UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Mejoramiento de la Subrasante empleando geomalla en un suelo arcilloso en el km 03+860 de la carretera Santa Clara – Maynas - Loreto

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Molleapaza Romero, Yoselyn Violeta	0000-0001-5269-6669
Leon Laurente, David Saul	0000-0001-7062-3009

ASESOR(ES)

Trejo Noreño, Pablo Cesar	0000-0001-5225-7340

Lima, 12 de noviembre de 2023

DEDICATORIA

Mi tesis está dedicado a Dios y a mi familia que me brindaron su apoyo incondicional para lograr culminar la carrera. A mi madre por alentarme a seguir continuando y no rendirme en los obstáculos que se me cruzaron, me aconsejo y me apoyo cuando más lo necesite. A mi padre por su apoyo económico, por hacer posible la culminación de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme fuerzas y sabiduría para continuar con mi carrera.

A la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por ser mi casa de estudio.

A mis docentes de clase, por su apoyo en explicarme temas que no entendía en su debido momento.

Al Ing. Trejo Noreña Pablo, asesor de mi tesis, por su gran apoyo para culminar la tesis.

A mis padres, por su apoyo económico y emocional que me acompañaron en toda la trayectoria.

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo incrementar la capacidad portante de la estructura del pavimento usando Geomalla NX850-FG, se consideró como muestra de estudio el km 03+360 de la carretera Santa Clara de la provincia de Maynas en el departamento de Loreto. Esta problemática se elaboró para mejorar los terrenos de fundación de baja capacidad en tramos donde las características físicas de este requieran de mejoramientos, a causa de la baja resistencia del suelo arcilloso, siendo esto un mayor problema para la comunidad y para los usuarios en general.

Este estudio consistió en la aplicación de la metodología de diseño AASHTO 93 en estado natural y el uso del software Tensar con la aplicación de la geomalla para determinar el diseño de la estructura del pavimento, con la finalidad de garantizar un mejoramiento adecuado.

De los resultados se obtuvo un incremento de la capacidad soporte de la subrasante y un espesor de la capa estructural adecuado en comparación a los resultados en estado natural, donde el espesor de tal mejoramiento fue de 19cm con un CBR al 1%, adicionando que empleando este material se optimiza el tiempo de ejecución, reducción en costo y mano de obra.

Palabras clave**:** Geomalla, Pavimento flexible, CBR, Metodología de diseño

Improvement of the Subgrade using geogrid in clay soil at km 03+860 of the Santa Clara – Maynas – Loreto

ABSTRACT

The objective of this thesis is to increase the bearing capacity of the pavement structure using Geogrid NX850-FG, km 03+360 of the Santa Clara highway in the province of Maynas in the department of Loreto was considered as a study sample. This problem was developed to improve the low-capacity foundation lands in sections where the physical characteristics of the soil require improvements, due to the low resistance of the clay soil, this being a major problem for the community and for users in general.

This study consisted of the application of the AASHTO 93 design methodology in its natural state and the use of the Tensar software with the application of the geogrid to determine the design of the pavement structure, in order to ensure adequate improvement.

From the results, an increase in the support capacity of the subgrade and an adequate thickness of the structural layer was obtained compared to the results in the natural state, where the thickness of such improvement was 19cm with a CBR at 1%, adding that using this material optimizes the execution time, reduction in cost and labor.

Keywords**:** Geogrid, Flexible Pavement, CBR, Design Methodology

u201614609_Yoselin Violeta Molleapaza Romero_Mejoramiento de la Subrasante empleando geomalla en un suelo arcilloso en el km 03+360 de la carretera Santa Clara – Maynas - Loreto

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%	22%	6%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.perulicitaciones.com Fuente de Internet	4%
2	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS ..... **VIII**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **IX**

INTRODUCCIÓN **10**

MARCO TEORICO **18**

2.1 TIPOS DE SUELOS 18

2.2 MEJORAMIENTO DE SUELO 18

METODOLOGÍA **21**

DESARROLLO DE LA TESIS **23**

4.1 ANÁLISIS DE MECÁNICA DE SUELOS 23

4.2 ANÁLISIS DE TRAFICO 29

4.3 DISEÑO DE PAVIMENTO 31

4.3.1 Cálculo de los Ejes Equivalentes ESAL´S (W18) 32

4.3.2 Confiabilidad (R%) 32

4.3.3 Desviación Estándar (Zr) 32

4.3.4 Error Estándar Combinado (So) 32

4.3.5 Serviciabilidad (Δ PSI) 32

4.3.6 Modulo Resiliente (Mr) 33

4.4 SISTEMA SPECTRA 35

4.4.1 Mejoramiento de la Subrasante con Sistema TENSAR 36

ANÁLISIS DE RESULTADOS **39**

CONCLUSIONES **41**

RECOMENDACIONES **42**

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS **43**

ANEXOS **45**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 20
Tabla 2 24
Tabla 3 26
Tabla 4 26
Tabla 5 27
Tabla 6 27
Tabla 7 30
Tabla 8 31
Tabla 9 34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 11
Figura 2 12
Figura 3 14
Figura 4 18
Figura 5 19
Figura 6 22
Figura 7 28
Figura 8 29
Figura 9 37
Figura 10 37
Figura 11 38
Figura 12 39
Figura 13 39

INTRODUCCIÓN

El Problema

Leonardi et al. (2020) señalaron que en el mundo presentan alrededor de 80% al 85% de red vial, lo cual una gran parte de la infraestructura no está pavimentada a consecuencia presenta una subrasante inadecuada, esto hace que surjan desafíos durante la construcción de las carreteras. Las carreteras sin pavimentar son problema mayor para los residentes rurales, contribuyendo el acceso y la movilización básico. La mayoría de los países se han construido sobre los suelos de cimentación pobres, a consecuencia ocurrieron grandes deformaciones y problemas de mantenimiento.

RajeshKumar et al. (2022) indicaron que el mantenimiento en las carreteras juega un rol de elevados costos, para prevenir el mantenimiento y mejorar las vías se requiere una solución útil como en los casos el uso de los geosintéticos. Los ingenieros están aplicando en varias partes del mundo los geosintéticos para brindar un mejor soporte en la pavimentación.

En la actualidad, un problema muy habitual en la construcción de accesos y plataformas, ocurre en la ciudad de Loreto, por presencia de suelos arcillosos como parte de la subrasante. También, se añade que muchas veces estos proyectos se encuentran en zonas donde la precipitación es fuerte o materiales de mala calidad no son favorables para el mejoramiento del terreno, de modo que esto dificulta los tiempos de ejecución y se elevan los costos en la obra. También, resaltan que la ciudad presenta mayor índice en las construcciones de pavimentos con problemas de subrasante, este comportamiento se debe a que la ciudad presenta en su mayoría suelos inestables, es decir, en tramos en los que se va ejecutar mayormente el suelo muy inestable y requiere de mejoramiento de acuerdo a Valverde y Ballena (2017).

Manual de diseño con geosintéticos (2009) presentaron que las técnicas usuales en la construcción muestran nuevos desafíos a los ejecutores en las obras viales y a los que realizan los expedientes técnicos, dado que se evidencian fluctuaciones en los materiales y su disponibilidad. Por ello, hoy en día el uso de los geosintéticos, entre ellos la geomalla, que nos brinda una mayor eficiencia en los recursos de los proyectos.

Farias y Portales (2021) afirmaron que los espesores que contemplan la estructura del pavimento, son de espesores mayores. Esto se debe, a que el terreno requiera de mejoramientos en su mayoría, debido a que la capacidad portante es baja en varios tramos, por ende, en los diseños de pavimento los resultados son de espesores mayores y esto

conlleva un costo elevado, también teniendo en cuenta el factor climatológico desfavorable. Por esa razón, se deben implementar las geomallas multiaxiales que van colocadas entre capas estructurales del pavimento o plataformas, este produce grandes beneficios de manera que incrementa el módulo del material granular y mejora la capacidad portante del suelo. Finalmente, este facilita las operaciones en las construcciones, donde se optimiza tiempos y costos.

El área de estudio da origen en el cruce de la Avenida José A. Quiñones/Ca. Camelias, ingresando por la calle Las Camelias hasta el Centro Poblado de Santa Clara de nanay, distrito de San Juan Bautista, Provincia de Maynas, Departamento de Loreto.

Figura 1

Pésimo estado de la Carretera Santa Clara-Maynas-Loreto

Nota. La figura muestra el estado en que se encuentra la carretera Santa Clara-Maynas-Loreto. De "La Carretera a Santa Clara se encuentra en pésimo estado" ¿Hasta la fecha seguimos esperando el pronunciamiento del señor alcalde Francisco Sanjurjo Dávila?, mediante la publicación el diario, la Región, 2016 (https://diariolaregion.com/la-carretera-a-santa-clara-en-pesimo-estado-hasta-cuando-senor-alcalde-francisco-sanjurjo-davila/).

La presencia de suelos arcillosos en el tramo de la carretera Santa Clara – Maynas – Departamento Loreto, no son adecuados para el uso en la construcción e infraestructura vial. Pues, no tiene una apropiada firmeza para la construcción de carreteras, por su tamaño de grano, capacidad de carga, no permite cumplir con los estándares adecuados para su uso. La pluviosidad de la zona y la cercanía a los ríos ha generado en mucho de los casos problemas

viales entre comunidades, donde los factores a tener en cuenta que producen las fallas son: diseño estructural pobre, fallas constructivas, sistema de drenaje ineficiente en las precipitaciones, cambios climatológicos y cargas vehiculares. Tal situación hace que se realice mantenimiento constantemente a la carretera, generando costos elevados (Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2019).

Figura 2

Provincia de Maynas-Distrito de San Juan Bautista-Loreto

Nota. La figura muestra a provincia de Maynas-Departamento de Loreto. De "La Dirección General de Agricultura mediante el Servicio de Extensionismo Agrícola coopera donando y sembrando alevinos de "gamitana" en las comunidades rurales del distrito de San Juan Bautista en la provincia de Maynas ubicado en el departamento de Loreto", por el Ministerio de la Producción, 2021 (https://rnia.produce.gob.pe/direccion-general-de-acuicultura-a-traves-del-servicio-de-extensionismo-acuicola-participa-en-la-entrega-y-siembra-de-alevinos-de-gamitana-a-comunidades-rurales-del-distrito-de-san-j/)

De acuerdo a los estudios realizados la temperatura media anual es superior a los 28°C; la temperatura máxima absoluta supera los 36°C, fenómeno relacionado con el viento fluvial que sopla desde el río Amazonas y se disipa la alta temperatura diaria. La precipitación anual siempre es mayor a 3000 mm, pero no mayor a 5,000 mm; hay meses con menos de 100 mm

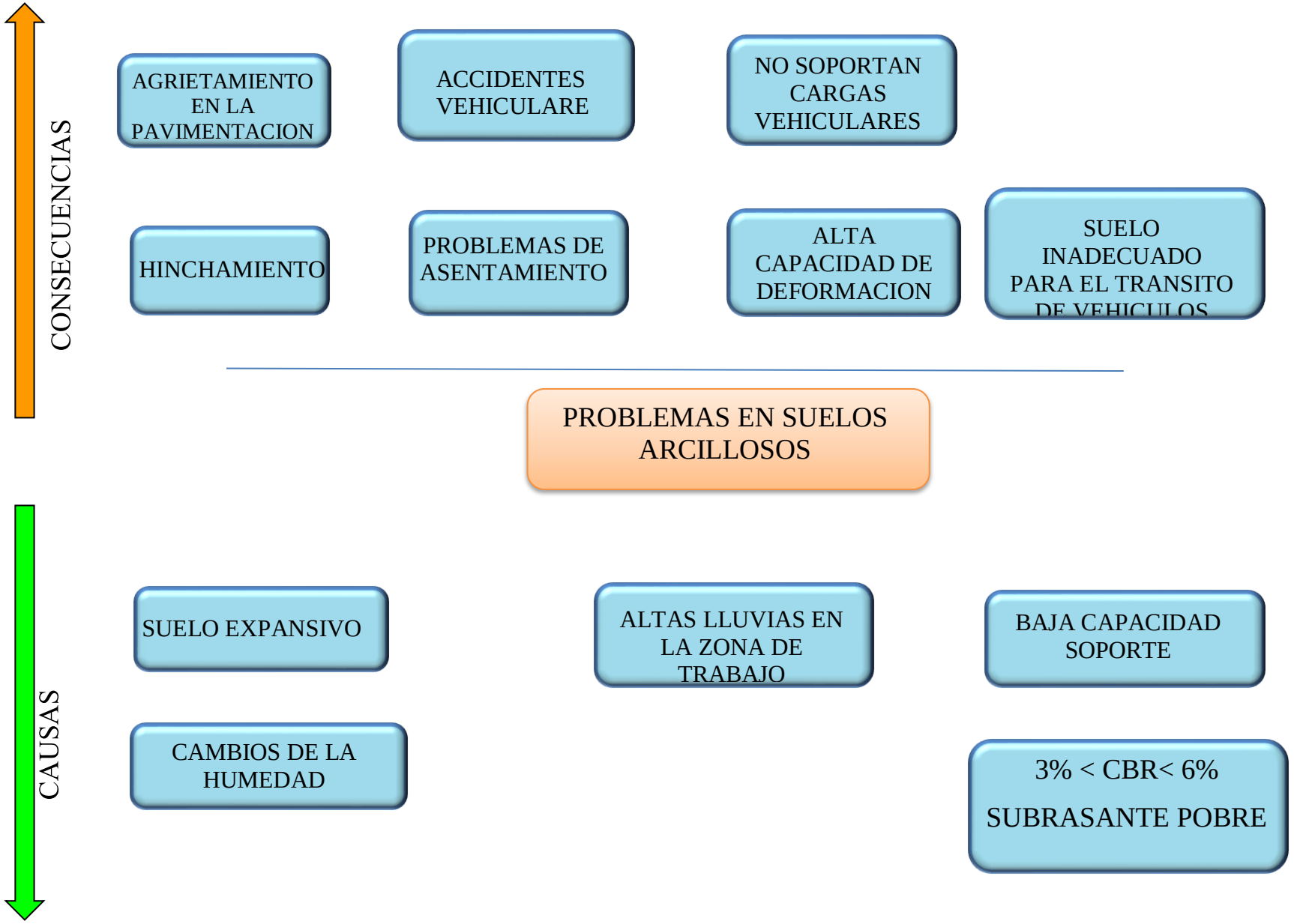
de lluvia, los meses con menos lluvia son de agosto a noviembre, y los meses con más lluvia son de abril a junio. Por otra parte, esto muestra que la humedad atmosférica es alta durante el año, debido a la disipación del agua y los pantanos que tiene la región, así como a la evapotranspiración de las plantas (SENAMHI - Loreto, 2020).

¿Cómo influye la Geomalla en el mejoramiento de suelos arcillosos a nivel de subrasante en el tramo de la carretera Santa Clara, Distrito de San Juan Bautista – Maynas – Loreto?

De acuerdo a la Figura 3 se presenta las causas y consecuencias que tiene un suelo arcilloso, una de las causas importantes es la baja capacidad de soporte que como consecuencia conlleva a un suelo pobre e inadecuado, es decir no soporta las cargas vehiculares por su alta capacidad de deformación.

Figura

Árbol de problema



Estado del Arte

Mundialmente se realizaron estudios de los suelos arcillosos de diferentes países implementando geosintéticos en la subrasante para el mejoramiento de la pavimentación. Según Tiwari y Satyam (2022) examinaron el suelo expansivo de la carretera utilizando la fibra polipropileno y geomalla para fortalecer la subrasante reduciendo las fallas del pavimento. También, se evaluó el producto compuesto que posee la fibra de polipropileno y refuerzo de geomalla para estabilizar la subrasante de la vía. De los cuales se realizaron pruebas de resistencia mecánica, resistencia a la compresión y la evaluación del corte directo en la subrasante. Como resultado se obtuvo que, se utilizaron la fibra de polipropileno y geomalla de una capa, el valor aumento a 177% de resistencia al corte. Además, se verificó que la compresión aumenta entre 3.8 y 139.6%. Los autores concluyeron que la mezcla combinada es eficaz porque regenera las propiedades de las subrasantes expansivas.

RajeshKumar et al. (2022) estudiaron los efectos del uso de geosintético para mejorar la calidad del pavimento. Donde los geosintéticos actúan como refuerzo y mejoran el rendimiento del terreno de fundación donde el volumen del portante es bajo. De acuerdo a la investigación, al usar geosintéticos se obtuvo un mayor valor de California Bearning Ratio (CBR) y una mejor selección de materiales para obtener mejores resultados y adecuada economía.

Lo anterior demuestra el incremento del CBR implementando geosintéticos, y en esta investigación realizada por Mittal y Shukla (2020) evaluaron el efecto de la geomalla con respecto a la resistencia y el espesor de los pavimentos, donde presentaron un desempeño fundamental en las propiedades de la subrasante del suelo, dado que sirve como como soporte del pavimento, esto pasa cuando los suelos son pobres y requieren de mejoramientos. El refuerzo con geomallas en los suelos inestables cumple un rol importante en el aumento de su capacidad portante y la disminución del espesor de dicho diseño, dando como resultado un factor de reducción en tiempo - costo. Los autores concluyeron que el refuerzo de la geomalla aumenta significativamente el valor del CBR y reduce notoriamente el relleno para el mejoramiento.

De Farias y Portales (2021) verificaron los resultados para saber las consecuencias técnicas y económicas que causan el uso de geosintéticos ante plataformas y accesos, se utilizó la guías de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) para la selección de los geotextiles y geomallas, utilizando el método empírico racional se pudo calcular la influencia

de los materiales en la estructura del pavimiento, en conclusión se obtuvo que para mantener la estabilización de la subrasante, es la utilización de geomallas porque reduce los espesores de las vías y reduce costos.

Mera (2017) propuso aplicar el desarrollo de la geomalla en las localidades de Santa Cruz y Bellavista de una carretera no pavimentada. La exploración de campo y ensayos ingenieriles, determinaron a lo largo de la aplicación de 2.846 Km de la carretera, estudios preliminares sin la aplicación de la geomalla, donde se verificó que este tenga una estructura del pavimento mayor a 30cm. Por otro lado, con la aplicación del geosintético, se verificó que hay una reducción de los espesores de diseño reforzados con geomalla multiaxial que varía entre 5.4% y 39.2% del terreno no reforzado, esto indica que facilita las operaciones de construcción y reducción del material granular, incrementando su capacidad de soporte. Además, se visualizó que el uso de la geomalla multiaxial como refuerzo es aceptable y sustentable, donde el terreno tiene un CBR menor a 2.5 %, indica que necesita de mejoramiento. Por lo tanto, se evalúa este uso, donde la capacidad portante es baja, debido que económicamente no es favorable.

Hipótesis

La utilización de la Geomalla NX850-FG permitirá el mejoramiento de la capacidad portante del terreno en el km 03+360 de la Carretera Santa Clara.

Objetivo General

Obtener un incremento en la subrasante aplicando geomalla NX850-FG en el Km 03+360 de la carretera Santa Clara - Maynas – Loreto.

Objetivos Específicos

- ✓ Identificar las características físicas de la subrasante en el Km 03+360 de la carretera Santa Clara-Maynas.
- ✓ Identificar el valor del CBR de la subrasante en el Km 03+360 donde la capacidad portante es baja.
- ✓ Identificar el grosor de la subbase del terreno natural sin utilizar geomalla NX850 - FG
- ✓ Determinar el espesor de la subbase usando geomalla NX850-FG.

Limitaciones del proyecto

- ✓ El estudio tendrá como límite de espacio el Km 03+360 de la carretera Santa Clara–Maynas, ubicado en el departamento de Loreto por temas de recursos.
- ✓ Solo se empleará el material Geomalla NX850-FG para mejorar el suelo arcilloso a nivel subrasante y de este modo mejorar el CBR, donde reduce el espesor del mejoramiento de la estructura del pavimento.

MARCO TEORICO

2.1 **Tipos de suelos**

Manual de diseño con geosintéticos (2009) proporciona las características de los suelos, donde se clasifican según su comportamiento en consecuencias de los ensayos de granulometría y plasticidad e índice de grupo. Para la figura 04 se presentará que correlación tienen los tipos de suelo según AASHTO y SUCS, entre los cuales podremos definir el suelo que se va a trabajar.

Figura 4

Correlación de tipos de suelos AASHTO – SUCS

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

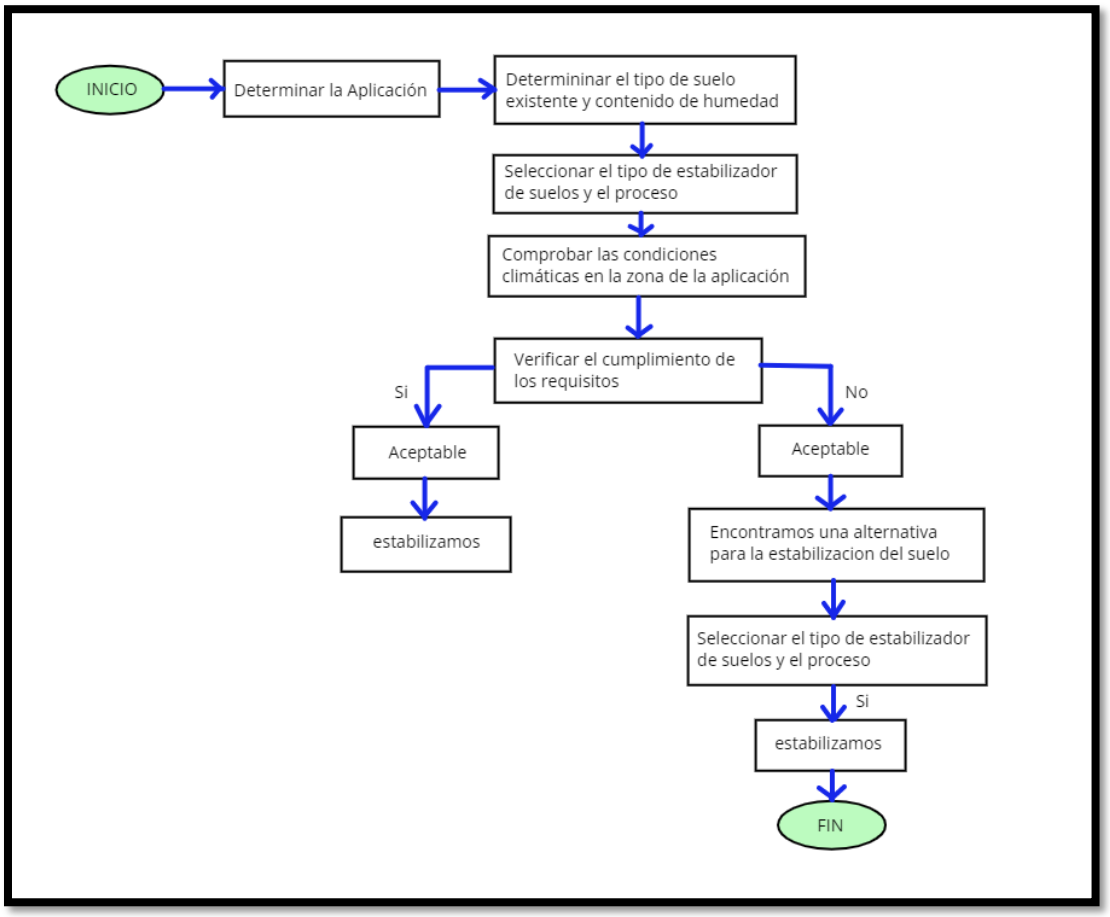
Nota. La imagen presenta la simbología de la clasificación AASHTO y SUCS adaptado por el manual de carreteras (2014).

2.2 **Mejoramiento de Suelo**

Manual de carreteras (2014), establece el mejoramiento de propiedades de una serie de métodos físicos y químicos para incrementar el mejoramiento del terreno de fundación y así lograr un uso adecuado. Se aplicó este mejoramiento con la finalidad de traspasar un suelo tratado a un espesor definido, donde permite mejorar las propiedades y reducir las capas en la estructura del asfalto. La figura 5 nos presenta los problemas ingenieriles que debemos tomar en cuanta, cuando el suelo no cumple con la clasificación adecuada del diseño ingenieril establecido, requiere de mejoramiento para contemplar un suelo de fundación dentro de los parámetros establecidos en el diseñode fundación.

Figura 5

Procedimiento de mejoramiento del terreno



Nota. La figura presenta el desarrollo de paso a paso de la aplicación del mejoramiento de un terreno. Adaptado de "Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos sección suelos y pavimentos", por Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014 (https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)

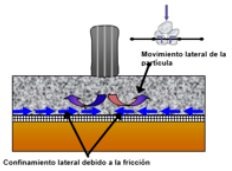
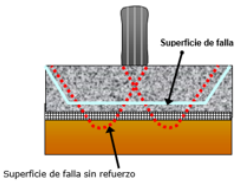
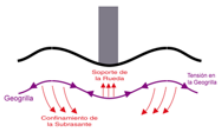
Aplicación de Geosintéticos

Manual de diseño con geosintéticos (2009), establece la aplicación de los geosintéticos, incluida las geomallas, donde su uso hace más eficiente a los proyectos, el cual significativamente va incrementando el conocimiento efectivo de flujos en el trabajo de los materiales y los beneficios que se obtienen en una determinada situación. La ubicación de un geosintético en medio de capas estructurales que tiene el pavimento, produce un aumento de la capacidad portante del terreno. En la tabla 01, se identifica los tres mecanismos de refuerzos, en el cual reduce el espesor de los mejoramientos de los suelos, distribuye las

cargas aplicadas en un área mayor, facilita las operaciones en la construcción y controla los asentamientos diferenciales.

Tabla 1

Cuadro de Mecanismos de Refuerzo en Geomallas

GEOSINTÉTICO	MECANISMO DE REFUERZO	DESCRIPCIÓN	PRESENTACIÓN
GEOMALLA	Confinamiento Lateral	Este mecanismo se logra a través de la trabazón de las particulas granulares con el refuerzo. Las geomallas aumentan el módulo de la capa reforzada al confinar las particulas e impedir su movimiento natural ante la aplicación de las cargas vehiculares.	
	Mejoramiento de la Capacidad Portante del Terreno Natural	La rigidez de la geomalla permite distribuir las cargas aplicadas en una mayor área disminuyendo los esfuerzos cortantes y verticales en el terreno natural blando.	
	Efecto de 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.	

Nota. El cuadro presente muestra la definición de los refuerzos principales en geomallas. Adaptado de “Manual de Diseño con Geosinteticos”, por Geosistemas Pavco, 2009 (https://es.slideshare.net/castilloaroni/manual-de-diseo-con-geosintticos)

METODOLOGÍA

- **Nivel de Investigación**

  El presente estudio tiene un nivel de investigación explicativa, donde se analizará el comportamiento de los estudios ingenieriles para el estudio del terreno de fundación.

- **Diseño de Investigación**

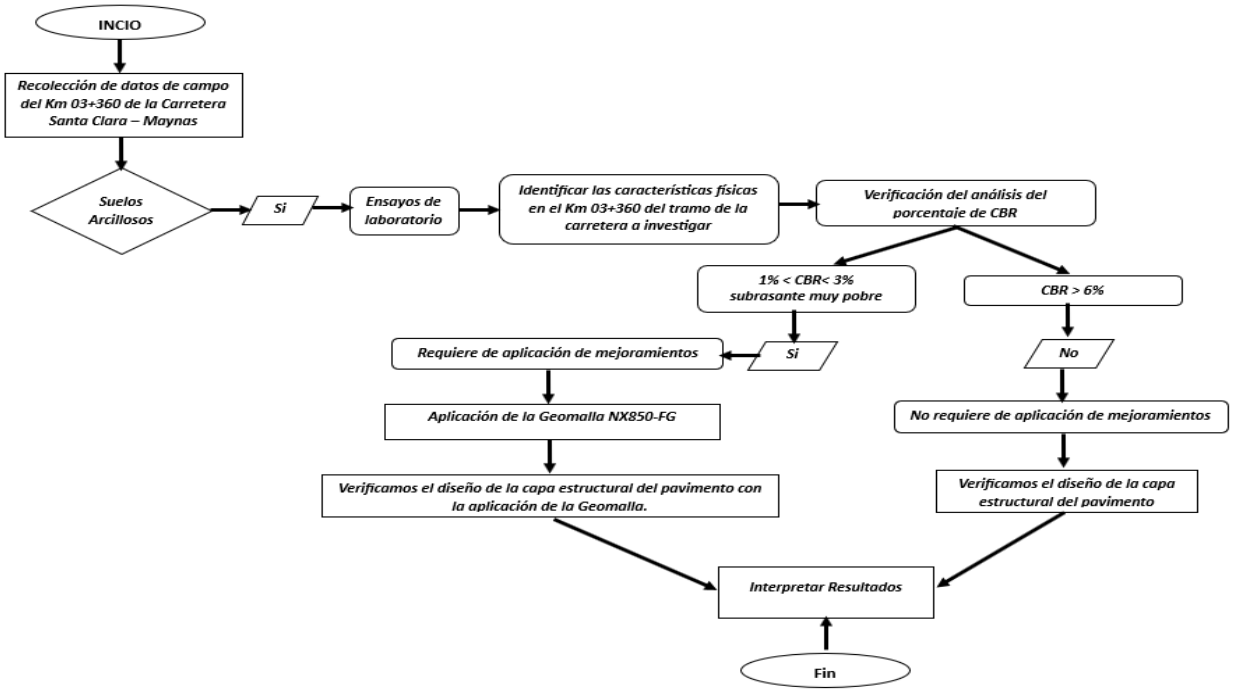
  Esta investigación tiene un diseño experimental, donde se realizaron ensayos ingenieriles y mediante el uso de software, para incrementar la capacidad soporte del terreno implementando geomalla multiaxial; de esta manera reducir el espesor de la estructura.

- **Procedimiento**

  - ✓ Realizar la recopilación de datos del expediente de la Carretera Santa Clara – Maynas – Loreto.
  - ✓ Revisión de la información de la exploración geotécnica y laboratorio.
  - ✓ Analizar los ensayos ingenieriles que conforman la clasificación de los suelos para seleccionar si requiere de mejoramiento en dicho tramo de la Carretera Santa Clara – Maynas.
  - ✓ Cuando analizamos las clasificaciones del suelo mediante SUCS y AASHTO, verificamos que el suelo requiere de mejoramiento en el Km 03+860 de la carretera Santa Clara.
  - ✓ Analizar los resultados de los ensayos ingenieriles de Proctor modificado y CBR del Km 03+860.
  - ✓ Se analizará el espesor de la estructuración del diseño de pavimento que se diseñó sin aplicación de la geomalla multiaxial.
  - ✓ Luego se realizará la aplicación geomalla multiaxial para identificar el grosor de la estructura del pavimento.
  - ✓ Interpretar el resultado obtenido luego de haber implementado la geomalla multiaxial y dar conclusiones de diferentes aplicaciones y beneficios de la utilización del material geosintético en suelos arcillosos de baja capacidad portante.

Figura 6

Procedimiento del mejoramiento de la subrasante



Nota. El flujograma muestra el procedimiento ingenieril del mejoramiento del suelo de baja capacidad portante.

DESARROLLO DE LA TESIS

El presente estudio se encuentra ubicado en la Comunidad de Santa Clara, zona urbana del Distrito San Juan Bautista en el Departamento de Loreto, Provincia de Maynas. De acuerdo al reporte obtenido en el CENSO 2017 resumida por el sitio web del INEI, la comunidad cuenta con 4,746 habitantes, de las cuales 2,448 son hombres y 2,298 mujeres, distribuidos en 1,113 viviendas. El pueblo cuenta con servicios básicos como electricidad, iluminación pública, aseo público, agua purificada y un sistema de drenaje que está en el tramo final de las obras que viene ejecutando el Municipio de San Juan Bautista.

La carretera Santa Clara de acuerdo a la red vial se clasifica red vial del sistema vecinal, de acuerdo a su demanda es clasificada como carretera de primera clase y por sus condiciones orográficas está clasificada como carretera de Tipo 1.

El trazo en la carretera de Santa Clara se consideran cinco (05) tramos; el primero está ubicado en el sector urbano entre las progresivas 0+000 a la 0+937.48 con una velocidad directriz de 40 Km/h; el segundo tramo entre las progresivas 0+937.48 a la 2+807.12 ubicado en zona rural y parte en zona urbana con velocidades directrices de 60 Km/h y 40 Km/h, el tercer tramo entre las progresivas 2+807.12 a la 3+619.21 ubicado en zona urbana con velocidad directriz de 30 km/h, el cuarto tramo se ubica entre las progresivas 3+619.21 a la 6+629.65 en zona rural con velocidad directriz de 60 Km/h y el último tramo está entre las progresivas 6+629.65 a la 7+168.64 ubicada en zona urbana, con una velocidad directriz de 30 km/h.

La recopilación que se realizó en el terreno, determinándose las características físicas del suelo; identificando el problema del suelo se realizaron la excavación de la carretera de un total de 148 calicatas y 44 Ensayo de Penetración (SPT). Los ensayos tienen como objetivo analizar las muestras de los ensayos ingenieriles de las muestras alteradas, con la finalidad de lograr clasificar al suelo.

En base a la recopilación de datos, se realizará el estudio a la Calicata 73 (C-73) que se encuentra en el KM 3+860, dado que presenta un CBR de 0.95%; con la obtención de la muestra se van a definir las características físicas de la muestra extraída.

4.1 Análisis de Mecánica de Suelos

Se realizo el ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D422 – MTC E107) de la C-73, como se muestra en la Tabla 2, se obtuvieron datos numéricos de los porcentajes

que pasan por las mallas, se comprende que el material pasante del tamiz N.º 200 el porcentaje retenido es de 97.80%. Según la Clasificación de SUCS (>50%) la muestra se clasifica como un suelo fino. Así mismo, se verificó el ensayo de determinación de Contenido de humedad (ASTM D2216), lo cual se concluye que la humedad del suelo es de 37.38 % respecto al suelo seco del mismo.

Tabla 2

Tabla Granulométrica de la muestra de suelo C-73.

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76.000				
2 1/2"	63.300				
2"	50.600				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
Nº4	4.760				100.00
Nº8	2.380	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº16	1.190	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº20	0.840	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº30	0.590	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº40	0.420	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº50	0.297	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº80	0.177	0.00	0.00	0.00	100.00

Nº100	0.149	1.45	0.70	0.70	99.30
Nº200	0.074	3.10	1.50	2.20	97.80
Pasa Nº200		202.55	97.80		

Nota. Representación numérica, del porcentaje de suelo, que pasa por cada diámetro en las aberturas de los tamices de acuerdo a la norma ASTM D422 y el MTC E107. Adaptado de "Mejoramiento de la vía vecinal en el tramo quistococha - santo tomas, distrito de san juan bautista - maynas – loreto", por Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2022 (https://www.perulicitaciones.com/elaboracion-del-expediente-tecnico-del-proyecto-mejoramiento-de-la-via-vecinal-en-el-tramo-quistococha-santo-tomas-distrito-de-san-juan-bautista-maynas-loreto-elaboraci%EF%BF%BDn-lct347765.html)

En la Tabla 3 indica la relación de muestra de suelo retenido en los tamices indicados en la Curva Granulométrica, definiendo el porcentaje de Gravas, Arenas y Finos. Por otro lado, de acuerdo a la Tabla 4, se puede determinar el comportamiento natural del suelo. Analizando las propiedades físicas de la muestra extraída C-73, se determinaron que la muestra del suelo con las dos metodologías indicadas, se precisa que el suelo es Arcilla inorgánica de color amarillo, de acuerdo a la simbología CH A-7-6 (19). Así mismo el índice de grupo IG, con respecto a su resultado de índice de consistencia y porcentaje de material pasante el tamiz N°200 del suelo, se concluye 19. Se clasifica a la muestra de acuerdo al material limo arcilloso como un suelo malo.

Tabla 3

Porcentaje del suelo presente de acuerdo a su composición física.

Humedad Natural		
Sh + Tara	:	745.55
Ss + Tara	:	542.69
Tara	:	0.00
Peso Agua	:	202.86
Peso Suelo Seco	:	542.69
Humedad (%)	:	37.38

Nota. Los datos recopilados para la determinación de su composición física. Adaptado de "Mejoramiento de la vía vecinal en el tramo quistococha - santo tomas, distrito de san juan bautista - maynas – loreto", por Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2022 (https://www.perulicitaciones.com/elaboracion-del-expediente-tecnico-del-proyecto-mejoramiento-de-la-via-vecinal-en-el-tramo-quistococha-santo-tomas-distrito-de-san-juan-bautista-maynas-loreto-elaboraci%EF%BF%BDn-lct347765.html)

Tabla 4

Resultado del ensayo de Limite de Consistencia

Observaciones		
L. Líquido	:	55.55
L. Plástico	:	19.31
Ind. Plástico	:	36.23
Clas. SUCS	:	CH
Clas. AASHTO	:	A-7-6 (19)

Nota. Resultados numéricos de porcentaje de humedad de la muestra. Adaptado de "Mejoramiento de la vía vecinal en el tramo quistococha - santo tomas, distrito de san juan bautista - maynas – loreto", por Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2022 (https://www.perulicitaciones.com/elaboracion-del-

expediente-tecnico-del-proyecto-mejoramiento-de-la-via-vecinal-en-el-tramo-quistococha-santo-tomas-distrito-de-san-juan-bautista-maynas-loreto-elaboraci%EF%BF%BDn-lct347765.html)

Luego de haber clasificado al suelo por el sistema AASHTO y SUCS, se verificará el ensayo de Proctor Modificado método A y el CBR. Donde el ensayo Proctor Modificado se necesitará de la muestra su Densidad Seca Máxima (gr/cm3) y Contenido Optimo de Humedad (%). De acuerdo la Tabla 5 y Tabla 6, donde se realizaron 4 pruebas del suelo para obtener un promedio de la muestra. De acuerdo a la Tabla 6, conforme a los ensayos realizados del material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca de 1.777 gr/cm3, para un Optimo contenido de humedad de 16.1%.

Tabla 5

Resultados de Compactación de la muestra C-73

Prueba Nº	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5415	5453	5475	5448
Peso molde (gr.)	3530	3530	3530	3530
Peso suelo compactado (gr.)	1885	1923	1945	1918
Volumen del molde (cm^3)	949	949	949	949
Densidad húmeda (gr/cm^3)	1.987	2.027	2.050	2.022

Nota. Resultados numéricos de Densidad húmeda (gr/cm3). Adaptado de "Mejoramiento de la vía vecinal en el tramo quistococha - santo tomas, distrito de san juan bautista - maynas – loreto", por Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2022 (https://www.perulicitaciones.com/elaboracion-del-expediente-tecnico-del-proyecto-mejoramiento-de-la-via-vecinal-en-el-tramo-quistococha-santo-tomas-distrito-de-san-juan-bautista-maynas-loreto-elaboraci%EF%BF%BDn-lct347765.html)

Tabla 6

Resultados de Contenido de humedad de la muestra C-73.

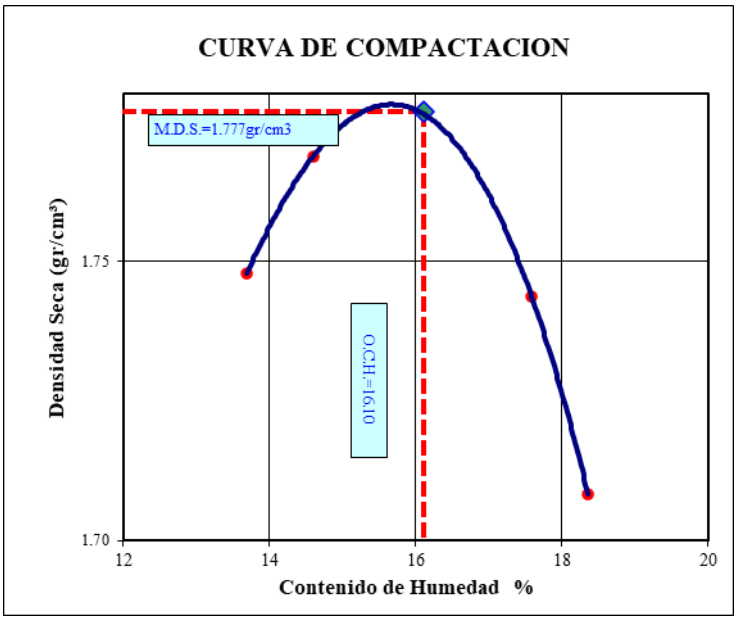
Tara Nº	1	1	2	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	70.35	52.60	79.35	77.90
Tara + suelo seco (gr.)	65.60	49.80	72.05	70.60
Peso de agua (gr.)	4.75	2.80	7.30	7.30
Peso de tara (gr.)	30.90	30.62	30.54	30.83
Peso de suelo seco (gr.)	34.70	19.18	41.51	39.77
Humedad (%)	**13.69**	**14.60**	**17.59**	**18.36**
Densidad Seca (gr/cm^3)	**1.748**	**1.769**	**1.744**	**1.708**

Nota. Resultados numéricos de Contenido Optimo de Humedad (%). Adaptado de "Mejoramiento de la vía vecinal en el tramo quistococha - santo tomas, distrito de san juan bautista - maynas – loreto", por Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2022 (https://www.perulicitaciones.com/elaboracion-del-expediente-tecnico-del-proyecto-mejoramiento-de-la-via-vecinal-en-el-tramo-quistococha-santo-tomas-distrito-de-san-juan-bautista-maynas-loreto-elaboraci%EF%BF%BDn-lct347765.html)

Para hallar la valoración referente al soporte de ensayo en la Penetración CBR de acuerdo a la norma ASTM D-1883 se realizó con el espécimen de porcentaje óptimo de humedad lo cual fue calculada en el Proctor Modificado. Para el ensayo de expansión, los moldes fueron sumergidos al agua durante días, se obtuvo como resultado un promedio de 1.98% de expansión. De acuerdo a la Figura 7, se presenta la curva de CBR de la muestra del suelo, donde se aprecia que presenta un CBR de 0.95%, por ende, es un suelo inestable

Figura 7

Curva de Compactación de la muestra C-73.



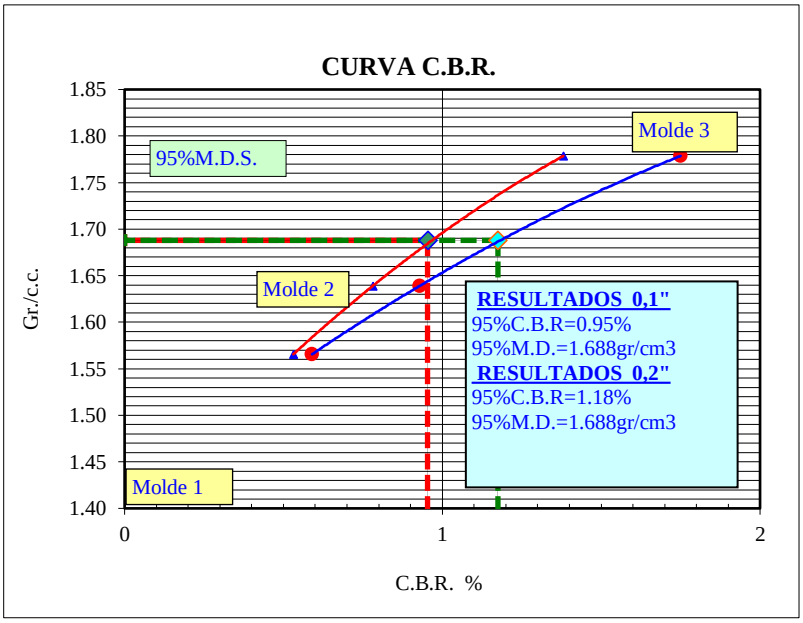
Nota. Resultados numéricos de la Densidad seca máxima – Humedad. Adaptado de "Mejoramiento de la vía vecinal en el tramo quistococha - santo tomas, distrito de san juan bautista - maynas – loreto", por Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2022 (https://www.perulicitaciones.com/elaboracion-del-expediente-tecnico-del-proyecto-mejoramiento-de-la-via-vecinal-en-el-tramo-quistococha-santo-tomas-distrito-de-san-juan-bautista-maynas-loreto-elaboraci%EF%BF%BDn-lct347765.html)

Luego de obtener los resultados de CBR, calculamos que el grosor que tiene la estructura en el material de mejoramiento sobre la geomalla multiaxial, lo cual para el estudio de

investigación se han considerado como CBR de diseño de la subrasante de 1%. Así mismo, se aplicará un coeficiente de C.B.R, del material de mejoramiento o relleno, mayor a 20.00%.

Figura 8

Curva de CBR de la muestra C-73.



Nota. Resultados numéricos de CBR de 0.1" y 0.2" al 95%. Adaptado de "Mejoramiento de la vía vecinal en el tramo quistococha - santo tomas, distrito de san juan bautista - maynas – loreto", por Municipalidad Distrital de San Juan Bautista, 2022 (https://www.perulicitaciones.com/elaboracion-del-expediente-tecnico-del-proyecto-mejoramiento-de-la-via-vecinal-en-el-tramo-quistococha-santo-tomas-distrito-de-san-juan-bautista-maynas-loreto-elaboraci%EF%BF%BDn-lct347765.html)

4.2 Análisis de Trafico

En el tráfico proyectado, se consideró lo siguiente:

a) El año base corresponde al de la toma de mediciones (Año 213).

b) Aprobación del estudio culminará en el año 2013 y se iniciará el proceso de licitación de la obra estimándose su construcción el año 2013 al 2033.

c) La carretera se pone en servicio en el año 2017.

El tráfico de diseño esperado se calculó siguiendo las recomendaciones de la Guía de Diseño AASHT0-93, en base al aforo vehicular efectuado por el Estudio del Tráfico.

Se ha calculado los ejes semejantes (ESAL) en cada una de las estaciones de control:

Tabla 7

Datos empleados en el diseño

Propiedad	Valor
Carga Axial	80 KN
Presión de Llanta	550kPa
Prof. Máx. ahuellamiento	40mm
CBR Subrasante	1.0%/2%
CBR material de mejoramiento	20.00%
N° de ejes pasantes de 8.2ton	10,000.00

Nota. Se muestra los datos que se emplearan para el diseño.

- **Carga axial:** 80 kN, (ESAL).
- **Presión de inflado de llanta:** 550 kPa.
- **Prof. Máx. de ahuellamiento:** 40mm es lo que normalmente requiere una plataforma de mejoramiento para conservar su serviciabilidad.
- **Nº de ejes pasantes:** Corresponde al tránsito en la etapa de construcción y que va a ser soportado por la subrasante blanda hasta el término de la plataforma de mejoramiento. De manera conservadora se considerará 10,000.

Parámetros para el cálculo de Numero de Repeticiones:

a. **Factor de distribución direccional:**
   Los tramos corresponden de dos sentidos direccionales, se optó con un factor igual a 0.5.
b. **Factor de distribución de carril:**
   El tramo de la carretera Santa Clara posee una vía en dirección de circulación, que según la norma AASHTO, adopta el factor de distribución carril igual a 1.0.
c. **Factor de ejes equivalentes:**
   Para el tráfico pesado como buses y camiones fueron considerados en el Estudio de Factibilidad para el Mejorar y Construir la Carretera de Santa Clara de Nanay, según lo siguiente:

   - Auto: 0.0001
   - Camioneta PU: 0.0090
   - Bus: 3.9853
   - Camión 2E Ligeros: 2.7022
   - Camión 2E Medios: 2.7022
   - Camión 3E Pesados: 4.1226
   - Camión > 3E / Articulados: 9.3067

d. **Factor de Presión de Neumáticos:**
   El Número de Repeticiones de EE es determina mediante el efecto de la presión de contacto de los neumáticos, se consideró a un factor de 1.00.

e. **Numero de Repeticiones de EE de 8.2t**
   Se calculó, con los factos, el número de Ejes Similares por día para el carril de diseño, donde se aplicó la siguiente ecuación:

EED-carril = IMD (tipo de vehículo) x Factor de carga x Factor presión llantas x Factor Direccional x Factor Carril

De acuerdo a ello, se calculó el Numero de Repeticiones de EE 8.2t con la siguiente ecuación.

Nrep = EED-carril x 365 x [(1+tasa) n-1] / (tasa)

En la Tabla 10, se muestran los resultados de Numero de Repeticiones de EE de 8.2t calculada para el carril de diseño, tomando datos del Manual de Carreteras MTC-14.

Tabla 8

Cálculo de los Numero de Repeticiones de EE.

PARAMETRO	AUTO	CAMIONETA PU	BUS	CAMION 2E - LIGERO	CAMION 2E - MEDIANO	CAMION C3 - C4	CAMION ARTICULADO	TOTAL
TRAFICO 2013	189	260	15	37	3	23	0	527
F. Carga	0.0001	0.0090	3.9853	2.7022	2.7022	4.1226	9.3067	
F. Pres. Llantas	1	1	1	1	1	1	1	
Ejes Equiv. (EE)	0	2	58	99	9	94	0	262
N° de Dirección	2	2	2	2	2	2	2	
F. Carriles x Dirección	1	1	1	1	1	1	1	
F. Direccional	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
F. Carril	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
EE/Dia - Carril	0.009	1.170	29.890	49.991	4.053	47.410	0.000	132.5231
Tasa de Crecimiento	2%	2.00%	1.80%	4.90%	4.90%	4.90%	4.90%	
N° Rep. (2013-2033) - 20 años	3.60E+01	4.67E+03	1.15E+05	2.27E+05	2.10E+04	2.16E+05	0.00E+00	5.84E+05

4.3 Diseño de Pavimento

Para este estudio se empleará la versión de AASHTO 93. Este método llega a determinar un número estructural (SN) que está basado en información experimental requerido por el pavimento para tolerar el volumen del tránsito satisfactoriamente durante el periodo de vida del proyecto. Para este proyecto se consideró un periodo de diseño de 20 años con un mantenimiento periódicamente.

Formula General AASTHO 93

$$Log_{10}(W_{18}) = Zr * So + 9.36 * Log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{Log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * Log_{10}(MR) - 8.07$$

Dónde:

W18: Trafico (Numero de ESAL's).

Zr: Desviación estándar normal.

So: Error estándar combinado de la predicción del Tr.

ΔPSI: Desigualdad entre el índice de serviciabilidad inicial, po, y el índice de serviciabilidad terminal, pt

MR: Módulo Resiliente (psi)

SN: Número estructural indicativo

4.3.1 Cálculo de los Ejes Equivalentes ESAL´S (W18)

ESAL'S (W18) = 584,000.00

4.3.2 Confiabilidad (R%)

R (%) = 80.00%

4.3.3 Desviación Estándar (Zr)

Zr = -0.842

4.3.4 Error Estándar Combinado (So)

Según AASHTO propuesto los siguientes valores para el error estándar combinado

Para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

4.3.5 Serviciabilidad (Δ PSI)

El valor se (Δ PSI) tiene una variación de 0 a 5, donde el grado 5 refleja una deseable comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario, el grado 0 refleja lo peor. Cuando la condición de la vía disminuye por desgaste, el PSI también disminuye.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Según Rango de Trafico:

Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) = 3.8

Índice de Serviciabilidad Final (Pt) = 2.0

Δ PSI = Po – Pt

Δ PSI = 1.80

4.3.6 Modulo Resiliente (Mr)

Medida de rigidez que posee el suelo de la sub rasante, es calculado usando el ensayo de resiliencia determinado según recomendaciones de AASHTO.

CBR = 1 %

Mr = 2555.00 PSI

Se determinará el Numero Estructural (SN) tanteando la Formula General AASTHO 93

$$Log_{10}(W_{18}) - Zr * So + 0.20 + 8.07 = 14.415 \text{ …… Ecuación (1)}$$

$$9.36 * Log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{Log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.4+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * Log_{10}(MR) = 14.415 \text{ …… Ecuación (2)}$$

Numero Estructural requerido SN= 4.343

SN = a1 x d1 + a2 x d2 x m2 + a3 x d3 x m3

Donde:

SN= Numero estructural

a1,2,3= Coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.

d1,2,3= Espesores (cm) de las capas: superficial, base y subbase.

m2,3 = Coeficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

La ecuación SN no tiene una sola solución, siendo que cuenta con muchas combinaciones de espesores de cada capa que san una solución satisfactoria.

Para el valor de Coeficiente estructural de las capas del Pavimento ai, para la Capa Superficial (a1) se consideró un valor 0.17 cm siendo que es recomendado para todo tipo de Trafico, siendo un valor máximo; para la Base (a2) se tomó el valor de 0.052 cm siendo una capa de base recomendada para tráfico menos a 10 000.00 EE; para la Subbase el único valor es de 0.047 cm, recomendado con un CBR mínimo de 40% para todo tipo de tráfico.

Tabla 9

Calidad de Drenaje

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

De acuerdo a la Tabla 11, se consideró los siguientes datos.

m2 = 1.15

m3 = 1

Espesor de la Capa Superficial D1 = 10.00 cm

Espesor de Base D2 = 15.00 cm

Espesor de Subbase D3 = 50.00 cm

- Numero Estructural Requerido SN = 4.343
- Numero Estructural Calculado SN = 5.887

Realizando las comparaciones de ambos SN se da el resultado que **CUMPLE.**

Estructura del Pavimento

		Pulgagas	Cm.
Losa de Cº Asfáltico	e=	0.039	10.00
Base Granular	e=	0.059	15.00
+Subbase granular	e=	0.197	55.00

4.4 SISTEMA SPECTRA

Los autores J.P. Giroud y Jie han desarrollaron y verificaron la metodología empleada por Giroud and Noiray (1981) que tiene como título "Diseño de carreteras sin pavimentar con refuerzo geotextil", esta teoría esta empleada en el reparto de esfuerzos para determinar el empuje vertical sobre la subrasante que es producida por las cargas vehiculares. Con la presión se puede hallar el grosor mínimo de relleno para que la subrasante consiga resisitir a las cargas aplicadas. La ecuación propuesta por Giroud and Noiray es la siguiente.

$$h = \frac{0.868 + C_f \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204\left(\frac{3.48\, CBR_{bc}{}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s}\left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}\right] N_c f_c CBR_{sg}}} - 1\right) r$$

h = Espesor de relleno (m)

J = Módulo de estabilidad de la abertura del refuerzo (Nm/grados)

P = Carga por eje (kN o KIPS)

r = Radio del área de contacto de llanta (m) = (P/(π.p))0.5

p = Presión de inflado de llanta (kPa o PSI)

N = Número de pasadas de ejes equivalentes

RE = Relación de módulos = Ebg/Esg = .28CBRbc/CBRsg≤5.

CBRbc = CBR del relleno.

CBRsg = CBR de la subrasante.

Nc = Factor de Capacidad de soporte del suelo de fundación

fs = Factor de profundidad de ahuellamiento.

s = Máxima profundidad de ahuellamiento.

Fc = Factor relacionado al CBR de la subrasante en condiciones no drenadas.

4.4.1 Mejoramiento de la Subrasante con Sistema TENSAR

Se uso como material de relleno, para la consolidación de la subrasante, concreto que tiene como capacidad portante de 20%, para que así el camino pueda soportar el tránsito de un tráiler de 6 ejes, que tenga una capacidad de 50 toneladas como peso bruto. Para este proyecto se usó como refuerzo una geomalla TRIAX, se empleará la metodología aplicada por Giroud – Han para hallar el grosor mínimo de material que se va a usar para la estabilización.

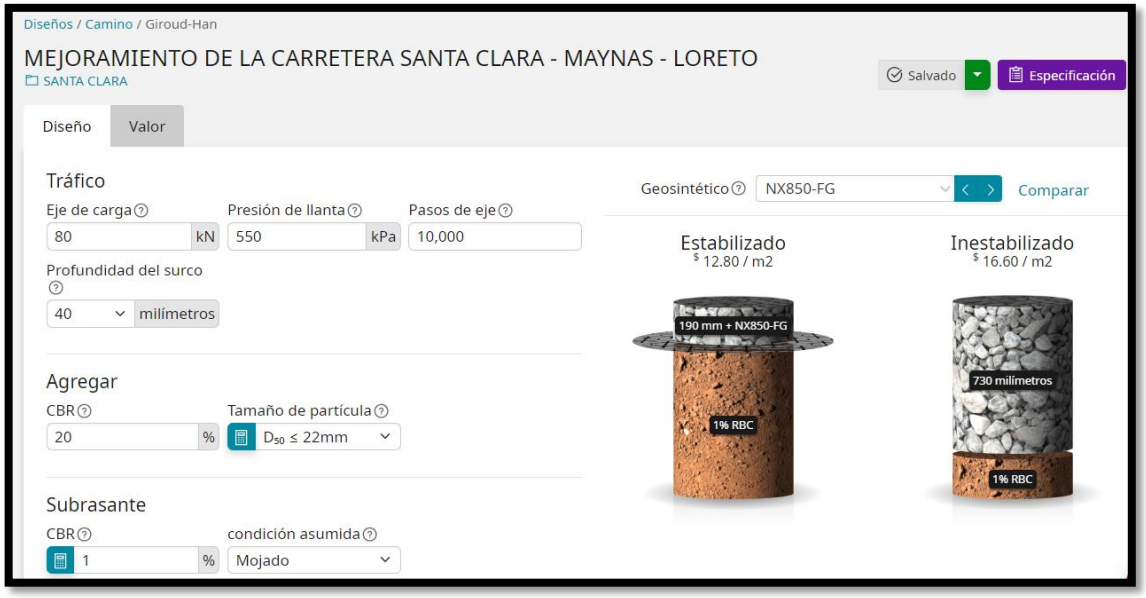
Se aplico la ecuación de Giroud – Han en el Software SPECTRA pave 4.0 de la página de Tensar International, considerando el valor de ahuellamiento de 40 mm. Los resultados del programa se presentan a continuación.

Datos

- ESAL = 584 000.00
- Mínimo Espesor de la Capa 1 = 100mm
- Máximo espesor de la Capa 1 = 150mm
- Mínimo Espesor de la Base = 150mm
- Máximo Espesor de la Base = 200mm
- Mínimo espesor de la Subbase = 150mm
- Máximo espesor de la Subbase = 450mm
- Factor de Drenaje =1
- Módulo de Resiliente de la Subrasante = 17.616 MPa
- Fiabilidad = 80%
- Desviación Estándar = 0.49

Figura 9

Datos que requiere el Software Tensar.



Nota. La imagen representa el esquema del sistema Tensar.

Figura 10

Valores introducidos al Software Tensar.

Nota. En la imagen se visualiza los datos requeridos para el procesamiento de los resultados.

Figura 11

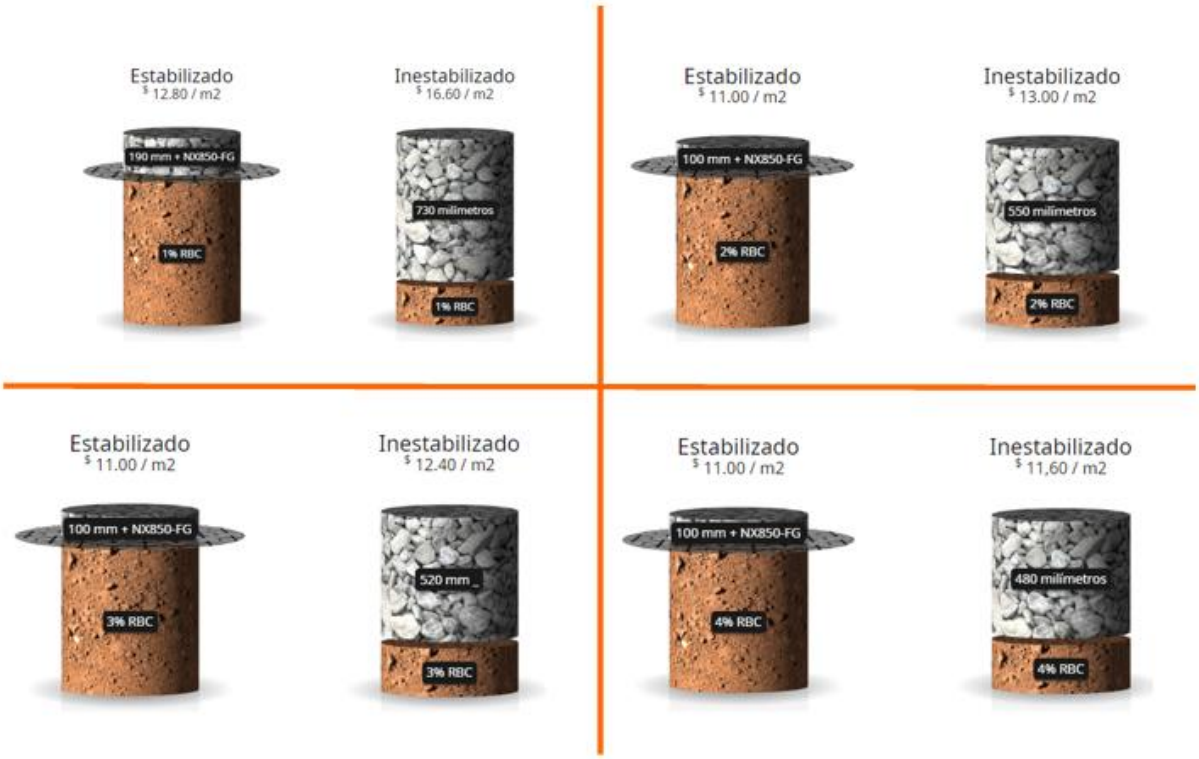
Comparación del suelo estabilizado vs. Inestabilizado.

Nota. En la imagen presente se visualiza le reducción del espesor en comparación con el suelo inestabilizado con un CBR al 1%.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Figura 12

Comparación De Capa Estructural Con La Variación De %CBR Aplicando el Diseño Por el Método De Giroun - Han



Nota. La imagen adjuntada presenta la variación de porcentajes para cuantificar como va reduciendo el espesor de la subbase en comparación con la estructura no estabilizada.

Figura 13

Resultados de la comparación de la Geomalla NX850 – FG con la estructura no estabilizada.

CBR	NX850 - FG	INESTABILIZADO
1%	190 mm	730 mm
	12. 80/m2	16.80/m2
2%	100 mm	550 mm
	11.00/m2	13.00/m2
3%	100 mm	520 mm
	11.00/m2	12.40/m2
4%	100 mm	480 mm
	11.00/m2	11.60/m2

Nota. En la imagen se visualiza que a mayor CBR, el espesor de la capa reduce con respecto al diseño del suelo natural. Así mismo, se el costo por metro cuadrado de geomalla se verifica que es rentable.

CONCLUSIONES

- Las muestras corresponden a suelos alterados, de arcilla inorgánicas de alta plasticidad, de color amarillo, con clasificación SUCS: CH y AASHTO: A – 7 – 6 (19).

- Conforme al ensayo realizado el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.777 gr/cm3, para un Óptimo contenido de Humedad de 16.1%. Asimismo, el CBR obtiene un porcentaje de 0.95%, de acuerdo a la norma técnica, este suelo requiere de aplicaciones ingenieriles para el mejoramiento en el tramo 03+860 km.

- El diseño de pavimento con la metodología AASTHO 93, nos da una estructura del pavimento a nivel del terreno natural de e=70cm de Subbase, e=15cm de base y losa de Asfalto e=10cm.

- Con la aplicación de la geomalla NX850-FG, el espesor reduce considerablemente a 19cm con un CBR al 1%, 10cm con un CBR al 2%,3% y 4%. Así mismo, se concluye que se mejora la capacidad portante y disminuye el espesor de la subbase cuando el CBR es mayor a 1%. Por último, en cuanto a costos y tiempo de trabajo, este hace de mayor productividad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar el tramo donde será el estudio de investigación, para la verificación de la exploración de datos del Expediente Técnico y analizar las propiedades físicas del suelo.
- Se recomienda emplear el manual de ensayo de materiales para realizar el procedimiento adecuado en laboratorio, en este caso validamos la información del expediente técnico.
- Se recomienda cumplir con los parámetros de diseño de pavimentos según la metodología AASTHO 93, que el número estructural calculado debe ser mayor al número estructural requerido para poder obtener la estructura del pavimento.
- En base al programa TENSAR, se recomienda mejorar la subrasante al utilizar un CBR de 4% debido a que este en comparación del CBR al 1%,2% y 3%, genera menor espesor de subbase y menor costo por metro cuadrado. De esta manera, optimiza tiempos en construcción y genera reducción de costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Geosistemas Pavco (2009). *Manual de Diseño con Geosinteticos* https://es.slideshare.net/castilloaroni/manual-de-diseo-con-geosintticos

Farias, E., & Portales, M. (2021). *Evaluación Técnico-Económica Aplicando Geosintéticos Frente A La Sustitución De Material Para El Mejoramiento De La Subrasante De La Carretera Pu 135 Checca-Mazocruz-Puno* [Universidad Ricardo palma]. https://hdl.handle.net/20.500.14138/4940

Leonardi, G., Bosco, D. Lo, Palamara, R., & Suraci, F. (2020). *Finite element analysis of geogrid-stabilized unpaved roads. Sustainability (Switzerland), 12(5).* https://doi.org/10.3390/su12051929

Mera, J. (2017). *Evaluación Técnico-Económico Del Uso De Geomalla Multiaxial Como Refuerzo En La En La Subrasante De La Carretera Santa Cruzbellavista, Distrito Bellavista-Jaén-Cajamarca*. http://hdl.handle.net/20.500.14074/1060

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014). *Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos sección suelos y pavimentos*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf

Mittal, A., & Shukla, S. (2020). *Effect of Geogrid Reinforcement on Strength, Thickness and Cost of Low-volume Rural Roads. In Jordan Journal of Civil Engineering (Vol. 14, Issue 4).* https://jjce.just.edu.jo/issues/paper.php?p=5655.pdf

Municipalidad Distrital de San Juan Bautista (2022). *Mejoramiento de la vía vecinal en el tramo quistococha - santo tomas, distrito de san juan bautista - maynas – loreto*. https://www.perulicitaciones.com/elaboracion-del-expediente-tecnico-del-proyecto-mejoramiento-de-la-via-vecinal-en-el-tramo-quistococha-santo-tomas-distrito-de-san-juan-bautista-maynas-loreto-elaboraci%EF%BF%BDn-lct347765.html

RajeshKumar, V., Vinoth, S., Yuvaraj, S., Nishaanth, K., Naveen, D., & Haribalan, S. (2022). *A review on effects on CBR value by using geosynthetics. Materials Today: Proceedings, 68, 2479–2483*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.176

Senamhi - Loreto. (2020). *Mapa Climático del Perú*. Recuperado el 17 de septiembre del 2023, de https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=loreto&p=mapa-climatico-del-peru

Tiwari, N., & Satyam, N. (2022). *An experimental study on strength improvement of expansive subgrades by polypropylene fibers and geogrid reinforcement. Scientific Reports, 12(1).* https://doi.org/10.1038/s41598-022-10773-0

Valverde, A., & Ballena, J. (2017). *Diseño Geométrico A Nivel De Afirmado Del Camino Vecinal San Juan De Pamplona –Santa Clara –Villa Hermosa, L=11 Km, Distrito De Yurimaguas –Provincia De Alto Amazonas –Región Loreto.* http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2609/1/CIVIL%20-%20Alissa%20Paola%20Valverde%20y%20Julio%20Antonio%20Ballena.pdf

ANEXOS

Figura 13

Ficha Técnica de la Geomalla NX850-FG

Tensar
A Division of CMC

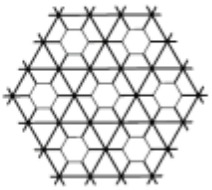
Hoja de datos del producto
InterAx® FilterGrid™ NX850-FG™

Tensar, una división de CMC, se reserva el derecho de cambiar las especificaciones de su producto en cualquier momento. Es responsabilidad de la persona que especifica el uso de este producto y del comprador garantizar que las especificaciones del producto en las que se basa para fines de diseño o adquisición estén actualizadas y que el producto sea adecuado para el uso previsto en cada caso.

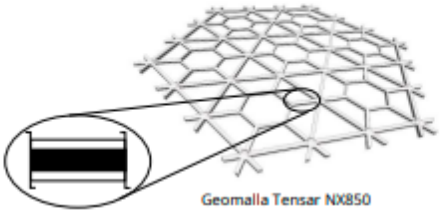
InterAx® FilterGrid™ es un geosintético compuesto que consiste en una geomalla InterAx unida a un geotextil no tejido. Este producto combina la tecnología de geomalla InterAx más avanzada con la funcionalidad adicional de un geotextil no tejido donde las condiciones del sitio requieren filtración y/o separación adicional.

General

1. La geomalla se fabrica a partir de una lámina de polímero compuesto coextruido, que luego se perfora y orienta. La estructura resultante consta de nervaduras continuas y no continuas que forman tres geometrías de apertura (hexágono, trapezoide y triángulo) y un hexágono suspendido sin obstáculos.



Geomalla Tensar NX850
Vista del plan



Geomalla Tensar NX850
Vista de perspectiva

2. Las siguientes propiedades están destinadas a la identificación del producto:

Propiedades de identificación	General
• Formas de apertura	Hexagonal, trapezoidal y triangular
• Estructura	Coextruido y rectangular formado
• forma de costilla	integralmente
• Paso de nervadura paralelo continuo(1), mm (pulg.)	80 (3,2)
• Relación de aspecto de la costilla(2)	> 1.0
• Grosor del nodo(3), mm (pulg.)	4,5 (0,18)
• Identificación de colores	Blanco / Negro / Blanco

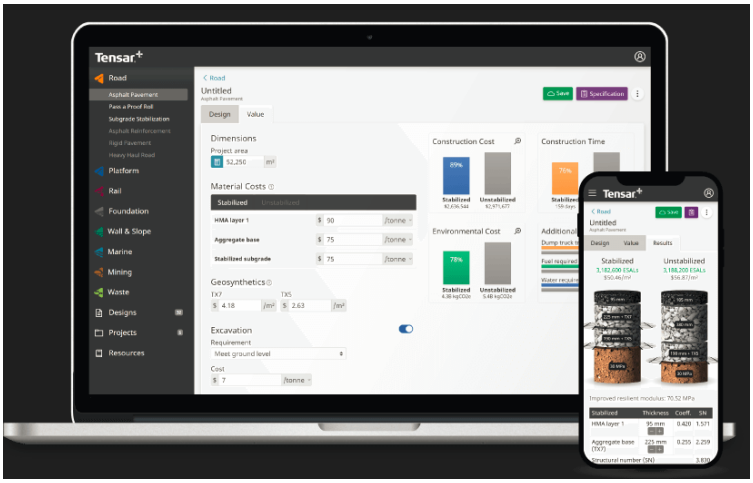
3. El geotextil no tejido perforado (6 oz/sy nominal) está unido térmicamente a la geomalla y se fabrica en una instalación auditada por el NTPEP. El geotextil tendrá las siguientes propiedades:

Propiedades de índice - Geotextil	Método de prueba	Inglés (MARV[1])	Métrica (MARV[1])
• Agarre la resistencia a la tracción	ASTM D 4632	160 libras.	0,711kN
• Alargamiento de agarre	ASTM D 4632	50%	50%
• Resistencia al desgarro trapezoidal	ASTM D 4533	60 libras.	0,267kN
• Resistencia a la perforación CBR	ASTM D 6241	410 libras.	1,823kN
• Permitividad	ASTM D 4491	1,5 segundos-1	1,5 segundos-1
• Flujo de agua	ASTM D 4491	110 gpm/pie2	4480 l/min/m2
• Tamaño de apertura aparente (AOS)	ASTM D 4751	Calle 70. A NOVENTA	0,212 milímetros
• Resistencia a los rayos UV	ASTM D 4355	70%/500 h.	70%/500 h.

Nota. En esta imagen se puede diagnosticar las características de la geomalla aplicada para el estudio de investigación.

Figura 14

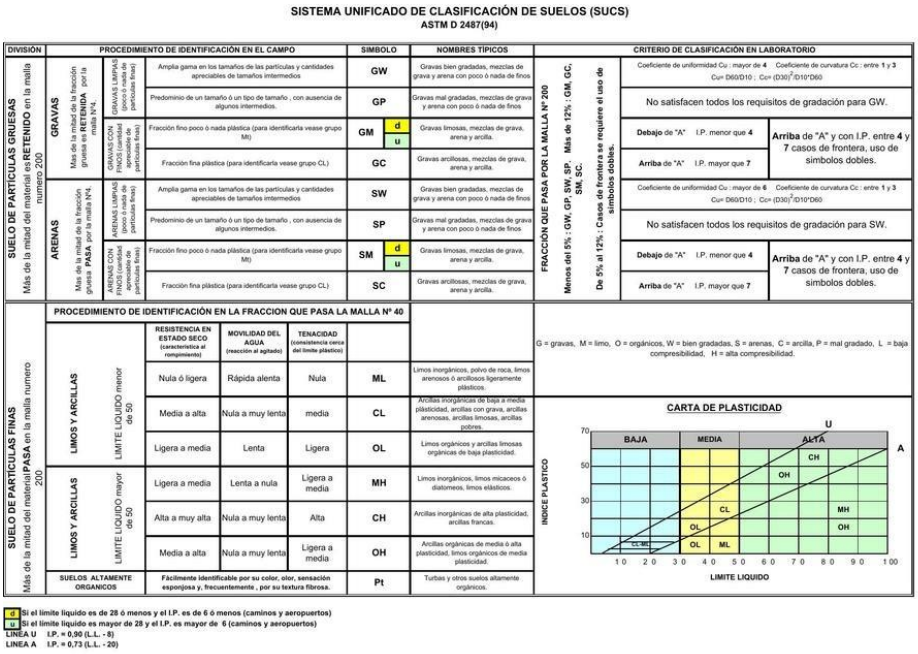
Programa Tensar



Nota. La imagen presenta el software de apoyo para el diseño de la estructura del pavimento con la aplicación de la Geomalla.

Figura 15

Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (SUCS)



SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
ASTM D 2487(94)

DIVISIÓN	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO			SIMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO		
SUELO DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es RETENIDO en la malla numero 200	GRAVAS Mas de la mitad de la fracción gruesa es RETENIDA por la malla N°4.	GRAVAS LIMPIAS (poco ó nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	GW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA N° 200 Menos del 5% : GW, GP, SW, SP. Más de 12% : GM, GC, SM, SC. De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 4 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 Cu= D60/D10 ; Cc= (D30)²/D10*D60	
			Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño , con ausencia de algunos intermedios.	GP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de gradación para GW.	
		GRAVAS CON FINOS (cantidades apreciables de partículas finas)	Fracción fino poco ó nada plástica (para identificarla vease grupo Mlt)	GM d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Debajo de "A" I.P. menor que 4	Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.
			Fracción fina plástica (para identificarla vease grupo CL)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Arriba de "A" I.P. mayor que 7	
	ARENAS Mas de la mitad de la fracción gruesa PASA por la malla N°4.	ARENAS LIMPIAS (poco ó nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	SW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 6 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 Cu= D60/D10 ; Cc= (D30)²/D10*D60	
			Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño , con ausencia de algunos intermedios.	SP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de gradación para SW.	
		ARENAS CON FINOS (cantidades apreciables de partículas finas)	Fracción fino poco ó nada plástica (para identificarla vease grupo Mlt)	SM d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Debajo de "A" I.P. menor que 4	Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.
			Fracción fina plástica (para identificarla vease grupo CL)	SC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Arriba de "A" I.P. mayor que 7	

SUELO DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material PASA en la malla numero 200	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40						
			RESISTENCIA EN ESTADO SECO (característica al rompimiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (reacción al agitado)	TENACIDAD (consistencia cerca del limite plástico)		
	LIMOS Y ARCILLAS	LIMITE LIQUIDO menor de 50	Nula ó ligera	Rápida alenta	Nula	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos ó arcillosos ligeramente plásticos.
			Media a alta	Nula a muy lenta	media	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plásticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
			Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
	LIMOS Y ARCILLAS	LIMITE LIQUIDO mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, limos micaceos ó diatomeos, limos elásticos.
			Alta a muy alta	Nula a muy lenta	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
			Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de media ó alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.
	SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		Fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y, frecuentemente , por su textura fibrosa.			Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.

G = gravas, M = limo, O = orgánicos, W = bien gradadas, S = arenas, C = arcilla, P = mal gradado, L = baja compresibilidad, H = alta compresibilidad.

CARTA DE PLASTICIDAD

d Si el limite liquido es de 28 ó menos y el I.P. es de 6 ó menos (caminos y aeropuertos)
u Si el limite liquido es mayor de 28 y el I.P. es mayor de 6 (caminos y aeropuertos)
LINEA U I.P. = 0,90 (L.L. - 8)
LINEA A I.P. = 0,73 (L.L. - 20)

Nota. La imagen representa la simbología para determinar la clasificación del suelo.

Figura 16

Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (AASTHO)

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS PASA EL TAMIZ N°200)							MATERIALES LIMO ARCILLOSOS (MÁS DEL 35% PASA EL TAMIZ N°200)			
GRUPOS	A - 1		A - 2				A - 3	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
SUB - GRUPOS	A - 1a	A - 1b	A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7					A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz:											
N°10 (2.00 mm)	50 máx.	.....	.....	.....	.....	.....	.....				.....
N°40 (0.425 mm)	30 máx.	50 máx.	.....	.....	.....	.....	51 min				.....
N°200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	10 máx	36 min.	36 min	36 min.	36 min.
Características del material que pasa el tamiz N°40											
Límite Líquido	.....	.....	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	.....	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Indice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Indice de grupo	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	0	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
TIPOS DE MATERIAL	Fragmentos de piedra grava y arena.		Gravas y arenas limosas y arcillosas.				Arena Fina	Suelos limosos.		Suelos arcillosos.	
TERRENO DE FUNDACIÓN	Excelente a bueno.		Excelente a bueno.		Regular		Excelente a bueno	Regular a malo			

Nota. La imagen presenta parámetros para determinar la condición del terreno de fundación.