de mejoramiento de tráfico provenientes gracias al uso de las geomallas. A este valor se le denomina TIF (Traffic Improvement Ratio); o TBR (Traffic Benefit Ratio). Se puede notar que para valores de CBR menores al 5%, el TIF o TBE mejora considerablemente.

Fig. 3. 17. Incremento del valor de tráfico VS CBR de la subrasante para 2 tipo de geomallas biaxiales y 2 ahuellamientos



Fuente: Guía de pavimentos flexibles de la AASHTO.

Por lo expuesto anteriormente y conforme a los ensayos a escala obtenidos, la contribución estructural de una geomalla a la base de un pavimento puede ser representada de la siguiente manera:

La Fig. 3.18 muestra una relación entre el LCR y el CBR de la subrasante obtenidos para dos tipos de geo-mallas Tensar

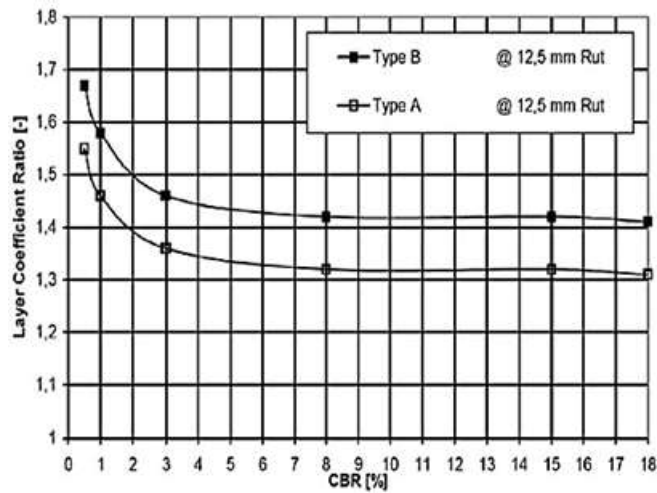
$$SN = a_1 D_1 + a_2 LCR D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

- SN : Número estructural resultante
- a₁ : Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica
- D₁ : Espesor de la carpeta asfáltica.
- a₂ : Coeficiente estructural de la base granular
- LCR : Coeficiente de incremento de capa (Layer Coefficient Ratio)
- D₂ : Espesor de la base granular
- m₂ : Coeficiente de drenaje de la base granular
- a₃ : Coeficiente estructural de la subbase granular
- D₃ : Espesor de la subbase granular
- m₃ : Coeficiente de drenaje de la subbase granular

Fuente: ASHTO-93).

Fig. 3. 18. Relación entre el LCR y el CBR de la subrasante



Fuente: ASHTO-93.

3.5.5 Diseño de pavimento flexible – Método de la Ashto – 1993

Parámetros de Ingreso:

R	Nivel de Confiabilidad	95%
Z _r	Standard Normal Deviate	-1.645
S _o	Overall Standard Deviate	0.45
P _i	Serviciabilidad inicial	4.2
P _f	Serviciabilidad final	2.0
a ₁	Coficiente estructural de C.A.	0.165/cm
	Coficiente estructural de B.G.	0.053/cm
a ₃	Coficiente estructural de S.B.G.	0.047/cm
m ₂	Coficiente de Drenaje de B.G.	1.10
m ₃	Coficiente de Drenaje de S.B.G.	1.10

De acuerdo a los parámetros de resistencia del terreno de fundación, el CBR asumido es de 8.66 % (con módulo de resiliencia de 13,000.0 psi). Este módulo se logrará estabilizando una capa de 20 cm. del terreno natural. En las siguientes tablas se muestran los parámetros de diseño.

Tabla 3. 19. Estimación del ESAL.

CONDICIONES DE TRÁFICO	VALOR
Carga por eje (lbs)	18,000
Presión del neumático (psi)	80
No de ejes equivalentes (ESAL)	9,884,000

Elaboración propia

Tabla 3. 190. Índice de confiabilidad y la desviación estándar.

CONDICIONES DE PROBABILIDAD	VALOR
Confiabilidad (R) (%)	95
Desviación Normal Estandar (z)	-1.645
Desviación Normal (So)	0.45

Elaboración propia

Tabla 3. 201. Módulo de resiliencia.

CONDICIONES DEL TERRENO DE FUNDACIÓN	VALOR
CBR (%)	8.7
Módulo de Resiliencia (psi)	13,000

Elaboración propia

Tabla 3. 212. Cambio de serviciabilidad.

CONDICIONES DE SERVICIABILIDAD	VALOR
Serviciabilidad Inicial (PSI _i)	4.20
Serviciabilidad Final (PSI _f)	2.00
Cambio de Serviciabilidad (Δ PSI)	2.20

Elaboración propia

Con los valores o parámetros de diseño descrito en las tablas anteriores se procede a calcular la estructura del pavimento flexible considerando como aporte la resistencia de la geomalla. Los resultados se muestran en la Tabla 3.24.

Tabla 3. 223. Estructura del pavimento flexible estabilizado o reforzado con geomalla.

Capa	Descripción	Espesor (cm)	Coficiente de capas	Coficiente de drenaje
CS-MAC	Capa superficial de MAC	10.0	0.165	N/A
MSL-TRIAX TX	Base Granular con TRIAX T	17.5	0.116	1.10
SBG	Sub-base Granular	0.0	0.047	1.10

Elaboración propia

En las siguientes figuras se muestra un análisis de posibles configuraciones estructurales del pavimento y estos asociados a sus costos respectivos. En la Tabla 3.25 se muestra en resumen el proceso de cálculo, donde la alternativa 7 con una carpeta asfáltica de 10cm, una base granular de 17.5cm y una subbase de 0.0cm cumple con el SNR requerido. Además, el costo total es de S/. 75.35/m².

Tabla 3. 234. Espesores y costos de la estructura del pavimento flexible con geomalla triaxial.

	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 ≤ 5'000,000 EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico > 15'000,000 EE
Precio	S/. 470.00	S/. 120.00	S/. 90.00
ai (Recomendado)	0.17	0.052	0.05
ai (Definido por usuario)	<i>0.165</i>	<i>0.116</i>	<i>0.047</i>
Precio para ai Definido	<i>S/. 470.00</i>	<i>S/. 120.00</i>	<i>S/. 90.00</i>

m1	m2
<i>1.1</i>	<i>1.1</i>

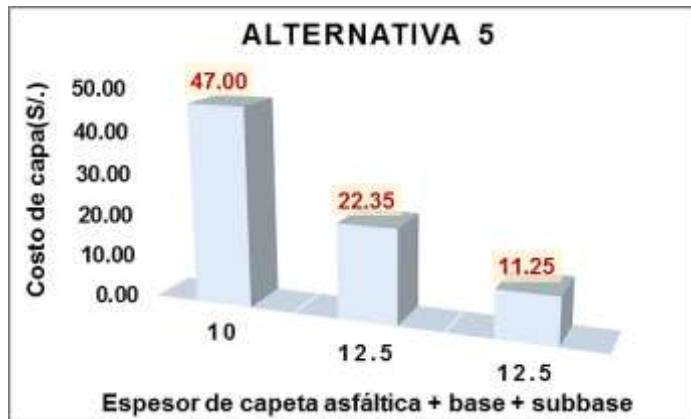
D1	D2	D3
<i>10.0 cm</i>	<i>15.0 cm</i>	<i>10.0 cm</i>

SNR (Requerido)	<i>3.81</i>	<i>Debe cumplir SNR (Resultado) > SNR (Requerido)</i>
SNR (Resultado)	4.08	<i>Si Cumple</i>

	Capa Superficial	Base	Subbase
Precio	S/.47.00	S/.18.00	S/.9.00

Elaboración propia

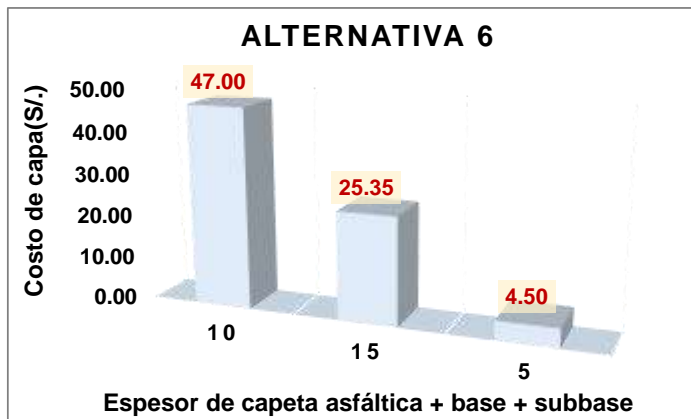
Resumen de la alternativa 5:



Alternativa 5			
Capa	Capa1	Capa2	Capa3
ai	0.165	0.116	0.047
Costo	47.00	22.35	11.25
Espesor	10	12.5	12.5
Precio	80.60	Nuevos Soles	

Elaboración propia

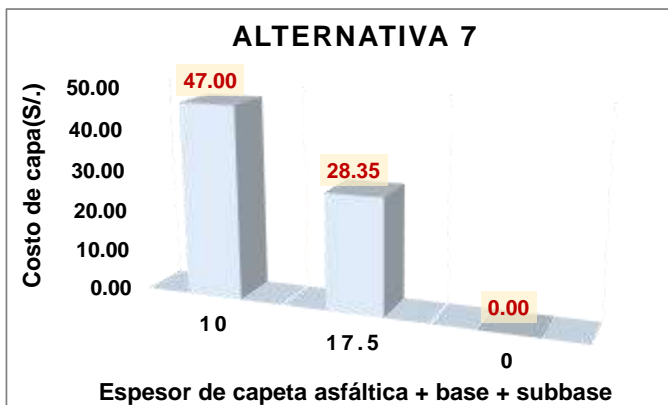
Resumen de la alternativa 6:



Alternativa 6			
Capa	Capa1	Capa2	Capa3
ai	0.165	0.116	0.047
Costo	47.00	25.35	4.50
Espesor	10	15	5
Precio	76.85	Nuevos Soles	

Elaboración propia

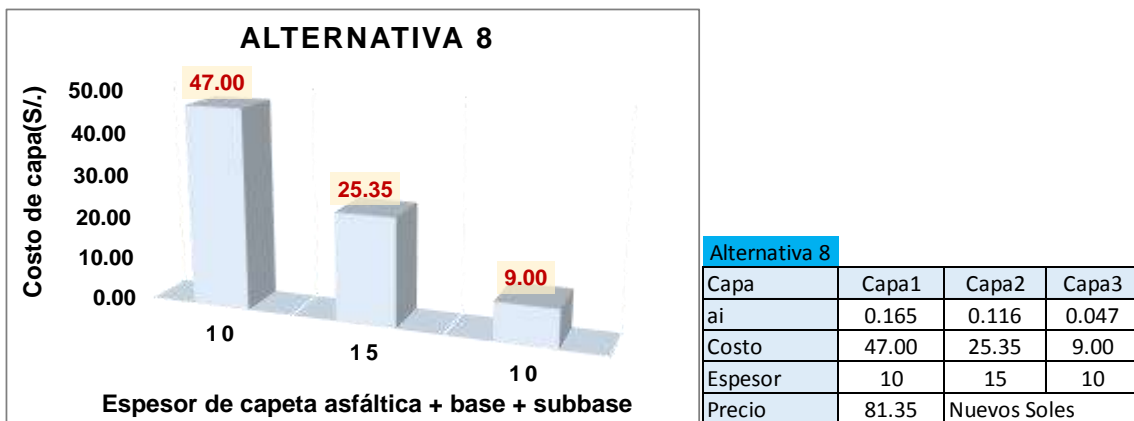
Resumen de la alternativa 7:



Alternativa 7			
Capa	Capa1	Capa2	Capa3
ai	0.165	0.116	0.047
Costo	47.00	28.35	0.00
Espesor	10	17.5	0
Precio	75.35	Nuevos Soles	

Elaboración propia

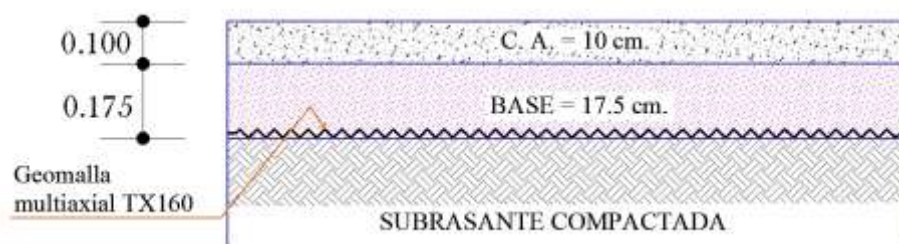
Resumen de la alternativa 8:



Elaboración propia

Como resultado se muestra en la Fig. 3.19 la estructura final de pavimento flexible considerando la geomalla triaxial TX160.

Fig. 3. 19. Estructuración del diseño del pavimento flexible con geomalla TX160 para un periodo de 0-20 años.

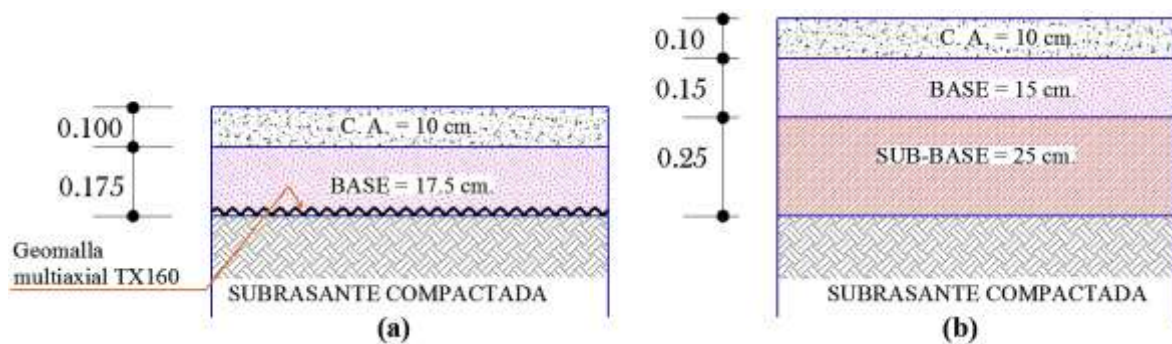


Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos en el capítulo 03, se realizó una evaluación a nivel técnico y económico entre las estructuras del pavimento flexible con y sin el refuerzo de geomalla triaxial, esto con el objetivo de evaluar las ventajas del uso de la geomalla multiaxial en pavimentos flexibles.

Fig. 4. 1. Sección típica del pavimento flexible propuesto: (a) pavimento flexible con estabilización mecánica con geomalla multiaxial TX160, (b) pavimento flexible convencional sin estabilización mecánica.



Elaboración propia.

La Fig. 4.1 muestra las propuestas de sección transversal del pavimento flexible. En la Fig. 4.1 se muestra que con el aporte estructural de la geomalla triaxial no es necesario considerar una sub-base granular (Fig. 4.2b) para lograr la resistencia requerida del pavimento.

Por tanto, se realizó un análisis técnico y económico sobre la influencia de la geomalla triaxial TX160 en el diseño de pavimento flexible. En la comparación técnica se evaluó la influencia de la geomalla en la capacidad estructural del pavimento, aportando una alta rigidez para generar una alta capacidad de confinamiento del agregado para esfuerzos con un patrón de 360 grados. En el análisis económico se evaluó su influencia directa en la reducción en los costos directos de construcción del pavimento.

Comparación técnica

Para realizar el análisis comparativo a nivel técnico se evaluó el desempeño de las secciones finales obtenidas en función de los parámetros de diseño iniciales. En la Tabla 4.1 y en la Tabla 4.2 podemos apreciar el espesor final para cada caso de diseño (con y sin geomalla). Además, se puede ver que hay una reducción en el espesor del pavimento flexible al considerar el aporte de la geomalla triaxial. Por ello se realizó un análisis de los factores que influyen directamente en el diseño del pavimento, como son: (a) el coeficiente de aporte estructural de la base granular, (b) espesor de la base granular, (c) número estructural.

Tabla 4. 1. Espesores del pavimento flexible sin geomalla triaxial.

Número estructural requerido			SN	3.81
Carpeta asfáltica	---	a1 = 0.165	D1 (cm.)	10
Base	m1 = 1.1	a2 = 0.053	D2 (cm.)	15
Sub-base	m2 = 1.1	a3 = 0.047	D3 (cm.)	25
Espesor total del pavimento			(cm.)	50
Número estructural propuesto			SN'	3.82

Elaboración propia

Tabla 4. 2. Espesores del pavimento flexible con geomalla triaxial.

Número estructural requerido			SN	3.81
Carpeta asfáltica	---	a1 = 0.165	D1 (cm.)	10
Base	m1 = 1.1	a2 = 0.116	D2 (cm.)	17.5
Sub-base	m2 = 1.1	a3 = 0.047	D3 (cm.)	0
Espesor total del pavimento			(cm.)	27.5
Número estructural propuesto			SN'	3.88

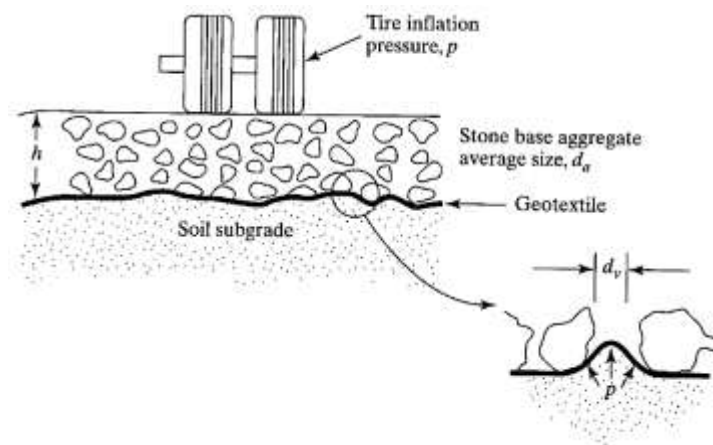
Elaboración propia

Coeficiente de aporte estructural de la base granular

El coeficiente de aporte estructural expresa la relación empírica entre el número estructural (NS) y el espesor relativo de un material que compone la estructura de pavimento. En este trabajo se evaluó la influencia de la geomalla triaxial en la base granular, donde la presencia de la geomalla triaxial incrementó el valor de este coeficiente de aporte estructural en 2.4 (0.12/0.05), esto refleja un incremento de la capacidad de la base granular en más del 140% de su capacidad original (Fig. 4.3).

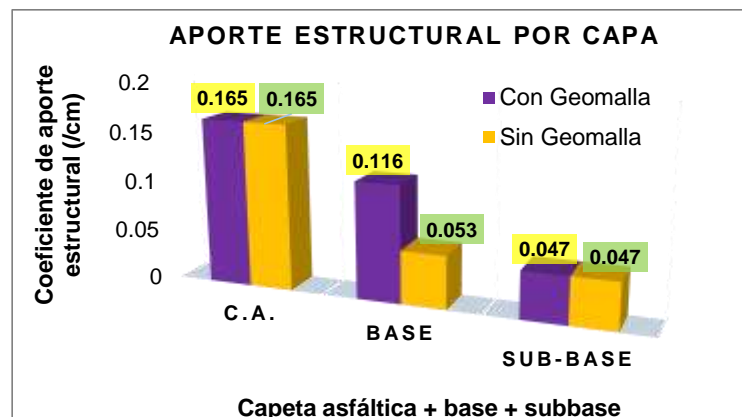
Por otro lado, los sistemas de pavimento flexible fallan prematuramente debido a que el material de la capa base se esparce lateralmente de los senderos de las ruedas (carga) produciendo la rotura de la superficie del pavimento. Una de las funciones de la geomalla triaxial es proporcionar confinamiento al suelo granular permitiendo que la capa base reforzada resista el desplazamiento lateral, mejorando así el desempeño estructural del pavimento (Fig. 4.2). Por tanto, su coeficiente de aporte estructural será mayor (Koerner, 2005).

Fig. 4. 2. Comportamiento de la base granular bajo carga vehicular .



Fuente: ASHTO-93.

Fig. 4. 3. Aporte estructural de cada capa en la capacidad portante del pavimento flexible.



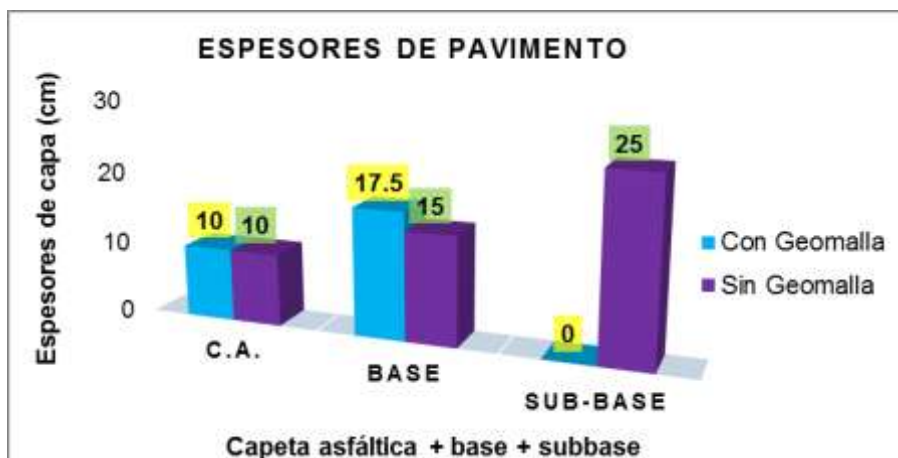
Elaboración propia.

Espesor de la base granular

Uno de las funciones fundamentales de implementar el refuerzo de geomalla triaxial es reducir el espesor de la capa de base granular. El espesor total del pavimento flexible sin considerar la geomalla fue de 50cm, con una carpeta asfáltica de 10cm, una base granular de 15cm y una sub-base granular de 25cm. Por otro lado, el empleo de la geomalla triaxial, como material de refuerzo, permitió reducir el espesor del pavimento flexible a 27.5cm, conformado solo por una carpeta asfáltica de 10cm y una base granular de 17.5cm. Esta reducción de espesor representa una reducción de un 45%, esto refleja la gran eficiencia de considerar materiales compuestos que permitan incrementar el desempeño del mismo, reduciendo costos de construcción.

En la Fig. 4.4 se evidencia como el uso de la geomalla tiene una fuerte influencia en la estabilización de suelos blandos, incrementado su capacidad portante. Además, este incremento de capacidad portante está directamente ligado al incremento de la durabilidad del material compuesto debido al confinamiento otorgado por la geomalla.

Fig. 4. 4. Espesores de las capas del pavimentos flexible con y sin geomalla triaxial.



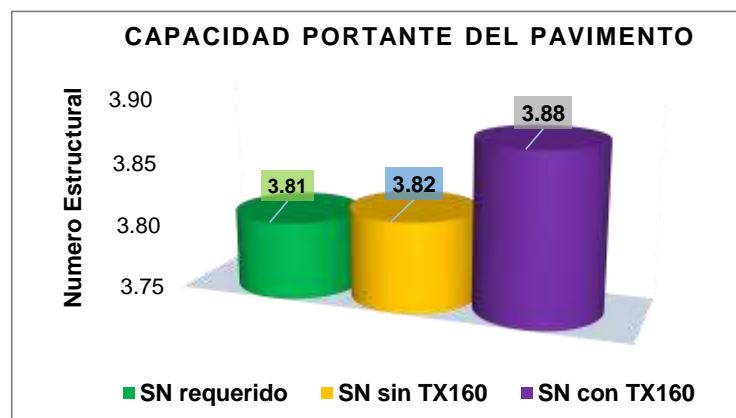
Elaboración propia.

Número estructural

El Número Estructural (SN) es un índice que proporciona la magnitud de la resistencia de las capas del pavimento como un sistema estructural. El uso de número estructural como indicador de la capacidad portante del pavimento es un enfoque empírico y se obtiene tomando el coeficiente específico del tipo de material de la capa del pavimento multiplicado por el espesor de la capa y la suma de éstos es entonces el número estructural del pavimento (Schnoor, 2012).

En la Fig. 3.5 se muestra el número estructural requerido según estimaciones para la demanda de vehículos a transitar por la vía (demanda de carga) que es de $SN_{requerido} = 3.81$, además se muestra la capacidad portante instalada para el diseño tradicional (sin geomalla) que tendrá un valor de $SN_{sin\ geomalla} = 3.82$ y la capacidad portante instalada para el diseño con geomalla triaxial tendrá un valor de $SN_{con\ geomalla} = 3.88$. Por tanto, se puede apreciar que la capacidad portante del pavimento considerando la geomalla triaxial es mayor en un 2% ($3.88/3.82$) que el método tradicional, tener en cuenta que con esto se ha logrado reducir a casi la mitad del espesor total del pavimento.

Fig. 4. 5. Capacidad portante del pavimento flexible requerido e instalado (con y sin geomalla).



Elaboración propia.

Comparación económica

Además del análisis técnico, se realizó una evaluación económica de las ventajas que ofrece el uso de la geomalla triaxial, teniendo en cuenta, por un lado, los insumos involucrados

En las dos alternativas planteadas; y, por otro, el costo total de la construcción de la sección (reforzada y no reforzada). Para hacer la primera evaluación consideramos como insumos el material granular necesario para conformar el espesor requerido en cada sección de diseño y el material de refuerzo a colocar. Además, se considera el ancho de la vía igual a 7.0m para poder calcular los costos totales de construcción de la vía.

Tabla 4. 3. Costo de construcción del pavimento flexible.

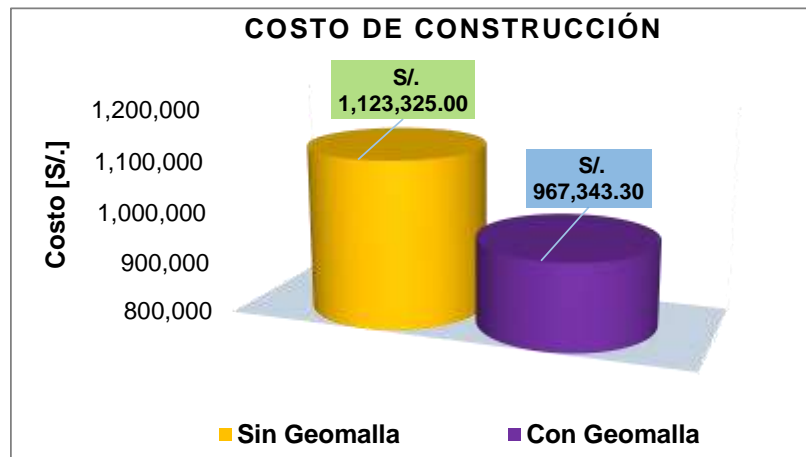
Sección de diseño	Costo de sección no reforzada (S/. / m ²)	Costo de sección reforzada (S/. / m ²)
Carpeta asfáltica	47.00	47.00
Base granular	18.00	21.00
Sub-base granular	22.50	0.00
Geomalla	0.00	7.35
Costo de vía/m ² [S/.]	87.50	75.35
Costo/metro (7m. de ancho de vía) [S/.]	612.50	527.45
Av. Parque Zonal (km 0+000 – Km 0+650)	650.00	650.00
Av. Camino Real (km 0+000 – 0+1184Km)	1184.00	1184.00
Costo total de pavimentación [S/.]	S/. 1,123,325.00	S/. 967,343.30

Elaboración propia

En la Tabla 4.3 se muestra el proceso de cálculo del costo total de construcción de las vías. Los costos de la carpeta asfáltica, base granular, sub-base granular y la geomalla fueron descritos en el capítulo III; estos costos están representados por m². Luego, con los metros totales a pavimentar se estimó el costo total de construcción de los pavimentos.

Por otro lado, en la Fig. 4.6 se muestra el costo total de construcción de pavimentación de las vías. Sin considerar la geomalla se obtuvo un costo total de S/. 1'123,325.00, mientras que considerando se obtuvo un costo total de S/. 967,343.30. De donde se puede deducir que se ha ahorrado un total de S/. 155,981.70. Por tanto, se puede afirmar que el uso adecuado de secciones compuestas (base granular + geomalla) son económicamente viables.

Fig. 4. 6. Costo total de la pavimentación de las vías en estudio



Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis realizado en el capítulo III y IV podemos concluir lo siguiente:

La geomalla triaxial demostró ser una solución práctica y económica en la estabilización de suelos blandos. Incrementan la capacidad portante del suelo y así permitir el paso de cargas pesadas. Además se logró la reducción de grandes espesores de relleno.

El uso de la geomalla permitió la estabilización del suelo blando. El proceso de combinar o mezclar el suelo granular con la geomalla, generando una nueva sección compuesta, permitió mejorar la propiedades mecánicas del suelo granular y esto se vio reflejando en la reducción del espesor del pavimento. El espesor total del pavimento flexible sin considerar la geomalla fue de 50cm, con una carpeta asfáltica de 10cm, una base granular de 15cm y una sub-base granular de 25cm. Mientras que, el empleo de la geomalla triaxial, como material de refuerzo, permitió reducir el espesor del pavimento flexible a 27.5cm, conformado solo por una carpeta asfáltica de 10cm y una base granular de 17.5cm. Esta reducción de espesor representó una reducción de un 45% en el espesor total del pavimento. Esto refleja la gran eficiencia de considerar a la geomalla como un material de refuerzo, con el objetivo de incrementar el desempeño del pavimento flexible.

Las subrasantes de poca capacidad portante generalmente son un problema frecuente en la construcción de pavimentos flexibles; pues su falla conducirá a un deterioro rápido de su estructura y estas causan una gran reducción de su resistencia. Sin embargo, estas subrasantes de poca capacidad portante pueden ser estabilizadas mecánicamente con el uso de la geomalla como refuerzo. Con el uso de la geomalla triaxial se logrará mejorar la resistencia mecánica que ofrece la base granular, por tanto, el uso de la geomalla tuvo una influencia directa en la capacidad portante de la base granular y esto se reflejó en el incremento de su coeficiente de aporte estructural. Por tanto, se evaluó la influencia de la geomalla triaxial en la base granular, donde la presencia de la geomalla triaxial incrementó el valor de este coeficiente de aporte estructural en 2.4 (0.12/0.05), esto refleja un incremento de la capacidad de la base granular en más del 140% de su capacidad original.

Finalmente, de la evaluación de la ventaja económica que ofrece el uso de la geomalla triaxial en el costo total de la construcción del pavimento flexible se encontró que el costo total de construcción de la pavimentación de las vías sin considerar la geomalla se obtuvo un costo total de S/. 1'123,325.00, mientras que considerando se obtuvo un costo total de S/. 967,343.30. De donde se puede deducir que se ha ahorrado un total de S/. 155,981.70. Por tanto, se puede afirmar que el uso adecuado de secciones compuestas (base granular + geomalla) son económicamente viables.

VI. RECOMENDACIONES

- En la literatura existen diferentes metodologías de estabilización como: mejoramiento por sustitución de suelos de la subrasante, mejoramiento por combinación de suelos, suelos estabilizados con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica, estabilización química del suelo. Por tanto, se recomienda realizar un análisis comparativo de la metodología propuesta en este trabajo con los diferentes métodos descritos en la literatura; con el objetivo de identificar cuál de las alternativas presentan mejores ventajas.
- Uno de los inconvenientes observados para la adquisición de la geomalla triaxial es el tiempo de entrega, debido a que en nuestro país existen pocas empresas que se dedican a la importación de este producto. Por ello se debe considerar el tiempo adecuado de acuerdo al proyecto a realizar.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bañón, L. y Beviá, J. (2000). *“Manual de carreteras”*. Alicante. ISBN 84-607-0267-7.

Ballester, F., Castro, D. y Miguel, G. (2000). *“Definición, función y clasificación de los geotextiles”*. Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos (área de construcción) de la Universidad de Cantabria. España, 130pp.

Bernal, C. (2010). *“Metodología de la investigación”*. 3ª ed. Colombia: Pearson Educación. 106 p. ISBN: 9789586991285.

Córdova, Z. (2003). *“Estadística descriptiva e inferencial”*. 5ta. Edición. Perú. Editorial Moshera SRL. ISBN: 9972813053

Crespo, C. (1998). *“Mecánica de suelos y cimentaciones”*. México D.F., Limusa. ISBN: 9681864891.

Elizondo, F. y Sibaja, D. (2008). *“Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas”*. Universidad de Costa Rica. 66 pp.

Garnica, et.al. (2002). *“Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres”*. Instituto Mexicano de Transporte. ISSN 0188-7297.

Gesof, P. (2009). *“Manual de diseños con geosintéticos”*. 8va. Edición Colombia, 430pp.

Hernández, R. y Fernández, C. (2014). *“Metodología de la investigación”*. 6º ed. México D.F. Editorial McGraw-Hill. 600 p. ISBN: 9781456223960.

Liplata. (2013). *“Soluciones integrales para el control de polvo y estabilización de suelos”*. Powered by Muchik Corp. Perú.

Ñaupas P., Mejía, M., Novoa, R. y Villagómez, P. (2012). *“Metodología de la investigación”*. 4ta ed. Colombia. Ediciones de la U. ISBN 9789587621884.

Pavco. (2009). *“Manual de diseño con geo sintéticos”*. Bogotá – Colombia. Octava edición.

Pérez, P. y Armando, J. (2010). *“Geomallas”*. INGENET, México.

Santillán, G. (2010). *“Materiales geosintéticos: la estabilización”*. Congreso Nacional del Medio Ambiente. TECONMA. España, 22 pp.

Sabino, C. (1995). *“El proceso de investigación”*. Editorial LUMEN, Argentina, 238 pp. ISBN: 9789507245756.

Tensar International Corporation, (2016). Alpharetta, Georgia – Estados Unidos. ISPN_TX_BRO_5.16.

Valderrama, S. (2014). *“Pasos para la elaboración de proyectos de investigación científica. Cuantitativa, Cualitativa y Mixta”*. 2° ed. Perú. Editorial San Marcos E.I.R.L., 495 p. ISBN: 9786123028787.

TESIS

Alvarado, A. y Cornejo, A. (2014). *“Estabilización de taludes en la Costa Verde – Callao”*. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad San Martín de Porres, 131 pp.

Bustamante, N. y Andrés, S. (2016). *“Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante, con el uso combinado de una Geomalla y un Geotextil”*. Tesis (Master Ingeniería de Vialidad y Transporte). Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, 109 pp.

Beltrán B., Carlos A. (2013). *“Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la carrera 7 estación transmilenio museo nacional”*. Tesis (Ingeniería de Pavimentos). Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva, Facultad de Ingeniería, 46 pp.

Campaña, M. y Mendoza. (2011). *“Los geosintéticos aplicados a obras de pavimento flexible”*. Tesis (Ingeniería Civil). Guayaquil, Ecuador: Escuela superior Politécnica Guayaquil, 126 pp.

Gavilanes, D. y Nidia, E. *“Diseño de la estructura de pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua - La Maná”*. Ecuador. Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Facultad de Ingeniería, 228 pp.

Lizárraga, L. y José M. (2013). *“Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles Aplicando Geomallas de Polipropileno como Sistema de Reforzamiento Estructural”*. Tesis (Maestro en Ingeniería Civil). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 174pp.

Orrego, C. y Daniel, A. (2014). *“Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles”*. Tesis (Ingeniería Civil). Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014, 72 pp.

Quispe, J. y Rondón, S. (2012). *“Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe aplicación al caso de un local de adobe en la provincia de Yauyos”*. Tesis (Ingeniería Civil). Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 95 pp.

Zamora, B. y Juan, P. (2014). *“Optimización de tratamiento de suelos blandos bajo terraplenes”*. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 84 pp.

VIII. ANEXOS

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	FORMULAS	ESCALA DE MEDICIÓN
P. GENERAL	O. GENERAL	H. GENERAL		INDEPENDIENTE					
¿Cómo mejorar la estabilización de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2016?	Determinar como la aplicación de la geomalla triaxial mejora la estabilización de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2016	La aplicación de la geomalla triaxial mejora la estabilización de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo -2016	VI. Geomalla triaxial	Según Santillán (2010) , las geomallas triaxiales de polipropileno están ampliamente adoptadas para la solución de problemas de estabilización y refuerzo de suelos. Es posible conseguir ahorro de costes y de plazos en obras de estabilización de suelos. Las geomallas rígidas fabricadas con polímero han pasado a ser un componente a tener muy en cuenta en los proyectos de obra civil. (p. 3)	Las geomallas triaxiales para la estabilización de los suelos, se midió a través de fichas de control, según las siguientes dimensiones y respectivos indicadores: DISTRIBUCION DE CARGAS - Distribución radial -Resistencia a la tracción PROPIEDADES MULTIDIRECCIONALES: Reducción en el espesor de las capas de árido DISEÑO SOSTENIBLE: Resisten de las uniones monolíticas UNIONES MONOLÍTICAS: Distribución radial	Distribución de cargas	Resistencia a la tracción (RT)	$RT = \frac{RTR}{RTE} \times 100$ RTR: Resistencia a la tracción registrada RTE: Resistencia a la tracción establecida	RAZÓN
						Propiedades multidireccionales	reducciones en el espesor de las capas de áridos (RECA)	$RECA = \frac{ECR}{ECE} \times 100$ ECR: Espesor de las capas de áridos registrados ECE: Espesor de las capas de áridos establecidos	RAZÓN
						Diseño sostenible	Resistencia de las uniones monolíticas (RUM)	$RUM = \frac{RUMO}{RUMF} \times 100$ RUMR: Resistencia de las uniones monolíticas obtenidas RUME: Resistencia de las uniones monolíticas fijadas	RAZÓN
						Uniones monolíticas	Distribución Radial (DR)	$DR = \frac{DRR}{DRE} \times 100 = DRE$ DRR: Distribución radial registrada DRE: Distribución radial establecida	RAZÓN

P. ESPECÍFICO	O. ESPECÍFICOS	H. ESPECÍFICOS	DEPENDIENTE						
¿Cómo la aplicación de la geomallas triaxiales mejorará la estabilización mecánica de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2016?	Determinar como la aplicación de la geomallas triaxiales mejorará la estabilización mecánica de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2016	La aplicación de la geomallas triaxiales mejora la estabilización mecánica de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo -2016	VD. Estabilización de suelos blandos	Según Elizondo y Sibaja (2008), la estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos disponibles en el mercado (estabilización física y/o química), que pueden mejorar su graduación, textura o plasticidad. Igualmente, el estabilizante puede actuar como ligante para la cementación del suelo. El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto se lograrán tres objetivos importantes: adecuada estabilidad ante las cargas, durabilidad de la capa y una variación volumétrica mínima. (p.10).	La estabilización de suelos debe cumplir ciertos requisitos para el asfaltado de vías se registró mediante fichas de control a través de sus dimensiones e indicadores: ESTABILIZACIÓN MECANICA Graduación del suelo existente ESTABILIZACIÓN CON ADITIVOS Porcentaje de aditivos	Estabilización mecánica	Graduación de suelos existentes (GSE)	$GSE = \frac{GSR}{GSE} \times 100$ GSR: Graduación de suelos registrada GSE: Graduación de suelos establecida	RAZÓN
¿Cómo la aplicación de la geomallas triaxiales mejorará la estabilización con aditivos de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2016?	Determinar como la aplicación de la geomallas triaxiales mejorará la estabilización con aditivos de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo - 2016	La aplicación de la geomallas triaxiales mejora la estabilización con aditivos de suelos blandos en la Avenida Trapiche Chillón, Carabayllo -2016		Estabilización con aditivos	Porcentaje de aditivos (PA)	$PA = \frac{PAR}{PAE} \times 100$ PAU: Porcentaje de aditivos registrados PAE: Porcentaje de aditivos planificados	RAZÓN		

ANEXO N° 2: Panel Fotográfico.



Zona de trabajo (Elaboración propia).



Av. Trapiche (Elaboración propia).



Excavación calicata 01 (Elaboración propia)



Calicata 01 (Elaboración propia)



Calicata 02 (Elaboración propia)



Excavación calicata (Elaboración propia)

Corte de terreno de fundación.



(Elaboración propia)

Nivelación de la S.B.



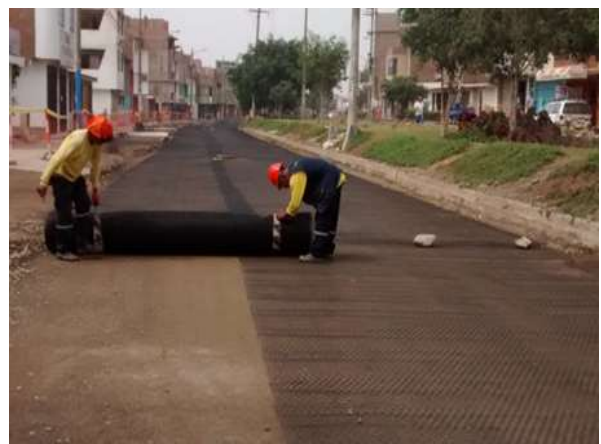
(Elaboración propia)

Compactación de la S.B.



(Elaboración propia)

Instalación de la geomalla.



(Elaboración propia)

Colocación B.G.



(Elaboración propia)

Nivelación de B.G.



(Elaboración propia)