



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Refuerzo de subrasante con aplicación de geomalla – sistema viario 1 – PK 2+700 AL PK 3+120 – Mirones bajos – Lima – 2018”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Br. Carahuanco Estacion, Clever Joel

ASESOR:

Dr. Escobedo Apestegui, Franklin Macdonald

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2018

PÁGINA DEL JURADO

DEDICATORIA

A mi madre por darme la vida, por apoyar mis metas,
confiar en mí y darme su aliento incondicional.

A mis adorados abuelos que marcaron mi camino y
formaron mis valores, siempre vivirán en mí.

A las personas que desprendidamente me apoyaron y
me acompañaron en este largo camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al personal docente de la Universidad César Vallejo por las enseñanzas impartidas durante el tiempo de estudio, a mi asesor de tesis Ing. Franklin Macdonald Escobedo Apestegui por su experiencia científica para la formulación de la tesis, sus críticas constructivas y seguimiento constante.

A Tecnología de los materiales (TDM) por facilitarme usar el software de tensor SpectraPave 4Pro con la que pude confrontar las hipótesis planteadas en esta investigación, al Ing. Johan Escudero jefe de oficina técnica de CIDELSA por el aporte académico y recomendaciones puntuales.

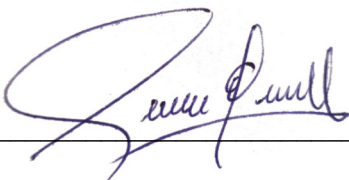
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Clever Joel Carahuano Estacion con DNI N°10797869, 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 Académico profesional 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 muestra en la presente tesis son auténticos y veraces.

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

Lima, 02 de diciembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Clever Joel Carahuano Estación', is written over a horizontal line.

Clever Joel Carahuano Estación

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, para optar el grado de Ingeniero Civil, pongo a vuestra consideración la Tesis titulada “Refuerzo de subrasante con aplicación de geomalla – Sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima – 2018”

La investigación se ha dividido en ocho capítulos teniendo en cuenta el esquema de investigación dado por la universidad.

I. Se realiza la introducción de la investigación que explica la realidad problemática, y se exponen los trabajos previos, teorías relacionadas, formulación del problema, justificación, hipótesis y objetivos

II. Se considera al método utilizado, junto al diseño de investigación, variables y Operacionalización, población y muestra, técnicas e instrumentos, métodos de análisis y aspectos éticos.

III. Se muestran los resultados a través de las herramientas de ingeniería.

IV. Se expone la discusión de los resultados

V. Se dan a conocer las conclusiones

VI. Se redactan las recomendaciones.

VII. Referencias Bibliográficas

VIII. Se muestran los anexos de la investigación

Espero Señores Miembros del Jurado que la presente investigación cumpla con las exigencias establecidas por la Universidad Cesar Vallejo y merezca su aprobación.

El Autor

ÍNDICE

Página del jurado.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Presentación.....	vi
Índice.....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática.....	14
1.2. Trabajos previos.....	15
1.2.1. Antecedentes internacionales.....	15
1.2.2. Antecedentes nacionales.....	18
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	20
1.3.1. Geomalla.....	20
1.3.2. Procesos mecánicos.....	26
1.3.3. Subrasante.....	31
1.4. Problema general.....	43
1.4.1. Problemas específicos.....	43
1.5. Justificación del estudio.....	44
1.5.1. Económico.....	44
1.5.2. Práctico.....	44
1.6. Hipótesis.....	44

1.6.1.	Hipótesis general	44
1.6.2.	Hipótesis específicas.....	44
1.7.	Objetivos	45
1.7.1.	Objetivo general	45
1.7.2.	Objetivos específicos	45
II.	MÉTODO	46
2.1.	Diseño de investigación	46
2.2.	Tipo de investigación.....	46
2.3.	Nivel de investigación.....	47
2.4.	Enfoque	47
2.5.	Variables, Operacionalización.....	48
2.5.1.	Variable Independiente: Geomalla	48
2.5.2.	Variable dependiente: Refuerzo de Subrasante.....	48
2.5.3.	Matriz Operacional de Variables.....	49
2.6.	Población y muestra.....	50
2.6.1.	Población.....	50
2.6.2.	Muestra	50
2.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	50
2.8.	Métodos de análisis de datos.....	52
2.9.	Aspectos éticos.....	52
III.	RESULTADOS	53
3.1.	Ubicación y descripción del área de estudio.....	53
3.2.	Parámetros para el estudio de suelos.....	54
3.2.1.	Exploración de calicatas.....	54
3.2.2.	Ensayos a los suelos.....	56
3.3.	Diseño del pavimento	58
3.3.1.	Calculo CBR equivalente.....	58

3.3.2. Cálculo del SN (número estructural) AASHTO 1993	59
3.4. Refuerzo de subrasante con geomalla.....	61
IV. DISCUSIÓN.....	68
V. CONCLUSIONES	69
VI. RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS	71
ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos, denominación y tamaño de suelos.....	35
Tabla 2. Clasificación típica CBR.....	40
Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables.....	49
Tabla 4. Coordenadas UTM progresivas.....	53
Tabla 5. Coordenadas UTM calicatas.....	55
Tabla 6. Clasificación de suelos en las calicatas de la zona de investigación.....	56
Tabla 7. Resultados “CBR”.....	57
Tabla 8. Análisis proctor modificado.....	57
Tabla 9. CBR equivalentes.....	58
Tabla 10. Componentes para diseño pavimento flexible.....	59
Tabla 11. Cálculo del SN del pavimento.....	61
Tabla 12. Data ingresada al software SPECTRA PRO4 para cálculo de mejoramiento.....	61
Tabla 13. Resultados de espesores de mejoramiento en subrasante.....	64
Tabla 14. Correlación de moldes 1, 2 y 3.....	65
Tabla 15. Correlación de moldes 9, 8 y 7.....	66
Tabla 16. Correlación de moldes 10, 11 y 12.....	66
Tabla 17. Correlación de moldes 21, 22 y 23.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Geomalla uniaxial	22
Figura 2 Geomalla biaxial	24
Figura 3 Geomalla triaxial.....	25
Figura 4 Confinamiento lateral.....	27
Figura 5 Distribución de zonas de confinamiento	28
Figura 6 Aumento de la capacidad portante.....	29
Figura 7 Efecto zapato de nieve	30
Figura 8 Efecto de membrana tensionada	31
Figura 9 Cargas relativas en la subrasante en el caso de (a) pavimento flexible sin refuerzo y (b) pavimento flexible reforzado con geosintéticos.....	33
Figura 10 Gráfica plasticidad AASHTO.....	37
Figura 11 Curva para cálculo de índice de CBR	41
Figura 12 Ubicación de la zona de estudio	53
Figura 13 Número de calicatas para exploración de suelos	54
Figura 14 Ubicación de calicatas.....	55
Figura 15 Software AASHTO 93 para cálculo de SN	60
Figura 16. Alimentación de datos SpectraPave4-PRO™ Biaxial	62
Figura 17. Cálculo del espesor de mejoramiento aplicando geomalla Biaxial	63
Figura 18. Alimentación de datos SpectraPave4-PRO™ Triaxial	63
Figura 19. Cálculo del espesor de mejoramiento aplicando geomalla Triaxial	64

RESUMEN

Este estudio demostró que el uso de geomalla para el refuerzo de subrasante es una técnica factible, para eso tomamos como área de estudio 420 metros del Sistema Viario 1 entre las progresivas PK 2+700 al PK 3+120 – Mirones Bajos, por medio de calicatas se pudo analizar las características presentadas por el terreno, donde se obtuvieron CBR menores al 6% era necesario plantear un mejoramiento.

Con este tipo de refuerzo, se logró disminuir el tamaño de la capa de la subrasante para lo cual se utilizó el software desarrollado por tensor SpectraPave 4 Pro en la obtención del grosor mínimo requerido. En ese sentido, se simularon varios escenarios dentro de los cuales sin geomalla se obtuvo un resultado de 0.53 m, con la geomalla BX 1100 se obtuvo un espesor de mejoramiento de 0.37 m lo que representa un 30% de reducción, aplicando la BX 1200 obtenemos un espesor de mejoramiento de 0.24 m lo que representa un 55% y para la geomalla Triaxial TX 140 presenta un espesor de mejoramiento de 0.25 m equivalente a un 53 % de reducción y aplicando la geomalla Triaxial TX 160 presenta un espesor de mejoramiento de 0.15 m equivalente a un 72 % de reducción.

Los geosintéticos vienen demostrando que su uso, en diferentes trabajos de ingeniería es de mucha utilidad ya que permite generar un refuerzo estructural a los suelos con una fácil y rápida instalación.

Palabras claves: Geomalla, refuerzo, subrasante, SpectraPave 4Pro, espesor.

ABSTRACT

The purpose of the present investigation was to demonstrate that the use of geogrid for the subgrade reinforcement is a feasible technique, for that we take as a study area 420 meters of the Road System 1 between the progressive PK 2 + 700 to the PK 3 + 120 - Low Mirones, by means of pits, it was possible to analyze the characteristics presented by the terrain, where CBRs of less than 6% were obtained, it was necessary to propose an improvement.

With the structural contribution of the geogrid it was possible to reduce the thickness of improvement for the subgrade, the software developed by tensioning SpectraPave 4Pro was used in the calculation of the thickness of improvement of the subgrade without geogrid, a result of 0.53 m was obtained, applying to the calculation the BX 1100 geogrid we obtain a thickness of improvement of 0.37 m what represents a 30% reduction, applying the BX 1200 we obtain a thickness of improvement of 0.24 m what represents 55% and for the geogrid Triaxial TX 140 presents a thickness of improvement of 0.25 m equivalent to a 53% reduction and applying the Triaxial TX 160 geogrid has an improvement thickness of 0.15 m equivalent to a 72% reduction.

Geosynthetics have shown that their use in different engineering jobs are very useful because they allow a structural reinforcement to the floors with an easy and quick installation.

Keywords: Geogrid, reinforcement, subgrade, SpectraPave 4Pro, thickness.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El proyecto vía expresa Línea amarilla permitirá el traslado desde el distrito industrial de Ate con el aeropuerto Jorge Chávez, el cual está ubicado en la provincia constitucional del callao, interconectando a su vez once distritos de la capital peruana a través de una autopista que será construida y rehabilitación de una autopista destinada para tal fin. En ese sentido, se contempla la construcción de 9 km de carreteras cuyo origen es el puente Huáscar hasta la zona limítrofe entre Lima y el Callao (donde se incluye el tramo subterráneo bajo el río Rímac). Por otro lado, se prevé la mejora de 16 km del tramo ya existente desde el Trébol de Javier Prado (Vía de Evitamiento) hasta el óvalo de la Avenida Habich. En el sistema viario 1, en el tramo comprendido entre la PK 2+700 AL PK 3+120 a nivel de subrasante se encontraron suelos cuyos parámetros lo definen como blandos de alta compresibilidad y con un significativo porcentaje de material orgánico.

Durante muchos años estos terrenos ubicados en la rivera del río Rímac abandonados sin ninguna vigilancia municipal y sumando a esto la desidia de los habitantes de las zonas aledañas por conservarlos ordenados y limpios, se han formado estos rellenos sanitarios recibiendo materiales de escombros de obras aledañas, material orgánico y todo tipo de desperdicios.

Como consecuencia, se han consolidado suelos con poca capacidad portante que sirvan como fundación para un pavimento, el mejoramiento de estos suelos implica un alto costo y muchas horas de trabajo en movimientos de tierras tanto para eliminar el terreno natural como para el relleno controlado que reemplace estos suelos de mala calidad.

El aporte de la presente investigación pretende brindar una alternativa para reforzar una subrasante blanda con el aporte estructural de una geomalla, y evitar realizar un movimiento de tierra costoso e innecesario, optimizando el tiempo y costo de la vía.

1.2. Trabajos previos

Para revisar el estado del arte y circunscribir mejor el problema objeto de estudio, se revisaron diversas fuentes documentales tales como artículos científicos, ponencias así como tesis, destacando las siguientes:

1.2.1. Antecedentes internacionales

En cuanto a los antecedentes internacionales, los cuales se enfocan en las metodologías y resultados que se pueden utilizar para hacer uso de la geomalla y geotextil en el diseño de pavimento

A) Almendarez, Larissa; Reyes, Juan (2017), en su artículo “Diseño de pavimentos flexibles con refuerzo de geomalla triaxial utilizando la metodología Giroud-Han: caso de aplicación en Honduras”, en la Universidad Tecnológica Centroamericana.

“El método planteado de Giroud-Han, el cual trabaja principalmente con el interlocking, un efecto de confinamiento generado entre las geomallas y la capa de material sobre esta, los suelos al ser sometidos a cargas de llantas tienden a deformarse, generando ahuellamiento sobre la superficie de rodadura” (Almendarez y Reyes, 2017).

Las conclusiones más relevantes son:

*El método Giroud-Han, hace uso de las geomallas para elaborar el diseño del pavimento, el método se centra en la deformación del pavimento, y es el interlock el que se encarga de reducir la deformación. Por lo cual, se mostró una reducción significativa del espesor de la capa granular de la geomalla triaxial, donde el espesor se redujo en más del 60%.

* El comportamiento de la geomalla depende del tipo de geomalla y el tipo de capa de grano con el que interactúa, por lo cual, se deduce que la geomalla no funciona como el acero en una construcción de hormigón.

B) Bustamante Noboa Andrés, Ecuador (2016), en la tesis titulada “Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante con el uso combinado de una Geomalla y un Geotextil”. Tesis para optar por el título de máster en Ingeniería en vialidad y transporte en la Universidad de Cuenca.

“Se evaluó la estructura del pavimento que se está colocando en el proyecto de mejoramiento de la carretera Sigsig-Gualaquiza, tramo: Matanga-Gualaquiza, en la Provincia de Morona Santiago, que en este momento se encuentra en ejecución y en el cual se están aplicando nuevas técnicas constructivas, así mismo, se simuló a través de modelos numéricos, el comportamiento con el software Plaxis 8.6 (Elementos Finitos), que dio como resultado los esfuerzos en la interface capa granular-subrasante y la determinación de los factores de reforzamiento” (Bustamante,2016)

Las conclusiones más relevantes son las siguientes:

* La estructura ha alcanzado la mayor rigidez en comparación con el resto de los escenarios, cuyo valor viene dado por el módulo de Young. Cuando se alcanzó la carga máxima, se produjo un fallo inmediato, por lo cual, se consideró que la geomalla tenía aberturas continuas, lo que provocó la mezcla de la subestructura y los materiales de base, según se evaluó en la prueba.

* La tensión de contención de la geomalla no tuvo un efecto importante en la resistencia de la estructura del pavimento, e incluso puede representar un plano de falla si el material tiene un ángulo de fricción bajo.

* Al comparar los diagramas de carga/desviación en los escenarios: reforzado con geotextil y reforzado con geotextil y geomalla, se puede ver que no hay una gran diferencia entre las dos curvas y que tienen un comportamiento similar, excepto por la curva de refuerzo con geotextil y geomalla que muestra un pequeño régimen plástico. Por lo tanto, se considera que la instalación de la geomalla en el geotextil representa un gasto innecesario para el análisis del proyecto.

C) Montejo Freddy; Otero Diego (2016) en la tesis titulada “Evaluación del comportamiento mecánico de una estructura bicapa, reforzada con geomalla biaxial, compuesta por afirmado en vías sobre subrasantes blanda, aplicable a vías no pavimentadas” tesis para optar por el título de profesional de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Javeriana.

“La investigación experimental tuvo como objetivo evaluar las diferencias que se presentan en el comportamiento de estructuras de pavimentos bi-capa, compuesta por una subrasante blanda y un material granular, en condición sin esfuerzo y con la inclusión de una capa de geomalla biaxial como elemento de refuerzo en la capa granular, variando los espesores y las resistencias de la geomalla de esfuerzo, para poder determinar el efecto que tienen estas variaciones sobre la distribución de los esfuerzos sobre la subrasante blanda” (Montejo y Otero, 2016).

Entre las conclusiones relevantes destacan:

* La inclusión de geomallas de refuerzo en todos los espesores de los materiales analizados, presenta una mejora de las condiciones mecánicas de la estructura (entre el 30 y el 50% del valor para la geomalla tipo 1 y entre el 30 y el 80% para la geomalla tipo 2), disminuyendo los huecos en la superficie y aumentando los módulos resilientes de las estructuras, con lo que aumenta el número de aplicaciones de carga que puede soportar cada estructura, en comparación con los modelos no reforzados.

* La importancia de aplicar los modelos de estructuras con y sin refuerzo, haciendo variaciones en la humedad del subsuelo, para poder determinar los efectos de estas variaciones, en las contribuciones estructurales de las diferentes geomallas de refuerzo, a fin de comprender la importancia de las obras de drenaje en el comportamiento mecánico de las estructuras.

*A medida que va aumentando la resistencia a la tracción de las geomallas de refuerzo (resistencias de 20kN/M y 30kN/M), se genera un aumento de la contribución estructural al material granular, creando una capa más rígida, capaz de distribuir las tensiones de forma más adecuada.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Referido a los antecedentes nacionales, más que estudios realizados lo que menciona son mejoramientos de subrasante usando geomalla construidos hasta el presente en el Perú.

A) Silva Arce Mayra, Perú (2016), en su tesis “Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo tx140 y tx160, aplicado a un tramo de la calle Alemania – la molina - Cajamarca 2016.” tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Privada del Norte:

“El estudio tiene como objetivo mostrar técnicas distintas a las convencionales en el mejoramiento de la subrasante en vías de acceso, en zonas donde los suelos son blandos y de mala calidad, mediante el uso de geomallas multiaxiales para estabilizar los suelos en el tramo de la calle Alemania-La molina-Cajamarca” (Silva, 2016)

Las conclusiones más relevantes son:

* Utilizando el programa Spectra Pave 4.0, se calculó un espesor de 0,54 m. para un subsuelo sin refuerzo de geomalla multiaxial, y un espesor de 0,25 m. y 0,15 m. con refuerzo de geomalla multiaxial TX140 y TX160 respectivamente.

* El módulo de reacción de la subrasante no reforzada es de 2,30 kg/cm³ y, utilizando las geomallas multiaxiales TX140 y TX160, es de 3,54 kg/cm³ y 3,96 kg/cm³ respectivamente.

* El espesor obtenido al mejorar el suelo no reforzado es mayor que el obtenido en el suelo reforzado con las geomallas multiaxiales TX140 y TX160, una diferencia de alrededor de 54% y 72% respectivamente.

B) Chávez y Odar (2019), en su trabajo de investigación, titulado “Propuesta de estabilización con cal para subrasantes con presencia de suelos arcillosos en bofedales y su influencia en el pavimento rígido bajo la metodología de diseño AASHTO 93 aplicado al tramo 1 de la carretera Oryón – Ambo”, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.

El estudio tuvo como objetivo general “la evaluación, por medio de un análisis comparativo, de los beneficios del empleo de geomallas biaxiales y geotextiles para la estabilización de suelos arcillosos de baja plasticidad, mediante el uso de cal como agente estabilizador”

El nivel de la investigación fue descriptivo, bajo un diseño experimental. La muestra recolectada consistió en la toma de tres tipos de suelos en la progresiva km 170+830 de la zona de estudio. Entre las técnicas empleadas para el análisis de la capacidad portante del terreno y el espesor de la estructura, se realizaron mediante el ensayo de CBR y mediante la observación directa, tomando como referencia la metodología AASHTO 93 y SUCS.

Los resultados obtenidos fueron:

* El porcentaje óptimo de dosificación de cal (10 %) y el CBR del suelo (6 % - 20 %), incrementándose 7 veces más de su valor inicial, hasta alcanzar el 60 % sugerido por la norma peruana del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

* Asimismo, luego de aplicar la correlación entre el CBR y el Módulo Resiliente para la interacción de la subrasante (663 psi), se concluye que el uso de geomallas y geotextiles representaban una solución en el expediente técnico para la estabilización del tramo 1 la carretera Oryón – Ambo.

C) Gino Gabriel Sicha Flores, Perú (2018) en su tesis “Diseño con geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles” tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

“Este estudio consiste en el diseño, análisis técnico, y económico del uso de geosintéticos para tres funciones en particular en pavimentos flexibles, mediante la aplicación de un geotextil no tejido punzonado de separación entre el material granular y el suelo de fundación, y geotextil no tejido punzonado como envoltura de subdrenes longitudinales cumpliendo con la función de filtración y para la función de refuerzo, el diseño preliminar se basó en la norma AASHTO R-50 y se empleó el programa de la empresa TENSAR para efectuar

el diseño definitivo correspondiente a la geomalla TX160 para optimización del pavimento.” (Flores, 2018).

La conclusión más relevante fue:

* Para el diseño de refuerzo, se utilizó la geomalla triaxial TX160 para optimizar el pavimento. En todas las secciones se observó un impacto técnico positivo en comparación con el diseño convencional. Para las secciones 3, 4, 5 y 6, se logró más del 20% de utilidad en comparación con el diseño convencional. El uso de una sola capa de estabilizador es esencial para asegurar la correcta aplicación del mismo. Por lo tanto, el pavimento se diseñó para superar la utilidad del diseño convencional, pero no de manera significativa. El análisis económico, por otra parte, apoyó la optimización del pavimento realizada para todas las secciones, ya que se estimó que se logró un ahorro de más del 10% en todos los casos.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Geomalla

Según Koerner (2012) este material geosintético se caracteriza por su excelencia en el reforzamiento de los pavimentos. Su rasgo más distintivo es que está constituido por costillas paralelas conectadas entre sí lo cual genera efecto de enlace entre la subrasante, superficie rocosa u otro material geotécnico.

Sin embargo, se consideran que las geomallas son geosintéticos en grupo de celdas paralelas tensionadas con aperturas de suficiente tamaño para permitir la colocación de suelos u otro material pétreo que se halle próximo en la zona. Las más habituales y las que se hallan con mayor frecuencia en el mercado son fabricadas a base de Poliéster y Polietileno de alta densidad (Geomembranas, 2013).

Por otro lado, también se hace especial énfasis en la geomalla en el dimensionamiento del terreno, por lo cual, (Vargas, y otros, 2017), la conciben como un componente el cual insertado dentro de la estructura del pavimento,

permite el mejoramiento de las condiciones de servicio, dado que impide la formación de mezclas y contaminación de materiales. Adicionalmente, facilita un adecuado drenaje lateral evitando las fugas de los finos con el beneficio adicional del reforzamiento estructural del pavimento.

En este orden de ideas, con este componente se aíslan los distintos tipos de capas que comprende un pavimento cuyos materiales si se humedecen, no puedan mezclarse entre si protegiendo la base o subbase reforzando la estructura y caracterizando al pavimento como flexible.

Según los autores (Vargas et al., 2017), el coeficiente de fricción que se genera en el área comprendida entre la geomalla y el suelo es tal que impide la tendencia al movimiento de las capas del pavimento cuando este es sometido a esfuerzos cortantes derivados de la carga del tráfico y es la razón de las restricciones laterales. Tipos de geomallas y sus características.

1.3.1.1. Clasificación y características de las geomallas

1.3.1.1.1. Geomalla Uniaxial

Para Egoavil (2012), la característica más resaltante de este tipo de geomallas es que posee una elevada resistencia al esfuerzo axial cuando la carga está orientada longitudinalmente hablando. Mayormente se emplean en los casos, donde es factible conocer la dirección del mayor de los esfuerzos principales, tales como taludes y muros de pantalla empleados para el reforzamiento de los suelos. Entre los materiales utilizados en su manufactura destacan el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Poliéster de Alta Tenacidad (PET), como se muestra en la siguiente ilustración:

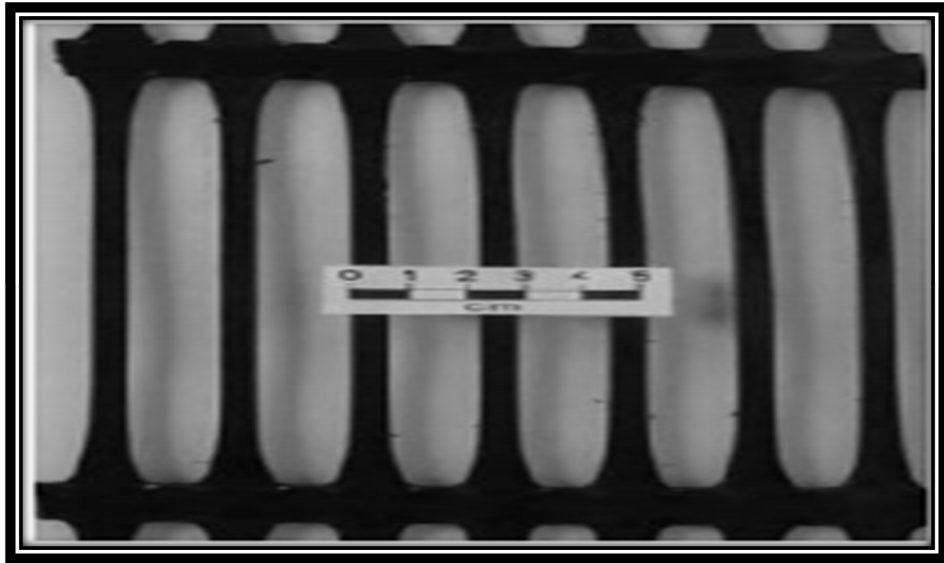


Figura 1 Geomalla uniaxial
Fuente: Egoavil (2012)

Características principales de la Geomalla Uniaxial:

Rigidez

- Alta resistencia a la tensión
- Mayor coeficiente de interacción

Geometría abierta

- Aperturas uniformes (2 cm)

Aplicaciones de la geomalla

- Muros de contención
- Taludes muy inclinados
- Protección costera y ribereña
- Mejoramiento de cimentación (Terraplenes)

1.3.1.1.2. Geomalla Biaxial

Se caracterizan por presentar una excelente resistencia a la tracción tanto transversal como longitudinal y ranuras uniformemente distribuidas (Figura 2). Son empleadas tanto en el robustecimiento adicional de taludes de suelo reforzado así como en vías pavimentadas.

Principales características de la Geomalla Biaxial:

Rigidez

- Alta resistencia con bajas deformaciones.
- Soporte de anclajes

Aplicaciones de la geomalla biaxial

- Mejoramiento de subrasante
- Refuerzo de base
- Refuerzo de balastro
- Plataforma de transparencia de cargas

Geometría abierta

- Aperturas uniformes (5 cm)
- Juntas fuertes
- Mejoramiento de cimentación (zapatas)

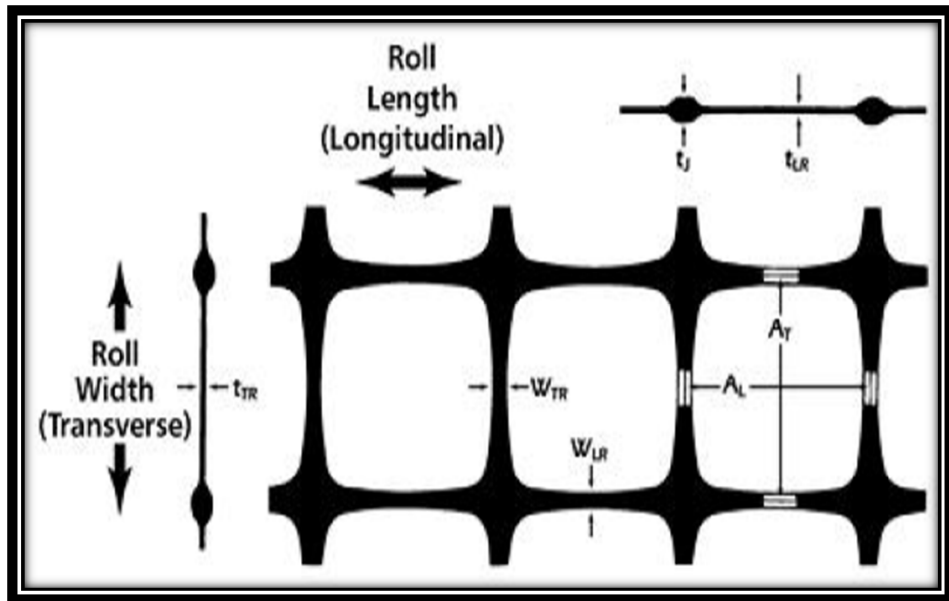


Figura 2 Geomalla biaxial
Fuente: Egoavil (2012)

1.3.1.1.3. Geomalla Triaxial

“Son componentes manufacturados a partir de láminas hechas con base a resinas de polipropileno. Estas laminas presentan perforaciones y estiramientos tal que son uniformes en cada uno de los ejes coordenados formando celdas con uniones integrales de alta rigidez y con un alto grado de orientación molecular” (Tensor International Corporation, 2013).

Un aspecto que resalta es su apertura en forma de triángulo con un peso y características moleculares en su constitución estructural que le aporta una significativa resistencia contra los esfuerzos mecánicos que se desarrollan en su proceso de instalación. También se caracteriza por presentar significativa resistencia a la pérdida de capacidad de carga y a la deformación ocasionada por esfuerzos aplicados durante su utilización (Tensor International Corporation, 2013).

Principales características de la Geomalla Triaxial:

Rigidez

- Alta resistencia con bajas deformaciones.

Geometría abierta

- Distancia entre costillas paralelas Longitudinal (40 mm) Diagonal (40mm)
- Se asemeja a una costilla en forma de rectángulos
- Presenta entradas de forma triangular

Aplicaciones de la geomalla Triaxial

- Mejoramiento de subrasante
- Refuerzo de base
- Refuerzo de asfalto

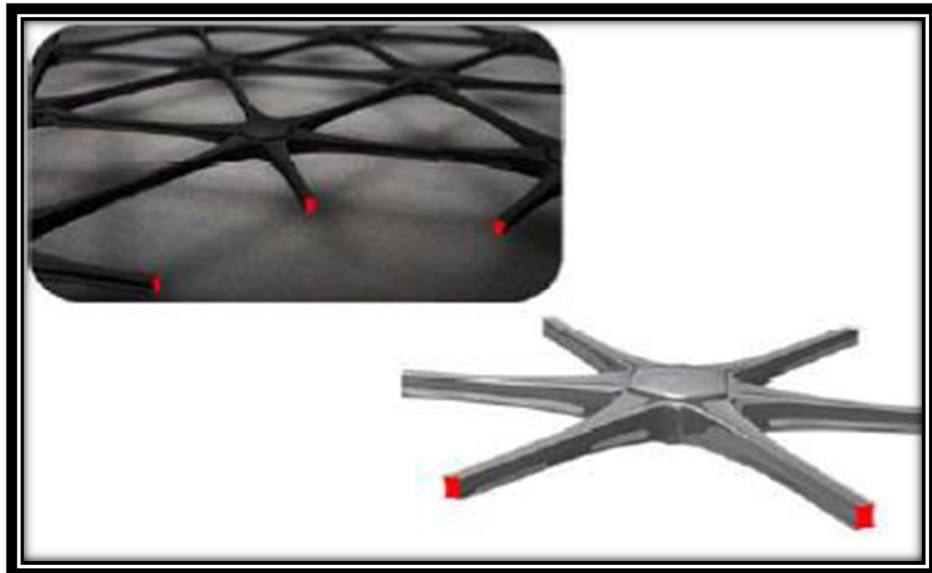


Figura 3 Geomalla triaxial
Fuente: Tensar International Corporation (2013)

1.3.2. Procesos mecánicos

1.3.2.1.1. Rigidez a la flexión

Las deformaciones en la capa base están condicionadas por la rigidez que confiere la geomalla que al confinarse, incrementa la resistencia a los esfuerzos cortantes. Esta se favorece aún más por el mecanismo de fricción que se genera entre la base y la geomalla.

Es importante resaltar que debe haber correlación entre el tamaño del material constituyente de la capa base y la geomalla para que se alcance el máximo de beneficios. Además, esta configuración permite una adecuada disipación de los esfuerzos (evitando que lleguen al suelo) en la dirección longitudinal y transversal que, con respecto a esta última, mejora la resistencia axial respecto del movimiento lateral de los suelos. (Vargas, y otros, 2017).

1.3.2.1.2. Módulo de elasticidad

La totalidad de los materiales dentro de sus propiedades mecánicas, está el módulo de elasticidad el cual cuando se trata de mezclas asfálticas se le denomina modulo dinámico. Para el caso de mezclas sin tratamiento y los componentes constituyentes de suelo, se le conoce como módulo de resiliencia. Para establecer la influencia de la temperatura en los cambios sufridos a lo largo del tiempo (usualmente un año) se emplea la media mensual del gradiente de temperatura en tres distribuciones típicas, en lo que se toma en cuenta tanto los periodos estacionales anuales como el tiempo de fraguado considerando un periodo de seis meses para la construcción de las tablas empleadas en el diseño.

En ese sentido, su principal función es servir como refuerzo, darle mayor capacidad de resistencia llevando al mínimo las deformaciones y maximizando las capacidades de soporte mediante trabas mecánicas en la interface constituida por el suelo y el material circundante. . (Vargas, y otros, 2017)

1.3.2.1.1. Mecanismos de refuerzos inducidos por las geomallas

A través de tres mecanismos de interacción, las geomallas mejoran el desempeño de los pavimentos. En ese sentido, los refuerzos resultantes se deben al comportamiento tripartito entre el efecto membrana de la malla, el incremento de la condición de soportabilidad y las restricciones laterales (Giroud y Noiray 1981, Giroud *et al* 1984, Perkins. y Ismeik 1997, Holtz y cols. 1998).

- Confinamiento lateral

Los resultados de un estudio técnico llevado a cabo por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos concluyeron que la estructura específica de las geomallas es la que le proporciona la rigidez a través de un proceso conocido como contención lateral (ver Figura 4).



Figura 4 Confinamiento lateral

Fuente: Giroud y Noiray (1981), Giroud *et al.* (1984), Perkins y Ismeik (1997), Holtz y Cols (1998).

Esta forma de contención, es considerada como la principal característica de refuerzo de los tres mecanismos mencionados en el epígrafe anterior los cuales garantizan que los elementos constituyentes del agregado se mantengan circunscritos al plano de este geotextil.

Como es sabido, los componentes granulares están en dependencia con la presión y estancamiento que proporcionan las geomallas de alto índice de

rigidez las cuales con un adecuado diseño incrementa el modulo del material de la capa base. Es decir, en ambas caras de la red, se conserva la rigidez cuando esta es incorporada dentro de la capa con materiales granulares lo que se beneficia con un aumento del módulo de todo el conjunto en sí. Hay que tener en cuenta dos aspectos relacionados con el aumento o reducción de la estructura del pavimento, En ese sentido, si el pavimento es delgado, se producirá una reducción de los esfuerzos verticales en la parte superior de la subrasante; en tanto que si es grueso se produce una disminución significativa de las fuerzas tensionantes entre la interfaz del agregado y del asfalto. Esta condición de los mecanismos de contención es lo que caracteriza exclusivamente a estos materiales geotextiles (geomallas).

Con el transcurrir del tiempo, la experiencia ha demostrado que este es el principal aporte de la geomalla en el reforzamiento de los pavimentos (Usacoe, 2003). Es decir, la característica de contención de la geomalla, es la que permite constituir capas de material mucho más rígidas dentro de lo cual se incluye también el tipo de abertura como factor de importancia lo que dependerá del tipo de geomalla utilizada. Otro aspecto que resalta es que el máximo de contención de obtendrá en la zona proximal al componente de reforzamiento el cual disminuirá su efecto mientras más distante se encuentre tal como se muestra a continuación.

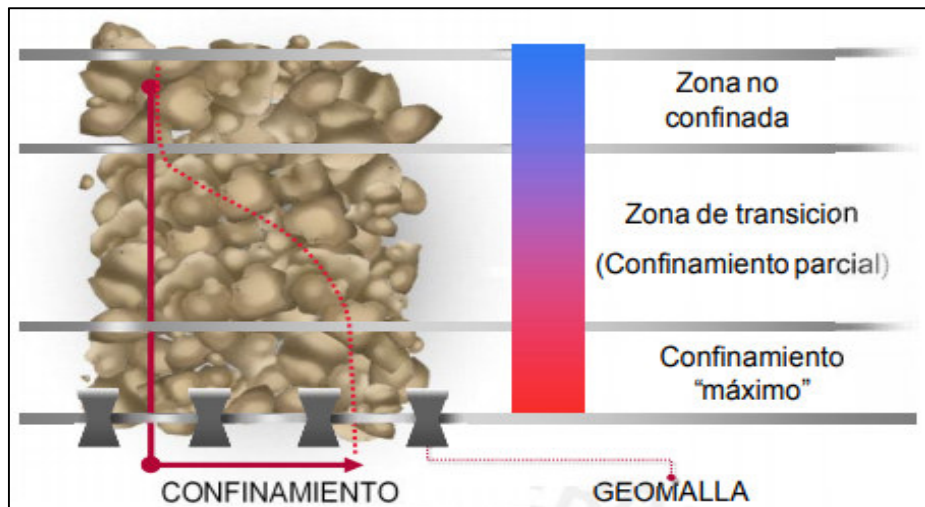


Figura 5 Distribución de zonas de confinamiento
Fuente: Usacoe (2003)

Dependiendo del grosor de la capa, se requerirá el empleo de varias capas de geomallas que garantice una plena funcionalidad en cuanto al aumento en la rigidez se refiere para asegurarse que cumpla con las condiciones de diseño solicitadas a la estructura. (Tensar International Corporation, 2013).

- Aumento de la capacidad portante

El empleo de las geomallas sobre superficies blandas sin pavimento, se asocia con su capacidad portante lo cual es consecuencia de los cambios en la manera y forma de fallar de la subrasante, en la cual su característica más resaltante en la presencia de un ahuellamiento hasta que falla completamente su capacidad de contención general (Tensar International Corporation, 2013).

En ese orden de ideas, la disipación de la presión que se origina entre la subrasante y la geomalla proporciona una mejora significativa en la capacidad portante. Los usos típicos de esta configuración suelen emplearse en vías sin pavimentaos donde la estabilidad es la condición buscada para garantizar estabilidad en la superficie en tratamiento. No obstante, frecuentemente se emplea también en superficies con pavimentos para lograr reforzar el área comprendida entre la subrasante y el agregado.

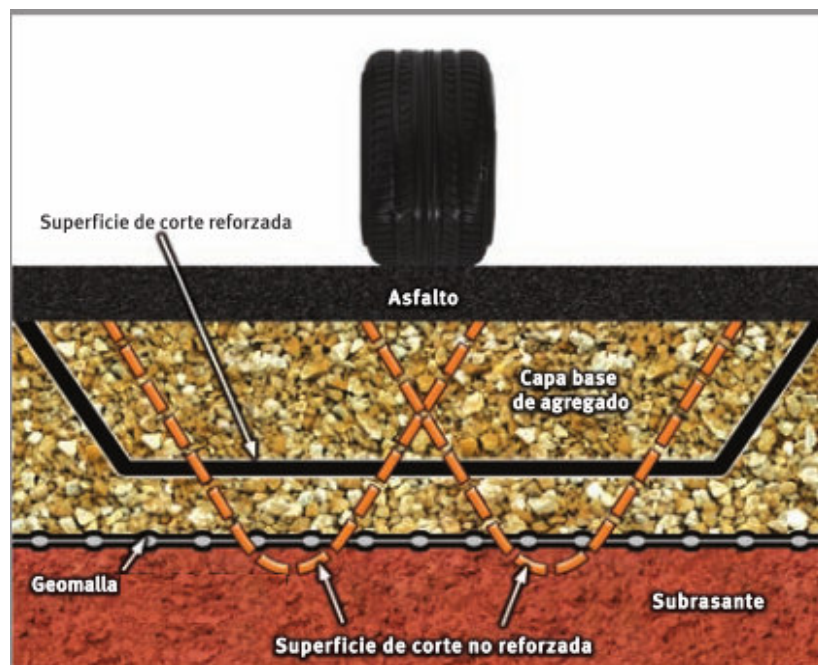


Figura 6 Aumento de la capacidad portante
Fuente: Tensar International Corporation (2013)

Dos formas típicas de falla suelen presentarse en este tipo de configuraciones. Por un lado, la fatiga la cual se asocia con el desplazamiento del asfalto y agregado como consecuencia de la repetición y alternancia en los esfuerzos. En lo que se refiere al ahuellamiento, la mayor parte de las veces es consecuencia del movimiento del suelo en condiciones de servicio. Para mejorar la capacidad de contención, se incrementa el área lo que conllevara a una mejor disipación de las cargas generando menores esfuerzos lo que permite un mejor control en la duración de las estructuras que conforman la vía lo cual es una aplicación típica en carreteras relativamente delgadas hechas sobre suelos caracterizados como blandos de acuerdo con sus propiedades mecánicas. (Tensar International Corporation, 2013).



Figura 7 Efecto zapato de nieve
Fuente: Tensar International Corporation (2013)

- Membrana tensionada

Por todo lo anteriormente comentado, es factible que este material geotextil se comporte como una membrana tensionada al soportar las cargas de las ruedas vehiculares. Es decir, se origina un par de acción y reacción respecto de la carga vertical de la rueda la cual se ilustra gráficamente a continuación:

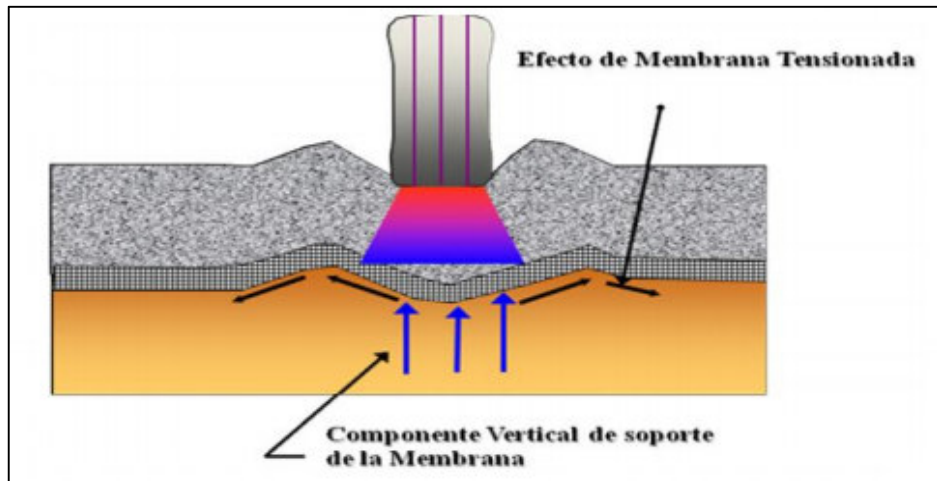


Figura 8 Efecto de membrana tensionada
Fuente: Tensar International Corporation (2013)

El efecto de las deformaciones verticales sobre la malla induce que esta tome una forma cóncava y los esfuerzos que se originan contribuyen a un mejor soporte de la carga vehicular reduciendo las solicitaciones verticales sobre la subrasante. Cuando se presentan ahuellamientos significativos, implica que ha habido deformaciones considerables. La evidencia empírica demuestra que este fenómeno se origina bajo la condición de que el CBR de la subrasante es menor a tres pulgadas (Barksdale, Brown, & Chan, 1989). La ilustración abajo mostrada, explica el efecto de nieve de esta configuración de refuerzo del pavimento con geomallas:

1.3.3. Subrasante

La subrasante comprende la parte correspondiente al suelo que ha sido dispuesta para colocar y soportar todo el arreglo de la vía pavimentada y está comprendida hasta una profundidad que garantice la no afectación de la carga de diseño según el tipo y flujo vehicular que corresponda en los estudios previos. De la soportabilidad que tenga esta capa, dependerá el grosor de los diferentes componentes que comprende un pavimento. Está concebida como el cimiento de la carretera (Caballeros, 2006).

A esta parte de una vía pavimentada le corresponde el lugar donde todo el arreglo de las diferentes capas que integra el pavimento descansa y se hace entre

la interfaz del suelo natural aplanado y explanado y el pavimento propiamente dicho. Esta capa es la parte superficial del terraplén o, dicho de otra manera, la parte más profunda derivada de un proceso de excavación y constituida por suelos que presenta propiedades características tales que garanticen la constitución de un cuerpo estable y en óptimo estado de tal forma que no se afecte por la carga vehicular prevista en el diseño dentro del periodo de vida útil previsto.

Los principales factores a considerar para esta capa son la soportabilidad en servicio asociado a tránsito y carga vehicular previsto en el diseño así como la adecuada selección de los materiales de construcción que constituirán cada capa en particular la superficie de rodadura. En este sentido, en la fase de construcción se recomienda que en los últimos 30 centímetros de suelo por debajo del nivel superior de la subrasante se compacte a un valor no menor al 95% de su máxima densidad seca obtenida por experimentación en laboratorios (MTC, Manual de ensayos de materiales, 2016).

1.3.3.1. Mejoramiento

Según Sosa, Wulff, Sanchez y Saavedra (2010) lo definen como:

La puesta en práctica de alternativas que difieren de las que comúnmente se emplean para el mejoramiento de la transitabilidad o atenuar el levantamiento de partículas en suspensión en el aire (polvo). Esta etapa comprende el conjunto de actividades que son necesarias realizar para incrementar los índices de calidad de la carretera en cuestión.

En otro orden de ideas, a los materiales geotextiles se le atribuyen propiedades que mejoran significativamente las de la subrasante, que por esta razón, (Orrego, 2014) alerta en dos grupos de vías: las temporales y las permanentes cuya clasificación dependerá del volumen de tráfico y desempeño esperado dentro del ciclo de vida útil. Bajo este escenario, a las primeras les corresponde un ciclo de vida que varía entre los 12 y 36 meses periodo dentro del cual se considera no haya un significativo tránsito vehicular por lo que en su mayoría no están pavimentadas.

En ese sentido, dentro de este grupo se encuentran los desvíos (cuando está en ejecución una nueva obra), accesos temporales y planos de construcción necesarios para la cimentación de terraplenes o vías permanentes sobre suelos blandos.

Las geomallas garantizan que los equipos pesados puedan trasladarse por áreas muy débiles con relación al tonelaje que transporta dado que su utilización representa una opción más económica comparada con otros tipos de procesamiento mucho más onerosos.

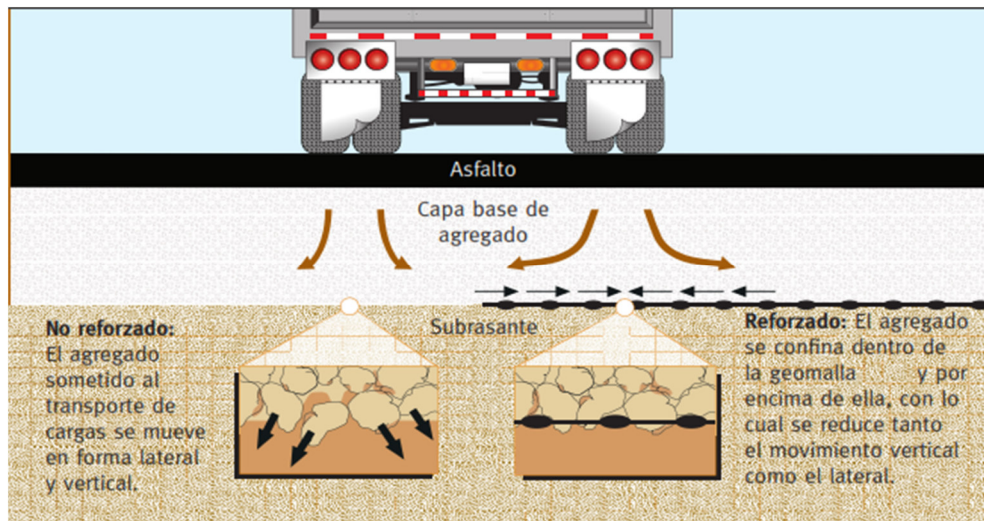


Figura 9 Cargas relativas en la subrasante en el caso de (a) pavimento flexible sin refuerzo y (b) pavimento flexible reforzado con geosintéticos.
Fuente: Orrego (2014)

- Transitabilidad

Según Sosa, Wulff, Sanchez y Saavedra (2010) lo definen como:

“es la capacidad de trasladarse desde y hacia los sitios que se comunican entre sí por el tramo de la vía correspondiente y de la que se sirve el usuario para hacerlo esporádicamente o de forma permanente a lo largo de un periodo de tiempo que pueden ser meses o años. Para solucionar problemas de tránsito se requiere precisar los objetivos que habrán de lograrse a través de un plan de mejoramiento vial. Clasificar objetivamente hablando una vía como intransitable es laborioso. En todo caso, las interrupciones del tránsito por falta de acceso dificultan notoriamente la libre circulación y la forma de vida de la población.”

- Nivel de servicio

Según Sosa, Wulff, Sanchez y Saavedra (2010) lo definen como:

Este concepto está referido a los aspectos de seguridad y confort que proporciona el libre tránsito por una vía, los cuales dependen de la velocidad de desplazamiento y la rugosidad. También dependen de la geometría y de las condiciones particulares de la capa de rodadura.

1.3.3.2. Relleno no controlado

También conocidos como rellenos antrópicos. No queda duda de que un relleno antrópico es aquel que producen los seres humanos. Sin embargo, en geotecnia se hace mención a relleno antrópico cuando hay predominancia de restos de obra y similares, lo que denominamos escombros. Cuando solo hay presencia dispersa de escombros, la geotecnia los denomina restos antrópicos; incluyéndolos dentro de alguna clasificación de suelo como podría ser: Arenas limosas con restos antrópicos dispersos, medios o abundantes según el caso.

1.3.3.3. Clasificación de los suelos

Los suelos están conformados por un sinnúmero de partículas presentando porosidad y vacancias en general. Es considerado un material multifásico en virtud que presenta los tres estados de la materia a saber gaseoso, sólido y líquido. Su clasificación se hace en función del tamaño de grano de las partículas constituyentes (Restrepo, 2014), la cual se muestra a continuación en la tabla 1 que sigue:

Tabla 1

Tipos, denominación y tamaño de suelos

TIPO	DENOMINACIÓN		TAMAÑO (mm)
SUELOS GRANULARES	<i>Grava</i>	<i>Gruesa</i>	60-20
		<i>Media</i>	<i>20-jun</i>
		<i>fin</i>	<i>02-jun</i>
SUELOS COHESIVOS	<i>Arena</i>	<i>Gruesa</i>	<i>0.6-2</i>
		<i>Media</i>	<i>0.2-0.6</i>
		<i>fin</i>	<i>0.08-0.2</i>
	<i>Limo</i>	<i>Gruesa</i>	<i>0.02-0.08</i>
		<i>Media</i>	<i>0.006-0.02</i>
		<i>fin</i>	<i>0.002-0.006</i>
	<i>Arcilla</i>	<i><0.002</i>	

Fuente: Restrepo (2014)

Como suelos granulares se conocen a aquellos cuya granulometría representativa en más del 50% es mayor a los 0,075 mm. Están constituidos mayormente por calcita, feldespato y cuarzo. También presentan trazas de sales, sulfatos y vidrios volcánicos, aunque en menor proporción. (Gonzales et al., 2006).

Por el contrario, los suelos finos se caracterizan porque su granulometría representativa es un conglomerado de fracciones diminutas de arcilla, minerales y roca con una textura que puede ser en forma de granos o en láminas.

1.3.3.4. Clasificación AASHTO

En este caso, los suelos se agrupan en siete clases o grupos (A-1, A-2, A-7) según el tamaño representativo de los granos y su plasticidad los cuales están en función de la cantidad de material que pasa a través de un sistema de tamices cuyos números corresponden 10, 40 y 200. También se condiciona por los límites de consistencia del porcentaje de material que atraviesa el tamiz n° 40. Sin embargo, esta agrupación se reduce a dos grandes géneros de suelos: los limo-arcillosos y los granulares. En el primero más del 35% del material pasa a

través del tamiz n°200 y en el segundo caso es menor a ese porcentaje cuando se emplea el mismo tamiz. (Gonzales et al., 2006).

En ese sentido, las clases A-1, A-2 y A-3 se corresponden con las zahorras, gravas y arena y su desempeño en explanadas varia, en la mayoría de los casos, de bueno a excelente haciendo la salvedad con las subclases A-2-6 y A-2-7 las cuales tienen una performance típica de un suelo arcilloso que se la ocasiona la alta plasticidad de los granos finos que contiene cuando siempre y cuando estos no estén por encima del 15% del total.

La clase A-1 corresponde a un conglomerado de arena (fina y gruesa) y gravas conjuntamente con finos que pueden ser o muy plásticos o no serlo por completo. Dentro de esta clase se encuentran también los agregados conformados por arenas sin finos y grava.

Dentro de la clase A-1 se encuentran los suelos cuya composición mayoritaria es la grava y puede tener o no material fino bien graduado

El grupo A-1-b suele estar conformado por los suelos cuyo material predominante es la arena gruesa la cual puede tener o no material fino graduado.

En el grupo A-3 se incluyen los suelos cuyo material predominante es arena fina de playa o de medaños cuyo origen es eólico y suelen no presentar finos arcillosos o limosos pudiendo presentar o no una pequeña fracción de limo no plástico.

A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz n° 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

Las clases A-2-4 y A-2-5 están conformadas por los suelos que se caracterizan que menos del 35% del material que lo conforma logra pasar a través de un

tamiz n° 200. El material que está dentro de ese porcentaje, presenta las características de las clases A-4 y A-5 esto es, de suelos limosos. Dentro de esta clase se incluyen los suelos cuyos constituyentes son arena gruesa y grava y que tienen contenido de limo o coeficientes de plasticidad que exceden los límites establecidos de la clase A-1. También se incluyen los suelos conformados por arena fina cuya fracción de limo no plástico no es mayor al límite superior de la clase A-3.

Dentro de las clases A-2-6 y A-2-7 se encuentran los suelos caracterizados dentro de las clases A-2-4 y A-2-5 con la salvedad que los finos presentan arcilla plástica con rasgos de las clases A-6 y A-7. La clase en la que se encuentran los suelos limo-arcillosos se corresponden con las A-4, A-5, A-6 y A-7 cuya performance en el terraplén varía de regular a malo. Dentro de esta clasificación suelen incluirse las diferentes clases considerando solo su límite líquido y el índice 30 de plasticidad, según la zona del gráfico de plasticidad donde se ubique. De igual manera se catalogan los suelos de la clase A-2 en las diferentes subclases. (Gonzales et al., 2006).

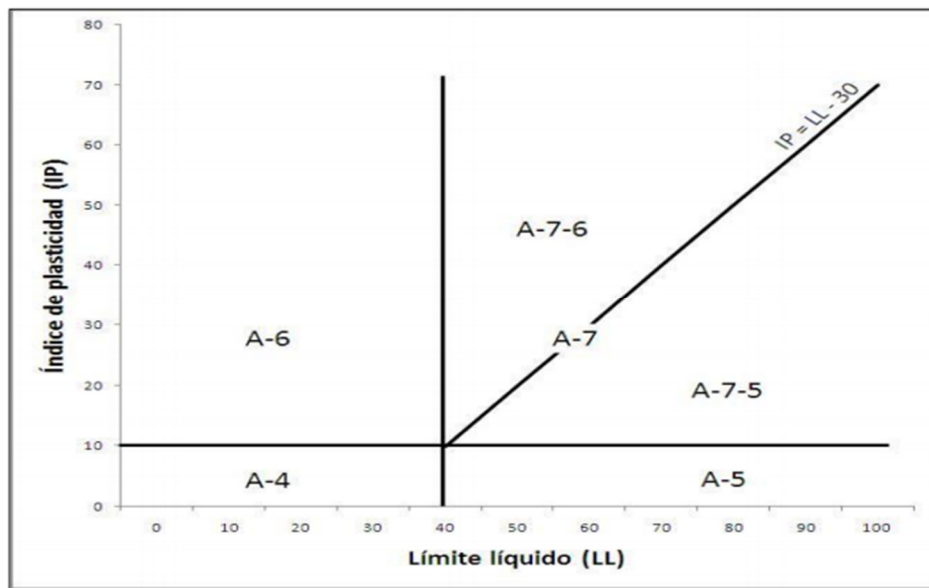


Figura 10 Gráfica plasticidad AASHTO
Fuente: Gonzales et al. (2006)

Los grupos incluidos en los suelos granulares son los siguientes:

A-4: Este grupo se caracteriza por ser un suelo limoso cuya plasticidad varia de moderada a nula donde la fracción del material que lo conforma, cuando pasa por un tamiz n°200, suele atravesarla el 75% del total. Este grupo también lo conforma el conglomerado de suelo fino limoso con presencia de hasta un 64% de grava y arena.

A-5: Los aspectos típicos de esta clase de suelo son casi idénticos a los que caracterizan a la clase A-4 con la salvedad que tienen un comportamiento diatomáceo o micáceo con tendencia a la compresibilidad tal como lo revela su elevado límite líquido.

A-6: Para esta clase, la característica más resaltante es que es del tipo arcilloso plástico donde naturalmente presenta una fracción del 75% del total del material que pasa a través del tamiz n° 200. También se agrupan en esta clase, el conglomerado de suelo fino arcilloso con hasta un 64% de arenas y gravas. Por último, en este tipo de suelos suelen experimentar variaciones en su volumen tanto en estado seco como en estado húmedo.

Para la clase A-7 su performance es como la referida a la clase A-6 con la salvedad que presenta un significativo límite líquido, el cual es característico de la clase A-5 con comportamiento elástico y con capacidad de sufrir enormes variaciones en su volumen.

A-7-5: En esta sub-clase se adscriben los suelos con moderado índice de plasticidad comparado con el límite líquido, tienen alta tendencia a la compresibilidad y capacidad de experimentar significativos cambios en su volumen.

A-7-6: En esta clase se agrupan los suelos con un significativo coeficiente de plasticidad comparado con el límite líquido y que están propensos a experimentar variaciones muy importantes en su volumen. (Gonzales et al., 2006).

1.3.3.5. Módulo resiliente de suelos de subrasante MTC E 128

Se encuentra dentro de los protocolos normalizados para determinar el módulo de resiliencia (modulo elástico dinámico) de los suelos. Cubre también la preparación y ensayo de suelos sin tratamiento previo dentro de unas condiciones que permitan simular razonablemente los atributos físicos y los esfuerzos a los que estarán sometidos los componentes de la subrasante en el entendido que es un pavimento flexible con las cargas típicas debido al flujo vehicular previsto (MTC, 2016).

1.3.3.6. Capacidad portante

1.3.3.6.1. Proctor modificado MTC E 115

Es un tipo de suelo cuya aplicación típica es ser utilizado como relleno en obra de ingeniería vial tales como terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos, entre otros; al compactarse en un estado denso, obtienes propiedades físicas tales como resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad muy satisfactorias. Por esa razón, los suelos de cimentaciones son frecuentemente compactados con el fin de mejorar sus propiedades físicas. Las pruebas de laboratorio establecen los márgenes tanto para calcular los porcentajes de compactación y contenido de agua requerida para obtener las propiedades físicas deseadas como en el control de la construcción (MTC, 2016).

Para obtener la máxima densidad seca se utiliza la ecuación siguiente:

$$D_s = \frac{(P_{ms} - P_m)}{Vx(100 + W)} x 100$$

Donde:

D_s = Máxima Densidad Seca

P_{ms} = Peso del molde más muestra compactada

P_m = Peso del molde

V = Volumen de la muestra

W = Contenido de Humedad en Porcentaje

1.3.3.6.2. CBR de suelos MTC E 132

Establece el protocolo de ensayo para la obtención del índice de resistencia de los suelos conocido como relación de soporte el cual se abrevia como CBR (California Bearing Ratio). El experimento, en condiciones normales, se realiza sobre el suelo previamente tratado en el laboratorio bajo condiciones controladas de densidad y humedad. Sin embargo, también puede realizarse análogamente sobre muestras sin tratamiento previo tomadas directamente del terreno. (MTC, 2016).

Este experimento se emplea para valorar la potencial resistencia del material base, de la subrasante y la Subbase considerando inclusive los componentes reciclados utilizados en la pavimentación de caminos y pistas de aterrizaje. El CBR derivado de este ensayo, está dentro de los métodos considerados en el diseño de los pavimentos flexibles. (MTC, 2016).

Tabla 2

Clasificación típica CBR

CLASIFICACIÓN	CBR diseño
S ₀ : Subrasante muy pobre	< 3%
S ₁ : Subrasante pobre	3% - 5%
S ₂ : Subrasante regular	6% - 10 %
S ₃ : Subrasante buena	11% - 19%
S ₄ : Subrasante muy buena	> 20%

Fuente: (MTC, 2016)

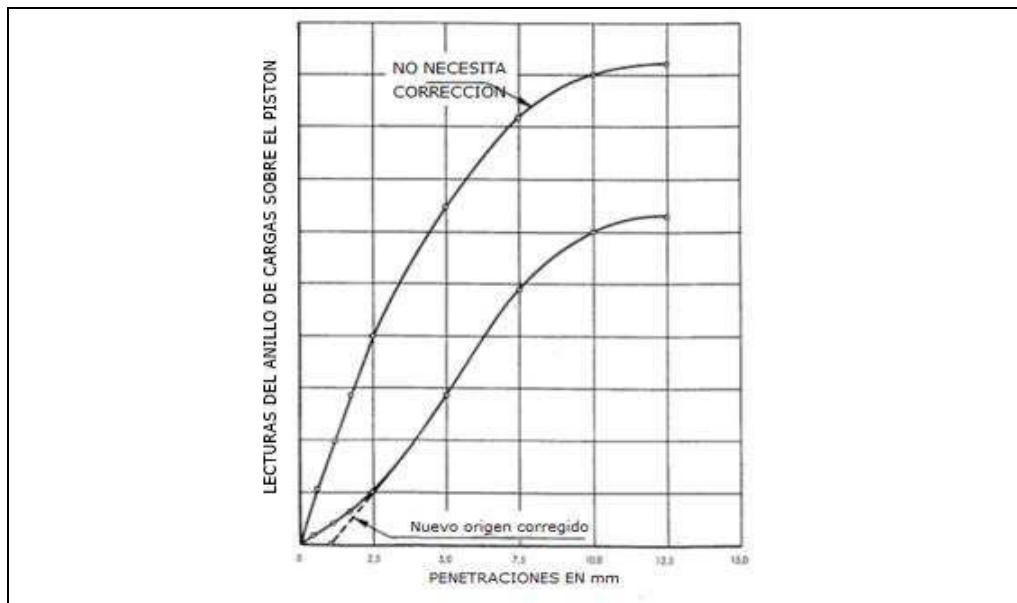


Figura 11 Curva para cálculo de índice de CBR

Fuente: MTC (2016)

1.3.3.7. Espesor

1.3.3.7.1. Metodología Giroud and Noiray

Esta metodología se corresponde con el interlocking, el cual representa teóricamente el aislamiento entre la capa de material y la geomalla que reposa sobre la capa. Esto se debe a que el suelo bajo la acción de las cargas de ruedas de los vehículos tiende a la deformación en forma de ahuellamiento en la superficie rodante, razón por la cual se requiere el reforzamiento del pavimento con materiales geotextiles en el suelo lo que permite la reducción casi exponencial de la deformación. Este fenómeno de reducción se produce por el coeficiente de fricción asociado a las capas y la malla.

Para el reforzamiento, con geomallas triaxiales, de estructuras sin pavimentar puede emplearse el protocolo de diseño de Giroud-Han. Este tipo de configuración permite que se dé la condición de confinamiento en el agregado y la rigidez necesaria de la geomalla en el área respectiva.

Con el protocolo descrito en el párrafo anterior, los parámetros de diseño están restringidos a la geometría de la estructura sin pavimentar, en la que se considera la profundidad, con base a la teoría clásica de la capacidad de carga,

y el espesor mínimo de la capa base. También se toma en consideración las propiedades mecánicas de la capa base y de la geomalla, los criterios de servicios, número de pasada (N), carga de la llanta, el peso equivalente por tipo de configuraciones de ruedas para ejes de camiones, profundidad de la huella y el área de contacto del neumático con relación a la vía, (Almendarez & Reyes, 2017)

En otro orden de ideas, cuando se utiliza el procedimiento de Giroud y Noiray se debe tener en cuenta que la presión de la rueda sobre el pavimento se hace sobre una sección rectangular en la superficie la cual se va distribuyendo uniformemente sobre las áreas rectangulares paralelas de mayor profundidad, por lo que el gradiente de distribución está definido por las líneas descendentes que se alejan de los cuatro bordes de la carga superficial. (Kari & Olortegui, 2019). En otro orden de ideas, en las aplicaciones de materiales geotextiles para mejorar las propiedades de la subrasante, en el protocolo empleado, se asume que se cumple el principio de superposición en el gradiente de distribución de esfuerzos. Esto se hace para poder calcular la fuerza vertical sobre la subrasante producida por las llantas de los vehículos que transitan la vía (Silva, 2016).

Con base a esta carga, se obtiene por cálculo el grosor mínimo requerido de la capa de relleno para que la subrasante pueda resistir adecuadamente las fuerzas aplicadas por las llantas vehiculares. El método Giroud – Han considera todas las propiedades del método Giroud – Noiray así como las singularidades del módulo de elasticidad de la capa de relleno, el ángulo de variación de la distribución de los esfuerzos el cual es función del número de pasadas de ejes equivalentes (Silva, 2016).

La ecuación, propuesta por la FHWA en dicha publicación, es la siguiente:

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019J - 1.744J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \left[\frac{P}{13.7 N_c \left(\frac{S}{3}\right) \left[1 - 0.9 \exp\left(-1.426 \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5}\right)\right] CBR_{sg}} - r \right]$$

Donde:

h = Altura de relleno (m)

j = Módulo de elasticidad de la abertura del refuerzo (N-m/grados)

P = Carga por eje (KN o KIPS)

r = Radio del área de contacto de llanta (m) = $(P/(\pi.p))^{0.5}$

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

N = Número de pasadas de ejes equivalentes

CBR_{bc} = CBR de relleno

CBR_{sg} = CBR de la subrasante

N_c = Factor de capacidad de soporte del suelo de fundación: En vías no reforzadas = 3.14 y en vías reforzadas con geotextiles = 5.14 y en vías reforzadas con geomallas = 5.71

s = Máxima profundidad de ahuellamiento.

1.3.3.8. Formulación del problema

1.4. Problema general

¿La aplicación de geomalla será una técnica factible para reforzar la subrasante en el sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima?

1.4.1. Problemas específicos

¿La aplicación de geomalla reducirá el espesor de la subrasante en el sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima?

¿La aplicación de geomalla mejorara la capacidad portante de la subrasante en el sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima?

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Económico

En el proyecto de pavimentos reforzados con materiales geotextiles tiene dos ventajas. La primera es que considerando el mismo espesor de capas para la forma convencional y con geomallas, esta última le proporciona al pavimento un mejoramiento significativo en las propiedades estructurales. La otra es que disminuye el costo total del proyecto dado que pueden emplearse capas con un menor espesor lo que conlleva a una racionalización de la cantidad de materiales necesarios para construir el pavimento, mantenimiento la integridad estructural para un mismo coeficiente de diseño que el modo convencional (Koerner, 2012).

1.5.2. Práctico

Una de las bondades del empleo de geomallas es su versatilidad en la compactación de los materiales sobre la capa subrasante blanda comparado respecto de los métodos tradicionales de sobre excavación y reemplazo. Se ilustra esta idea con la facilidad que este material es instalado amén de la rapidez con que puede hacerse. En ese sentido, en el apoyo técnico de la TDM se lograron instalar entre 3500 y 4000 m² de geomallas, en lo cual el costo y el tiempo empleado para su colocación redujo la partida presupuestaria prevista para mejorar la subrasante, vale decir, en el esparcido, perfilado y compactación de los materiales empleados (TDM, 2007).

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

* La aplicación de geomalla es una técnica factible para reforzar la subrasante en el sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima.

1.6.2. Hipótesis específicas

* La aplicación de geomalla reduce el espesor de la subrasante en el sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima.

* La aplicación de geomalla mejora la capacidad portante del sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

* Determinar como la aplicación de geomalla refuerza la subrasante en el sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima.

1.7.2. Objetivos específicos

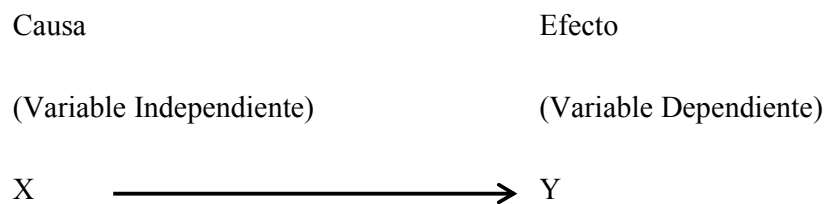
* Evaluar como la aplicación de geomalla reduciría el espesor de la subrasante en el sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima.

* Evaluar como la aplicación de geomalla mejoraría la capacidad portante de la subrasante en el sistema viario 1 – pk 2+700 al pk 3+120 – Mirones bajos – Lima.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

Para Hernandez, Fernández y Baptista (2010) un diseño experimental “permite la manipulación deliberada de las variables de estudio para establecer la influencia de una respecto de la otra. Es decir, si la manipulación de la variable independiente afecta a la variable dependiente”.



De acuerdo a lo planteado en esta investigación, se puede determinar que es un estudio de tipo experimental, dado que controlan, manipulan y observa las variables, por lo cual, se cual se cuantificarán los mecanismos que determinan el comportamiento del pavimento mediante el uso de geomalla (hilos de poliéster, nylon, o fibra de vidrio de alta densidad fabricados con polipropileno, formadas por una red rectangular de elementos de tracción conectados con) como una alternativa para reforzar una subrasante blanda y evitar realizar un movimiento de tierra costoso e innecesario, optimizando el tiempo y costo de la vía.

2.2. Tipo de investigación

La vinculación entre la investigación básica y aplicada es evidente por cuanto la segunda depende de los resultados de la primera los cuales los toma para resolver una situación problemática dentro de un contexto particular. Es decir, su foco de atención esta dirigidos a la utilización rápida y no al crecimiento del corpus teórico de conocimiento de un objeto de estudio (Behar, 2008).

El presente proyecto se trata de una investigación tipo aplicada, dado que mejora las propiedades mecánicas y geo-mecánicas de un suelo blando de subrasante, con el fin

de proporcionar un mejor comportamiento ante las solicitudes de cargas dinámicas a la que se encuentra expuesto el pavimento por la presencia de tráfico y cargas pesadas, mediante el reforzamiento de la subrasante con el uso de geomalla.

2.3. Nivel de investigación

Referido al nivel de investigación, este concierne al nivel de detalle y profundidad con el que se dirige un estudio respecto del objeto de indagación. (Hernández et al., 2010).

En ese mismo orden de ideas, Tamayo (2007) refiere que el nivel de investigación comprende registrar, describir, interpretar y analizar la naturaleza del objeto de estudio y su generalización o inclusión dentro de un contexto más amplio que proporcione una mejor explicación acerca de él.

La presente investigación es de un nivel descriptivo, porque se realizará una evaluación de registros acerca de las condiciones del suelo de subrasante en – PK 2+700 AL PK 3+120 –, análisis e interpretación de datos de laboratorio que corresponden a la caracterización física y la determinación del módulo de resiliencia de las muestras y fichas técnicas con el propósito de delinear el protocolo de diseño destinado a mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.

2.4. Enfoque

Según Hernández et al. (2010) bajo un enfoque cuantitativo, se recolectan y analizan datos que permitan responder las interrogantes que orientan la investigación y hacer las pruebas de hipótesis a las que haya lugar para lo cual se requiere el empleo de la estadística para sistematizar los datos numéricos obtenidos de un proceso de medición o conteo para predecir con relativa exactitud el patrón de comportamiento del objeto de estudio en una población determinada.

La presente investigación está basada en un enfoque cuantitativo, ya que se realizará la recolección y análisis de datos, mediante los ensayos denominados Proctor modificado, granulometría, hidrometría, gravedad específica, determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, contenido de la materia orgánica, pH de suelos, compresión inconfiadas y módulo resiliente.

2.5. Variables, Operacionalización

2.5.1. Variable Independiente: Geomalla

Según Koerner (2012) La geomalla es un material geosintético empleado como refuerzo en la pavimentación de las vías. Dentro de los elementos que la conforman destaca el arreglo de costillas paralelas conectadas entre sí donde el espacio entre ellas genera un efecto de confinamiento del suelo, piedra u otro material geotécnico.

2.5.2. Variable dependiente: Refuerzo de Subrasante

La Subrasante comprende la superficie natural de una vía la cual tiene como finalidad la soportabilidad de las diferentes capas que conforma la capa asfáltica. Su profundidad debe ser tal que no incida en la carga de diseño de acuerdo a las previsiones del volumen y tipo del flujo vehicular previsto. De la performance de la soportabilidad dependerá el grosor que deba tener las distintas capas del pavimento. Por estas razones, a esta capa se le atribuye el cimiento de la carretera (Caballeros, 2006).

2.5.3. Matriz Operacional de Variables

Tabla 3.
Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	“Geosintéticos son un conjunto de celdas interconectadas entre sí y con vacancias que permiten la unión del suelo. Su propósito fundamental es la de servir de reforzamiento interno, mejora del suelo y darle estabilidad a la subrasante. Las geomallas se clasifican en: uniaxiales, biaxiales y multiaxiales” (TDM, 2012)	“las geomallas están hechas con multifilamentos de poliéster de alto peso molecular, por lo que tiene una alta resistencia a la tensión – deformación y muy baja fluencia, resiste a la degradación por uv y a componentes biológicos y químicos normalmente encontrados en los suelos, a la vez que son livianas y fáciles de colocar.” (Andex, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> •Propiedades mecánicas •Características físicas 	<ul style="list-style-type: none"> • rigidez a la flexión • Módulo de elasticidad • Espesor •Medidas de las celdas de fabricación
VARIABLE DEPENDIENTE	Comprende la superficie del terreno de cimentación procesado in situ. Existe una alta correlación entre la calidad de esta capa y el espesor mínimo que debe tener una un pavimento. (MTC, 2013)	“independientemente que el pavimento sea rígido o flexible, está condicionado por la calidad de la geomalla de la cual dependerá el espesor final que deberá tener el pavimento. Como indicador de la performance se utiliza la capacidad de soporte o resistencia a la deformación bajo la acción de esfuerzos cortantes causadas por las cargas del tránsito vehicular.” (ICPC, 2010)	<ul style="list-style-type: none"> •Capacidad portante •Espesor 	<ul style="list-style-type: none"> • cbr •Proctor modificado •Metodología Giroud and Noiray con geomalla

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Población y muestra.

2.6.1. Población

La población es la reunión de elementos que contienen atributos o características comunes entre sí, que cumplen con unos determinados requisitos de pertenencia (Hernández et al., 2010).

La población a tomar en cuenta en la presente investigación será el tramo comprendido entre las pk 2+700 al pk 3+120 del sistema viario 1 – Mirones bajos – Lima ya que en esta extensión de la vía fue tomada la información para el refuerzo de la subrasante.

2.6.2. Muestra

Según los doctores Casal y Matéu el muestreo por conveniencia se refiere a la selección de los elementos definidos en la muestra de la forma que el investigador perciba o considere necesaria para la recolección de los datos con los que desarrollará la investigación sin utilizar métodos estadísticos ni probabilísticos. En este caso, los aspectos de la representatividad de los elementos que conforman la muestra dependen del juicio y criterio de investigador lo que hace sesgado y subjetivo este tipo de muestreo (Casal & Mateu, 2003).

En la presente investigación usaremos un muestreo por conveniencia que será igual a nuestra población que es el tramo comprendido entre las pk 2+700 al pk 3+120 del sistema viario 1 – Mirones bajos – Lima.

2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

- Técnicas

Según Arias (1999) menciona que “los métodos de recolección de datos representan las diversas formas de conseguir los datos e información necesarias para llevar a cabo el estudio”.

Para las geomallas a utilizar se realizará, la recolección de datos a través de su ficha técnica brindadas por el proveedor TENSAR.

Para la subrasante, base y sub base se realizará ensayos de laboratorio y tomaremos los datos convenientes obtenidos a través de estos en el laboratorio TCINGE S.A.C.

- Instrumentos

“Un instrumento es el medio que permite el registro de los datos de observación que caracterizan a los conceptos o variables concebidos por el investigador” (Hernández et al., 2010).

Para la subrasante ensayos de laboratorio:

- Análisis Granulométrico (ASTM 422 y AASTO T88)
- Proctor Modificado (ASTM D 1557 y AASHTO T 180 método C)
- C. B. R. (ASTMD 1883 y AASHTO T 193)

- Validez

Asimismo, Hernández et al. (2010). “La validez del contenido está referida a la certeza de que un instrumento es adecuado al contexto específico de lo que se pretende medir a través de él”

La validez del contenido de los instrumentos que son los ensayos de laboratorio y fichas técnicas, será analizada por juicio de 3 expertos, quienes evaluaron la coherencia, suficiencia y calidad de los instrumentos mencionados.

- Confiabilidad

“La confiabilidad de un instrumento de medición está referida a la posibilidad que cada vez que se le aplique repetidamente al mismo sujeto u objeto produzca los mismos resultados” (Hernández et al., 2010).

Los ensayos a realizar estarán a cargo y supervisión del Técnico e Ingeniero del laboratorio de mecánica de suelos para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados.

Para la geomalla, la empresa TENSAR garantiza la validez y confiabilidad de los resultados ensayados a las geomallas en su laboratorio. Para las que muestra certificaciones internacionales de calidad de su producto.

2.8. Métodos de análisis de datos.

El análisis de los datos en el presente estudio será hecho a través de resultados de laboratorios a los materiales, software especializado en diseño de refuerzo geotécnico y complementados con manuales y normativas que regulan el diseño de pavimentos con el fin de verificar las diferencias que existen entre un mejoramiento a nivel de capa de subrasante con y sin geomalla.

2.9. Aspectos éticos.

El investigador tiene el compromiso de garantizar la veracidad de los resultados, la confiabilidad de los datos obtenidos a partir de los resultados del trabajo en laboratorio. También se garantiza la confidencialidad de la identidad de las personas que participan en el estudio. Por otro lado, toda la información que contiene el presente estudio, esta adecuadamente referenciada.

III. RESULTADOS

3.1. Ubicación y descripción del área de estudio.

La zona de estudio se encuentra en el sistema viario 1 ubicada en la provincia de Lima, distrito de Cercado de Lima, y pertenece a la vía expresa línea amarilla, desarrollándose entre las pk 2+700 a la pk 3+120 a la altura de la unidad vecinal Mirones bajos.

Tabla 4.

Coordenadas UTM progresivas

COORDENADAS UTM		
PUNTO	NORTE	ESTE
PK 2+700	8668689.578	274118.538
PK 3+120	8668741.415	274535.327

Fuente: Elaboración propia.

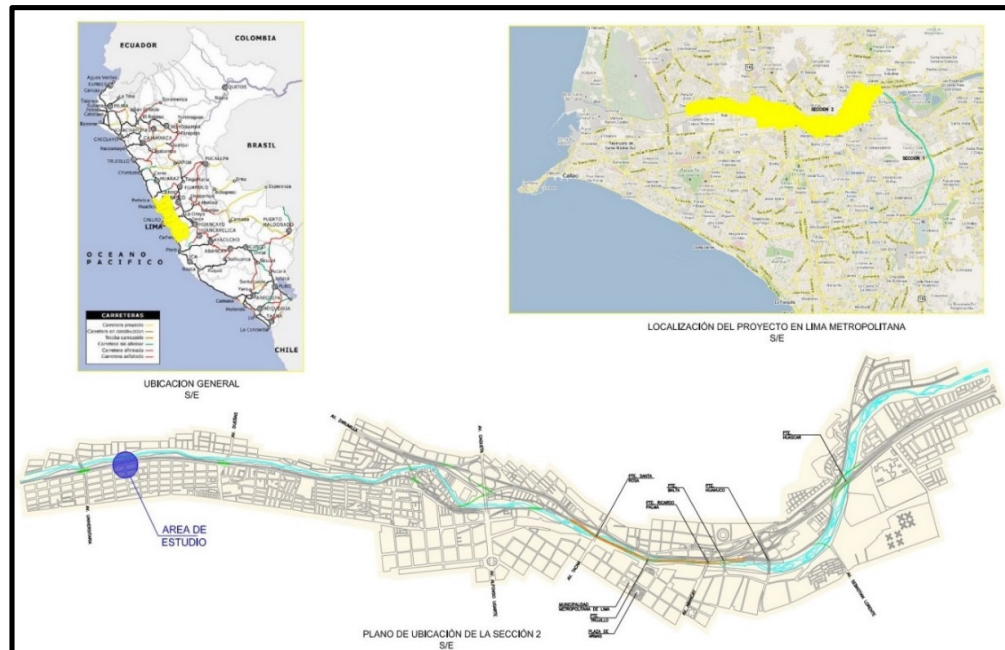


Figura 12 Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Ministerio de transporte y comunicaciones (2020)

3.2. Parámetros para el estudio de suelos.

Para establecer las características de suelo así como el adecuado diseño de la integridad estructural del pavimento, se requiere la exploración e investigación previa del suelo donde se constituirá la vía. En ese sentido, de no ser representativos los datos e información proporcionada al laboratorio los resultados de los ensayos que condicionara la toma de decisiones estarán sesgados y no tendrán relevancia para el respectivo plan de mejoramiento vial. (MTC, 2016).

3.2.1. Exploración de calicatas.

Para describir las propiedades físico-mecánicas de los materiales que conforman la subrasante se realizaran exploraciones mediante calicatas de 1.5m de profundidad, para el número mínimo de calicatas nos regiremos al cuadro 4.1 Numero de calicatas para exploración de suelos (Figura 14) del MANUAL DE CARRETERAS DEL MTC en la sección suelos y pavimentos 2016. A continuación, se presenta una ilustración acerca del tipo y caracterización de las carreteras:

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 4 calicatas x km 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 3 calicatas x km 	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 2 calicatas x km 	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> 1 calicata x km 	

Figura 13 Número de calicatas para exploración de suelos

Fuente: MTC (2016)

En caso el tramo tenga una longitud entre 500 m y 1,000 m el número de calicatas a realizar será la cantidad de calicatas para un kilómetro indicada en el cuadro 4.1. Si el tramo tiene una longitud menor a 500 m, el número de calicatas a realizar será la mitad de calicatas indicada en el cuadro 4.1 (MTC, Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, 2013).

El proyecto vía expresa Línea amarilla está considerada como una autopista que consiste en una calzada cada una de 02 carriles por sentido y a la que le correspondería 4 calicatas por Km x sentido. El área en estudio tiene un desarrollo de 420 metros en ese sentido acatando la norma le corresponde 2 calicatas por cada sentido de circulación.

Tabla 5.

Coordenadas UTM calicatas

PUNTO	NORTE	ESTE
C-1	8668694.8	274203.38
C-2	8668725.1	274282.79
C-3	8668717.5	274367.71
C-4	8668741	274451.3

Fuente: Elaboración propia.

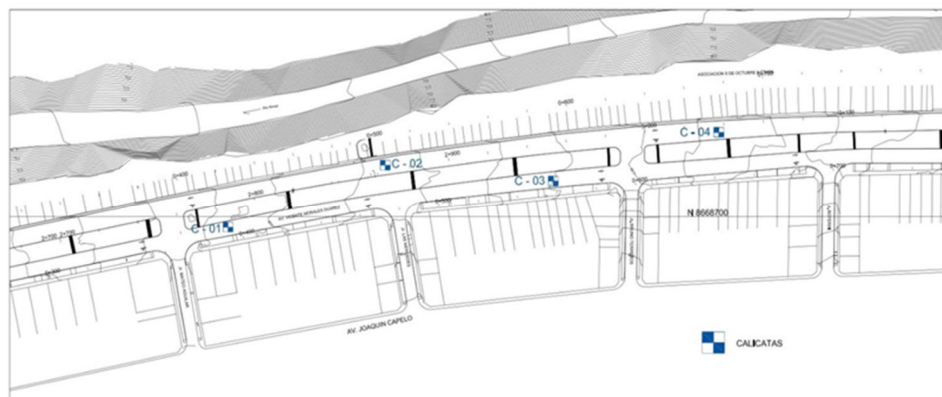


Figura 14 Ubicación de calicatas

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Ensayos a los suelos

- GRANULOMETRÍA

“Representa la proporción de los tamaños de los granos que posee el agregado mediante el tamizado según se especifica en los manuales técnicos correspondientes (Ensayo MTC E 107). Con base a esta información, se estiman con una buena aproximación las demás propiedades que pudieran interesarle al ingeniero proyectista de la obra” (MTC, Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, 2013).

Como resultado de los ensayos de análisis granulométrico por tamizado basado en la norma de referencia ASTM D 422 de las calicatas tenemos la siguiente clasificación para la muestra (ANEXO 1).

Tabla 6

Clasificación de suelos en las calicatas de la zona de investigación

Clasificación de suelos según análisis granulométrico (MTC E 107)				
Calicatas	Profundidad	AASHTO	SUCS	Descripción
C - 1	3.00 m	A-4 (1)	SM	Arena limosa con grava
C - 2	2.75 m	A-2-4 (0)	SM	Arena limosa con grava
C - 3	3.00 m	A-2-4 (0)	SM	Arena limosa con grava
C - 4	2.50 m	A-4 (0)	SM	Arena limosa con grava

Fuente: Elaboración propia.

- CBR (California Bearing Ratio)

Es el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno (MTC, Manual de ensayos de materiales, 2016).

Tabla 7.

Resultados “CBR”

California Bearing Ratio “CBR” (MTC 132)	
	C-1
100%	3.80%
	C-2
100%	2.10%
	C-3
100%	4.00%
	C-4
100%	3.30%

Fuente: Elaboración propia.

- PROCTOR MODIFICADO

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)) (MTC, Manual de ensayos de materiales, 2016).

A continuación, se presenta esta tabla para proctor modificado:

Tabla 8.

Análisis Proctor modificado

Proctor modificado (MTC E 115)		
C-1		
Densidad Máxima Seca		1.954 gr/cm ³
Humedad Optima		12.60%
C-2		
Densidad Máxima Seca		1.962 gr/cm ³
Humedad Optima		13.7%
C-3		
Densidad Máxima Seca		1.951 gr/cm ³

Humedad Optima	13.10%
C-4	
Densidad Máxima Seca	1.961 gr/cm ³
Humedad Optima	13.00%

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Diseño del pavimento

3.3.1. Calculo CBR equivalente

Se realizará el cálculo del CBR equivalente a través del método IRC.

Tabla 9.

CBR Equivalentes

CBR Equivalente	
CBR	2.10%
Subrasante más crítico	
CBR	50%
Relleno estructural para mejoramiento	

Fuente: Elaboración propia.

$$Mr = 10 * CBR \quad (CBR \leq 5\%)$$

$$Mr = 17.6 * CBR^{0.64} \quad (CBR > 5\%)$$

Reemplazando en las ecuaciones:

$$Mr = 10 * 2.1 = 21 \text{ MPa}$$

$$Mr = 17.6 * 50^{0.64} = 207.87 \text{ MPa}$$

Ecuación del Módulo de resiliencia equivalente:

$$Mr (eq) = \frac{H(sr) * Mr(sr) + H(mej) * Mr(mej)}{H(sr) + H(mej)}$$

$$Mr (eq) = \frac{1 * 21 + 1.53 * 207.87}{1 + 1.53}$$

$$Mr(eq) = 130 \text{ MPa}$$

Calculando CBR equivalente:

$$Mr = 17.6 * CBR^{0.64} \quad (CBR > 5\%)$$

$$130 = 17.6 * CBR^{0.64} \quad CBR \text{ equivalente} = 22 \%$$

CBR subrasante mejorada = 22% método IRC

3.3.2. Cálculo del SN (número estructural) AASHTO 1993

El propósito del modelo es el cálculo del Numero Estructural requerido (SNr), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable nivel de servicio durante el periodo de diseño establecido en el proyecto.

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\log^{10}(W^{18}) = Z_r * S^0 + 9.36 * \log^{10}(SN + 1) - 20 + \frac{\log^{10} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log^{10} Mr - 8.07$$

De la ecuación se desprenden los siguientes componentes:

Tabla 10.

Componentes para diseño pavimento flexible

PAVIMENTO FLEXIBLE		
COMPONENTES		
a	ESAL W18	68 300 000
b	MÓDULO DE RESILENCIA (MR)	19006.00
c	CONFIABILIDAD (%R)	95%
d	COEFICIENTE ESTADÍSTICO DE DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL (Zr)	-1.645
e		0.45

f1	DESVIACIÓN ESTANDAR COMBINADA (So)	4.2
f2	SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	3.0
f3	SERVICIABILIDAD FINAL VARIACIÓN DE SERVICIABILIDAD (^PSI)	1.2

Fuente: Elaboración propia.

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64}$$

$$Mr = 19006 \text{ PSI}$$

Utilizando el software para la ecuación AASHTO 93 se obtiene un número estructural equivalente a 5.62, el cual se presenta, a continuación:

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It contains several input fields and calculated values:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 95 % Zr=-1.645, So = .45
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 3
- Módulo resiliente de la subrasante:** Mr = 19006 psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): [Empty]
 - Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): [Empty]
 - Coefficiente de transmisión de carga - (J): [Empty]
 - Coefficiente de drenaje - (Cd): [Empty]
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, Calcular w'18
- Número Estructural:** SN = 5.62
- W18 =** 68300000
- Buttons:** Calcular, Salir

Figura 15 Software AASHTO 93 para cálculo de SN

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11.

Cálculo del SN del pavimento

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO				
Capa	D_i	a_i	m_i	SN_i
Asfalto	6	0.44	1	2.64
Base	12	0.07	1	0.84
Sub Base	12	0.08	1	0.96
Mejoramiento	25	0.047		1.18
			SN =	5.62

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Refuerzo de subrasante con geomalla.

A fin de encontrar una solución en el tramo de estudio donde se encuentran suelos con $CBR < 6\%$ y necesariamente se debe realizar un mejoramiento para así poder evitar exagerados movimientos de tierras. Desde el punto de vista del diseño de pavimentos se plantea el uso de geomalla como alternativa de solución para disminuir el espesor del material de relleno y mejorar la capacidad portante del terreno.

Para el diseño de refuerzo de la subrasante con geomalla se usó el software SPECTRA PAVE 4.0 de la compañía TENSAR el cual está diseñado con la metodología Giroud and Noiray.

En el siguiente cuadro se muestran los valores ingresados en el software para el diseño del mejoramiento de subrasante.

Tabla 12.

Data ingresada al software SPECTRA PRO4 para cálculo de mejoramiento

PROPIEDAD	VALOR	DONDE
Carga Axial	80 Kn	Carga por eje simple equivalente
Presión de Llanta	552 kPa	Corresponde a un camión estándar
CBR Subrasante	2.10%	Terreno natural
CBR Relleno Estructural	50%	Material de mejoramiento

N° ejes equivalentes de 8.2 100,000 N
 Tn
 Prof. Max. Ahuellamiento 40 mm

Camión estándar
 Describe la máxima superficie de deformación que una plataforma de mejoramiento requiere para mantener su serviciabilidad

Fuente: Elaboración propia.

El software SpectraPave4-PRO™ (SP4-PRO) es un software de construcción de carreteras que proporciona a los ingenieros de diseño de pavimentos una herramienta poderosa disponible para evaluar las opciones de diseño y optimizar el rendimiento del pavimento utilizando las geomallas Tensar® en el desarrollo de la presente investigación se mostrarán los resultados del análisis de datos del software, a continuación:

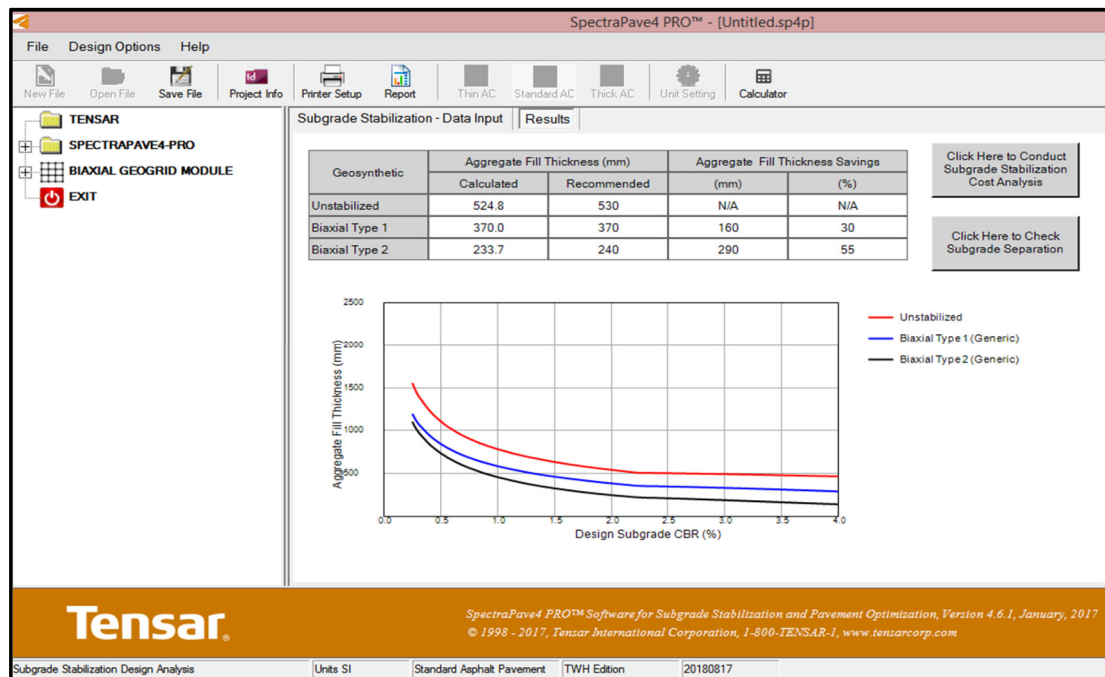


Figura 16. Alimentación de datos SpectraPave4-PRO™ Biaxial

Fuente: Tensar International Corporation (2013)

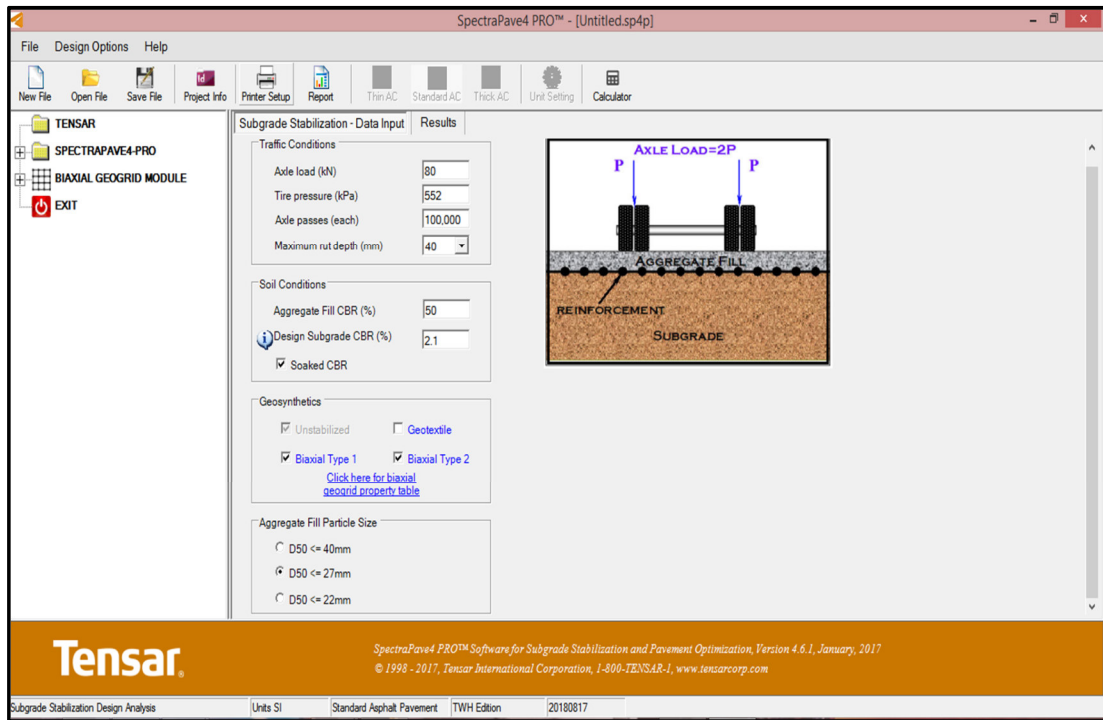


Figura 17. Cálculo del espesor de mejoramiento aplicando geomalla Biaxial
Fuente: TIC (2013)

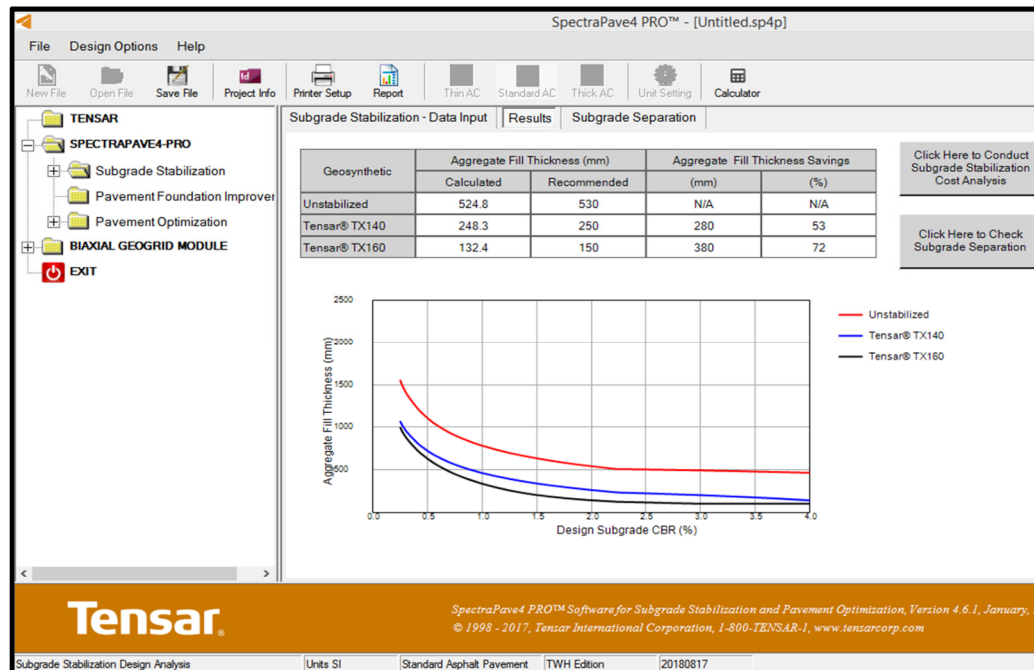


Figura 18. Alimentación de datos SpectraPave4-PRO™ Triaxial
Fuente: TIC (2013)

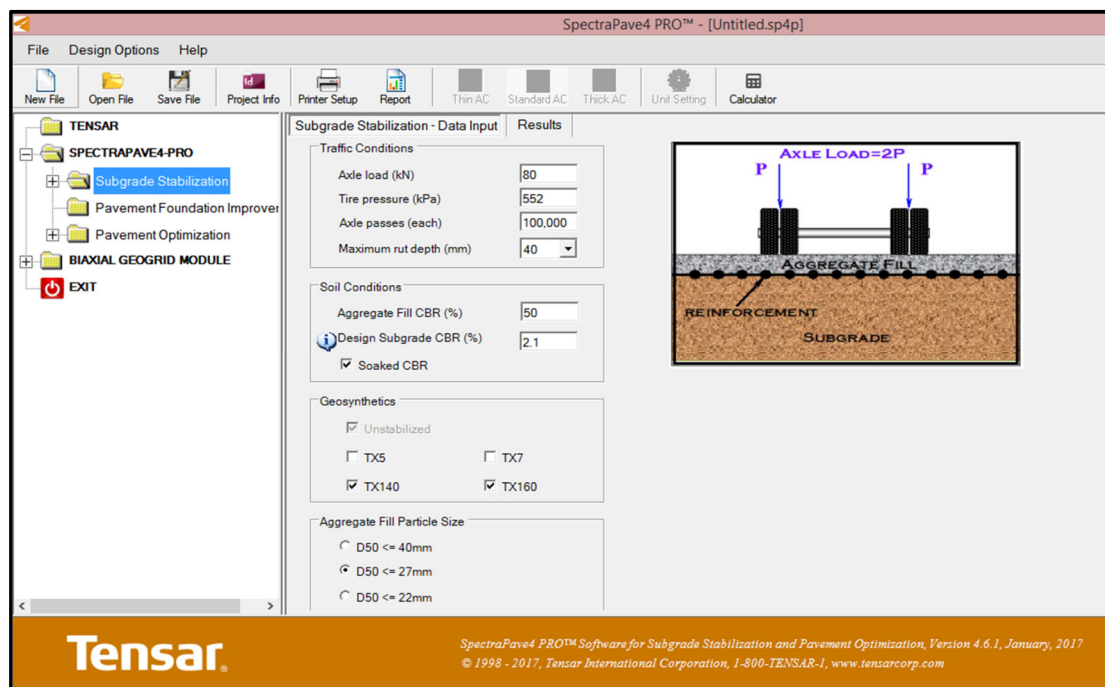


Figura 19. Cálculo del espesor de mejoramiento aplicando geomalla Triaxial
Fuente: TIC (2013)

Luego del análisis del software, se obtiene la siguiente tabla donde se reflejan los resultados de cómo se reduce el espesor de mejoramiento de la subrasante según el tipo de geomalla que se le aplique al análisis.

Tabla 13.

Resultados de espesores de mejoramiento en subrasante

GEOMALLA	ESPESOR DE AGREGADO		AGREGADO AHORRADO	
	CALCULADO	RECOMENDADO	(mm)	(%)
SIN REFORZAR TENSAR				
TX140	524.8	530	N/A	N/A
TENSAR TX 160	524.8	250	280	53
BIAXIAL BX 1100	248.3	150	380	72

BIAXIAL BX				
1200	370.0	370	160	30
	233.7	240	290	55

Fuente: Elaboración propia.

De este modo se vuelve importante realizar el siguiente análisis correlacional con respecto a los moldes empleados para el refuerzo de la subrasante por medio de la técnica de geomalla, como se muestra a continuación:

Tabla 14

Correlación de moldes 1,2 y 3

			Correlaciones		
			Molde1	Molde2	Molde3
Rho de Spearman	Molde1	Coefficiente de correlación	1,000	,925**	,996**
		Sig. (bilateral)	.	,000	,000
		N	,925**	1,000	,900**
	Molde2	Coefficiente de correlación	,000	.	,000
		Sig. (bilateral)	15	15	15
		N	,996**	,900**	1,000
	Molde3	Coefficiente de correlación	,000	,000	.
		Sig. (bilateral)	15	15	15
		N			

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Correlación de moldes 9,8 y 7

			Correlaciones		
			Molde9	Molde8	Molde7
Rho de Spearman	Molde9	Coefficiente de correlación	1,000	,999**	1,000**
		Sig. (bilateral)	.	,000	.
		N	14	14	14
	Molde8	Coefficiente de correlación	,999**	1,000	,999**
		Sig. (bilateral)	,000	.	,000
		N	14	14	14
	Molde7	Coefficiente de correlación	1,000**	,999**	1,000
		Sig. (bilateral)	.	,000	.
		N	14	14	14

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16

Correlación de moldes 10,11, y 12

			Correlaciones		
			Molde10	Molde11	Molde12
Rho de Spearman	Molde10	Coefficiente de correlación	1,000	,999**	,999**
		Sig. (bilateral)	.	,000	,000
		N	14	14	14
	Molde11	Coefficiente de correlación	,999**	1,000	1,000**
		Sig. (bilateral)	.	.	.
		N	14	14	14
	Molde12	Coefficiente de correlación	1,000**	,999**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.	.
		N	14	14	14

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Correlación de moldes 21,22, y 23

Correlaciones					
			Molde	Molde	Molde
Rho de Spearman	Molde 21	Coeficiente de correlación	21	22	23
		Sig. (bilateral)	1,000	,987**	,996**
		N	.	,000	,000
	Molde 22	Coeficiente de correlación	,987**	1,000	,996**
		Sig. (bilateral)	,000	.	,000
		N	14	14	14
	Molde 23	Coeficiente de correlación	,996**	,996**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	,000	.
		N	14	14	14

La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

Con base a los resultados obtenidos, en primer lugar, el software SPECTRA PAVE 4.0, para el cálculo del espesor de mejoramiento de la subrasante sin geomalla, permitió obtener un resultado de 0.53 m al aplicar la geomalla BX 1100, obteniéndose un espesor de mejoramiento de 0.37 m, lo que representa un 30% de reducción. En ese mismo orden, al aplicar geomalla la BX 1200 se obtuvo un espesor de mejoramiento de 0.24 m, lo que representa un 55%. Consecutivamente, para la geomalla Triaxial TX 140, el espesor de mejoramiento fue de 0.25 m, equivalente a un 53 % de reducción. Finalmente, la aplicación de la geomalla Triaxial TX 160 representó un espesor de mejoramiento de 0.15 m, equivalente a un 72 % de reducción.

Bajo esa aseveración, estos resultados se validan con investigaciones como la de Almendarez y Reyes (2017), quien afirma que el uso de las geomallas biaxiales permita la disminución de los espesores de las secciones reforzadas entre un 21,05 % y 40,74%. Mientras que, para efectos de uso de mallas multiaxiales, estos valores fluctúan entre 20 % y 50%, aproximadamente. Sin embargo, en ambos escenarios, se recomienda el uso de espesores de 15 cm para garantizar la correcta colocación, compactación y densificación del material.

Por otra parte, con respecto a los ensayos realizados para determinar los efectos de las geomallas en los parámetros CBR, se pudo contrastar con estudios como el de Chávez y Odar (2019) que, dentro de los mismos, existe un incremento considerable del parámetro CBR hipotético, obteniendo este último un aumento del 56% en su investigación y confirmando que los materiales cumplían con las especificaciones para materiales de subrasante, al reducir la presión sobre la capa de apoyo en suelos blandos, estabilizando y mejorando el comportamiento de las capas superiores. De este modo, se valida el uso de geomallas para mejorar la capacidad portante de las capas dentro de la presente investigación.

V. CONCLUSIONES

1. Con respecto a la hipótesis general se puede concluir que la aplicación de geomalla es una técnica adecuada porque refuerza efectivamente la subrasante; ya que se obtuvo un aumento del 48 % mejorando notablemente la capacidad portante de esta, con lo cual además se logra una mejora en la estructura total del pavimento y su vida útil, y estadísticamente según Rho de Spearman del molde 1 (56 golpes por capa), con un coeficiente de 0,925 se relaciona con el molde 2 (25 golpes por capas) y 0,996 con el molde 3 (12 golpes por capas), en cuanto al ensayo de CBR (AASHTO T-193), para el caso del molde 21 (55 golpes por capa), con un coeficiente de 0,987 se relaciona con el molde 22 (25 golpes por capas) y con respecto al molde 23 (12 golpes por capas) un coeficiente de 0,996 y con respecto al molde 7, 8 (correlación de 0,99), 9,10,11 (correlación de 0,99), y 12, 8 correlación de 0,99) se encuentran totalmente relacionado entre sí, con un nivel de confianza del 95%.
2. De acuerdo a la primera hipótesis específica se demostró que el uso de geomalla reduce el espesor de la subrasante a mejorar, en los resultados obtenidos con el software SPECTRA PAVE 4.0 en el cálculo del espesor de mejoramiento de la subrasante sin geomalla se obtuvo un resultado de 0.53 m, aplicando al cálculo la geomalla BX 1100 obtenemos un espesor de mejoramiento de 0.37 m lo que representa un 30% de reducción, aplicando la BX 1200 obtenemos un espesor de mejoramiento de 0.24 m lo que representa un 55% y para la geomalla Triaxial TX 140 presenta un espesor de mejoramiento de 0.25 m equivalente a un 53 % de reducción y aplicando la geomalla Triaxial TX 160 presenta un espesor de mejoramiento de 0.15 m equivalente a un 72 % de reducción.
3. Los cálculos obtenidos respecto al aumento de la capacidad portante alcanzan el 48% con lo cual se afirma la segunda hipótesis específica que indica que la aplicación de geomalla para el refuerzo de subrasante mejora la capacidad portante de la misma y estadísticamente se encuentran totalmente correlacionadas entre sí, con un nivel de confianza del 95%.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda uso de geomalla como refuerzo de subrasante y pavimentos al ser una alternativa tecnológica de fácil aplicación, en nuestro país hay abundantes zonas con suelos de baja capacidad portante y muchos kilómetros de superficie de rodadura no pavimentada que por la falta de mantenimiento y conservación se hacen intransitables. Esta técnica mejoraría estas condiciones ya que alarga el tiempo de vida útil de las superficies viales donde son aplicadas.
- Se recomienda el correcto uso de la geomalla en el proceso de instalación respetando estrictamente las recomendaciones alcanzadas por el proveedor con respecto al manejo y almacenaje de los mismos.
- Es necesario la publicación de un manual o normativa oficial que estandarice el uso de los geosintéticos, así más proyectos a nivel nacional considerarían en sus diseños de mejoramientos de pavimentos esta metodología que cada vez es más usada en el mundo.
- Se recomienda la creación de un registro nacional donde todos los profesionales que hayan tenido la experiencia de trabajar con geosintéticos aporten información respecto al tema, ya que es probado que cuantas más experiencias sean documentadas se podrá dar mejor uso de esta técnica.
- Se recomienda a la universidad traducir la bibliografía existente respecto al tema, ya que la gran mayoría de esta se encuentra en idiomas extranjeros e incluir en el área de ingeniería civil un curso o talleres, no solo el uso de geosintéticos sino también el de nuevas tecnologías que nos permitan estar al día en las técnicas de vanguardia.

REFERENCIAS

- Almendarez, L., & Reyes, J. (2017). Diseño de pavimentos flexibles con refuerzo de Geomalla triaxial utilizando la métodoGitoud-Han: Caso de Aplicación en Honduras. *15 th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 1-10.
- Arias, F. G. (1999). *El proyecto de investigación*. odon.
- Army corps of Engineers U.S. . (2003). *Use of geogrids in pavement construction. Technical Letter: ETL 1110-1-189*. Washington.
- Barksdale, R. D., Brown, S. F., & Chan, F. (1989). *Potential benefits of geosynthetics in flexible pavement systems*.
- Behar, D. (2008). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. Editorial Shalom.
- Bustamante, A. (2016). *Evaluación en el Nivel de Resistencia de una Subrasante, con el uso combinado de una Geomalla y un Geotextil*. Cuenca.
- Caballeros, e. (2006). *Utilización De La Geomalla Como Refuerzo De La Estructura Del Pavimento Flexible*. Guatemala: Universidad De San Carlos De Guatemala-Facultad De Ingeniería.
- Casal, J., & Mateu, E. (2003). *Tipos de muestreo* (Vol. 1). Rev Epidem Med Prev.
- Chávez, D., & Odar, G. (2019). *Propuesta de estabilización con geomallas para subrasantes con presencia de suelos arcillosos en bofedales y su influencia en el pavimento rígido bajo la metodología de diseño AASHTO 93 aplicado al tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo (Tesis de pregrado)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Cruz, E. (2013). *Influencia de geomallas en los parametrosmecanicos de materiales para vias terrestres*. Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Egoavil, H. (2012). *Refuerzo de cimentaciones superficiales con geosinteticos*. España: CEDEX.
- Flores, G. (2018). *Diseño con geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles*. Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Geomembranas. (2013). *Geomallas*. Colombia.

- Geosistemas PAVCO. (2009). *Manual de diseño de geosintéticos*. Mexico: Departamento de Ingeniería.
- González, L. (2006). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta edic. ed.). Mexico: Mc Graw Hill Interamericana.
- Kari, M., & Olortegui, J. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento flexible reforzado con geomalla en la interfaz subrasante-subbase utilizando la metodología Giroud-Han, para mejorar e tramo de la carretera (via)* . Lima.
- Koerner, R. M. (2012). *Designing with geosynthetics*. Xlibris Corporation.
- Lizarraga, J. (2013). *Diseño y construcción de pavimentos flexibles aplicando geomallas de polipropileno como sistema de reforzamiento estructural*. Mexico: Universidad Autónoma de México.
- Montero, F., & Otero, D. (2016). *Evaluación del comportamiento mecánico de una estructura bicapa, reforzada con geomalla biaxial, compuesta por afirmado in vivo sobre subrasante blanda, aplicable a vías no pavimentadas*. Bogotá.
- MTC. (2013). *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*. Lima: Ministerio de transportes y comunicaciones.
- MTC. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. LIMA: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES.
- Orrego, D. (2014). *Análisis técnico económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles*. Lima: Pontificia Universidad Católica.
- Restrepo, L. (2014). *Mejoramiento de suelos finos a partir de la electroósmosis*. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.
- Silva, M. (2016). *Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo tx140 y tx160, aplicado a un tramo de la calle Alemania – la Molina - Cajamarca 2016*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Sosa, A., Wulff, F., Sánchez, D., & Saavedra, J. (2010). *Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito*.

- Taibe, W., & Tovar, E. (2012). *Comportamiento del pavimento flexible con el uso de geomalla en el distrito de Iircay km 0+100 camino a Ocopa departamento de Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Tamayo, M. (2007). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Limusa.
- Tensar International Corporation. (2013). Propiedades y ventajas en el desempeño de las geomallas. Tensar.
- Transportation Officials. (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures*. Washington: AASHTO.
- Vargas, J., Moncayo, M., Córdova, J., Maza, C., Barzola, I., Velasco, G., . . . Lucio, S. (2017). La geomalla como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles. *Redalyc*, 1-10.

ANEXOS

Anexo 1: Fichas técnicas de geomallas



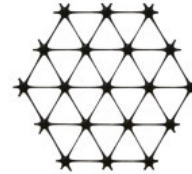
Especificación de Producto – Geomalla TriAx® TX140

Tensor International Corporation se reserva el derecho de modificar las especificaciones del producto en cualquier momento. Es responsabilidad de quién diseña y de quién compra el asegurarse de que las especificaciones del producto son las vigentes y apropiadas para cada caso.

General

- La geomalla es manufacturada utilizando una lámina de Polipropileno perforada la cual se orienta en tres direcciones sustancialmente equilateras de manera que las costillas resultantes tengan un alto grado de orientación molecular lo cual continuará parcialmente a través de la masa del nodo integral.
- Las características contribuyentes al desempeño de la carpeta mecánicamente estabilizada incluyen:

Tensor - Geomalla TriAx®



Propiedades Índices	Longitudinal	Diagonal	Transversal	General
<ul style="list-style-type: none"> Largo de la costilla⁽²⁾, mm (in) Profundidad media de la costilla⁽²⁾, mm (in) Ancho medio de la costilla⁽²⁾, mm (in) Geometría de la costilla Geometría de la abertura 	40 (1.60)	40 (1.60)	-	Rectangular Triangular
	-	1.2 (0.05)	1.2 (0.05)	
	-	1.1 (0.04)	1.1 (0.04)	
Integridad Estructural				
<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia de la Junta⁽³⁾, % Proporción de la Rigidez Isotrópica⁽⁴⁾ Rigidez radial a baja deformación⁽⁵⁾, kN/m @ 0.5% de deformación (lb/ft @ 0.5% de deformación) 				93 0.6 225 (15,430)
Durabilidad				
<ul style="list-style-type: none"> Resistencia a degradación química⁽⁶⁾ Resistencia a rayos UV y desgaste⁽⁷⁾ 				100% 70%

Dimensiones y entrega

La geomalla debe ser entregada en campo en rollos identificados individualmente de acuerdo a las siguientes dimensiones nominales:

- Ancho de 3.0 metros (9.8 pies) y largo desenrollado de 75 metros (246 pies).
- Ancho de 4.0 metros (13.1 pies) y largo desenrollado de 75 metros (246 pies).
- Ancho de 4.87 metros (16 pies) y largo desenrollado de 100 metros (328 pies).

Notas:

- Excepto cuando se indique lo contrario, los valores que se muestran son valores promedio mínimos de rollo, MARV, siguiendo los requisitos del ASTM D4759. Las notas a continuación incluyen una breve descripción de los ensayos.
- Dimensiones nominales.
- Capacidad de transferencia de carga es determinada de acuerdo a los ensayos ASTM D6637 and ASTM D7737 y expresada como porcentaje de la capacidad última a la tensión.
- La proporción entre los valores observados mínimos y máximos de la rigidez radial a 0.5% de tensión, medidos en una costilla y a media distancia en las direcciones de la costilla.
- Rigidez radial es determinada de la rigidez a la tensión medida en cualquier eje planar del ensayo según descrito en ASTM D6637.
- Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural al estar expuesto a ambiente químicamente agresivo según el ensayo de Inmersión EPA9090.
- Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural al estar expuesto a 500 horas de rayos UV y desgaste agresivo según el ensayo ASTM D4355.

Tensor International Corporation
2500 Northwinds Pkwy.
Atlanta, Georgia 30009
Teléfono: 1770 344 2090
www.tensorcorp.com/ES

La presente especificación reemplaza cualquier especificación previa para el antes descrito producto y no es válida para productos enviados antes del 31 de enero de 2014. Los nombres Tensor y TriAx son marcas registradas propiedad de Tensor International Corporation y/o de sus filiales en los Estados Unidos y en muchos otros países. La geomalla TriAx® y su uso están protegidos por la patente U.S. No. 7,001,112. Patentes o solicitudes de patente también están vigentes en otros países. La determinación final de la idoneidad de la información contenida en este documento y de la descripción del producto para un uso o aplicación específica y su método de utilización son responsabilidades únicas del usuario. Tensor International Corporation renuncia a cualquier garantía expresa, implícita o estatutaria, incluyendo y no limitado a cualquier garantía de comerciabilidad o idoneidad para un uso particular en relación a este u otros productos, tecnologías o servicios de la empresa. La información expresada en el presente documento no debe interpretarse ni constituye consejo de ingeniería.

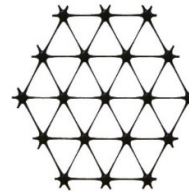
Especificación de Producto – Geomalla TriAx® TX160

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

General

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

Tensor TriAx® Geogrid



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

Dimensiones y Despacho

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

Notas

- A menos que se muestre diferente, los valores mostrados son valores mínimos promedio del rollo determinados de acuerdo con la norma ASTM D4759-02. Breves descripciones de los procedimientos de las pruebas se dan en las siguientes notas.
- Dimensiones nominales.
- Capacidad de transferencia de carga determinada según la norma GRI-GG2-87 y GRI-GG1-87 y es expresada como porcentaje de la resistencia última a tensión.
- Rigidez torsional en su plano es medida aplicando un momento a la unión central de una muestra de 225mm x 225mm fijada en su perímetro según la norma GRI-GC9 modificada.
- Rigidez radial es determinada de la rigidez a tensión medida en cualquier eje de su plano en una prueba según la norma ASTM D6637-10.
- Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando se somete a ambientes químicamente agresivos según la norma EPA 9090, prueba de inmersión.
- Resistencia a pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando se somete a 500 horas de luz ultravioleta e intemperismo agresivo según la norma ASTM D4355-05.

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

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



Tensor International Corporation
 2500 Northwinds Pkwy, Suite 500
 Alpharetta, Georgia 30009
 Phone: 800-TENSAR-1
 www.tensorcorp.com

Especificación de Producto – Geomalla Biaxial BX1100

Tensor International Corporation se reserva el derecho de modificar las especificaciones del producto en cualquier momento. Es responsabilidad de quién especifica y de quién compra el asegurarse de que las especificaciones del producto son las vigentes y apropiadas para cada caso.

Tipo de Producto: Geomalla Biaxial de estructura integral
Polímero: Polipropileno
Mecanismo de transferencia de carga: Trabazón Mecánica Positiva
Aplicaciones principales: Sistema Spectra (Refuerzo de BASE, mejoramiento de Subrasante)

Propiedades del Producto

Propiedades Índices	Units	MD Values ¹	XMD Values ¹
▪ Tamaño de Apertura ²	mm (in)	25 (1.0)	33 (1.3)
▪ Grosor mínimo de la costilla ²	mm (in)	0.76 (0.03)	0.76 (0.03)
▪ Capacidad a la Tensión @ 2% de esfuerzo ³	kN/m (lb/ft)	4.1 (280)	6.6 (450)
▪ Capacidad a la Tensión @ 5% de esfuerzo ³	kN/m (lb/ft)	8.5 (580)	13.4 (920)
▪ Capacidad Última a la Tensión ³	kN/m (lb/ft)	12.4 (850)	19.0 (1,300)
Integridad Estructural			
▪ Eficiencia de las Juntas o Nodos ⁴	%	93	
▪ Rigidez Flexionante General ⁵	mg-cm	250,000	
▪ Estabilidad de la Apertura ⁶	m-N/deg	0.32	
Durabilidad			
▪ Resistencia al Daño durante Instalación ⁷	%SC / %SW / %GP	95 / 93 / 90	
▪ Resistencia a la Degradación a largo plazo ⁸	%	100	
▪ Resistencia a la Degradación por exposición UV ⁹	%	100	

Dimensiones y entrega

La geomalla biaxial debe ser entregada en campo en rollos identificados individualmente. Los rollos son enviados de acuerdo a las siguientes dimensiones nominales:

- Ancho de 3.0 metros (9.8 pies) y largo de 75 metros (246 pies).
- Ancho de 4.0 metros (13.1 pies) y largo de 75 metros (246 pies).

Notas:

1. Excepto cuando se indique lo contrario, los valores que se muestran son valores promedios mínimos de rollo, MARV, según determinados mediante ensayo ASTM D4759-02. En las notas a continuación se incluye una breve descripción del ensayo:
2. Dimensiones nominales.
3. Determinado de acuerdo al ensayo ASTM D6637-10 Método A.
4. Capacidad de transferencia de carga determinada de acuerdo al ensayo ASTM D7737-11.
5. Resistencia a las fuerzas de flexión determinada de acuerdo al ensayo ASTM D7748/D7748M-14.
6. Resistencia al movimiento rotacional del plano determinada de acuerdo al ensayo ASTM D7864/D7864M-15.
7. Resistencia a la pérdida de capacidad o integridad estructural al estar sujeta a esfuerzos debido a instalación mecánica en arenas arcillosas (SC), arenas bien gradadas (SW) y roca triturada clasificada como grava pobremente gradada (GP). Las muestras de la geomalla deben ser tomadas siguiendo el método ASTM D5818 y la capacidad de carga se debe determinar siguiendo el método ASTM D6637.
8. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o pérdida de integridad estructural cuando se expone la geomalla a ambientes químicamente agresivos determinada de acuerdo al ensayo de inmersión EPA 9090.
9. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o pérdida de integridad estructural cuando se expone la geomalla a rayos ultravioleta y condiciones de climatología agresivas durante 500 horas siguiendo el método ASTM D4355-05.

Tensor International Corporation garantiza que al momento de la entrega la antes descrita geomalla cumplirá con los datos de esta especificación. Se excluye cualquier otra garantía tales como la comerciabilidad, aplicabilidad para un uso particular, etc. En caso de que la geomalla no cumpla con la especificación de esta hoja y en caso de notificarse a Tensor previo a la instalación entonces Tensor reemplazará la geomalla sin costo al cliente.

Esta hoja de especificaciones reemplaza todas las especificaciones para el antes descrito producto y no es válida para productos enviados antes del 1ro de febrero de 2013.



Tensar International Corporation
 2500 Northwinds Pkwy, Suite 500
 Alpharetta, Georgia 30009
 Phone: 800-TENSAR-1
 www.tensarcorp.com

Especificación de Producto – Geomalla Biaxial BX1200

Tensar International Corporation se reserva el derecho de modificar las especificaciones del producto en cualquier momento. Es responsabilidad de quién especifica y de quién compra el asegurarse de que las especificaciones del producto son las vigentes y apropiadas para cada caso.

Tipo de Producto: Geomalla Biaxial de estructura integral
Polímero: Polipropileno
Mecanismo de transferencia de carga: Trabazón Mecánica Positiva
Aplicaciones principales: Sistema Spectra (Refuerzo de BASE, mejoramiento de Subrasante)

Propiedades del Producto

Propiedades Índices	Unidad	Valores MD ¹	Valores XMD ¹
▪ Tamaño de Apertura ²	mm (in)	25 (1.0)	33 (1.3)
▪ Grosor mínimo de la costilla ²	mm (in)	1.27 (0.05)	1.27 (0.05)
▪ Capacidad a la Tensión @ 2% de esfuerzo ³	kN/m (lb/ft)	6.0 (410)	9.0 (620)
▪ Capacidad a la Tensión @ 5% de esfuerzo ³	kN/m (lb/ft)	11.8 (810)	19.6 (1,340)
▪ Capacidad Última a la Tensión ³	kN/m (lb/ft)	19.2 (1,310)	28.8 (1,970)
Integridad Estructural			
▪ Eficiencia de las Juntas o Nodos ⁴	%	93	
▪ Rigidez Flexionante General ⁵	mg-cm	750,000	
▪ Estabilidad de la Apertura ⁶	m-N/deg	0.65	
Durabilidad			
▪ Resistencia al Daño durante Instalación ⁷	%SC / %SW / %GP	95 / 93 / 90	
▪ Resistencia a la Degradación a largo plazo ⁸	%	100	
▪ Resistencia a la Degradación por exposición UV ⁹	%	100	

Dimensiones y entrega

La geomalla biaxial debe ser entregada en campo en rollos identificados individualmente. Los rollos son enviados de acuerdo a las siguientes dimensiones nominales:

- Ancho de 3.0 metros (9.8 pies) y largo de 50 metros (246 pies).
- Ancho de 4.0 metros (13.1 pies) y largo de 50 metros (246 pies).

Notas:

1. Excepto cuando se indique lo contrario, los valores que se muestran son valores promedios mínimos de rollo, MARV, según determinados mediante ensayo ASTM D4759-02. En las notas a continuación se incluye una breve descripción del ensayo:
2. Dimensiones nominales.
3. Determinado de acuerdo al ensayo ASTM D6637-10 Método A.
4. Capacidad de transferencia de carga determinada de acuerdo al ensayo ASTM D7737-11.
5. Resistencia a las fuerzas de flexión determinada de acuerdo al ensayo ASTM D7748/D7748M-14.
6. Resistencia al movimiento rotacional del plano determinada de acuerdo al ensayo ASTM D7864/D7864M-15.
7. Resistencia a la pérdida de capacidad o integridad estructural al estar sujeta a esfuerzos debido a instalación mecánica en arenas arcillosas (SC), arenas bien gradadas (SW) y roca triturada clasificada como grava pobremente gradada (GP). Las muestras de la geomalla deben ser tomadas siguiendo el método ASTM D5818 y la capacidad de carga se debe determinar siguiendo el método ASTM D6637.
8. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o pérdida de integridad estructural cuando se expone la geomalla a ambientes químicamente agresivos determinada de acuerdo al ensayo de inmersión EPA 9090.
9. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o pérdida de integridad estructural cuando se expone la geomalla a rayos ultravioleta y condiciones de climatología agresivas durante 500 horas siguiendo el método ASTM D4355-05.

Tensar International Corporation garantiza que al momento de la entrega la antes descrita geomalla cumplirá con los datos de esta especificación. Se excluye cualquier otra garantía tales como la comerciabilidad, aplicabilidad para un uso particular, etc. En caso de que la geomalla no cumpla con la especificación de esta hoja y en caso de notificarse a Tensar previo a la instalación entonces Tensar reemplazará la geomalla sin costo al cliente.

Esta hoja de especificaciones reemplaza todas las especificaciones para el antes descrito producto y no es válida para productos enviados antes del 1ro de febrero de 2013.

Anexo 2: Ensayos de laboratorio



Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION			Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA -2018			Revisó	E.G.I
				Técnico	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima			Fecha	lu. 29-10-18
Calicata	C - 1				
Muestra	M - 1				
Profundidad (m)	3.00 m				
Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422					
Tamiz	(mm)	% Acumulado que pasa			
3"	75.00				
2"	50.00				
1 1/2"	38.10	100.00			
1"	25.00	95.10			
3/4"	19.00	91.30			
3/8"	9.50	88.90			
N° 4	4.75	87.80			
N° 10	2.00	86.00			
N° 20	0.85	83.70			
N° 40	0.425	80.30			
N° 60	0.25	74.50			
N° 100	0.15	58.30			
N° 200	0.075	38.10			
Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad - ASTM D 4318 (95)					
Límite Líquido	16.30				
Límite Plástico	13.50				
Índice de Plasticidad	2.80				
Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)					
Clasificación	SM		ARENA LIMOSA CON GRAVA		
<p>Grava gruesa: 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4" Grava fina: 3/8" Arena gruesa: N°4, N°10 Arena media: N°20, N°40 Arena fina: N°60, N°100 Limos y arcillas: N°200</p>					

[Signature]
ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

[Signature]
CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION					Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018					Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima					Técnico	E.G.I
Calicata	C-1					Fecha	14. 29-10-18
Muestra	M-1						
Profundidad (m)	3.00 m						

ENSAYO DE CBR (AASHTO T-193)

Molde Nº	1		2		3	
	5		5		5	
Nº Capa	56		25		12	
Golpes por capa Nº						
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12452		12283		12082	
Peso de molde (gr)	7815		7751		7754	
Peso del suelo húmedo (gr)	4637		4532		4328	
Volumen del molde (cm³)	2104		2114		2101	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.204		2.144		2.060	
% de humedad	12.58		12.42		12.70	
Densidad seca (gr/cm³)	1.96		1.91		1.83	
Densidad Máxima Laboratorio (grs/cm³)	1.954		1.954		1.954	
	100.2		97.6		93.6	
Tarro Nº	59		63		56	
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	215.70		252.60		249.30	
Tarro + Suelo seco (gr.)	191.60		224.70		221.20	
Peso del Agua (gr.)	24.10		27.90		28.10	
Peso del tarro (gr.)						
Peso del suelo seco (gr.)	191.60		224.70		221.20	
% de humedad	12.58		12.42		12.70	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
29-Oct-18	13:30:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
30-Oct-18	13:30:00		0.011	0.275		0.015	0.375		0.021	0.525	
31-Oct-18	13:30:00		0.015	0.375		0.021	0.525		0.025	0.625	
01-Nov-18	13:30:00		0.017	0.425		0.023	0.575		0.027	0.675	
02-Nov-18	13:30:00		0.018	0.450		0.024	0.600		0.028	0.700	
				0.45	0.39%		0.600	0.52%		0.700	0.61%

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº 1				MOLDE Nº 2				MOLDE Nº 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		22	1.0			16	0.7			12	0.6		
1.270		34	1.5			31	1.4			23	1.1		
1.905		45	2.1			39	1.8			31	1.4		
2.540	70.455	59	2.7	2.7	3.8	54	2.5	2.5	3.5	45	2.1	2.1	3.0
3.810		96	4.1			81	3.7			62	2.8		
5.080	105.682	120	5.5	5.5	5.2	92	4.2	4.2	4.0	88	4.0	4.0	3.8
6.350		149	6.8			122	5.6			104	5.0		
7.620		178	8.2			147	6.7			131	6.0		
10.160													
12.700													

PROCEDIMIENTO DE SECADO :

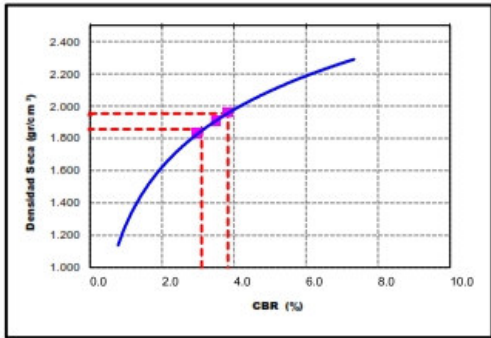

ERICK GRANDE IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos


CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. Nº 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD
 Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655
ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANO ESTACION	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 3+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Calicata	C - 1	Fecha	lu. 29-10-18
Muestra	M - 1		
Profundidad (m)	3.00 m		

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

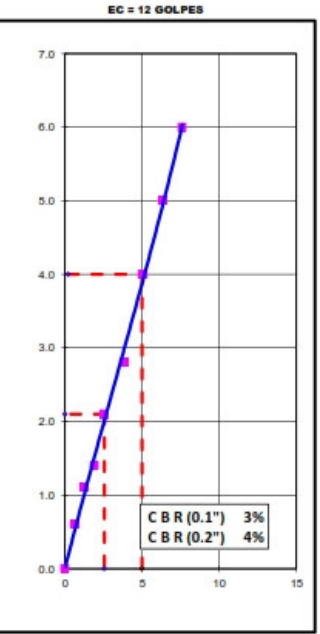
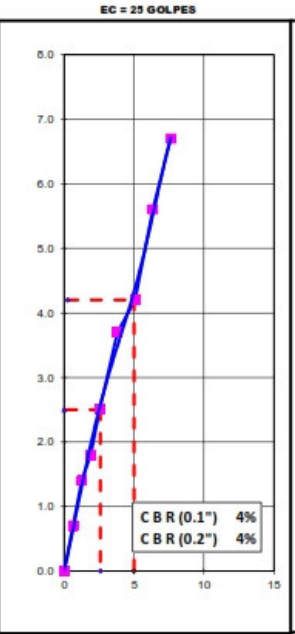
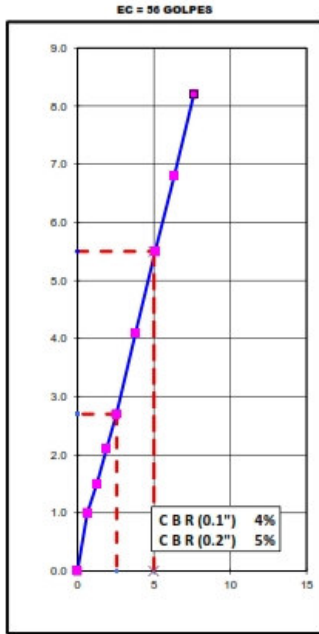


Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.954 gr/cm³
Óptimo Humedad	12.57 %

RESULTADOS DE CBR al 0,1"	
CBR al 100 %	3.8 %
CBR al 95 %	3.1 %

DENSIDAD	
Densidad al 100 %	1.954 gr/cm³
Densidad al 95 %	1.856 gr/cm³

EXPANSION	
Expansion	0.39 %



ERICK GRANDEZ IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUJIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

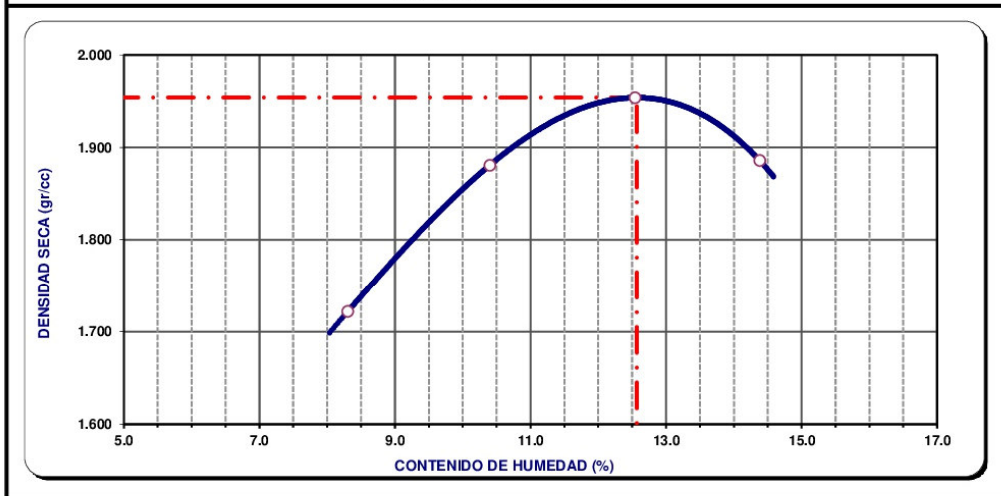
Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655
ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION			Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA -2018			Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima			Técnico	E.G.I
Calicata	C - 1			Fecha	lu. 29-10-18
Muestra	M - 1				
Profundidad (m)	3.00 m				

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	934	PESO DEL MOLDE (gr.) :			3603
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE	5345	5543	5657	5618	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1742	1940	2054	2015	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.865	2.077	2.199	2.157	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.					
PESO SUELO HUMEDO + TARA	130.5	174.2	166.1	169.5	
PESO SUELOS SECO + TARA	120.5	157.8	147.6	148.2	
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA	10.00	16.40	18.50	21.30	
PESO DE SUELO SECO	120.40	157.70	147.50	148.10	
CONTENIDO DE AGUA	8.31	10.40	12.54	14.38	
PESO VOLUMETRICO SECO	1.722	1.881	1.954	1.886	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.954 gr/cm³			HUMEDAD OPTIMA:	12.6%

GRAFICO DEL PROCTOR




 ERICK GRANDE IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos


 CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. N° 57848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION			Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA -2018			Revisó	E.G.I
				Técnico	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima			Fecha	ma. 30-10-18
Calicata	C - 2				
Muestra	M - 2				
Profundidad (m)	2.75 m				

Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422

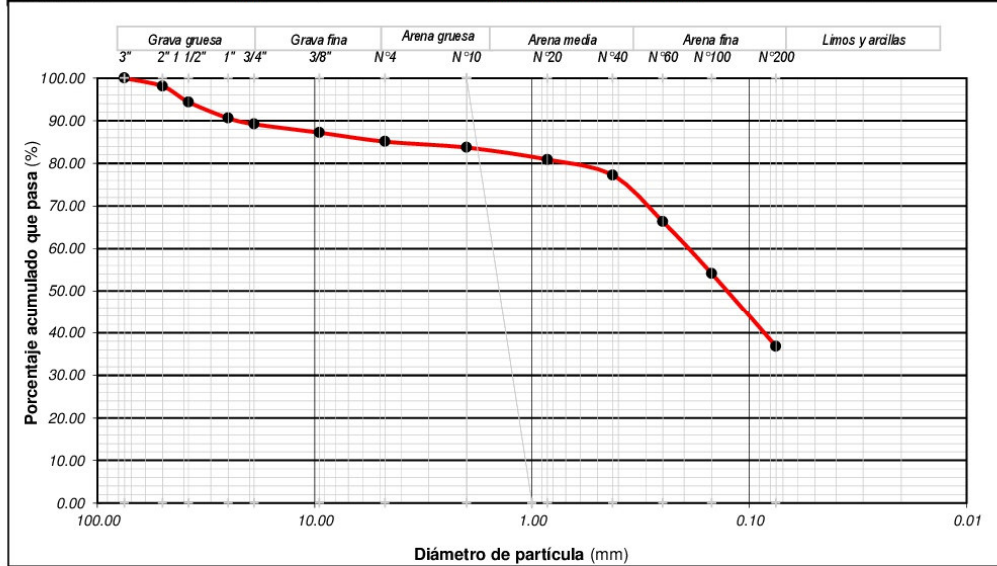
Tamiz	(mm)	% Acumulado que pasa			
3"	75.00	100.00			
2"	50.00	98.10			
1 1/2"	38.10	94.40			
1"	25.00	90.60			
3/4"	19.00	89.20			
3/8"	9.50	87.20			
N° 4	4.75	85.10			
N° 10	2.00	83.70			
N° 20	0.85	80.90			
N° 40	0.425	77.20			
N° 60	0.25	66.30			
N° 100	0.15	54.10			
N° 200	0.075	36.80			

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad - ASTM D 4318 (95)

Límite Líquido	17.20				
Límite Plástico	15.30				
Índice de Plasticidad	1.96				

Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)

Clasificación	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA
---------------	-----------	-------------------------------




 ERICK GRANDE IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos


 CARLOS ALBERTO TUJIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax : 01-5796223 Celular : 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANO ESTACION					Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA -2018					Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima					Técnico	E.G.I
Calicata	C-2					Fecha	ma. 30-10-18
Muestra	M-2						
Profundidad (m)	2.75 m						

ENSAYO DE CBR (AASHTO T-193)

Molde N°	20		21		22	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	11533		11364		11171	
Peso de molde (gr)	6765		6755		6739	
Peso del suelo húmedo (gr)	4768		4609		4432	
Volumen del molde (cm³)	2136		2137		2134	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.232		2.157		2.077	
% de humedad	13.89		13.95		13.45	
Densidad seca (gr/cm³)	1.96		1.89		1.83	
Densidad Máxima Laboratorio (gr/cm³)	1.962		1.962		1.962	
	99.9		96.5		93.3	
Tarro N°						
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	316.50		380.60		342.50	
Tarro + Suelo seco (gr.)	277.90		334.00		301.90	
Peso del Agua (gr.)	38.60		46.60		40.60	
Peso del tarro (gr.)						
Peso del suelo seco (gr.)	277.90		334.00		301.90	
% de humedad	13.89		13.95		13.45	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
30-Oct-18	13:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
31-Oct-18	13:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
01-Nov-18	13:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
02-Nov-18	13:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
03-Nov-18	13:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
			0	0.00%		0.000	0.00%		0.000	0.00%	

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 3				MOLDE N° 4				MOLDE N° 5			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		9	0.4			4	0.2			2	0.1		
1.270		16	0.7			11	0.5			6	0.3		
1.905		24	1.1			20	0.9			9	0.4		
2.540	70.455	33	1.5	1.5	2.1	25	1.2	1.2	1.7	12	0.6	0.6	0.9
3.810		46	2.1			36	1.6			19	0.9		
5.080	105.682	57	2.6	2.6	2.5	44	2.0	2.0	1.9	27	1.2	1.2	1.1
6.350		66	3.0			55	2.5			36	1.6		
7.620		79	3.6			65	3.0			43	2.0		
10.160													
12.700													

PROCEDIMIENTO DE SECADO : HORNO SECADO


 ERICK GRANDE IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos


 CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67848

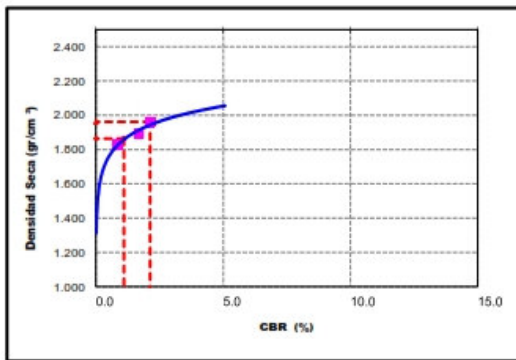
INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA. NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANJO ESTACION	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Calicata	C - 2	Fecha	ma. 30-10-18
Muestra	M - 2		
Profundidad (m)	2.75 m		

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

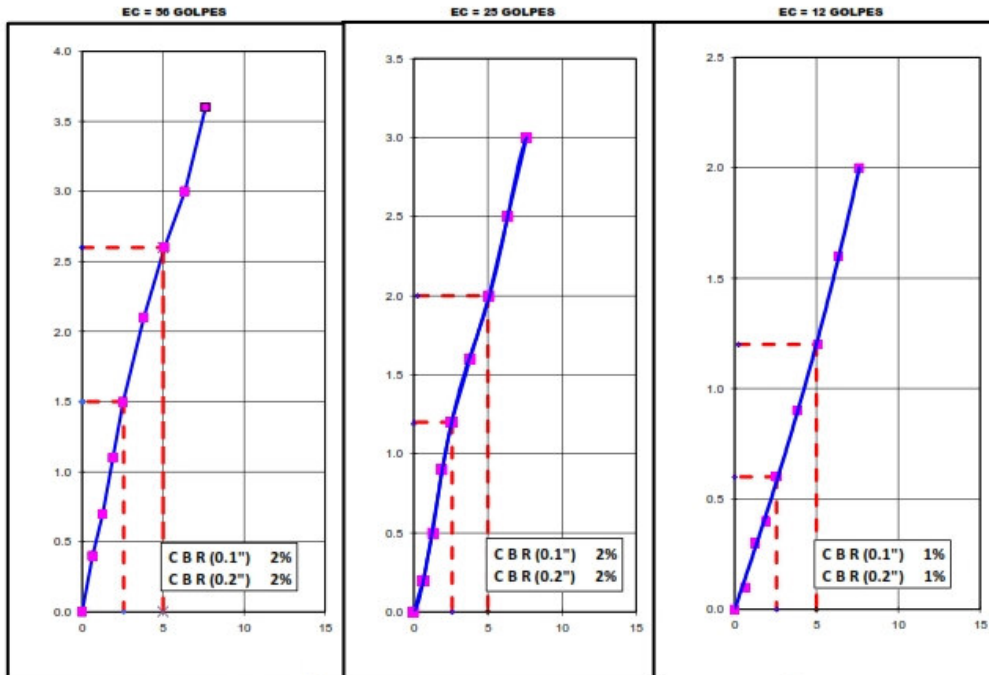


Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.962 gr/cm³
Optimo Humedad	13.71 %

RESULTADOS DE CBR al 0,1"	
CBR al 100 %	2.1 %
CBR al 95 %	1.1 %

DENSIDAD	
Densidad al 100 %	1.962 gr/cm³
Densidad al 95 %	1.864 gr/cm³

EXPANSION	
Expansion	0.00 %



ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA. NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

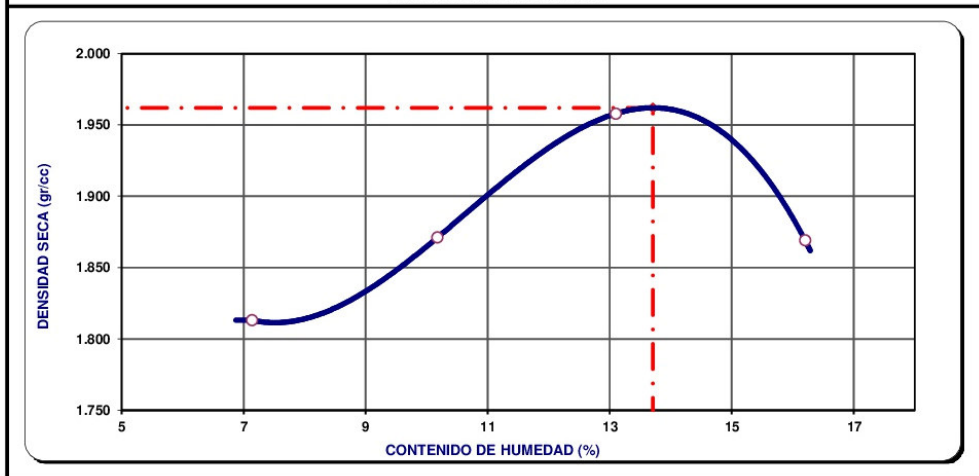
ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACIÓN	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Calicata	C - 2	Fecha	ma. 30-10-18
Muestra	M - 2		
Profundidad (m)	2.75 m		

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	934	PESO DEL MOLDE (gr) :	3603		
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE	5417	5528	5671	5631	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1814	1925	2068	2028	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.942	2.061	2.214	2.171	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.					
PESO SUELO HUMEDO + TARA	144.2	158.2	127.0	137.1	
PESO SUELOS SECO + TARA	134.6	143.6	112.3	118.0	
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA	9.60	14.60	14.70	19.10	
PESO DE SUELO SECO	134.50	143.50	112.20	117.90	
CONTENIDO DE AGUA	7.14	10.17	13.10	16.20	
PESO VOLUMETRICO SECO	1.813	1.871	1.958	1.869	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.962 gr/cm³		HUMEDAD OPTIMA: 13.7%		

GRAFICO DEL PROCTOR



ERIK
 ERICK GRANDEZ IBÉRICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos

Carlo
 CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67648

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@cinge.com
www.cingec.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACIÓN	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Calicata	C - 3	Fecha	vi. 02-11-18
Muestra	M - 3		
Profundidad (m)	3.00 m		

Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422

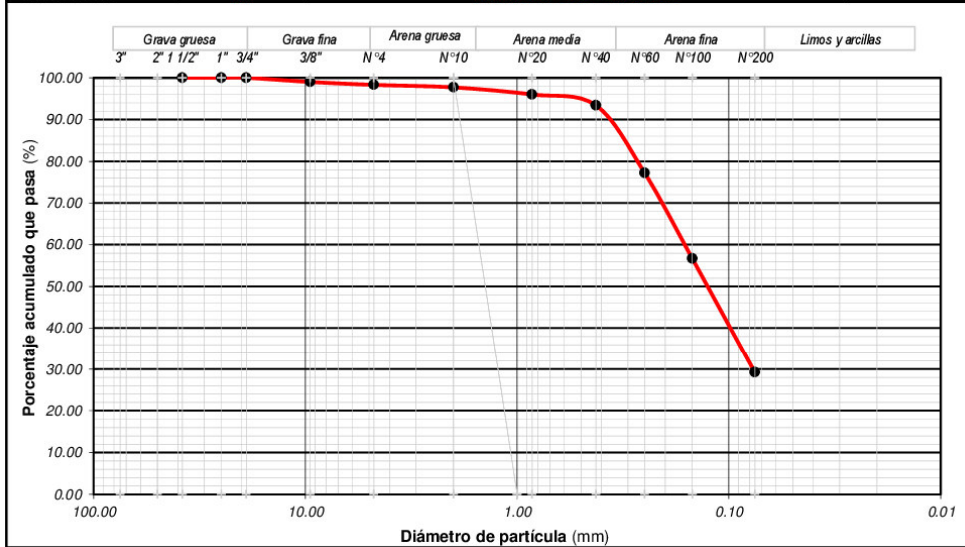
Tamiz	(mm)	% Acumulado que pasa			
3"	75.00				
2"	50.00				
1 1/2"	38.10	100.00			
1"	25.00	100.00			
3/4"	19.00	100.00			
3/8"	9.50	99.00			
N° 4	4.75	98.30			
N° 10	2.00	97.70			
N° 20	0.85	96.00			
N° 40	0.425	93.40			
N° 60	0.25	77.20			
N° 100	0.15	56.70			
N° 200	0.075	29.20			

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad - ASTM D 4318 (95)

Límite Líquido	15.00			
Límite Plástico	NP			
Índice de Plasticidad	NP			

Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)

Clasificación	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA
----------------------	-----------	-------------------------------



ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACIÓN					Elaboro	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018					Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima					Técnico	E.G.I
Calicata	C - 3					Fecha	vi. 02-11-18
Muestra	M - 3						
Profundidad (m)	3.00 m						

ENSAYO DE CBR (AASHTO T-193)

	9		8		7	
	5		5		5	
Nº Capa	56		25		12	
Golpes por capa Nº	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO	
SATURADO						
Cond. de la muestra						
Peso molde + Suelo húmedo	12697		12674		12446	
Peso de molde (gr)	8019		8179		8106	
Peso del suelo húmedo (gr)	4678		4495		4340	
Volumen del molde (cm³)	2114		2106		2108	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.213		2.134		2.059	
% de humedad	13.30		12.80		13.11	
Densidad seca (gr/cm³)	1.95		1.89		1.82	
Densidad Máxima Laboratorio (gr/cm³)	1.951		1.951		1.951	
	100.1		97.0		93.3	
Tarro Nº						
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	216.40		232.70		204.50	
Tarro + Suelo seco (gr.)	191.00		206.30		180.80	
Peso del Agua (gr.)	25.40		26.40		23.70	
Peso del tarro (gr.)						
Peso del suelo seco (gr.)	191.00		206.30		180.80	
% de humedad	13.30		12.80		13.11	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
02-Nov-18	14:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
03-Nov-18	14:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
04-Nov-18	14:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
05-Nov-18	14:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
06-Nov-18	14:15:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
			0	0.00%		0.000	0.000	0.00%		0.000	0.00%

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº 3				MOLDE Nº 4				MOLDE Nº 5			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		13	0.6			8	0.4			4	0.2		
1.270		25	1.2			15	0.7			9	0.4		
1.905		41	1.9			23	1.1			13	0.6		
2.540	70.455	60	2.8	2.8	4.0	35	1.6	1.6	2.3	22	1.0	1.0	1.4
3.810		105	4.8			64	2.9			49	2.2		
5.080	105.682	166	7.6	7.6	7.2	108	4.9	4.9	4.6	82	3.7	3.7	3.5
6.350		242	11.1			160	7.3			108	4.9		
7.620		331	15.2			230	10.5			159	7.3		
10.160													
12.700													

PROCEDIMIENTO DE SECADO : HORNO SECADO

ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. Nº 67848

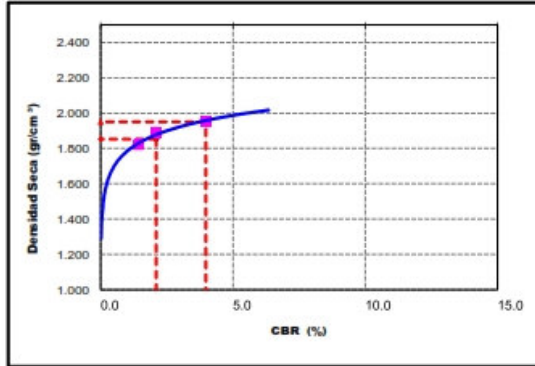
INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA. NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA -2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Calicata	C - 3	Fecha	vi. 02-11-18
Muestra	M - 3		
Profundidad (m)	3.00 m		

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

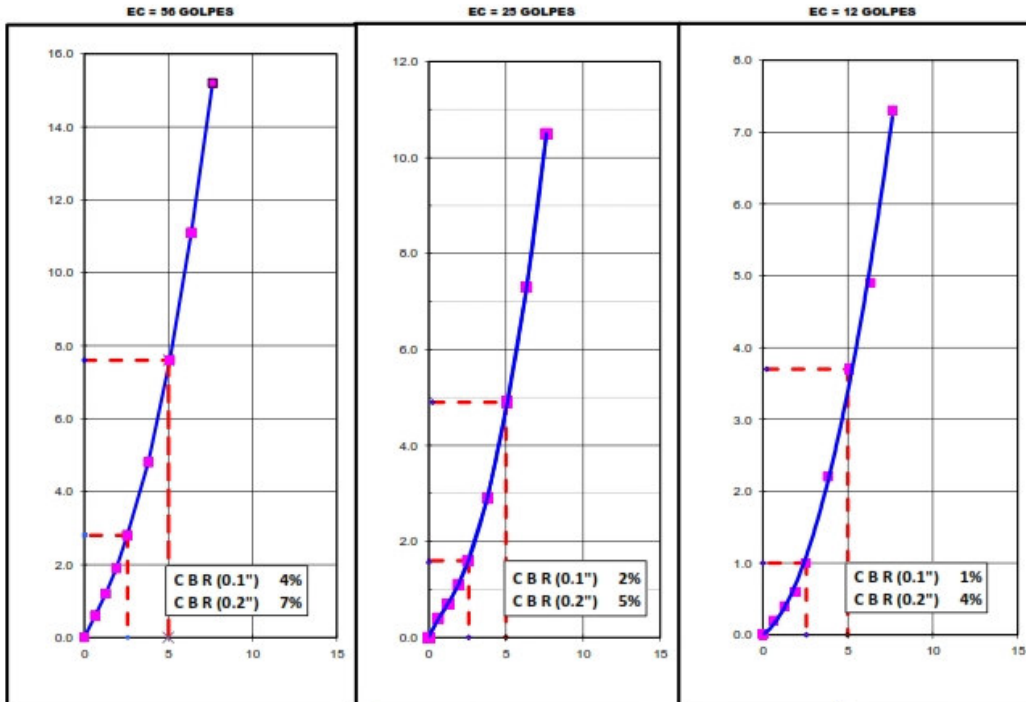


Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.951 gr/cm³
Optimo Humedad	13.08 %

RESULTADOS DE CBR al 0,1"	
CBR al 100 %	4.0 %
CBR al 95 %	2.1 %

DENSIDAD	
Densidad al 100 %	1.951 gr/cm³
Densidad al 95 %	1.853 gr/cm³

EXPANSION	
Expansion	0.00 %



ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

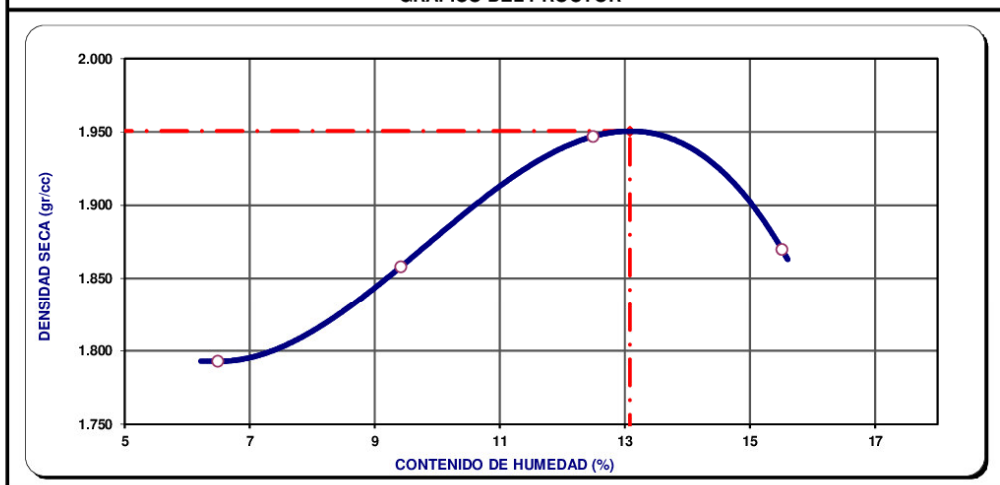
ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION			Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018			Revisó	E.G.I
				Técnico	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima			Fecha	vi. 02-11-18
Calicata	C - 3				
Muestra	M - 3				
Profundidad (m)	3.00 m				

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	934	PESO DEL MOLDE (gr.) :	3603		
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE		5386	5502	5649	5620
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		1783	1899	2046	2017
PESO VOLUMETRICO HUMEDO		1.909	2.033	2.191	2.160
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.					
PESO SUELO HUMEDO + TARA		220.0	150.0	128.0	295.0
PESO SUELOS SECO + TARA		206.6	137.1	113.8	255.4
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA		13.40	12.90	14.20	39.60
PESO DE SUELO SECO		206.50	137.00	113.70	255.30
CONTENIDO DE AGUA		6.49	9.42	12.49	15.51
PESO VOLUMETRICO SECO		1.793	1.858	1.947	1.870
DENSIDAD MAXIMA SECA:		1.951 gr/cm³		HUMEDAD OPTIMA:	13.1%

GRAFICO DEL PROCTOR




 ERICK GRANDE IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos


 CARLOS ALBERTO TUJÍA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA
 PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax : 01-5796223 Celular : 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACIÓN	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Calicata	C - 4	Fecha	11.05-11-18
Muestra	M - 4		
Profundidad (m)	2.50 m		

Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422

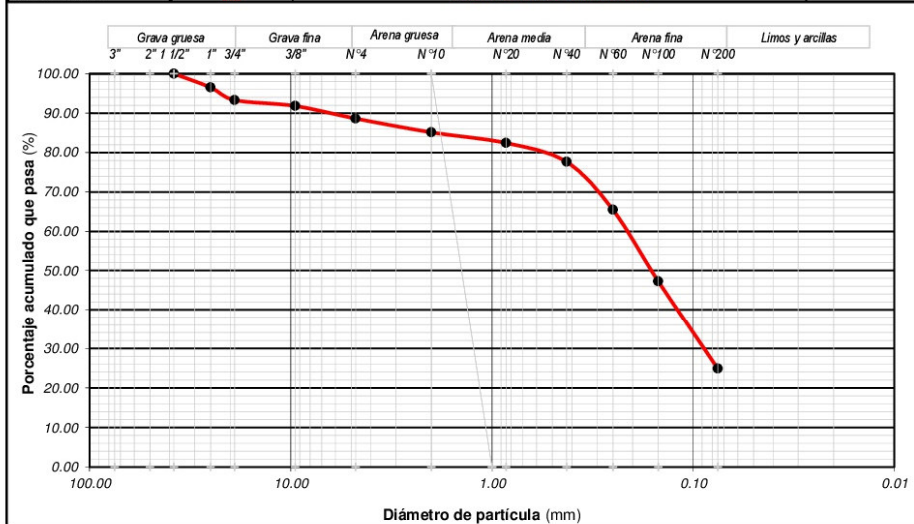
Tamiz	(mm)	% Acumulado que pasa			
3"	75.00				
2"	50.00				
1 1/2"	38.10	100.00			
1"	25.00	96.50			
3/4"	19.00	93.30			
3/8"	9.50	91.80			
N° 4	4.75	88.60			
N° 10	2.00	85.10			
N° 20	0.85	82.40			
N° 40	0.425	77.60			
N° 60	0.25	65.40			
N° 100	0.15	47.30			
N° 200	0.075	24.90			

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad - ASTM D 4318 (95)

Límite Líquido	16.30		
Límite Plástico	NP		
Índice de Plasticidad	NP		

Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)

Clasificación	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA
---------------	----	------------------------



[Firma]
ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

[Firma]
CARLOS ALBERTO TUJIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA. NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax : 01-5796223 Celular : 945099070 998022555

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMINO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION	Elaboro	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA -2018	Reviso	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Calicata	C - 4	Fecha	11.05.11-18
Muestra	M - 4		
Profundidad (m)	2.50 m		

ENSAYO DE CBR (AASHTO T-193)

Molde N°	10	11	12			
N° Capa	5	5	5			
Golpes por capa N°	56	25	12			
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	11506		11309		11162	
Peso de molde (gr)	6765		6755		6739	
Peso del suelo húmedo (gr)	4741		4554		4423	
Volumen del molde (cm³)	2136		2137		2134	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.220		2.131		2.073	
% de humedad	13.12		13.24		13.32	
Densidad seca (gr/cm³)	1.96		1.88		1.83	
Densidad Máxima Laboratorio (grs/cm³)	1.961		1.961		1.961	
	100.1		96.0		93.2	
Tarro N°						
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	316.40		285.70		302.10	
Tarro + Suelo seco (gr.)	279.70		252.30		266.60	
Peso del Agua (gr.)	36.70		33.40		35.50	
Peso del tarro (gr.)						
Peso del suelo seco (gr.)	279.70		252.30		266.60	
% de humedad	13.12		13.24		13.32	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
05-Nov-18	12:45:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
06-Nov-18	12:45:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
07-Nov-18	12:45:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
08-Nov-18	12:45:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
09-Nov-18	12:45:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
				0	0.00%	0.000	0.000	0.00%		0.000	0.00%

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 3				MOLDE N° 4				MOLDE N° 5			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		11	0.5			9	0.4			5	0.2		
1.270		30	1.4			15	0.7			12	0.6		
1.905		38	1.7			24	1.1			19	0.9		
2.540	70.455	50	2.3	2.3	3.3	36	1.6	1.6	2.3	29	1.3	1.3	1.8
3.810		92	4.2			61	2.8			46	2.1		
5.080	105.682	140	6.4	6.4	6.1	93	4.2	4.2	4.0	76	3.5	3.5	3.3
6.350		190	8.7			127	5.8			98	4.5		
7.620		248	11.3			167	7.7			105	4.8		
10.160													
12.700													

PROCEDIMIENTO DE SECADO : HORNO SECADO

ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 67848

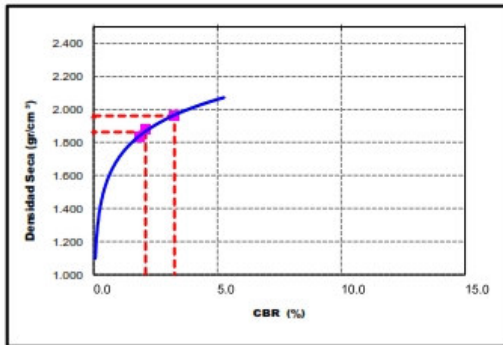
INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA. NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@cinge.com
www.cingec.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANO ESTACION				Elaboró	E.G.J
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018				Revisó	E.G.J
Ubicación	Cercado de Lima - Lima				Técnico	E.G.J
Calicata	C - 4				Fecha	lu. 05-11-18
Muestra	M - 4					
Profundidad (m)	2.50 m					

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

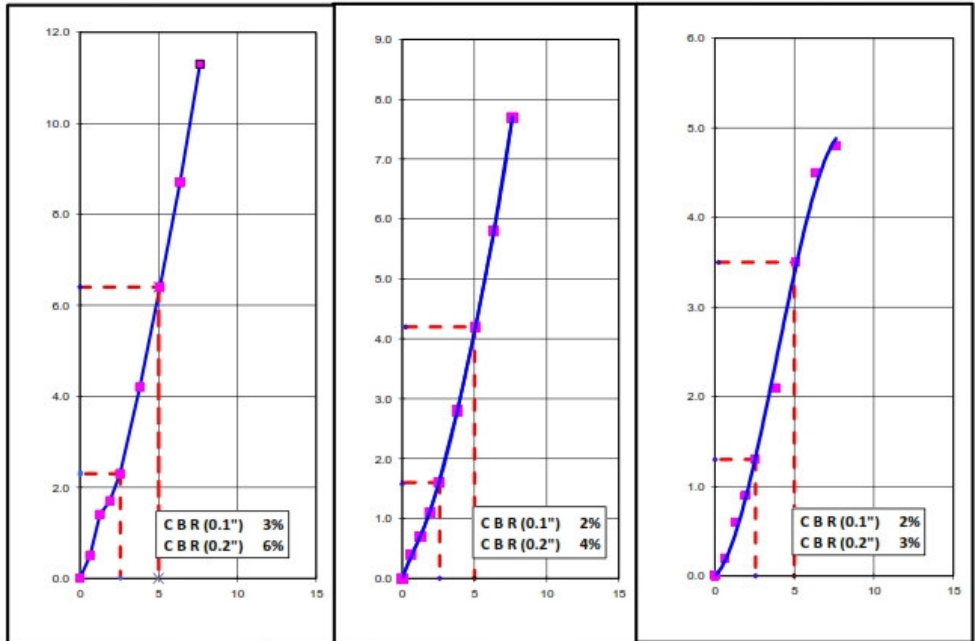


Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.961 gr/cm³
Óptimo Humedad	13.04 %
RESULTADOS DE CBR al 0,1"	
CBR al 100 %	3.3 %
CBR al 95 %	2.1 %
DENSIDAD	
Densidad al 100 %	1.961 gr/cm³
Densidad al 95 %	1.863 gr/cm³
EXPANSION	
Expansion	0.00 %

EC = 56 GOLPES

EC = 25 GOLPES

EC = 12 GOLPES



ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

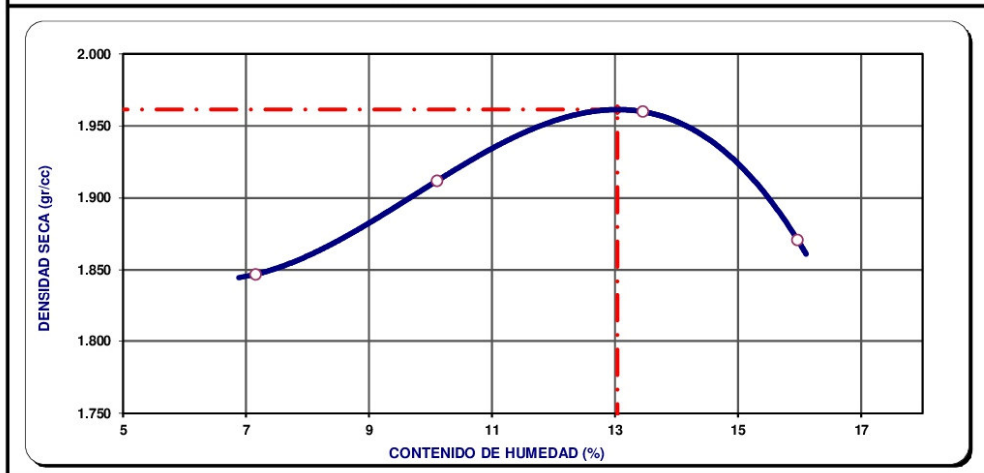
ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACIÓN	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Calicata	C - 4	Fecha	lu. 05-11-18
Muestra	M - 4		
Profundidad (m)	2.50 m		

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	934	PESO DEL MOLDE (gr.) :	3603		
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE	5452	5569	5680	5630	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1849	1966	2077	2027	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.980	2.105	2.224	2.170	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.					
PESO SUELO HUMEDO + TARA	109.4	91.6	128.3	130.1	
PESO SUELOS SECO + TARA	102.1	83.2	113.1	112.2	
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA	7.30	8.40	15.20	17.90	
PESO DE SUELO SECO	102.00	83.10	113.00	112.10	
CONTENIDO DE AGUA	7.16	10.11	13.45	15.97	
PESO VOLUMETRICO SECO	1.847	1.912	1.960	1.871	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.961 gr/cm³		HUMEDAD OPTIMA: 13.0%		

GRAFICO DEL PROCTOR



ERICK GRANDEZ IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Cantera	JICAMARCA	Fecha	ma. 06-11-18
Muestra	M - 5		
Profundidad (m)			

Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422

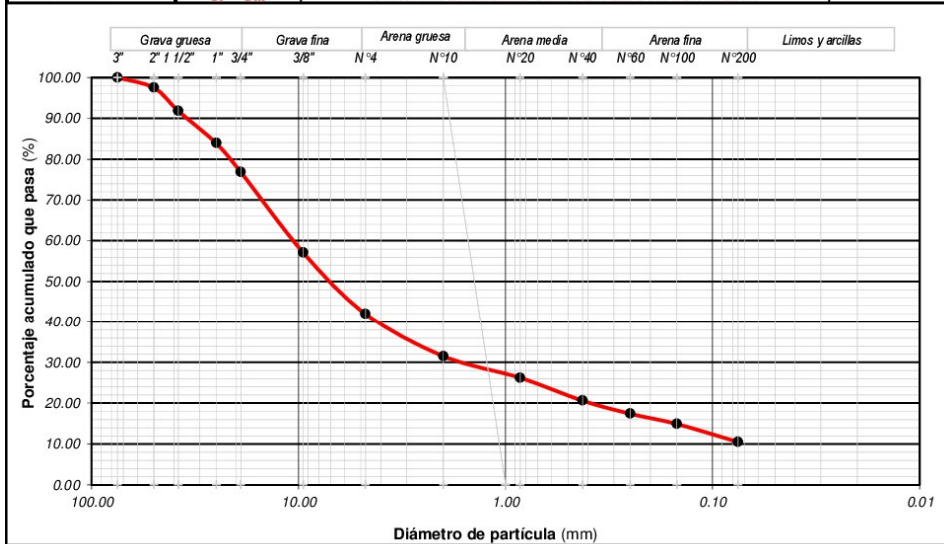
Tamiz	(mm)	% Acumulado que pasa			
3"	75.00	100.00			
2"	50.00	97.50			
1 1/2"	38.10	91.80			
1"	25.00	83.90			
3/4"	19.00	76.80			
3/8"	9.50	57.10			
N° 4	4.75	42.00			
N° 10	2.00	31.50			
N° 20	0.85	26.20			
N° 40	0.425	20.60			
N° 60	0.25	17.40			
N° 100	0.15	14.90			
N° 200	0.075	10.50			

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad - ASTM D 4318 (95)

Límite Líquido	17.90			
Límite Plástico	14.10			
Índice de Plasticidad	3.90			

Clasificación de Suelos SUCS - ASTM D 2487 (93)

Clasificación	GP - GM	GRAVA POBREMENTE GRADADA LIMOSA CON ARENA
----------------------	---------	-------------------------------------------




 ERICK GRANDEZ IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos


 CARLOS ALBERTO TUJÍA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA. NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-6796223 Celular: 945099070 998022655

ingenieria@cinge.com
www.cingce.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACION	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Cantera	JICAMARC	Fecha	ma. 06-11-18
Muestra	M - S		
Profundidad (m)			

ENSAYO DE CBR (AASHTO T-193)

Molde N°	6		7		8	
	5		5		5	
N° Capa	56		25		12	
Golpes por capa N°						
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	12868		12649		12381	
Peso de molde (gr)	7815		7751		7754	
Peso del suelo húmedo (gr)	5053		4898		4627	
Volumen del molde (cm³)	2104		2114		2101	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.402		2.317		2.202	
% de humedad	7.22		7.16		7.33	
Densidad seca (gr/cm³)	2.24		2.16		2.05	
Densidad Máxima Laboratorio (gr/cm³)	2.247		2.247		2.247	
	99.7		96.2		91.3	
Tarro N°						
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	295.40		312.60		315.00	
Tarro + Suelo seco (gr.)	275.50		291.70		293.50	
Peso del Agua (gr.)	19.90		20.90		21.50	
Peso del tarro (gr.)						
Peso del suelo seco (gr.)	275.50		291.70		293.50	
% de humedad	7.22		7.16		7.33	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
06-Nov-18	12:50:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
07-Nov-18	12:50:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
08-Nov-18	12:50:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
09-Nov-18	12:50:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
10-Nov-18	12:50:00		0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000	
				0	0.00%	0.000	0.000	0.00%		0.000	0.00%

PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 3				MOLDE N° 4				MOLDE N° 5			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.635		166	7.6			106	4.9			46	4.5		
1.270		342	15.6			290	13.3			194	9.6		
1.905		602	27.5			443	20.3			301	17.1		
2.540	70.455	771	35.3	35.3	50.1	631	28.9	28.9	41.0	523	24.5	24.5	34.8
3.810		1269	58.0			1090	49.9			642	43.1		
5.080	105.682	1806	72.5	72.5	68.6	1293	59.2	59.2	56.0	1084	55.4	55.4	52.4
6.350		2119	97.0			1740	79.6			1460	77.6		
7.620		2687	123.0			2138	97.9			1893	93.1		
10.160													
12.700													

PROCEDIMIENTO DE SECADO : HORNO SECADO

ERICK GRANDEZ IBERICO
Técnico de Laboratorio
Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 67848

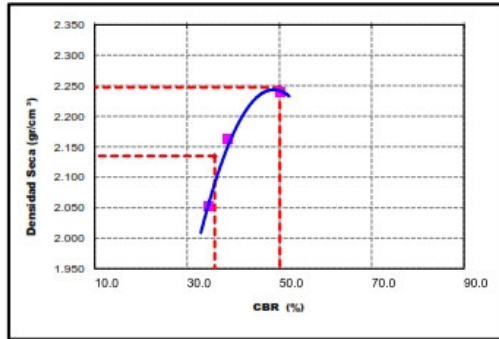
INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax : 01-5796223 Celular : 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANO ESTACION	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACION DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Cantera	JICAMARCA	Fecha	ma. 06-11-18
Muestra	M - 5		
Profundidad (m)			

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR

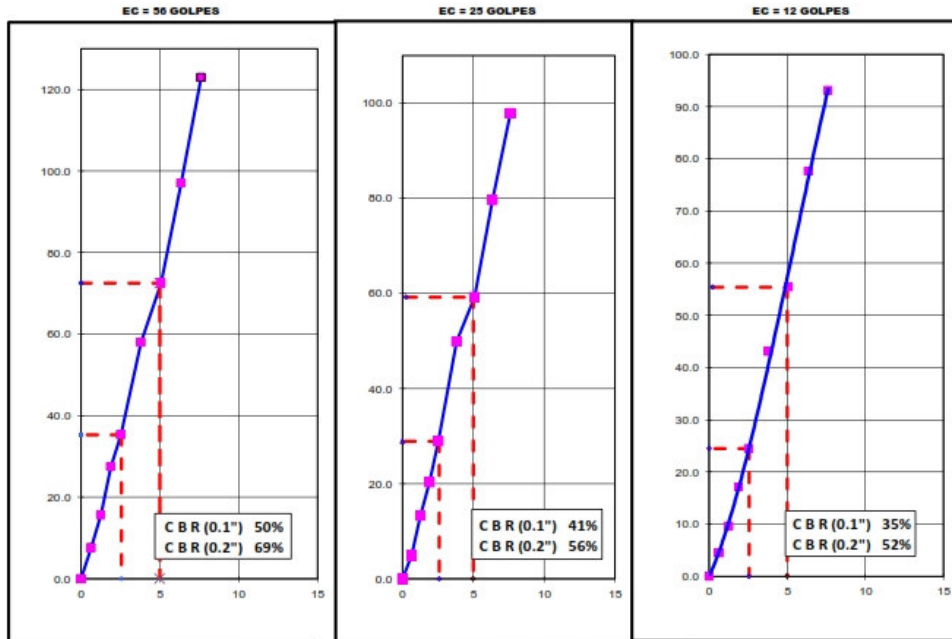


Datos del Proctor	
Densidad Seca	2.247 gr/cm³
Óptimo Humedad	7.30 %

RESULTADOS DE CBR al 0,1"	
CBR al 100 %	50.1 %
CBR al 95 %	36.0 %

DENSIDAD	
Densidad al 100 %	2.247 gr/cm³
Densidad al 95 %	2.135 gr/cm³

EXPANSION	
Expansion	0.00 %



ERICK GRANDEZ IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos

CARLOS ALBERTO TUJIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax: 01-5796223 Celular: 945099070 998022655

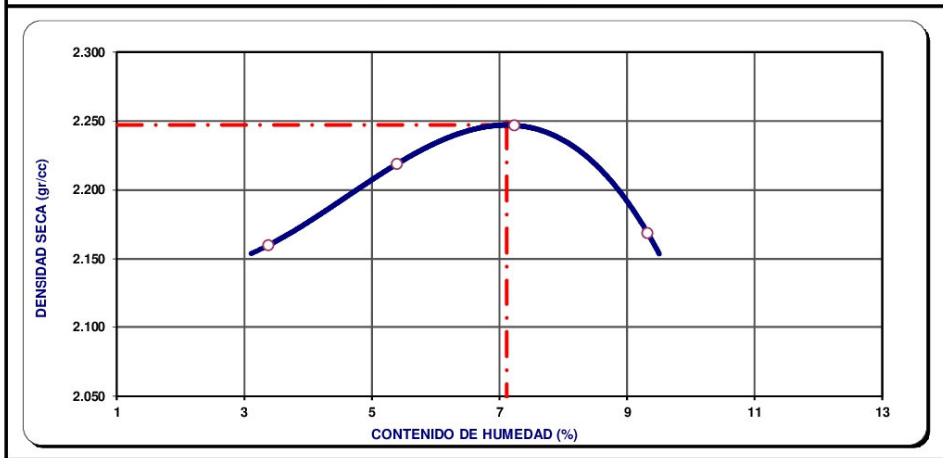
ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

Solicitante	ALUMNO CLEVER JOEL CARAHUANCO ESTACIÓN	Elaboró	E.G.I
Proyecto	REFUERZO DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE GEOMALLA - SISTEMA VIARIO 1 - PK 2+720 AL PK 3+120 - LINEA AMARILLA - LIMA - 2018	Revisó	E.G.I
Ubicación	Cercado de Lima - Lima	Técnico	E.G.I
Cantera	JICAMARCA	Fecha	ma. 06-11-18
Muestra	M - 5		
Profundidad (m)			

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2091	PESO DEL MOLDE (gr.) :	6020		
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE	10689	10910	11058	10978	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4669	4890	5038	4958	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	2.233	2.339	2.409	2.371	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.					
PESO SUELO HUMEDO + TARA	284.5	314.6	269.8	313.2	
PESO SUELOS SECO + TARA	275.2	298.5	251.6	286.5	
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA	9.30	16.10	18.20	26.70	
PESO DE SUELO SECO	275.10	298.40	251.50	286.40	
CONTENIDO DE AGUA	3.38	5.40	7.24	9.32	
PESO VOLUMETRICO SECO	2.160	2.219	2.247	2.169	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.247 gr/cm³			HUMEDAD OPTIMA:	7.3%

GRAFICO DEL PROCTOR



[Signature]
 ERICK GRANDEZ IBERICO
 Técnico de Laboratorio
 Mecánica de Suelos

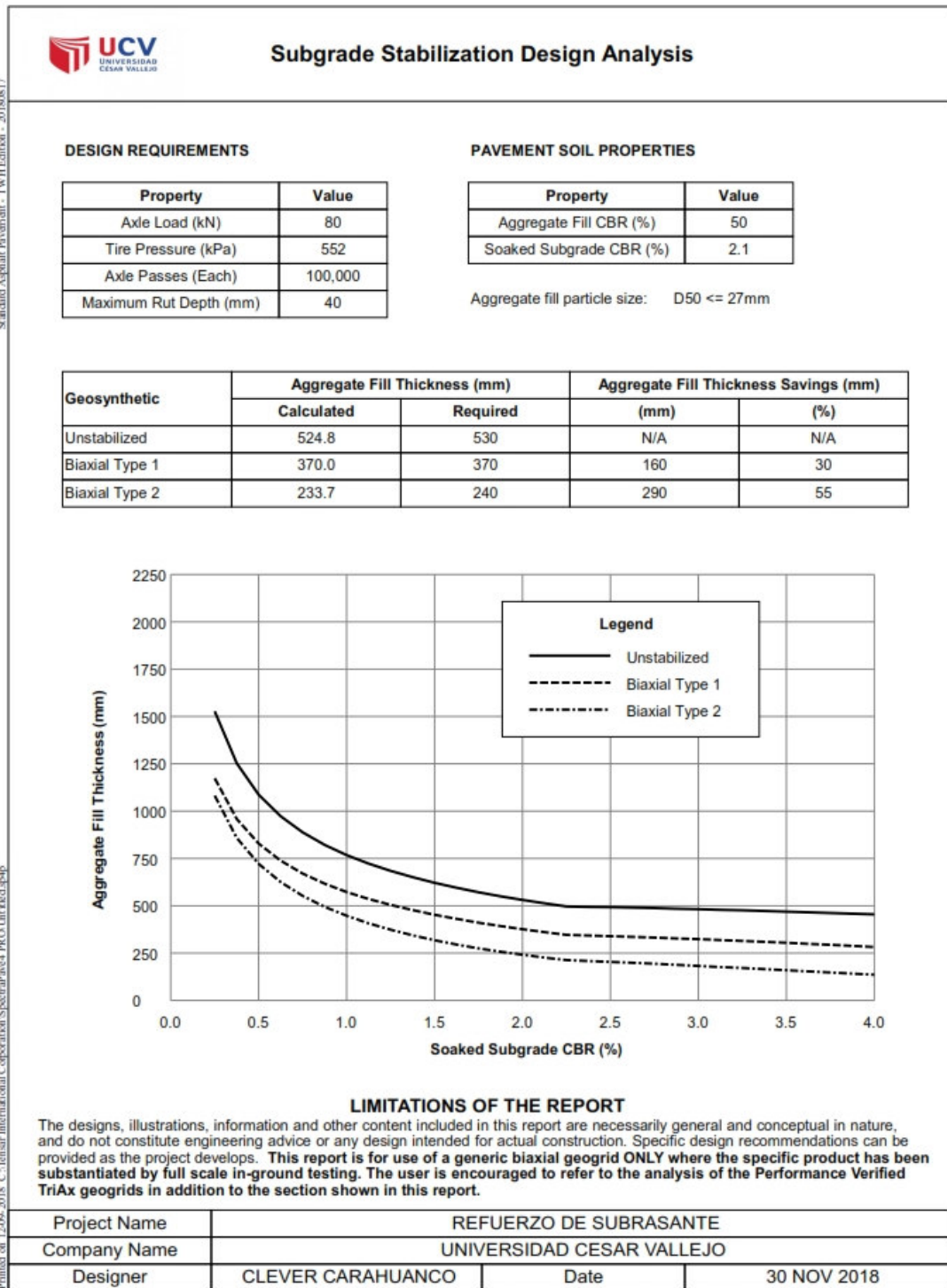
[Signature]
 CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA. NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax : 01-5796223 Celular : 945099070 998022655

ingenieria@tcinge.com
www.tcinge.com

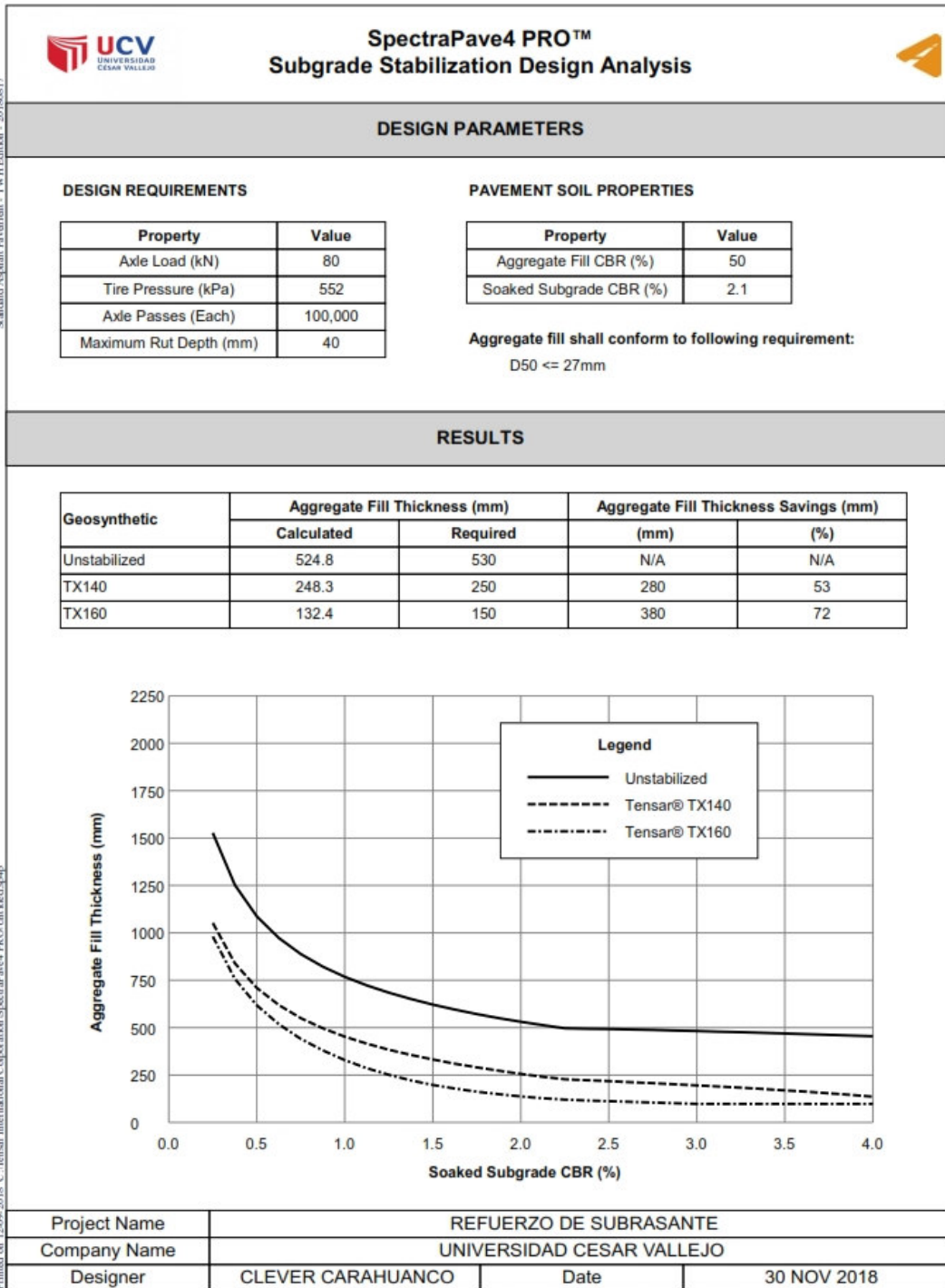
Anexo 3: Reporte SpectraPave 4Pro geomalla Biaxial



Printed on 12/06/2018 C:\Tensor International Corporation\SpectraPave4 PRO\Unstabilized.apb

This document was prepared using SpectraPave4 PRO™ Software Version 4.6.1
 Developed by Tensor International Corporation
 Copyright 1998 - 2017, All Rights Reserved.

Anexo 4: Reporte SpectraPave 4Pro geomalla Triaxial



Standard Asphalt Pavement - TWH Edition - 20180817
Printed on 12/09/2018, C:\Tensar International Corporation\SpectraPave4 PRO\Unstabilized.gpb

This document was prepared using SpectraPave4 PRO™ Software Version 4.6.1
Developed by Tensar International Corporation
Copyright 1998 - 2017, All Rights Reserved.