



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“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:

Ingeniera Civil

Autora:

Silva Arce, Mayra Ayllen

Asesora:

Ing. Ravines Azañero, Irene

Cajamarca – Perú

2016

APROBACIÓN DE LA TESIS

La asesora y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Silva Arce Mayra Ayllen**, denominada:

**“MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES
TIPO TX140 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA –
LA MOLINA - CAJAMARCA 2016”**

Ing. Irene, Ravines Azañero
ASESORA

Dr. Ing. Orlando, Aguilar Aliaga
**JURADO
PRESIDENTE**

Ing. Erlyn Salazar Huamán
JURADO

Ing. Manuel, Urteaga Toro
JURADO

DEDICATORIA

Mi tesis se la dedico a Dios y mi familia que gracias a su apoyo pude concluir con mi carrera. A mi madre por estar siempre a mi lado apoyándome y aconsejándome, por hacer de mí una persona de bien a través de sus enseñanzas y amor. A mi padre por brindarme los recursos necesarios. A mi hermano mayor por su confianza, sus consejos y estar siempre presente, acompañándome para poderme realizar. A mi hermano menor por contagiarme su alegría a través de sus ocurrencias.

Mayra Ayllen.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por acompañarme todos los días.

A la Universidad Privada del Norte, por ser mi máxima casa de estudio.

A mis compañeros de clase, por ayudarme en los momentos más difíciles de nuestra carrera.

A la Ing. Irene Ravines Azañero, asesora de mi tesis, por su gran ayuda para poder culminar con éxito la Tesis.

Al Ing. Alejandro Cubas Becerra, mi reconocimiento y gratitud por su valioso aporte.

A mis padres, quienes dieron todo para que sea alguien en la vida.

A mis hermanos, por estar a mi lado apoyándome.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u>	ii
<u>DEDICATORIA</u>	iii
<u>AGRADECIMIENTO</u>	iv
<u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u>	v
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	vii
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	viii
<u>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS</u>	viii
<u>RESUMEN</u>	x
<u>ABSTRACT</u>	xi
INTRODUCCIÓN	12
MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes	15
2.1.1. Internacionales	15
2.1.2. Nacionales	15
2.1.3. Locales	15
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Geomallas Multiaxiales.....	16
2.2.2. Tráfico vehicular:	24
2.2.3. Estudio de suelos	26
2.3. Definición de términos básicos	36
HIPÓTESIS	38
3.1. Formulación de la hipótesis	38
3.2. Operacionalización de variables	38
METODOLOGÍA	39
4.1. Diseño de investigación	39
4.2. Unidad de estudio	39
4.3. Población.....	39
4.4. Muestra (muestreo o selección)	39
4.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	40
DESARROLLO	41
5.1 Descripción de zona en estudio	41

5.2. Estudio de suelos.....	45
RESULTADOS.....	46
6.1. Ensayos de laboratorio.....	46
6.2. Cálculo del EAL de diseño	53
6.3. Diseño de subrasante con y sin geomalla multiaxial tipo TX140 y TX160	54
DISCUSIÓN.....	56
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla n.º 1. Descripción gráfica de los vehículos (ejes)
- Tabla n.º 2. Clasificación Típica de CBR
- Tabla n.º 3. Valores Correspondientes a las Muestras Patrón (Macadam)
- Tabla n.º 4. Operacionalización de Variables
- Tabla n.º 5. Conteo de Vehículos
- Tabla n.º 6. Límites de consistencia
- Tabla n.º 7. Peso específico de los Finos
- Tabla n.º 8. Peso específico de los Finos
- Tabla n.º 9. Proctor modificado
- Tabla n.º 10. Datos de ensayo CBR
- Tabla n.º 11. Ensayo de hinchamiento
- Tabla n.º 12. Ensayo de absorción
- Tabla n.º 13. Ensayo carga - penetración
- Tabla n.º 14. Valores del Esfuerzo (Kg/cm²)
- Tabla n.º 15. Valores del CBR (%)
- Tabla n.º 16. Composición del tráfico
- Tabla n.º 17. Número de ejes del tráfico
- Tabla n.º 18. Cálculo del EAL
- Tabla n.º 19. Datos de diseño
- Tabla n.º 20. Cuadro comparativo de parámetros obtenidos

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura n.º 1. Descripción de la calle en estudio
- Figura n.º 2. Levantamiento topográfico.
- Figura n.º 3: Uniones o juntas de las geomallas multiaxiales
- Figura n.º 4: Distribución de esfuerzos
- Figura n.º 5. Mecanismo de confinamiento lateral
- Figura n.º 6. Distribución de zonas de confinamiento
- Figura n.º 7. Mecanismo de mejoramiento de capacidad de
- Figura n.º 8. Efecto de zapato de nieve
- Figura n.º 9. Efecto de membrana tensionada
- Figura n.º 10. Placa de carga, k (psi/in) = carga unitaria por placa/deflexión de la placa
- Figura n.º 11. Ábaco: Relación entre el valor de soporte de california C.B.R. y el módulo de reacción de la subrasante k
- Figura n.º 12. Localización de la calle Alemania – La molina - Cajamarca
- Figura n.º 13. Formato para conteo vehicular
- Figura n.º 14. Curva granulométrica
- Figura n.º 15. Curva de compactación
- Figura n.º 16. Curva esfuerzo - penetración
- Figura n.º 17. Curva densidad - CBR

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

- Toma fotográfica n.º 1. Reconocimiento de la calle, la cual será ámbito de estudio
- Toma fotográfica n.º 2. Calicatas para toma de muestras representativas
- Toma fotográfica n.º 3. Preparación de material para ensayos
- Toma fotográfica n.º 4. Límites de Atterberg
- Toma fotográfica n.º 5. Ensayo de Casagrande – Límite Líquido
- Toma fotográfica n.º 6. Peso específico
- Toma fotográfica n.º 7. Lavado de muestra representativa para análisis granulométrico
- Toma fotográfica n.º 8. Análisis granulométrico
- Toma fotográfica n.º 9. Preparación de muestra para Ensayo Proctor Modificado
- Toma fotográfica n.º 10. Ensayo Proctor Modificado
- Toma fotográfica n.º 11. Selección de material para ensayos de C.B.R.
- Toma fotográfica n.º 12. Preparación de material para ensayo de C.B.R.
- Toma fotográfica n.º 13. Molde n°1 - C.B.R.
- Toma fotográfica n.º 14. Colocación de muestras al agua para ensayo de hinchamiento
- Toma fotográfica n.º 15. Retiro de moldes del agua – C.B.R.
- Toma fotográfica n.º 16. Ensayo Carga - Penetración

RESUMEN

La presente tesis está orientada a 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 la estabilización de suelos.

El presente documento muestra el diseño de subrasante con y sin geomalla multiaxial tomando como ámbito de aplicación un tramo de la calle Alemania – La molina - Cajamarca, cuyo suelo es del tipo limo arcilloso (CL), con valores de CBR de 2.5% y con presencia de agua.

La utilización de geomallas multiaxiales en esta zona es inevitable para la estabilización de los suelos utilizando los parámetros de diseño necesarios como CBR, carga axial, presión de inflado de llantas, profundidad máxima de ahuellamientos y número de ejes pasantes; datos que luego fueron procesados con el software Spectra Pave 4.0.

Como resultado se obtuvo el incremento de la capacidad de soporte de la subrasante y la reducción del espesor de mejoramiento, comparado con un diseño patrón, registrando un ahorro de material de 54% y 72% con las geomallas multiaxiales tipo Tx140 y Tx160 respectivamente.

ABSTRACT

The present thesis is orientated to show technologies different from the conventional ones in the improvement of the sublow one in exit ramps, in zones where the soils are soft and of bad quality, by means of the use of multiaxial geogrids for the stabilization of soils.

The present document shows the design of sublow with and without multiaxial geogrid taking a section of the street as an area of application Germany - Three mills - Cajamarca, whose soil is of the type clayey slime (CL), with CBR's values of 2.5 % and with water presence.

The utilization of multiaxial geogrids in this zone is inevitable for the stabilization of the soils using the necessary design parameters like CBR, axial load, pressure of inflated of rims, maximum depth of ahuellamientos and number of axes assistants, information that then there was processed by the software Spectra Pave 4.0.

Since result obtained the increase of the capacity of support of the sublow one and the reduction of the thickness of improvement, comparing with a design boss, registering a saving material of 54 % and 72 % with the multiaxial geogrids type Tx140 and Tx160 respectively.

INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial

Alrededor del 80% de las vías en el mundo están sin pavimentar y en su mayoría manejan bajos volúmenes de tránsito. De acuerdo a la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) aproximadamente el 20% de los pavimentos fallan debido a la insuficiencia en la resistencia estructural (Mengelt, 2000). En Colombia según las especificaciones técnicas del Instituto del desarrollo Urbano, la malla vial de Bogotá está subdividida en: la malla vial arterial, en donde un 18% se encuentra en mal estado, la malla vial local en donde un 56% está en mal estado y la malla vial intermedia, donde un 34% está en mal estado. Los recursos disponibles para la reparación y mantenimiento de los pavimentos son limitados. Por esta razón una opción sostenible para superar este problema es el desarrollo de una técnica innovadora de estabilización del pavimento con una alternativa de refuerzo adecuado que mejore la estructura global, reduzca los costos operativos y minimice los requisitos de mantenimiento (Mengelt, 2000).

Existen diferentes sistemas de estabilización de suelos de subrasante en el mundo, tales como la estabilización mecánica, que puede realizarse compactando el material o colocando un material de grano grueso y fino homogéneo sobre la subrasante; la estabilización con aditivos químicos, que alteran las propiedades físico-químicas del suelo a tratar mediante la generación de un incremento en el soporte del suelo y mejora su durabilidad; la estabilización con materiales cementantes tales como cemento, limo y asfalto bituminoso, y la estabilización utilizando geotextiles y geosintéticos (Raj, 2005).

Desde 1970 la estabilización con geosintéticos (que son recursos sostenibles) ha sido una técnica utilizada para mejorar el comportamiento de vías pavimentadas y no pavimentadas (Pokharel, 2010).

A nivel local

Un problema muy común en la construcción de vías, bien sea rurales o urbanas en la ciudad de Cajamarca, son las subrasantes que generalmente están constituidas por suelos de baja calidad de soporte (suelos limo – arcillosos), frente a esto para efectos del diseño de los pavimentos se tienen tres alternativas: utilizar el suelo tal como es, sustituirlo por material de cantera o tratarlo de forma tal que se mejore sus características físico - mecánicas y pueda soportar los esfuerzos a los que será sometido por efectos de tránsito (Elaboración propia).

El diseño de los pavimentos sobre suelos limo - arcillosos generalmente conllevan a elevados espesores de la capa de subrasante; razón por la cual probablemente al utilizar geomallas Multiaxiales, estos espesores disminuirán significativamente y el comportamiento del pavimento será más adecuado (Elaboración propia).

Muchas de las fallas que actualmente se pueden observar en los pavimentos existentes en nuestra ciudad, se deben fundamentalmente a un mal comportamiento de la capa subrasante debido, por un lado a que los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento son superiores a la capacidad de soporte de dichos suelos, esto se ve agudizado aún más por la presencia de humedad; frente a esta problemática, una de las alternativas probablemente será la utilización de las geomallas multiaxiales (Elaboración propia).

1.2. Formulación del problema

¿Cómo mejora el uso de las geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160 en la subrasante de un tramo de la calle Alemania – La molina - Cajamarca?

1.3. Justificación

Reducir el espesor de la subrasante implica mejorarla para obtener una estructura tal, que satisfaga a los requerimientos a los que va a estar expuesto y a la vez que dicha estructura contemple los menores costos de inversión, tratando además de alterar lo menor posible el medio ambiente.

Dentro de este contexto se tiene que al mejorar la subrasante con las geomallas multiaxiales, se van a tener menores movimientos de tierras y los costos de construcción van a disminuir ostensiblemente.

La presente tesis será de importancia para los alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil y para aquellos que necesiten un material de consulta para absolver dudas acerca de la construcción de vías de acceso, utilizando geomallas multiaxiales que aportan nuevos conocimientos, ratificados y abalados.

1.4. Limitaciones

Para el diseño de la subrasante utilizando las geomallas multiaxiales, se utilizó el software Spectra Pave 4.0 versión educacional, esto debido a no tener acceso al software completo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el mejoramiento de la subrasante con geomalla multiaxial tipo TX140 y TX160 en un tramo de la calle Alemania – La molina – Cajamarca.

1.5.2. Objetivos específicos

Determinar el valor del CBR de la subrasante a mejorar.

Determinar el espesor de la subrasante sin utilización de geomallas multiaxiales.

Determinar el espesor de la subrasante utilizando las geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160.

Determinar el módulo de reacción de la subrasante “k” con y sin geomallas multiaxiales.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Gavilanes N. (2012). Muestra el análisis sobre el diseño de la estructura del pavimento tradicional y la estructura del pavimento reforzada con geomalla biaxial aplicada a un tramo de la carretera Latacunga – Zumbahua – La Maná. Para realizar el diseño de la estructura del pavimento no reforzada y reforzada se realizó el estudio, análisis y recopilación de una serie de parámetros para poder calcular el espesor de las capas que van a conformar estas estructuras,

Finalmente se obtuvo que los espesores de la estructura del pavimento reforzado con geomalla biaxial son menores a los de la estructura tradicional, garantizando ahorro en material, mano de obra y equipo al existir menor uso de maquinaria en la excavación, transporte e instalación de la geomalla y de los materiales.

2.1.2. Nacionales

Orrego D. (2014). Muestra el análisis del uso de geosintéticos, en específico las geomallas, como refuerzo de bases granulares dentro de una estructura de pavimento flexible, con el objetivo de determinar si son una alternativa viable en la construcción de pavimentos.

Como resultado se obtuvo que el uso de geomallas como refuerzo de bases granulares es una buena alternativa para reducir los espesores de las capas de relleno, disminuir el tiempo de instalación, etc.

2.1.3. Locales

Meléndez A. (2010). Muestra el proceso constructivo que se realizó en la construcción de una vía de acceso utilizando geomallas y geotextiles, la cual atravesaba zonas donde el suelo era de muy mala calidad.

Como resultado se obtuvo que la utilización de geomallas y geotextiles en la construcción de vías en terrenos de mala calidad los proyectos se podrían desarrollar con mayor facilidad y frecuencia a nivel nacional ya que su proceso constructivo es menos tedioso y menos complicado de desarrollar, además de reducir el tiempo de ejecución y recursos utilizados (menos material de relleno, afirmado, menos horas hombre y horas máquina), lo que beneficia directamente al ente ejecutor de las mismas.

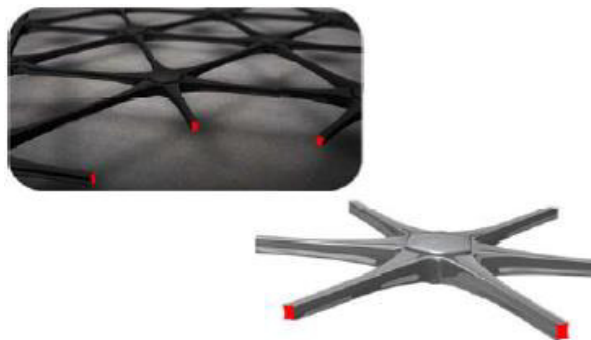
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Geomallas multiaxiales

Son elementos elaborados a partir de láminas de resinas selectas de polipropileno, perforadas y estiradas uniformemente en tres direcciones formando costillas con un alto grado de orientación molecular y uniones integrales de alta rigidez. (Tensar, 2013)

Presenta una apertura triangular, con un peso y características moleculares que imparten alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural contra los esfuerzos mecánicos desarrollados durante la instalación, alta resistencia a la deformación provocada por fuerzas aplicadas durante su uso y alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural contra las sollicitaciones ambientales de largo plazo (Tensar, 2013).

Figura n.º 1. Uniones o juntas de las geomallas multiaxiales

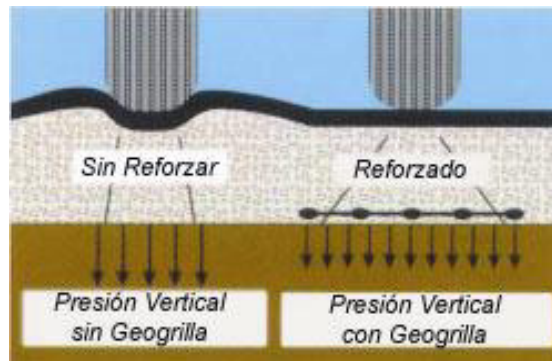


Fuente. Tensar, 2013

2.2.1.1. Geomalla como mejoramiento de subrasante

Las subrasantes pobres representan un problema frecuente en la construcción de pavimentos. Como fundación del pavimento, la subrasante que falle conducirá a un deterioro rápido de su estructura, esto es visible cuando una carga es aplicada directamente sobre el pavimento, en ese momento las partículas individuales del relleno oscilan y rompen la parte superior de la subrasante la cual se moviliza hacia arriba para llenar los vacíos formados, este mecanismo se conoce como “bombeo”. Aunque estos movimientos pueden ser bastantes pequeños el bombeo puede causar contaminación del relleno y una gran reducción de su resistencia a la fricción, la capacidad portante disminuye y el agregado se mueve lateralmente creando surcos o baches en la superficie. Tradicionalmente, las subrasantes pobres o contaminadas por efecto de “bombeo” han sido removidas y reemplazadas con relleno importado o estabilizadas químicamente. Ambas opciones son caras tanto en dinero como tiempo, en especial comparadas con la solución de geomallas. (Tensar, 2013)

Figura n.º 2. Distribución de esfuerzos



Fuente. Tensar, 2013

Al instalar una geomalla multiaxial entre el relleno de mejoramiento y la subrasante, las partículas del relleno penetran en las aberturas de la geomalla trabándose en sus aperturas triangulares reduciendo la oscilación, movimientos laterales y el efecto de “bombeo”. Este entrelazado mecánico también dispersa fuerzas verticales sobre la geomalla permitiendo que se forme un arco bajo la carga aumentando su capacidad portante, la vida útil de la fundación y reduciendo el espesor de material de mejoramiento requerido. En resumen, la geomalla trabaja como pieza estructural transmitiendo cargas a bajas deformaciones sobre un área mucho mayor e inhibiendo los movimientos laterales del agregado. (Tensar, 2013)

Hasta hace muy poco tiempo, se venían usando dos métodos de diseño para determinar el espesor de las plataformas de trabajo de relleno granular intentando cuantificar las mejoras inducidas por la trabazón mecánica la interfase “mejoramiento/subrasante” ejercida por las geomallas Tensar. Giroud y Noiray (1981) y Tensar Corporation (1986) desarrollaron dicho métodos. Ambos métodos empleaban la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante ejercida por las cargas de rodadura en la superficie del camino con la finalidad de calcular el espesor básico del agregado que hace falta para reducir la presión vertical impartida a la subrasante a un valor igual a su capacidad de carga estimada. Sin embargo, ninguno de los dos métodos consideró factores de manifiesta importancia, tales como las propiedades de los materiales de la capa base y el refuerzo. (Tensar, 2013)

A lo largo de las dos últimas décadas, el uso de geomallas en las aplicaciones para mejorar subrasantes se ha difundido ampliamente. Han sido estudiados en varios programas de investigación. Por lo tanto, hoy por hoy existe un conjunto de información mucho más amplio del que había en la década de 1980. Esta nueva información permitió a los doctores Giroud y Han desarrollar y verificar un método de diseño mejorado. El “Método Giroud - Han” incorpora la resistencia y el módulo del material básico, variaciones de los ángulos de distribución de esfuerzos a través de la capa de apoyo y la propiedad del módulo de estabilidad de la abertura (rigidez) del refuerzo geosintético, además de todos los parámetros adicionales considerados

por el Método G&N (carga por rueda, presión del neumático, esfuerzo de corte de la subrasante, número de aplicaciones de carga y profundidad de ahuellamiento). En consecuencia, este método mejorado permite a los diseñadores introducir parámetros más precisos para predecir mejor su comportamiento. A su vez esto lleva a un uso más eficiente de los recursos de agregado, equipos de construcción, mano de obra y tiempo. (Tensar, 2013)

2.2.1.2. Mecanismos de refuerzo con las geomallas

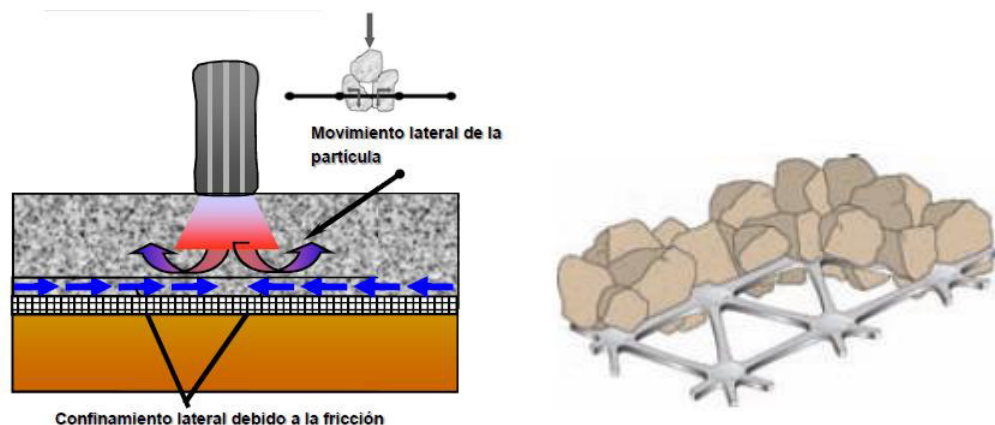
Los tres principales mecanismos de refuerzo que son proporcionados por una geomalla multiaxial (Giroud y Noiray, 1981; USACOE, 2003) son:

- Confinamiento lateral

Este mecanismo se obtiene por medio de la trabazón que se produce entre las partículas de agregado y la geomalla de refuerzo (Figura n.º 5). Al aumentar el confinamiento lateral e impedir el desplazamiento lateral de las partículas, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla. Además, se reducen las deformaciones verticales y los ahuellamientos en la superficie de rodadura.

A lo largo de los años se ha demostrado que éste es el mecanismo más importante al momento de determinar el aporte de la geomalla (USACOE, 2003).

Figura n.º 3. Mecanismo de Confinamiento Lateral

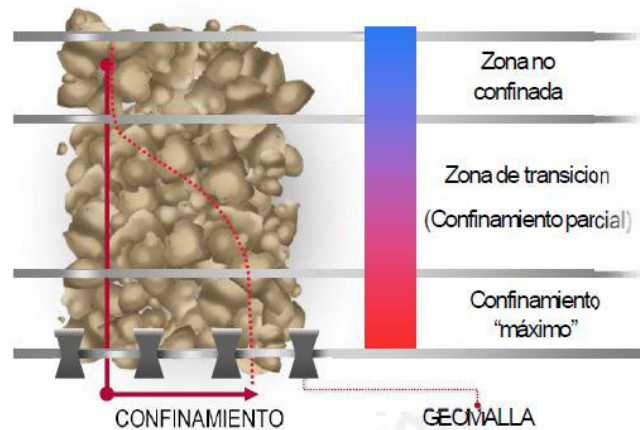


Fuente. USACOE, 2003

Si tenemos en cuenta que este confinamiento generado crea una capa de material más rígida; entonces debemos ser conscientes de la importancia de la forma y tipo de abertura para tener un mejor comportamiento del material, el resultado será distinto para cada tipo de geomalla. Además, es importante mencionar que se tendrá un confinamiento máximo en la zona próxima al elemento de refuerzo; mientras que, a medida de que nos alejamos de este, este efecto irá disminuyendo (Figura n.º 6).

En algunos casos, cuando el espesor de la capa a reforzar es muy grande, será necesario colocar más de una capa de geomalla para asegurar el correcto comportamiento del material y una capa lo suficientemente rígida para soportar las solicitaciones sobre la estructura. (Tensar, 2013)

Figura n.º 4. Distribución de zonas de confinamiento

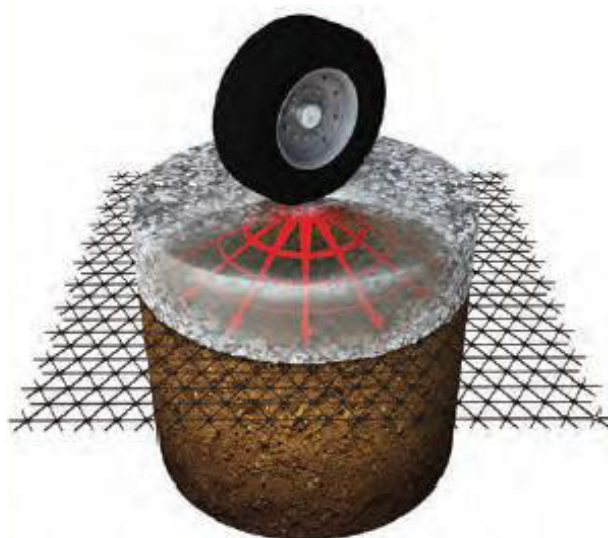


Fuente. Valencia, 2009

- Mejoramiento de la capacidad portante

Este mecanismo logra desplazar la superficie de falla, ubicada en un principio en la subrasante blanda, hacia una de mayor resistencia, en este caso la capa granular. Esto es posible ya que la rigidez de la geomalla permite la redistribución de las cargas en un área mayor (Figura n.º 7) disminuyendo los esfuerzos que el material no competente (suelo blando) debe soportar. (Tensar, 2013)

Figura n.º 5. Mecanismo de Mejoramiento de Capacidad de Soporte



Fuente. Tensar, 2013

Este es un mecanismo considerado al momento de trabajar en vías no pavimentadas o cuando la capacidad portante de la subrasante es muy baja. También se le conoce como efecto del “zapato de nieve” por su similitud con este objeto utilizado en algunos países para poder caminar sobre este tipo de terreno (Figura n.º 8) (Tensar, 2013).

Figura n.º 6. Efecto de “zapato de nieve”

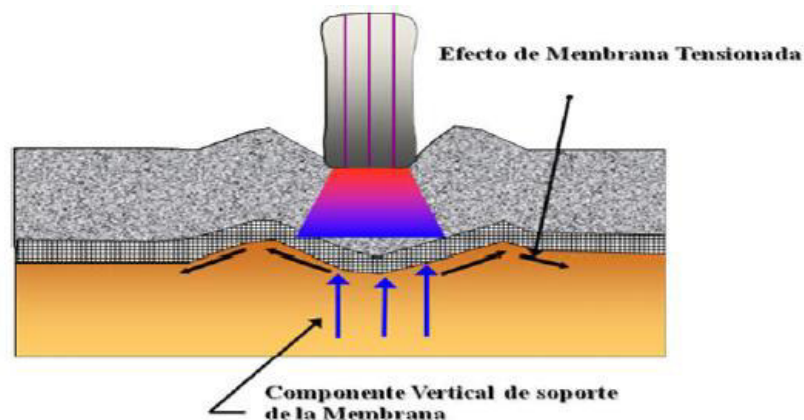


Fuente. Tensar, 2013

- Membrana tensionada

Este mecanismo se origina cuando se presenta una deformación considerable en el terreno natural debido a cargas vehiculares presentes sobre la vía; en este se desarrollan esfuerzos importantes que son soportados por la resistencia a la tensión que tiene el refuerzo (Figura n.º 9) (Tensar, 2013).

Figura n.º 7. Efecto de Membrana Tensionada



Fuente. USACOE, 2003

2.2.1.3. Alternativamente utilización de geomalla como separador

Las geomallas multiaxiales pueden funcionar como un separador en la aplicación de mejoramiento de subrasante, puesto que, no siempre será necesario el empleo de una superficie plana, por ejemplo un geotextil, que prevenga la contaminación del relleno. En la interfase “sub-rasante/relleno granular de mejoramiento”, van casi siempre de la mano la función de separación: previniendo la contaminación entre 2 materiales diferentes, y la de filtración: permitiendo el flujo libre de agua mientras se presentan finos erosionables. Esto es porque a menudo la sub-base se encuentra saturada y las presiones de poros causadas por el paso del equipo de construcción pueden ser significativas. La solución consiste en reducir estas presiones aplicadas mediante el uso de las geomallas, las cuales producen sobre la subrasante el efecto de “zapato de nieve” de distribución de carga (Tensar, 2013).

Se puede considerar este efecto similar al funcionamiento de un tamiz. Un tamiz de media pulgada no permite que todas las partículas menores a 1/2 pulgada pasen, a menos que el tamiz sea vibrado. Las geomallas se traban con el relleno e inhiben el movimiento en la interfaz con la subrasante. El movimiento es el que causa que la subrasante sufra desplazamientos laterales y el efecto de “bombeo” (Tensar, 2013).

El U.S. Army Corps of Engineers (Webster, 1992), encontró que el refuerzo con geomallas dentro de la estructura de pavimento “No presentó ninguna cantidad significativa de agregado proveniente de la subbase, dentro de la capa de base granular en las pruebas realizadas”. Las geomallas, por lo tanto, pueden actuar como un refuerzo dentro de la estructura de pavimento y adicionalmente como un separador, siempre y cuando consideremos 2 situaciones importantes para definir el empleo o no de geotextil adicional:

- Cuando el agregado que conforma el material de mejoramiento es bien gradado y puede actuar como un filtro natural para reducir la migración de las partículas finas de la sub-rasante hacia la capa mejorada, entonces podemos decir que una capa de geomalla suficiente para proveer dicha separación (Tensar, 2013).

- Por el contrario, cuando el agregado que conforma el material de la capa base no es bien gradado y la migración de finos hacia ella podría presentarse, es necesario emplear un geotextil de filtro debe ser usado en conjunto con la geomalla de refuerzo (Tensar, 2013).

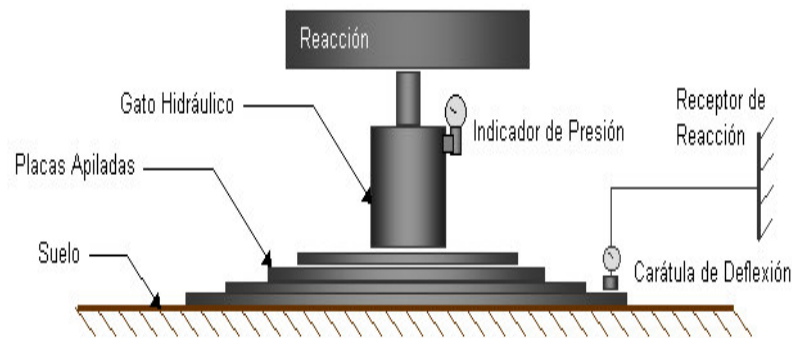
Luego, si la humedad está presente en cantidades de flujo suficientes para inducir el movimiento ascendente de los finos de la subrasante, los espacios entre partículas del relleno granular de mejoramiento (f) deben ser bastante pequeños para sostener en su lugar al 85% de las partículas de la subrasante.

2.2.1.4. Uso de geomalla como mejoramiento del módulo de reacción de la subrasante

Por el Dr. Steve Perkins de la Universidad Estatal de Montana inmediatamente después de terminar su trabajo “Pavimentos Flexibles Reforzados con Geosintéticos”, realizado conjuntamente entre la Universidad de Montana y la FHWA. Tensar complementó este trabajo con un ensayo de Mejoramiento de Subrasante relativamente simple (uno de los cuales podría aplicarse a pavimentos rígidos). El reporte demuestra a escala natural, que para una subrasante relativamente blanda, la inclusión de geomallas Tensar incrementa el Módulo de Reacción de Subrasante (k') aproximadamente de 46 a 92%.

El módulo de reacción de suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento. El valor del módulo de reacción (k') se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D1195 y D1196. El valor de k' representa el soporte (terreno natural y mejoramiento si lo hay) y se puede incrementar al tomar la contribución de la subbase. Cuando se diseña un pavimento es probable que se tengan diferentes valores de k' a lo largo del tramo por diseñar, el método AASHTO recomienda utilizar el valor promedio de los módulos k' para el diseño estructural.

Figura n.º 8. Placa de carga, k (psi/in)



Fuente. AASHTO

En resumen, a escala natural se demuestra, que para una subrasante relativamente blanda, la inclusión de geomallas incrementa el módulo de reacción de subrasante (K') aproximadamente de 46 a 92%. Por lo tanto, el módulo de reacción en el tope de un relleno reforzado con geomallas (Kc') puede ser incrementado con un factor multiplicador de 1.46 hasta 1.92 (TENSAR, 2013).

2.2.1.5. Metodologías de diseño

En agosto del 2004 y luego de más de dos décadas de investigación y uso de geomallas en aplicaciones de mejoramiento de subrasantes, los doctores J. P. Giroud y Jie Han desarrollaron y verificaron un método de diseño, basado en la metodología Giroud and Noiray (1981), que emplea la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante producida por las cargas vehiculares.

Con esta presión se calcula un espesor mínimo de relleno necesario para que la subrasante pueda soportar las cargas aplicadas. Giroud – Han tienen en cuenta todas las propiedades consideradas en el método Giroud – Noiray, y adicionalmente considera las características del Módulo de Elasticidad del material de relleno, la variación del ángulo de distribución de esfuerzos con el número de pasadas de ejes equivalentes, el módulo de estabilidad de la apertura del material de refuerzo y la profundidad de ahuellamiento. Esta metodología ha sido publicada en el “Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering – ASCE” (Volumen 130 – Número 8) y en agosto del 2008, fue incluida en el “Geosynthetic Design & Construction Guidelines – Reference Manual (NHI Course No 132013)” de la Federal Highway Administration (FHWA NHI-07-092). La educación, propuesta por la FHWA en dicha publicación, es la siguiente:

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019j - 1.744j^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \left[\sqrt{\frac{P}{13.7 N_c \left(\frac{s}{3}\right) \left[1 - 0.9 \exp\left(-1.426 \left\{\frac{r}{h}\right\}^{1.5}\right)\right] CBR_{sg}}} - r \right] \dots (01)$$

Donde:

h = Espesor de relleno (m)

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

P = Carga por eje (KN o KIPS)

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

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

N = Número de pasadas de ejes equivalentes

CBRbc = CBR de relleno

CBRsg = CBR de la subrasante

Nc = 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.

2.2.2. Tráfico vehicular:



Es el número de vehículos que pasan por una sección dada de un canal o vía durante un período determinado. (Corredor, 2009).


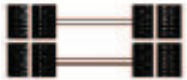
Desde un principio los resultados del ensayo AASHTO han demostrado que la evolución de las deformaciones y de las fallas en los pavimentos está ligadas a la magnitud de la carga por eje y a la duración de su aplicación, así como al número de pasadas (Corredor, 2009).

La información directa requerida para los estudios del tráfico en principio y salvo necesidades con objetivos más precisos o distintos, se conformará con muestreos orientados a calcular el IMDA del tramo, empezando por la demanda volumétrica actual de los flujos clasificados por tipo de vehículos en cada sentido de tráfico. La demanda de Carga por Eje, y la presión de los neumáticos en el caso de vehículos pesados (camiones y omnibuses) guardan relación directa con el deterioro del pavimento. Contando con la referencia regional previamente descrita, en términos generales será suficiente realizar las nuevas investigaciones puntuales por tramo en sólo dos días, teniendo en cuenta que el tráfico esté bajo condición normal. Los términos de referencia del estudio deberán precisar sí el caso amerita estudiar durante más días o en periodos climáticos distintos, dependiendo del conocimiento previo de la demanda que tenga la Autoridad Competente. (MTC, 2003)

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%. (MTC, 2003).

Tabla n.º 1. Descripción gráfica de los vehículos (ejes)

CONJUNTO DE EJE	NOMENCLATURA	Nº DE NEUMÁTICOS	GRÁFICO
EJE SIMPLE (Con rueda simple)	1RS	2	
EJE SIMPLE (Con rúa doble)	1RD	4	

EJE TANDEM (1 Eje rueda simple + Eje rueda doble)	1RS + 1RD	6	
EJE TANDEM (2 Ejes rueda doble)	2RD	8	

Fuente: MTC, 2003

2.2.2.1. Serviciabilidad – regularidad superficial

Es la satisfacción de los usuarios de cómo estos se manifiesta fundamentalmente, por la calidad en que se encuentra la superficie de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial. (MTC, 2003).

AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural.

2.2.2.2. Volumen de tránsito

Es la determinación del volumen de tránsito actual en las vías nuevas, o que vayan a sufrir mejoras de consideración, requiere de un cúmulo de información que normalmente no está al alcance del proyectista de pavimentos; en estos casos generalmente habrá que obtener los valores de tránsito de la OPTT; si ésta no los tuviere se tendrá que realizar un estudio especial, directamente a través de ella o a través de especialistas en esta rama de la ingeniería. (Corredor, 2009).

2.2.2.3. Conteos visuales

El conteo visual son los que nos permiten determinar el total de vehículos que circulan por el punto de medición, obteniendo un “conteo clasificado”, ya que se contabiliza el número de cada tipo de vehículo que pasa por esa sección durante el tiempo de la medición. Aun cuando lo ideal es que el conteo vehicular -clasificado o no– se efectúe mediante el empleo de equipos, en el caso de que esto no sea posible, por motivos de tiempo o carencia de recursos, siempre se podrá recurrir al sistema de contar los vehículos mediante la simple inspección visual del paso del flujo vehicular. (Corredor, 2009).

2.2.2.4. Índice medio diario (IMD)

Es el promedio del número de vehículos que pasan por un punto durante un período de tiempo. Según el período de análisis para medir el volumen, podrá ser índice medio diario anual, IMDA, Índice medio diario mensual (IMDM) Índice medio diario semanal (IMDS). (Corredor, 2009).

2.2.3. Estudio de suelos

El suelo es el material más utilizado para construir, dado que aparece en todas las construcciones como material de fundación. En el caso de los pavimentos además de servir como soporte es parte integral de su estructura y de la calidad del suelo depende en buena parte el espesor final del pavimento.

“Es claro que mientras más conocimiento se tenga acerca del comportamiento del suelo, más certeza se tendrá sobre el funcionamiento del pavimento”.

2.2.3.1. Evaluación de subrasante

La subrasante es la capa en la que se apoya la estructura del Pavimento y constituye su cimiento. Está definida como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento.

Estas propiedades de los suelos que constituyen la subrasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento. Las propiedades físicas se mantienen invariables aunque se sometan a tratamientos tales como homogenización, compactación, etc. Sin embargo, ambas propiedades cambiarían cuando se realicen en ellos procedimientos de estabilización, a través de procesos de mezclas con otro materiales (cemento, cal, puzolanas, etc.) o mezclas con químicos.

Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo (calicatas), posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Valor Soporte (CBR)
- Densidad (Proctor)
- Humedad

2.2.3.2. Clasificación de suelos

Aunque se considera que clasificar los suelos es un prerrequisito necesario en el diseño y construcción de pavimento, el estado actual de la clasificación de suelos para el caso expresado esta fuera de ser satisfactorios. Por lo consiguiente se hace necesario utilizar una buena dosis de criterios al aplicar una determinada clasificación.

La clasificación de suelos es el indicador de las propiedades físico –mecánicas que tienen los suelos. La clasificación que mejor describe y determina las propiedades de un suelo a usarse como subrasante es la clasificación de AASHTO M-145; las primeras variables son: la granulometría y la plasticidad. En términos generales, un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2 mm)

Arena Gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm)

Arena Fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz No. 200 (0.075 mm)

Limos y Arcillas: tamaños menores de 0.075 mm

Conforme AASHTO, un suelo fino es el que tiene más del 35% que pasa el tamiz N° 200 (0.075 mm), los cuales se clasifican como A-4, A-5, A-6 o A-7. Dos suelos considerados finos que tengan granulometrías similares, pueden llegar a tener propiedades diferentes dependiendo de su plasticidad, cualidad que se analiza en el suelo que pasa el tamiz N° 40; dichas propiedades de plasticidad, se analizan conforme las pruebas de límites de plasticidad, las cuales son:

Límite líquido (LL): Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido.

Límite plástico o (LP): Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo.

Índice de plasticidad o (IP): Es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

De lo descrito anteriormente, se concluye que para los suelos gruesos, la propiedad más importante es la granulometría y para los suelos finos son los límites de plasticidad.

La relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado, es una situación muy importante que se requiere al analizar las propiedades del mismo.

Para el efecto se desarrolló el ensayo Proctor, T-180 (modificado) y es el que permite determinar la humedad óptima o sea la humedad ideal en la cual el suelo llega a su densidad máxima y a su vez alcanza sus mejores propiedades mecánicas".

El valor de esta humedad óptima depende directamente de la cantidad de energía de compactación a la que se ha sometido el suelo; al ser mayor la energía de compactación, la humedad óptima será menor y la densidad seca será mayor.

2.2.3.3. Ensayos Generales

Conocidos como perfiles topográficos y fijada la subrasante es necesario conocer los diferentes tipos de materiales que forma el subsuelo a diferentes profundidades para lo cual se efectuarán calicatas de 1.50 metros de profundidad.

Los ensayos de laboratorio a realizarse serán:

A) Ensayos Generales para Clasificar los Suelos. Nos permiten determinar las principales características de los suelos, para poder clasificarlos e identificarlos adecuadamente, estos ensayos son:

Contenido de Humedad (MTC E 108 – 2000) (ASTM D 2216)

Peso específico (MTC E 113 – 2000 y MTC E 206 – 2000, NTP 400.021) (ASTM D 854)

Análisis Granulométrico (MTC E 107 – 2000) (ASTM D 421)

Límites de Consistencia. Entre estas tenemos:

Límite Líquido (MTC E 110 – 2000) (ASTM D 4318)

Límite Plástico e Índice de Plasticidad (MTC E 111 – 2000) (ASTM D 4318)

B) Ensayos de Control e Inspección. Se efectúan para asegurar una buena compactación, los resultados son de mucha utilidad para evaluar la resistencia del suelo, estos son:

Ensayo de Compactación – Proctor Modificado. Para definir el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca (MTC E 115 – 2000) (ASTM D 1557).

C) Ensayos de Resistencia. Su finalidad es evaluar la capacidad portante del suelo, mediante los resultados obtenidos en los ensayos de:

California Bearing Ratio o CBR (MTC E 132 – 2000) (ASTM D 1883).

Seguidamente definiremos cada uno de los ensayos realizados:

2.2.3.3.1. Ensayos generales para clasificar los suelos

a. Contenido De Humedad (MTC E 108 – 2000) (ASTM D 2216)

Es junto con el contenido de vacíos, una de las características fundamentales para explicar el comportamiento del suelo (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, la relación (%) entre el peso agua / partículas sólidas.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$W(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 = \frac{P_w}{P_s} * 100 \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}2)$$

Donde:

$W(\%)$ = Contenido de humedad

P_h = Peso del suelo húmedo

P_w = Peso del agua

P_s = Peso del suelo seco

b. Peso Específico (MTC E 113 - 2000 y MTC E 206 - 2000, NTP 400.021) (ASTM D 854)

Es la relación entre su peso al aire y el peso aire de una muestra de agua destilada del mismo volumen y a la misma temperatura.

Para partículas mayores a 4.75 mm (Tamiz N° 4), se usa el método estándar AASHTO T-85 (grava y arena gruesa).

$$P_e = \frac{P_{mv}}{P_m - P_{mw}} (gr/cm^3) \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}3)$$

Donde:

P_e = Peso específico del suelo

P_{mv} = Peso de la muestra en el agua

P_m = Peso de la muestra en el aire

Para partículas menores a 4.75 mm (Tamiz N° 4), se usa el método estándar AASHTO T-100-70 (limo y arcilla), se determina mediante la siguiente fórmula:

$$P_e = \frac{P_s}{P_s + P_{fa} - P_{fas}} * \gamma_T = \frac{P_s}{V_s} \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}4)$$

Donde:

P_e = Peso específico del suelo

γ_T = Peso específico del agua

P_s = Peso de la muestra seca

P_{fas} = Peso de la fiola, calibrada con agua y suelo

P_{fa} = Peso de la fiola con agua

c. Análisis granulométrico (MTC E 107 – 2000) (ASTM D 421)

El análisis granulométrico, se realiza con la finalidad de determinar la cantidad en porcentajes de piedra, grava, arena, limo y arcilla que constituyen un suelo. Pudiendo ser:

Para Suelos no cohesivos: Tamizado en seco

Para Suelos cohesivos: Tamizado por lavado

Si el material es granular, los porcentajes de piedra grava y arena se pueden determinar fácilmente mediante el empleo de tamices.

Si el suelo contiene un porcentaje apreciable de material fino (limo + arcilla), como es el caso del suelo estudiado, que pasa el tamiz N°200 (0.075 mm); el análisis granulométrico se basa, generalmente, en el principio de sedimentación; siendo el método hidrométrico o AASHTO estándar (Norma AASHTO T-88-70) el más reconocido y usado. Sin embargo, existe otro método: Método del sifoneado; con el que se obtienen, con un mínimo de equipo, resultados prácticamente iguales a los que se logran con el método estándar.

Los resultados se presentan por medio de curvas de distribución granulométrica en la cual se grafica el diámetro de las partículas en el eje de las abscisas y el porcentaje que pasa en el eje de las ordenadas. La forma de la curva es un indicador de la granulometría, tenemos que los suelos uniformes están representados por líneas en forma de S que extienden a través de varios ciclos de la escala logarítmica.

Las características granulométricas de los suelos pueden compararse estudiando ciertos valores numéricos importantes deducidos de las curvas de distribución, los más comunes son:

D10, D30, D60, que son los diámetros efectivos en mm. De las partículas correspondientes al 10%, 30% y 60% en la curva granulométrica, lo que significa que el 10%, 30% y 60% de las partículas son menores que el diámetro efectivo.

- **Coefficiente de Uniformidad (Cu)**: Sirve para medir y calificar el grado de distribución de tamaños de las partículas de un suelo. Por ejemplo, si todas las partículas son muy similares en tamaño, D60 y D10 no diferirán mucho, el coeficiente Cu será pequeño y el suelo se dice que es “uniforme” o “mal graduado”.

Por el contrario, si el suelo tiene abundancia de tamaños intermedios entre el máximo y el mínimo, D_{60} y D_{10} diferirán sustancialmente, el coeficiente C_u será grande y el suelo dice que está “bien graduado”.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}5)$$

Sí:

$C_u < 3 \rightarrow$ Muy Uniforme

$3 < C_u < 15 \rightarrow$ Heterogéneo

$15 < C_u \rightarrow$ Muy Heterogéneo

- **Coficiente de Curvatura (Cc):** Ayuda en la interpretación de cómo está graduado un suelo, dando información sobre el equilibrio entre los diversos tamaños.

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} * D_{60})} \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}6)$$

Si:

$1 < C_c < 3 \rightarrow$ Bien Graduado

d. Límites De Consistencia

Los límites de consistencia o también llamados límites de Atterberg se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso. La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida.

- Límite líquido (LL) (MTC E 110 – 2000) (ASTM D 4318):

Es el contenido de humedad del suelo, expresado en %, al momento en el cual pasa de consistencia plástica a líquida. En laboratorio, se determina con el ensayo de Casagrande (NLT 195/72, UNE 7-377-75).

Es la humedad de dos trozos de suelo, cuando entran en contacto (1cm) al cabo de 25 golpes en la “cuchara” de Casagrande.

- Límite plástico (LP) (MTC E 111 – 2000) (ASTM D 4318):

Es el contenido de humedad del suelo, expresado en % al momento en el cual deja de tener consistencia plástica. En laboratorio, se amasan pequeños cilindros de suelo, con unos 8gr. De material que pase el tamiz 40 (malla 0.42mm). Mediante el amasado, los cilindros pierden agua.

El LP se determina como la humedad del suelo, al momento en el cual se resquebrajen los cilindros (NLT106/58).

- Índice de plasticidad (IP): Es un indicador del rango de humedades del suelo que se comportaría como un sólido plástico. Se define como la diferencia entre el LL y el LP.

$$IP = LL - LP \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}7)$$

2.2.3.3.2. Ensayos de control o inspección

a. Compactación

Es el proceso mecánico, por medio del cual se reduce el volumen de los materiales, en un tiempo relativamente corto, con el fin de que sean resistentes a las cargas y tengan una relación esfuerzo – deformación conveniente durante la vida útil de la obra.

Es conveniente hacer notar que hay materiales que con un cierto grado de compactación se tornan muy expansivos en presencia de agua; este tipo de materiales no es conveniente utilizarlos en las obras viales en forma natural, pues si se compactan, aumentan su volumen y si se dejan con un grado bajo de compactación se deforman en forma apreciable en la operación. En caso de que por economía sea necesario utilizar alguno de estos materiales, deberá ser estabilizado con cal o cemento, lo cual, influirá en el costo.

La consolidación es un fenómeno semejante a la compactación, pero se diferencia en que es un fenómeno natural que se lleva a cabo durante mucho tiempo, quizás siglos, y la disminución del volumen se efectúa a costa del aire y agua que contenga el suelo.

i. Verificación De La Compactación

La compactación alcanzada se mide por medio del grado de compactación (Gc), que se define como la relación en porcentaje del peso volumétrico seco que se tiene en la obra y el peso volumétrico seco máximo que se obtiene en el laboratorio; la expresión para calcular el grado de compactación es:

$$Gc = \frac{\text{Peso Volumétrico Seco de Campo}}{\text{Peso Volumétrico seco Máximo de laboratorio}} \times 100 \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}8)$$

ii. Pruebas De Compactación De Laboratorio – Tipos

Compactación Estática y Compactación Dinámica

Para encontrar el grado de compactación se requiere el patrón de laboratorio con el que se debe comparar el peso volumétrico seco encontrado en el campo (Máxima densidad Seca).

Para calcular la máxima densidad seca utilizamos la siguiente fórmula:

$$D_s = \frac{(P_{ms} - P_m)}{V_x(100 + W)} \times 100 \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}9)$$

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

Las pruebas de compactación de laboratorio son principalmente de dos tipos: estáticas y dinámicas.

Las pruebas de compactación estática: Son aquéllos en que se compacta el espécimen con una presión que se proporciona al material por medio de una placa que cubre la superficie libre del molde y cuyo principal exponente es la prueba de Proctor Estándar.

Las pruebas de tipo dinámico: Son aquellas en las que el espécimen se elabora compactando el material por medio de pisones, que tiene un área de contacto menor a la sección libre del molde que se usa, el ejemplo típico de las pruebas de este tipo es el proctor estándar y modificado.

Prueba de Proctor: Se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Esta prueba tiene por objeto:

Determinar el peso volumétrico seco máximo $\gamma_{s\ max}$ que puede alcanzar un material, así como la humedad óptima W_o a q deberá hacerse la compactación.

Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos, aeropuertos, puentes y calles, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

2.2.3.3.3. Ensayos de resistencia

a. Carga – Penetración (California Bearing Ratio CBR) (MTC E 132 – 2000, ASTM D 1883)

La relación de soporte de California (California Bering Ratio), conocida comúnmente como CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad cuidadosamente controladas, que tiene aplicación principalmente en el diseño de pavimentos flexibles.

El CBR se define como la relación entre el esfuerzo requerido para introducir un pistón normalizado dentro del suelo que se ensaya y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón hasta la misma profundidad en una muestra de patrón de piedra triturada. Esta relación se expresa en porcentaje.

$$CBR\% = \frac{\text{Esfuerzo en el suelo ensayado}}{\text{Esfuerzo en la muestra patrón}} \times 100 \dots \dots \dots (Ec. n^{\circ}10)$$

El CBR de una muestra de suelo se determina generalmente para penetraciones del pistón dentro del rango: 0.1 y 0.2 pulgadas, eligiéndose el mayor de los dos como valor representativo de la muestra.

Para determinar el CBR de un suelo se realizan los siguientes ensayos:

- Determinación de la densidad máxima y húmeda óptima
- Compactación para CBR
- Determinación de la resistencia a la penetración

Tabla n.º 2. Clasificación Típica de CBR

CBR	CLASIFICACIÓN	USOS	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub rasante	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Sub rasante	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub-base	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	A1b, A2-5, A3, A2-6
Mayor a 50	Excelente	Base	A1a, A2-4, A3

Fuente: Olivera Bustamante

Tabla n.º 3. Valores Correspondientes a las Muestras Patrón (Macadam)

UNIDADES MÉTRICAS		UNIDADES INGLÉSAS	
Penetración (mm)	Carga Unitaria (kg/cm ²)	Penetración (mm)	Carga Unitaria (lb/pulg ²)
2.54	70.31	2.54	1000
5.08	105.46	5.08	1500

Fuente: Carreteras, Carriles y aeropuertos: Raúl Valle Rodas

2.2.3.4. Módulo de reacción de la subrasante

Conocido también con el nombre de Coeficiente de Balastro, expresa la resistencia del suelo de la subrasante a ser penetrado por efecto de la penetración de las losas.

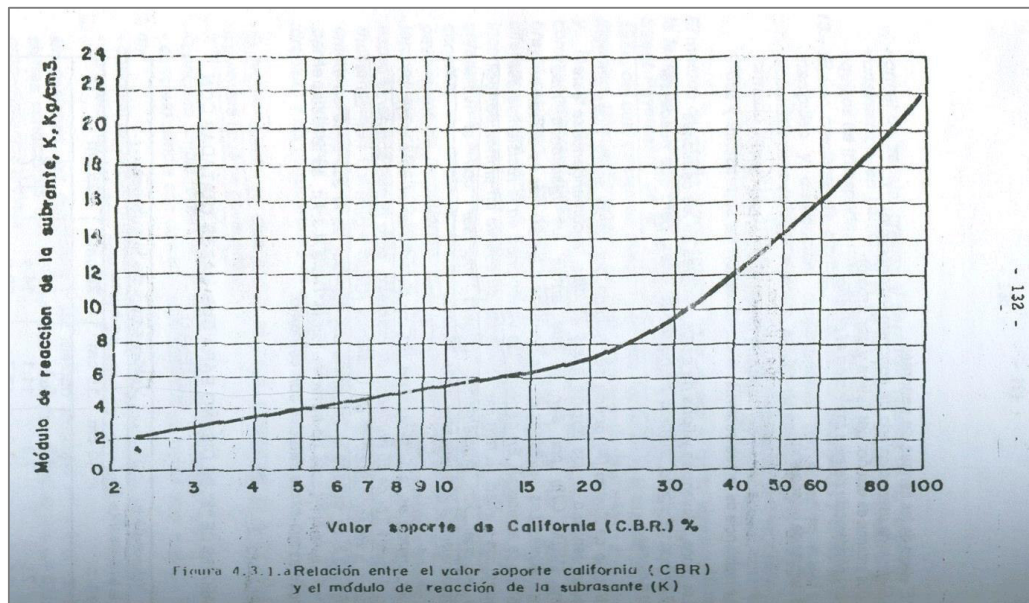
Determinación de la capacidad de soporte del suelo (K, Kc): El módulo de compacidad de soporte de la subrasante K se puede determinar de las siguientes ecuaciones:

$$K = 0.25 + 5.15 \log \text{CBR} \quad \text{Para CBR} \leq 10\%$$

$$K = 4.51 + 0.89 (\log \text{CBR})^{4.34} \quad \text{Para CBR} > 10\%$$

También se puede obtener del Ábaco: Relación entre el valor de soporte de california C.B.R. y el módulo de reacción de la subrasante k. (Figura n.º 9)

Figura n.º 9: Ábaco: Relación entre C.B.R. y “k”



Fuente. ASSTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

Tomando en cuenta un refuerzo con una geomalla multiaxial polimérica en la subrasante logramos incrementar el “K” de 46 a 92% según los estudios realizados por el Dr Perkins de la Universidad de Montana. De manera conservadora asumiremos un incremento de 46% y 56%, (es decir un factor de mejoramiento igual a 1.46 y 1.56) del módulo de reacción “K”.

2.3. Definición de términos básicos

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Aforo: Consiste en el conteo de vehículos, que transitan por una vía, en un periodo de tiempo determinado. (MTC, 2003)

Arcilla: Suelo cohesivo que se compone de partículas cuyo diámetro es menos de 0.006 mm. (MTC, 2003)

Calicata (Perforación): Que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas. (MTC, 2003)

CBR (California Bearing Ratio): Valor soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo. (MTC, 2003)

Compactación: Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica. (MTC, 2003)

Cuarteo: Procedimiento de reducción del tamaño de una muestra. (MTC, 2003)

Subrasante: El suelo preparado para sostener una estructura o un sistema de pavimento. Es la fundación de la estructura del pavimento. El suelo de subrasante es llamado a veces suelo de fundación. (MTC, 2003)

Subrasante Mejorada: Subrasante mejorada como plataforma de trabajo mediante (1) el uso de materiales granulares o estabilizantes como el asfalto, la cal, o el cemento Portland, o (2) el uso de cualquier capa o capas de material seleccionado o mejorado y colocado directamente sobre el suelo de subrasante existente. (MTC, 2003)

Carretera, calle o Camino: Un calificativo general, que designa una vía pública para fines de tránsito. (MTC, 2003)

Carril: Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos. Para Construcción de Carreteras. (MTC, 2003)

Concreto: Mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En el concreto normal, comúnmente se usan como medio aglomerante, el cemento Portland y el agua, pero también pueden contener puzolanas, escoria y/o aditivos químicos. (MTC, 2003)

Densidad: La relación del peso de la sustancia a su volumen. (MTC, 2003)

Granulometría: Gradación o distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados. (MTC, 2003)

Limo: El limo es una tierra compuesta de partículas de los tres tamaños: arcilla, lodo y arena. Según la proporción de humus (materia orgánica descompuesta) que contiene, el limo suele ser el tipo de suelo más productivo. (MTC, 2003)

Concreto Portland: Mezcla de material aglomerante (cemento Portland y agua) y agregados fino y grueso. Pueden contener aditivos para darle cualidades de que carecen o para mejorar las que poseen. (MTC, 2003)

Suelo: Es la superficie de material suelto de la corteza terrestre. (MTC, 2003)

Volumen de Tránsito: Es el número de vehículos que pasan por un tramo de carretera en un intervalo de tiempo dado; los intervalos más usuales son el día y la noche, teniéndose tránsito diario y el tránsito horario. (MTC, 2003)

HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

La utilización de geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160, mejora la subrasante de la calle Alemania – La molina – Cajamarca, en un 54% y 72% respectivamente.

3.2 Operacionalización de variables

Variables dependientes

Subrasante

Variable independiente

Geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160

Tabla n.º 4. Operacionalización de Variables

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DEFINICIÓN	INDICADORES	UNIDAD	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Dependiente	Subrasante	Parte superior del Terreno de fundación tratado in situ. De la calidad de ésta depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento. (MTC, 2003)	Espesor Módulo de reacción	plg Kg/cm ³	Diseño de subrasante
Independiente	Geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160	Son elementos elaborados a partir de láminas de resinas selectas de polipropileno, perforadas y estiradas uniformemente en tres direcciones. (Tensar, 2013)	Resistencia	Kg/cm ³	Especificaciones de las geomallas

Fuente: Elaboración propia, 2015.

METODOLOGÍA

4.1. Diseño de investigación

Según el propósito

Según su propósito o razón de estudio, la investigación propuesta se trata de una investigación Aplicada por cuanto busca resolver un problema concreto (mejoramiento de subrasante con geomallas multiaxiales).

Según el diseño de investigación

La presente tesis es una investigación del tipo descriptiva, puesto que se hará una evaluación mediante: registros, análisis e interpretación de los datos recolectados de campo, laboratorio y documentos oficiales con la finalidad de lograr establecer procedimientos de diseño de subrasante con y sin refuerzo. La investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o proceso de los fenómenos.

4.2. Unidad de estudio

La subrasante de un tramo de la calle Alemania – La molina - Cajamarca.

4.3. Población

La población está conformada por la calle Alemania – La molina – Cajamarca, la cual presenta las siguientes características:

La calle Alemania, está ubicado en el distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca y región de Cajamarca.

4.4. Muestra

La muestra está constituida por el diseño de la subrasante utilizando geomallas multiaxiales, el cual va a tomar como ámbito de aplicación 80 metros de la calle Alemania – La molina – Cajamarca.

4.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Para recolectar datos

Las técnicas, procedimientos e instrumentos utilizados para la recopilación de datos en función de los objetivos y naturaleza de la investigación son las siguientes:

Revisión documental

Se consultó documentación bibliográfica relacionada con el tema de estudio, con el propósito de adquirir conocimientos de gran importancia que servirán de base para el desarrollo del trabajo de investigación.

Las consultas bibliográficas estuvieron relacionadas sobre:

Normas técnicas peruanas de pavimentos y suelos.

Libros, artículos y relacionados con el tema de estudio.

Revisión Literaria

Es necesario obtener información sobre los antecedentes de la investigación, es decir, aquellos estudios previos y tesis que estén relacionado con el problema planteado. Es necesario la revisión de textos que aporten conceptos básicos y proposiciones relacionadas al tema de tesis, consultar aquellos artículos de las normas, decretos y aplicar los artículos que sean necesarios en la investigación.

Observación Directa

Esta técnica permite al investigador determinar que se está haciendo, como se está haciendo, quien lo hace, cuando se lleva a cabo, cuanto tiempo toma, dónde se hace y por qué se hace.

Elaboración del informe final

Es un proceso que se iniciará durante el análisis de datos y se extiende durante toda la investigación, más allá de las conclusiones y recomendaciones, hasta obtener la tesis de grado en el formato correspondiente.

Para procesar datos

El procesamiento de datos implica un agrupamiento de los mismos, en unidades coherentes. Se procesó los datos mediante tablas, cuadros y gráficos, utilizando hojas de cálculo en el programa excel (ensayos para clasificación de suelos, Proctor modificado, CBR), para luego realizar el diseño de la subrasante con y sin geomallas multiaxiales con ayuda del software Spectra Pave 4.0 versión educacional. Se generó los planos de ubicación, planta, perfil longitudinal y secciones con el software AutoCad.

DESARROLLO

5.1 Descripción de zona en estudio

5.1.1. Datos generales

Ubicación:

Departamento : Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Cajamarca

Datum : WGS84

Huso : 17S

Zona : 17S

Coordenadas:

Este : 774477.00

Norte : 9210172.00

Cota : 2715.00

Figura n.º 10. Localización de la calle Alemania – La molina - Cajamarca



Fuente: Google Earth

Descripción:

La calle Alemania perteneciente al barrio La molina, ubicada al Nor-Este de la ciudad de Cajamarca está compuesta por una trocha, la cual debido al ancho promedio de 6 metros que ésta presenta estaría conformada por un solo carril, contando además con veredas en ambos lados y cunetas en ciertos tramos.

El tramo en estudio tiene una longitud de 80 metros delimitado por la calle Austria y la avenida Dinamarca. Se realizó el levantamiento topográfico y dos calicatas para proceder a tomar muestras para los ensayos respectivos y proceder con el diseño de la subrasante.

Figura n.º 11. Descripción de la calle en estudio



Fuente: Elaboración propia, 2015.

• Entorno y drenaje

A lo largo del tramo en estudio se encuentran zona urbana con edificaciones de 01, 02, 03 y 04 pisos de albañilería y áreas verdes sin construcción.

Para el drenaje superficial, parte de la calle no cuenta con cunetas.

• Obras adicionales

El tramo en estudio cuenta con alumbrado público, pero no tiene la señalización horizontal y vertical

Levantamiento topográfico del tramo en estudio calle Alemania – La molina - Cajamarca

El levantamiento topográfico se realizó al medio día el 24 de Noviembre del 2013, con lo cual se obtuvo los puntos del tramo en estudio para luego realizar el plano topográfico y poder iniciar con la evaluación del tramo.

Figura n.º 12. Levantamiento topográfico.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Equipo utilizado:

- **Estación total (Leyca):** Es un instrumento utilizado en topografía, que cuenta con pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD). Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimuts y distancias.
- **Trípode:** Es un aparato de tres partes que permite estabilizar un objeto. Se usa para evitar el movimiento propio del objeto. La palabra se deriva de tripous, palabra griega que significa 'tres pies'. El trípode tiene tres patas y su parte superior es circular o triangular.
- **Libreta de campo:** Es una herramienta usada en campo; que básicamente sirve para la anotación de datos importantes, son normalmente block de notas.
- **Prisma:** Conocida como señal de puntería, son accesorios importantes para diversas aplicaciones topográficas. Normalmente se consideran un accesorio fiable, por lo que los topógrafos no suelen tener en cuenta la influencia de los prismas en las mediciones.

Datos:

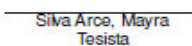
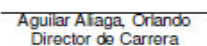
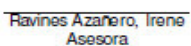
Los datos del levantamiento topográfico como la elaboración del plano del tramo en estudio se adjuntan en los ANEXOS de la presente investigación.

5.1.2. Estudio del tráfico

Para la identificación del estudio de tráfico en la calle Alemania – La molina - Cajamarca, se realizó el conteo vehicular – clasificado, efectuado mediante simple inspección visual del paso del flujo vehicular empleando para ello formatos de tránsito vehicular para la recolección de los datos en forma clasificada, permitiéndonos así el conteo vehicular determinar el total de vehículos que circulan por el tramo en estudio.

El conteo vehicular se realizó durante una semana, utilizando el siguiente formato:

Figura n.º 13. Formato para conteo vehicular

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		CONTEO DE TRÁFICO	DOCUMENTO N.º:
I. DATOS GENERALES			
TESIS	MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE MALA CALIDAD CON GEOMALLAS MULTIAJIALES TIPO TX140 Y TX160, CAJAMARCA 2016		
TESISTA	MAYRA SILVA ARCE		
DEPARTAMENTO	CAJAMARCA		
PROVINCIA	CAJAMARCA		
DISTRITO	CAJAMARCA		
CARRETERA	MIGUEL IGLESIAS - TRES MOLINOS		
FECHA	INICIO: 11/04/2013	FIN: 11/10/2013	
II. DATOS			
CONF. VEHICULAR	CONTEO DE VEHÍCULOS		TOTAL
MOTO			
AUTOMOVIL			
CAMIONETA			
COMBI			
OMNIBUS			
B2			
B3			
CAMIÓN			
C2			
C3			
C4			
SEMITRAYLERS			
T2S2			
T2S3			
T3S2			
T3S3			
III. OBSERVACIONES:			
<p style="text-align: center;">    </p> <p style="text-align: center;"> Silva Arce, Mayra Aguilar Allaga, Orlando Ravines Azañero, Irene Tesista Director de Carrera Asesora </p>			

Fuente: Elaboración propia, 2015

De lo cual una vez recolectado los datos del conteo vehicular clasificado del tramo en estudio de 6:00 am a 6:00 pm, obteniendo así el transito promedio diario (T.P.D), como se muestra en la tabla:

Tabla n.º 5. Conteo de Vehículos

VEHICULO		SEMANA DE CONTEO DE VEHICULOS							PROM.
CLASE	SIMBOL.	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo	(Veh/día)
Autos, combis y camionetas rurales de menos de 10000 lbs de peso bruto	Ap, Ac	125.00	127.00	118.00	128.00	134.00	95.00	92.00	117.00
Omnibus de dos ejes	B2	30.00	28.00	26.00	29.00	28.00	21.00	20.00	26.00
Omnibus de tres ejes	B3	13.00	11.00	12.00	10.00	11.00	4.00	2.00	9.00
Camiones de dos ejes	C2	32.00	29.00	26.00	29.00	32.00	28.00	27.00	29.00
Camiones de tres ejes	C3	2.00	2.00	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00
Camión H15-S12	T2-S1	3.00	5.00	4.00	2.00	4.00	2.00	1.00	3.00
Volumen actual de tráfico									186

Fuente: Elaboración propia, 2015.

De la tabla presentada podemos visualizar el transito promedio diario clasificado, observando todas las cargas que circulan por el tramo, los cuales tienen más influencia la circulación de automóviles, se observa la presencia de los B2, B3, C2, C3 y T2S1, en forma permanente lo cual se puede testificar que el tramo en estudio si está sometido a cargas vehiculares considerables.

5.2. Estudio de suelos

Se realizaron dos calicatas a cielo abierto que fueron identificadas de la manera siguiente: C-1 y C-2, de sección cuadrada, de 1.20m de lado y 1.50m de profundidad y ubicadas a lo largo del perfil longitudinal de la calle existente (ambos extremos) de una manera adecuada.

Las muestras de cada una de las calicatas, por ser los elementos esenciales para efectuar los estudios correspondientes y realizar las interpretaciones, fueron cuidadosamente extraídas y recolectadas, ya que permitirán al término de estudio, proponer alternativas de solución más adecuadas en base a los resultados indicadores de los respectivos análisis.

Análisis cualitativo de las muestras extraídas, para determinar las propiedades físicas de los suelos (tipo de suelo, granulometría, densidad, contenido de humedad, límites de consistencia, etc).

Recolección adecuada de muestras alteradas, las mismas que fueron muestreadas, analizadas y ensayadas.

RESULTADOS

6.1. Ensayos de laboratorio

De cada calicata se obtuvieron las muestras necesarias para determinar las propiedades físicas, tales como su contenido de humedad, densidad, granulometría, límites de consistencia, capacidad portante. A continuación se presentan los ensayos realizados de la calicata y estrato más desfavorable.

CALICATA N° 1

UBICACIÓN: Km 0+00 a 0+10

Límites de consistencia

Tabla n.º 6. Límites de consistencia

Límite Líquido	=	21.67
Límite Plástico	=	14.76
Índice de Plasticidad (IP=LL-LP)	=	6.92

Fuente. Elaboración propia

Peso específico de los Finos

Tabla n.º 7. Peso específico de los Finos

Tara N°	1	2	3
W1 (gr)	378.46	375.46	380.46
W2 (gr)	777.48	780.48	776.48
W3 (gr)	1613.31	1618.31	1611.31
W4 (gr)	1372.89	1374.89	1371.89
L (kg/l)	1	1	1
Peso Específico (gr/cm ³)	2.52	2.51	2.53
PE Promedio (gr/cm³)	2.52		

Fuente. Elaboración propia

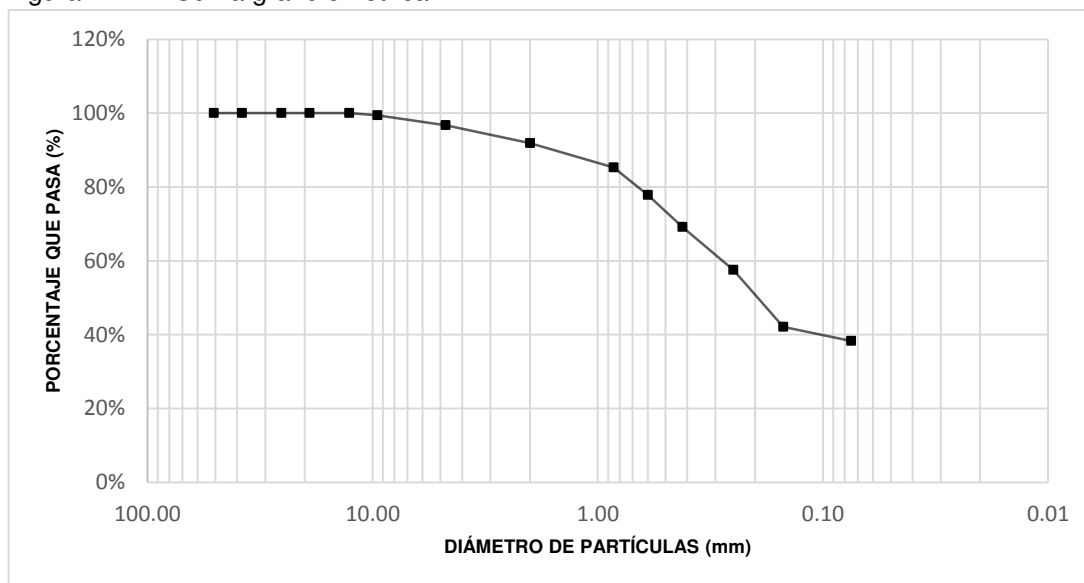
Análisis granulométrico

Tabla n.º 8. Resultado del análisis granulométrico

Nº TAMIZ	Diámetro (mm)	Masa de Suelo Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que Pasa (%)
2"	50.80	0.000	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.000	0.00	100.00
1"	25.40	0.000	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.000	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.000	0.00	100.00
3/8"	9.52	9.910	0.62	99.38
4	4.75	42.870	2.66	96.72
10	2.00	78.830	4.89	91.83
20	0.85	104.880	6.51	85.32
30	0.60	120.440	7.48	77.84
40	0.42	140.200	8.70	69.14
60	0.25	186.500	11.58	57.56
100	0.15	249.460	15.48	42.08
200	0.08	60.620	3.76	38.32
CAZOLETA		617.270	38.32	0.00
MASA TOTAL		1610.98		

Fuente. Elaboración propia

Figura n.º 14. Curva granulométrica



Fuente. Elaboración propia

Por lo tanto, según la clasificación de suelos AASHTO, tenemos:

Material Limoso arenoso

Pobre a malo como subgrado

A-7-6 Suelo Arcilloso

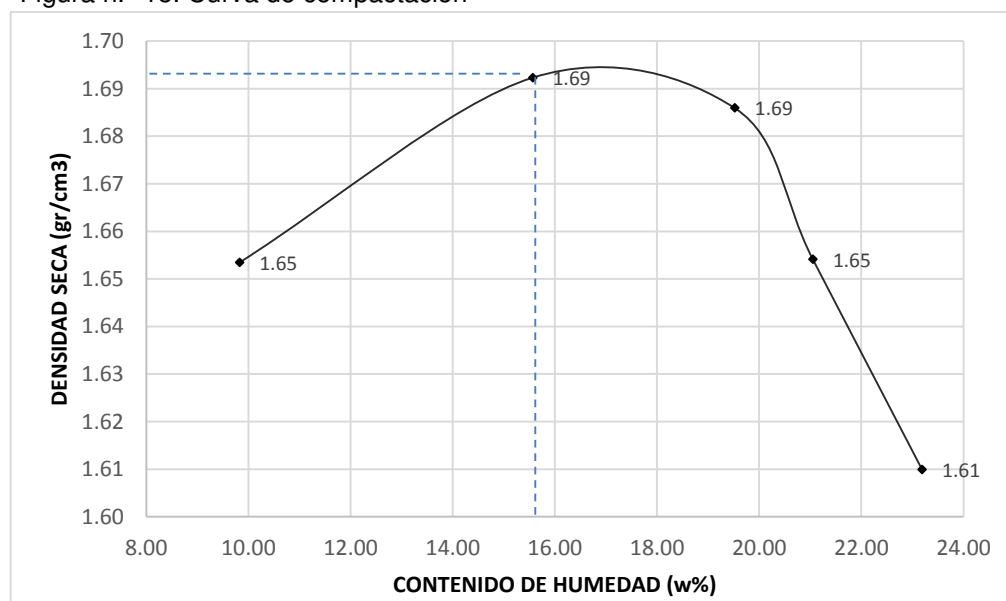
Proctor modificado

Tabla n.º 9. Datos ensayo Proctor modificado

Ensayo N°		2	1	3	4	5
PESO ESPECÍFICO						
Peso de muestra húmeda + molde	grs	5920.00	6052.00	6108.00	6096.00	6078.00
Peso del molde	grs	4206.00	4206.00	4206.00	4206.00	4206.00
Peso de la muestra húmeda	grs	1714.00	1846.00	1902.00	1890.00	1872.00
Volumen del molde	cm ³	943.90	943.90	943.90	943.90	943.90
Densidad húmeda	grs/cc	1.82	1.96	2.02	2.00	1.98
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara		2	1	3	4	5
Peso muestra húmeda + Tara	grs	238.72	129.26	245.49	261.64	262.81
Peso muestra seca + Tara	grs	219.83	115.52	209.86	220.80	218.46
Peso del agua	grs	18.89	13.74	35.63	40.84	44.35
Peso de la tara	grs	27.54	27.24	27.34	26.80	27.24
Peso de la muestra seca	grs	192.29	88.28	182.52	194.00	191.22
Contenido de humedad	%	9.82	15.56	19.52	21.05	23.19
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad seca	grs/cc	1.65	1.69	1.69	1.65	1.61

Fuente. Elaboración propia

Figura n.º 15. Curva de compactación



Fuente. Elaboración propia

Obteniendo los siguientes datos:

Máxima Densidad Seca = 1.69
Óptimo Contenido de Humedad = 15.56%

Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

Tabla n.º 10. Datos de ensayo CBR

MOLDE	1		2		3				
Altura Molde mm.	176		176		176				
Nº Capas	5		5		5				
NºGolp x Capa	56 Golpes		27 Golpes		13 Golpes				
Cond. Muestra	ANTES		DESPUES		ANTES		DESPUES		
P. Húm.+ Molde	11846.00		12152.00		11348.00		11940.00		
Peso Molde (gr)	7244.00		7244.00		7238.00		7238.00		
Peso Húmedo (gr)	4602.00		4908.00		4110.00		4702.00		
Vol. Molde (cc)	3175.52		3175.52		3175.52		3175.52		
Densidad H.(gr/cc)	1.45		1.55		1.29		1.48		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húmedo + Tara	134.61	153.81	348.00	123.81	127.25	314.00	144.05	130.12	480.00
Peso Seco + Tara	107.45	135.40	278.00	110.94	113.39	274.00	128.73	119.43	410.00
Peso Agua (gr)	27.16	18.41	70.00	12.87	13.86	40.00	15.32	10.69	70.00
Peso Tara (gr)	27.64	27.44	74.00	27.92	26.76	156.00	27.71	25.89	202.00
P. Muestra Seca	79.81	107.96	204.00	83.02	86.63	118.00	101.02	93.54	208.00
Cont. Humedad	34.03%	17.05%	34.31%	15.50%	16.00%	33.90%	15.17%	11.43%	33.65%
Cont.Hum.Prom.	25.54%		34.31%	15.75%		33.90%	13.30%		33.65%
DENSIDAD SECA	1.154		1.151	1.118		1.106	1.046		1.039

Fuente. Elaboración propia

Ensayo de Hinchamiento

Tabla n.º 11. Datos de ensayo de hinchamiento

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		LEC.	HINCHAMIENTO		LEC.	HINCHAMIENTO		LEC.	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)	DEF.	(mm)	(%)	DEF.	(mm)	(%)	DEF.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	2.270	57.658	32.76	3.920	99.568	56.57	4.150	105.410	59.89
48	2	2.960	75.184	42.72	5.410	137.414	78.08	4.270	108.458	61.62
72	3	3.440	87.376	49.65	5.730	145.542	82.69	4.300	109.220	62.06
96	4	4.100	104.140	59.17	5.800	147.320	83.70	4.350	110.490	62.78

Fuente. Elaboración propia

Ensayo de absorción

Tabla n.º 12. Datos de ensayo de absorción

N° MOLDE	MOLDE N° 01	MOLDE N° 02	MOLDE N° 03
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE (gr)	12152	11940	11652
PESO DEL PLATO + MOLDE (gr)	7244	7238	7242
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO (gr)	4908	4702	4410
PESO SUELO HUMEDO SIN EMBEBER (gr)	4602	4110	3764
PESO DEL AGUA ABSORBIDA (gr)	306	592	646
PESO DEL SUELO SECO (gr)	4594	4104	3758
ABSORCION DE AGUA (%)	6.7 %	14.4 %	17.2 %

Fuente. Elaboración propia

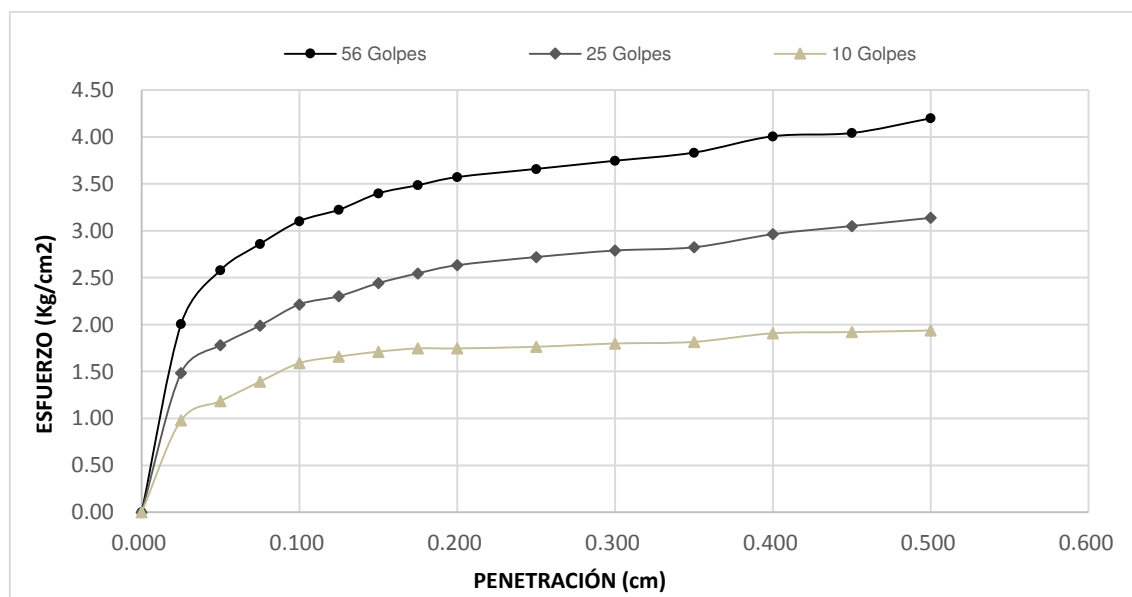
Ensayo Carga – Penetración

Tabla n.º 13. Datos de ensayo carga - penetración

PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulg)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	39	2.01	29	1.49	19	0.98
1.27	0.050	50	2.58	35	1.78	23	1.19
1.91	0.075	55	2.86	39	1.99	27	1.39
2.54	0.100	60	3.10	43	2.22	31	1.59
3.18	0.125	63	3.22	45	2.30	32	1.66
3.81	0.150	66	3.40	47	2.44	33	1.71
4.45	0.175	68	3.49	49	2.55	34	1.75
5.08	0.200	69	3.57	51	2.63	34	1.75
6.35	0.250	71	3.66	53	2.72	34	1.76
7.62	0.300	73	3.75	54	2.79	35	1.80
8.89	0.350	74	3.83	55	2.82	35	1.82
10.16	0.400	78	4.01	58	2.96	37	1.91
11.43	0.450	78	4.04	59	3.05	37	1.92
12.70	0.500	81	4.20	61	3.14	38	1.94

Fuente. Elaboración propia

Figura n.º 16. Curva esfuerzo - penetración



Fuente. Elaboración propia

Tabla n.º 14. Valores del Esfuerzo (Kg/cm²)

PENETRACIÓN	0.1 (*)	0.2 (*)
MOLDE 1	3.10	3.57
MOLDE 2	2.22	2.63
MOLDE 3	1.59	1.75

Fuente. Elaboración propia

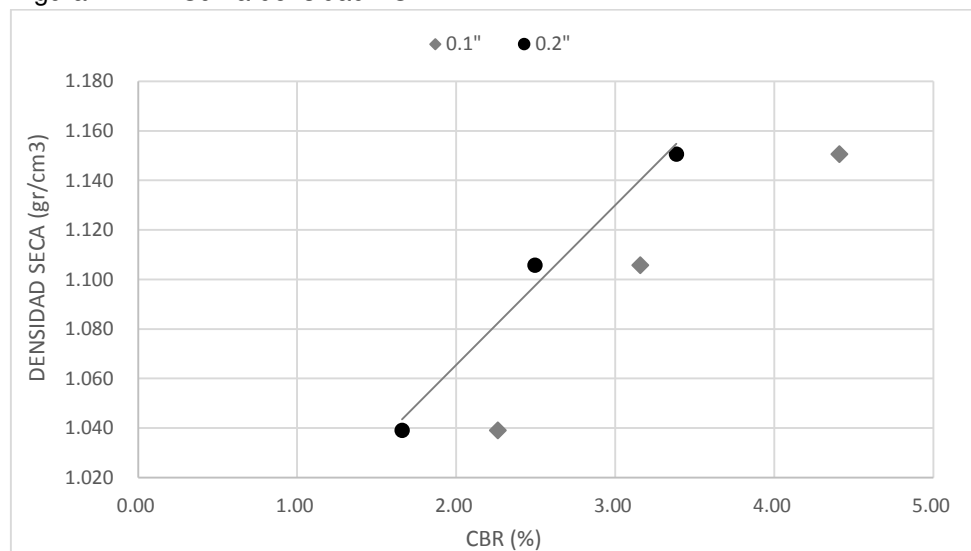
Tabla n.º 15. Valores del CBR (%)

MOLDE	Dseca	0.1"	0.2"	CBR
MOLDE 1	1.151	4.41	3.39	4.41
MOLDE 2	1.106	3.16	2.49	3.16
MOLDE 3	1.039	2.26	1.66	2.26

Fuente. Elaboración propia

CBR DE DISEÑO
2.50%

Figura n.º 17. Curva densidad - CBR



Fuente. Elaboración propia

6.2. Cálculo del EAL's de diseño

Composición del tráfico

Tabla n.º 16. Composición del tráfico

VEHÍCULO		PROM. (Veh/día)	TIPOS DE EJES	
CLASE	SIMBOL.		SIMPLE	TANDEM
Autos, combis y camionetas rurales de menos de 10000 lbs de peso bruto	Ap, Ac	117	2	
Ómnibus de dos ejes	B2	26	2	
Ómnibus de tres ejes	B3	9	1	2
Camiones de dos ejes	C2	29	2	
Camiones de tres ejes	C3	2	1	2
Camión	T2-S1	3	3	
Volumen actual de tráfico		186	11	4

Fuente. Elaboración propia

Número de ejes del tráfico

Tabla n.º 17. Número de ejes del tráfico

VEHÍCULO		TIPOS DE EJES		SUB TOTAL
CLASE	SIMBOL.	SIMPLE	TANDEM	
Autos, combis y camionetas rurales de menos de 10000 lbs de peso bruto	Ap, Ac	234	0	234
Ómnibus de dos ejes	B2	52	0	52
Ómnibus de tres ejes	B3	9	18	27
Camiones de dos ejes	C2	58	0	58
Camiones de tres ejes	C3	2	4	6
Camión	T2-S1	9	0	9
Volumen actual de tráfico		364	22	386

Fuente. Elaboración propia

Cálculo del EAL

Tabla n.º 18. Cálculo del EAL's

Tráfico diario inicial	PROM. (Veh/día)	%	Factor Camión
Automóviles	117.00	62.90	
Ómnibus (2 ejes, 4 ruedas)	26.00	13.98	0.02
Ómnibus (2 ejes, 6 ruedas)	9.00	4.84	0.21
Camiones (2 ejes)	29.00	15.59	0.21
Camiones (3 ejes)	2.00	1.08	0.73
Camión (T2-S1)	3.00	1.61	0.48
Total	186.00	100.00	

Tipo de Vehículo	Número de Vehículos		Factor Camión	2% Fact. Crec.	EAL
Ómnibus (2 ejes, 4 ruedas)	26.00	365.00	0.02	24.30	4,612
Ómnibus (3 ejes)	9.00	365.00	0.21	24.30	16,763
Camiones (2 ejes, 6 ruedas)	29.00	365.00	0.21	24.30	54,015
Camiones (3 ejes)	2.00	365.00	0.73	24.30	12,949
Camión (T2-S1)	3.00	365.00	0.48	24.30	12,772

Total Camiones	69.00		EAL diseño	101,112
----------------	-------	--	------------	---------

Fuente. Elaboración propia

Total de EAL's = 1*10E5

6.3. Diseño de subrasante con y sin geomalla multiaxial tipo TX140 y TX160

De acuerdo a los estudios de suelos obtenidos, se determinó que el valor de C.B.R. de subrasante para el diseño es 2.5%.

Se asumirá un valor de C.B.R. del material de mejoramiento o relleno igual a 30% para la elaboración de los diseños.

Finalmente los datos de diseño para una subrasante de mala calidad con C.B.R. de 2.5% son los siguientes:

Tabla n.º 19. Datos de diseño

PROPIEDAD	VALOR
Carga Axial	80 KN
Presión de llanta	550 kPa
Prof. Máx. ahuellamiento	40mm
CBR Subrasante	2.50%
CBR Material de Mejoramiento	30%
Nº de ejes pasantes de 8.2 Tn	100,000

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- Carga Axial: 80 KN, carga por eje simple equivalente
- Presión de Inflado de Llanta: 550 kPa, corresponde a un camión estándar.
- Profundidad máxima de ahuellamiento: Describe la máxima superficie de deformación que una plataforma de mejoramiento requiere para mantener su serviciabilidad. (40mm es normalmente apropiado).
- Nº de ejes equivalentes de 8.2 Ton que circularan por la vía durante la vida útil de la vía.

Luego de obtener los datos anteriores, estos se reemplazan en la ecuación número n.º 1 dada en la metodología Giroud y Han. Este cálculo iterativo se simplifica haciendo uso del Software SPECTRA PAVE 4.0

DISCUSIÓN

Los valores de TPDA y sus características, se obtuvieron a través de conteos visuales en la semana del 04 al 10 de Noviembre del 2013, permitiendo determinar el número de ejes equivalentes EAL's de 100,000 para 20 años.

En este sector como era de esperarse se encontraron suelos blandos a nivel de la subrasante, en el tramo analizado, determinándose que el tipo de suelo predominante de acuerdo a la clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) corresponde a limos arcillosos (CL), con un índice de plasticidad promedio de 6.92.

De acuerdo a la clasificación AASHTO se determinó suelos A-7-6, Pobre a malo como subgrado – Suelo arcilloso.

De los ensayos de Proctor Modificado realizados en el laboratorio se determinó valores promedio de humedad óptima 15.56% y máxima densidad seca de 1.69 gr/cm³.

El diseño de la subrasante tradicional y el diseño de la subrasante mejorada con la geomalla multiaxial, arrojó los siguientes espesores:

Sin geomalla Multiaxial $e = 0.54$ m

Con geomalla Multiaxial TX140 $e = 0.25$ m

Con geomalla Multiaxial TX160 $e = 0.15$ m

Por lo tanto, el espesor de la subrasante no reforzada es mayor al espesor obtenido de la subrasante reforzadas con geomallas multiaxiales TX140 y TX160.

Tabla n.º 20. Cuadro comparativo de parámetros obtenidos después del diseño

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SUBRASANTE TRADICIONAL	SUBRASANTE CON GEOMALLA MULTIAXIAL TX140	SUBRASANTE CON GEOMALLA MULTIAXIAL TX160
CBR	%	2.50	2.50	2.50
K	kg/cm ³	2.30	3.54	3.96
e	m	0.54	0.25	0.15
Ahorro	m	-	0.29	0.39

Fuente: Elaboración propia

Según Gavilanes N. (2012). Indica que el uso de geomallas biaxiales garantizan un ahorro en material, mano de obra y equipo al existir menor uso de maquinaria en la excavación,

transporte e instalación de la geomalla y de los materiales; coincidiendo notablemente con los resultados obtenidos en el presente informe, pues el espesor de la subrasante sin refuerzo es de 0.54 m. y el espesor de la subrasante con refuerzo de geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160 es de 0.25 m. y 0.15m. respectivamente (ver tabla n.º 20), es evidente el ahorro de material que se obtiene al utilizar las geomallas.

Según Orrego D. (2014). Indica que el uso de geomallas como refuerzo de bases granulares son una gran alternativa para reducir los espesores de las capas de relleno, disminuir el tiempo de instalación; coincidiendo una vez más con los resultados obtenidos en el presente informe, pues según la tabla n.º 20 es evidente la reducción del espesor de la subrasante y por ende el ahorro del mismo.

Según Meléndez A. (2010). Indica en base a sus resultados que el uso de las geomallas y geotextiles prevén un proceso constructivo menos tedioso y menos complicado de desarrollar, además de reducir el tiempo de ejecución y recursos utilizados; coincidiendo con el presente informe en el uso de las geomallas, pues el proceso constructivo es más fácil, sencillo y rápido,

CONCLUSIONES

1. Las geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160, sí logran mejorar la subrasante en un tramo de la calle Alemania – La molina – Cajamarca, en un promedio de 63%, el cual está dentro del rango de mejora (46% a 92%) determinado por el Dr. Steve Perkins.
2. Mediante la ejecución de los ensayos de California Bearing Ratio (CBR) realizados en laboratorio se obtuvieron valores promedio de 3.28% para 0.1" y 2.51% para 0.2", considerándose el 95 percentil, en base al tráfico que circulará por el pavimento, representando así un valor de 2.50%.
3. Mediante el uso del programa Spectra Pave 4.0 se calculó un espesor de 0.54 m para una subrasante sin refuerzo de geomallas multiaxiales, y un espesor de 0.25 m. y 0.15 m. con refuerzo de las geomallas multiaxiales TX140 y TX160 respectivamente.
4. El módulo de reacción de la subrasante sin refuerzo es de 2.30 kg/cm³ y empleando las geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160 es de 3.54 kg/cm³ y 3.96 kg/cm³ respectivamente.
5. El espesor obtenido del mejoramiento de la subrasante no reforzada es mayor al espesor obtenido en la subrasante reforzada con las geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160. Esta diferencia es, alrededor de un 54% y 72% respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Para futuros trabajos, recomiendo que las empresas que apoyan con el desarrollo de la investigación en ingeniería brinden los softwares necesarios en su versión completa, para un mejor desarrollo de los trabajos de investigación.
2. Recomiendo realizar el análisis de costos, para determinar si las geomallas en comparación al espesor de relleno reducido generan un ahorro.
3. Recomiendo a todo aquel estudiante interesado en el tema de las geomallas como alternativa de mejora en los pavimentos, utilizar como base el presente informe, del cual se obtienen datos importantes que ayudarán a aclarar mejor sus dudas y reforzar sus ideas.
4. Recomiendo la utilización de geomallas, pues garantizan ahorro en material, mano de obra y equipo al existir menor uso de maquinaria en excavaciones, transporte e instalación de la geomalla y de los materiales.

REFERENCIAS

- Corredor, G. (2009). *Diseño de pavimentos y evaluación de pavimentos*. Managua, Nicaragua.
- Gavilanes, N. (2012). *Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua – La Maná – Quito*. Ecuador.
- George B. Sowers & George F. Sowers (2012). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentación Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos*.
- Giroud, J. P., & Noiray, L. (1981). *Geotextile Reinforced Unpaved Road Design - Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107*
- Meléndez, A. (2010). *Construcción de vías de acceso utilizando geomallas y geotextiles en terrenos de mala calidad en el proyecto minero Gold Fields La Cima S.A. Hualgayoc – Cajamarca*. Perú
- Mengelt, A., Wulff, F., Fonseca, & Saavedra. (2000). *Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito*. Bogotá
- Orrego, D. (2014). *Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles*. Perú
- Perkins, S. (1999). *Pavimentos Flexibles Reforzados con Geosintéticos*. Montana
- Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Decreto Supremo n.º 058-2003-MTC: Reglamento Nacional de Vehículos*.
- Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Decreto Supremo n.º 010-2014-MTC: Manual de carreteras "suelos, geología, geotecnia y pavimentos"*.
- Pokharel, S. K., Han, J., Leshchinsky, D., Parson, R. L., & Halahmi, I. (2010). *Investigation of factors influencing behavior of single geocell-reinforced bases under static loading. Geotextiles and geomembranes*. Vol 28
- Raj, P. P. (2005). *Ground improvement techniques*.
- Silva, A. (setiembre 2013). *Uso de geomallas en accesos mineros-Haul Roads, experiencias en Yanacocha y Pierina*. Ponencia presentada en la 31 Convención Minera – Perumin. Arequipa

Tensar International Corporation (2013). *Propiedades y ventajas en el desempeño de las Geomallas Tensar Triax.*

U.S. Army corps of engineers. (2003). *Use of geogrids in pavement construction. Technical Letter ETL 1110-1-189.* Washington D.C. 2003. 38 p.

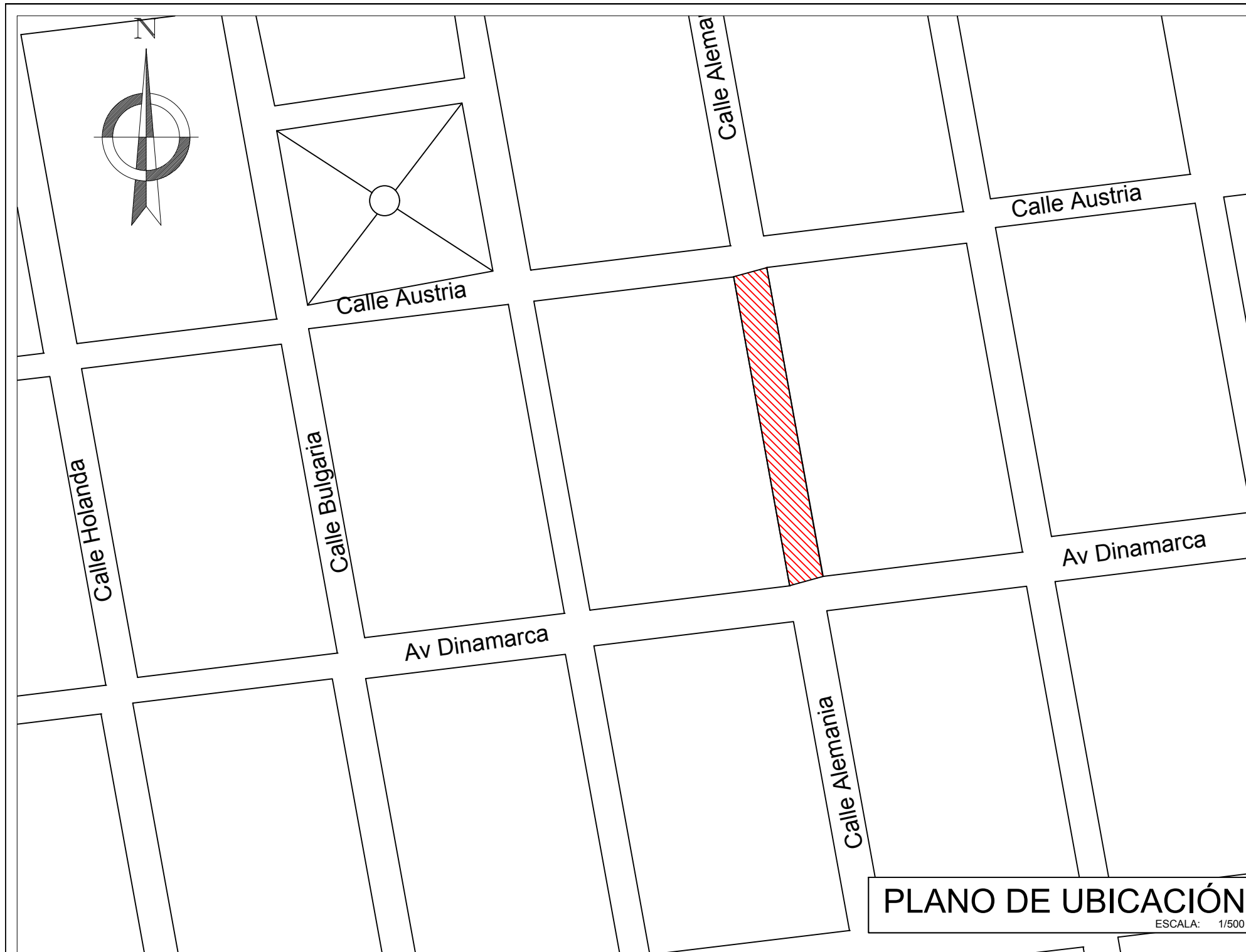
U.S.Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA). (2008). *NHI Course No. 132013 Geosynthetic Design & Construction Guidelines Reference Manual.*

Valencia, R. (2009). *Nuevas tendencias en el diseño y construcción de carreteras reforzadas con geomallas.* San José. 19 p.

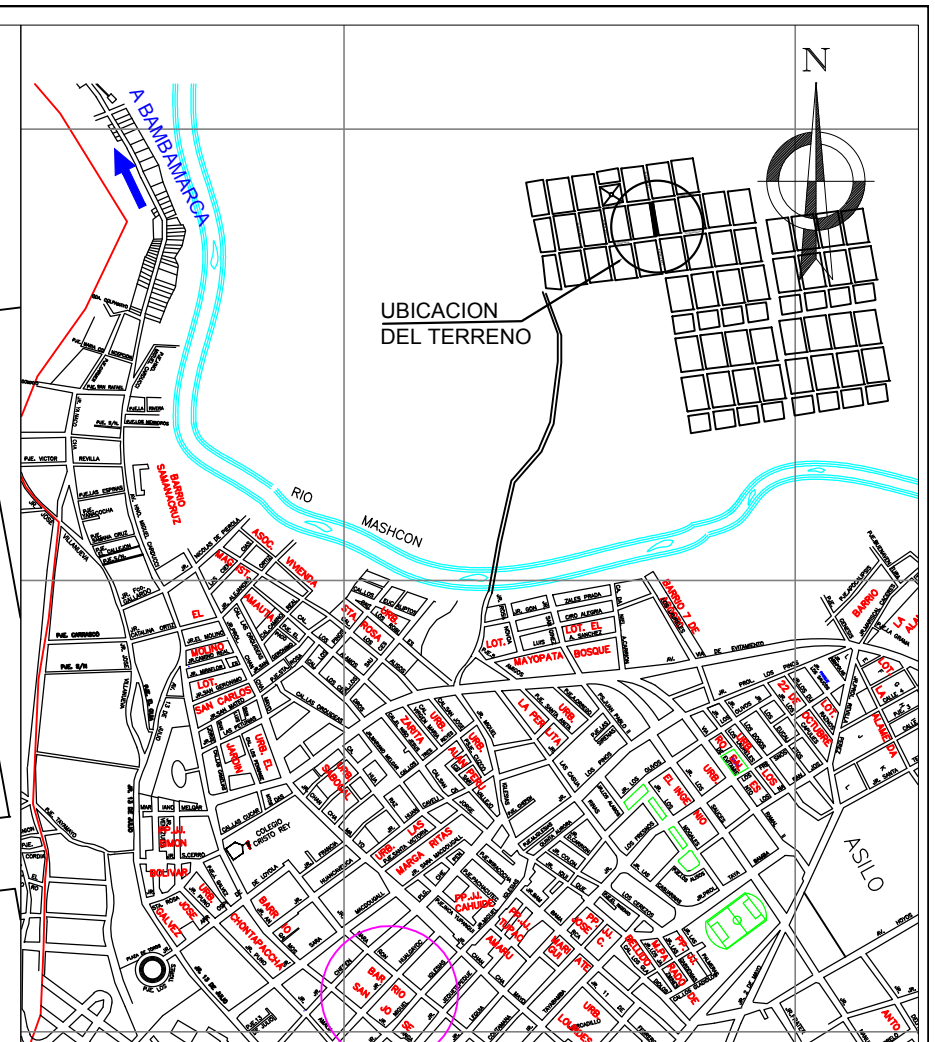
Webster, S.L. (1992). *Geogrid Reinforced Base Courses for Light Aircraft, Department of the Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineer.* Mississippi.

ANEXOS

A. PLANOS



PLANO DE UBICACIÓN
ESCALA: 1/500



PLANO DE LOCALIZACIÓN
ESCALA: 1/10,000

DATOS CATASTRALES
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA

REFERENCIAS	N°	FECHA	DESCRIPCION	DIS. POR	DIB. POR	G. P. APROB.

NOMBRE	FECHA
DISEÑO:	
DIBUJO:	
REVISO:	
APROB. :	
APROB. :	
APROB. :	



TITULO			
PLANO_DE_UBICACIÓN			
ESCALA	N° DE PROYECTO	NÚMERO DIBUJO	REV.
		1	

Levantamiento Topográfico

PTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
E1	774477.00	9210172.00	2715.00	ESTACIÓN
1	774465.39	9210209.55	2715.74	VIA
2	774465.43	9210209.55	2715.74	VIA
3	774468.02	9210209.96	2715.72	VIA
4	774471.09	9210210.21	2715.68	VIA
5	774474.69	9210197.59	2715.50	VIA
6	774472.18	9210196.93	2715.57	VIA
7	774469.48	9210196.20	2715.57	VIA
8	774473.11	9210184.01	2715.32	VIA
9	774475.67	9210184.39	2715.34	VIA
10	774478.42	9210185.17	2715.24	VIA
11	774483.06	9210169.30	2714.85	VIA
12	774480.58	9210168.75	2714.95	VIA
13	774478.05	9210168.04	2714.83	VIA
14	774481.18	9210157.05	2714.75	VIA
15	774483.72	9210157.76	2714.75	VIA
16	774486.29	9210158.55	2714.84	VIA
17	774489.42	9210146.76	2714.60	VIA
18	774487.47	9210146.21	2714.60	VIA
19	774484.71	9210145.27	2714.67	VIA
20	774488.24	9210133.14	2714.49	VIA
21	774490.98	9210133.93	2714.55	VIA
22	774493.33	9210134.69	2714.53	VIA
23	774482.28	9210152.06	2714.76	VE
24	774477.71	9210167.50	2714.88	VE
25	774470.87	9210190.38	2715.41	VE
26	774475.81	9210195.27	2715.51	VE
27	774481.94	9210174.47	2715.15	VE
28	774487.40	9210155.93	2714.89	VE
29	774488.93	9210156.10	2714.89	VIV
30	774485.99	9210163.83	2714.89	VIV
31	774483.77	9210171.51	2714.90	VIV
32	774481.44	9210179.17	2715.19	VIV
33	774479.11	9210186.99	2715.38	VIV
34	774476.58	9210195.53	2715.51	VIV
35	774472.49	9210209.19	2715.64	VIV
36	774465.10	9210209.45	2715.75	VIV

37	774473.68	9210177.85	2715.17	VIV
38	774481.42	9210151.75	2714.78	VIV
39	774487.01	9210132.78	2714.43	VIV
40	774494.76	9210134.05	2714.46	VIV
41	774484.56	9210145.49	2714.68	PO
42	774475.14	9210175.63	2715.04	PO
43	774466.80	9210205.96	2715.74	PO
44	774468.56	9210211.86	2715.50	BUZÓN
45	774490.90	9210132.25	2714.75	BUZÓN

Fuente: Elaboración propia

PLANTA



E774470

E774480

E774490

E774500

N9210210

N9210200

N9210190

N9210180

N9210170

N9210160

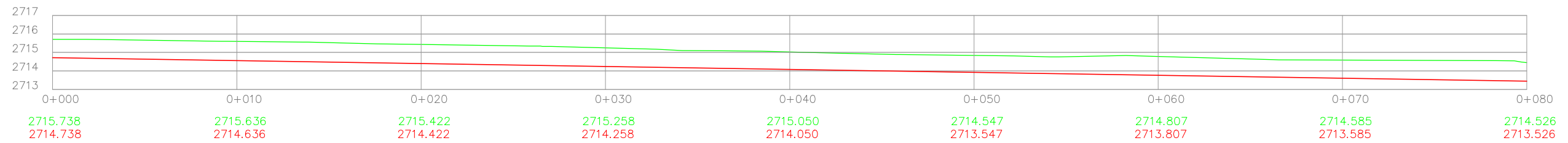
N9210150

N9210140

N9210130

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL
	NIVEL DE VEREDA
	NIVEL DE VIVIENDA
	EJE
	NIVEL DE TERRENO
	SUBRASANTE
	NORTE MAGNÉTICO

PERFIL LONGITUDINAL



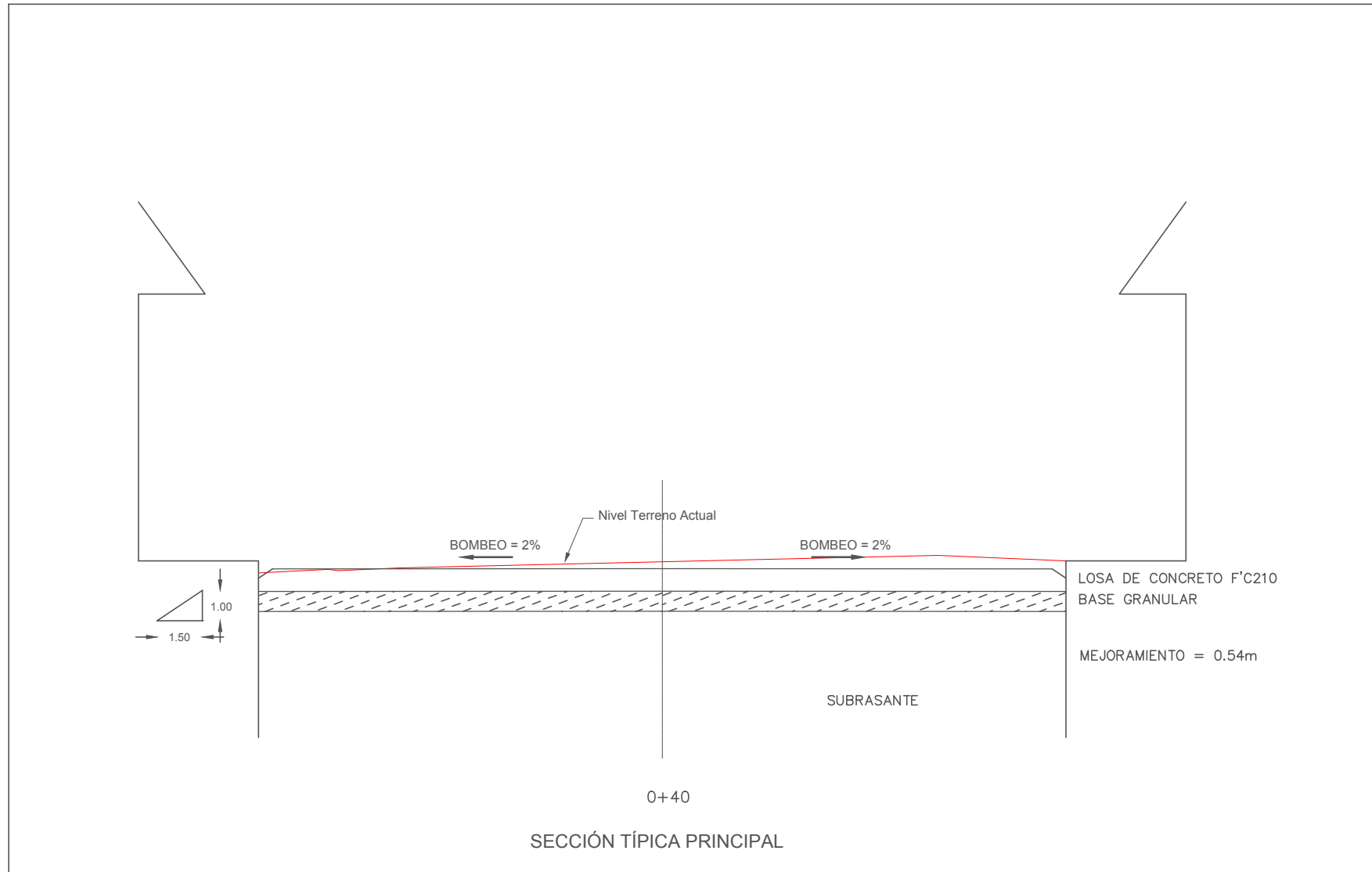
REFERENCIAS	N°	FECHA	DESCRIPCION	DIS. POR	DIB. POR	G. P. APROB.
			EMISION/REVISION			

NOTAS	

NOMBRE	FECHA
DISEÑO:	
DIBUJO:	
REVISO:	
APROB. :	
APROB. :	
APROB. :	



TITULO			
PLANO_PLANTA PERFIL_LONGITUDINAL			
ESCALA	N° DE PROYECTO	NÚMERO DIBUJO	REV.
		2	



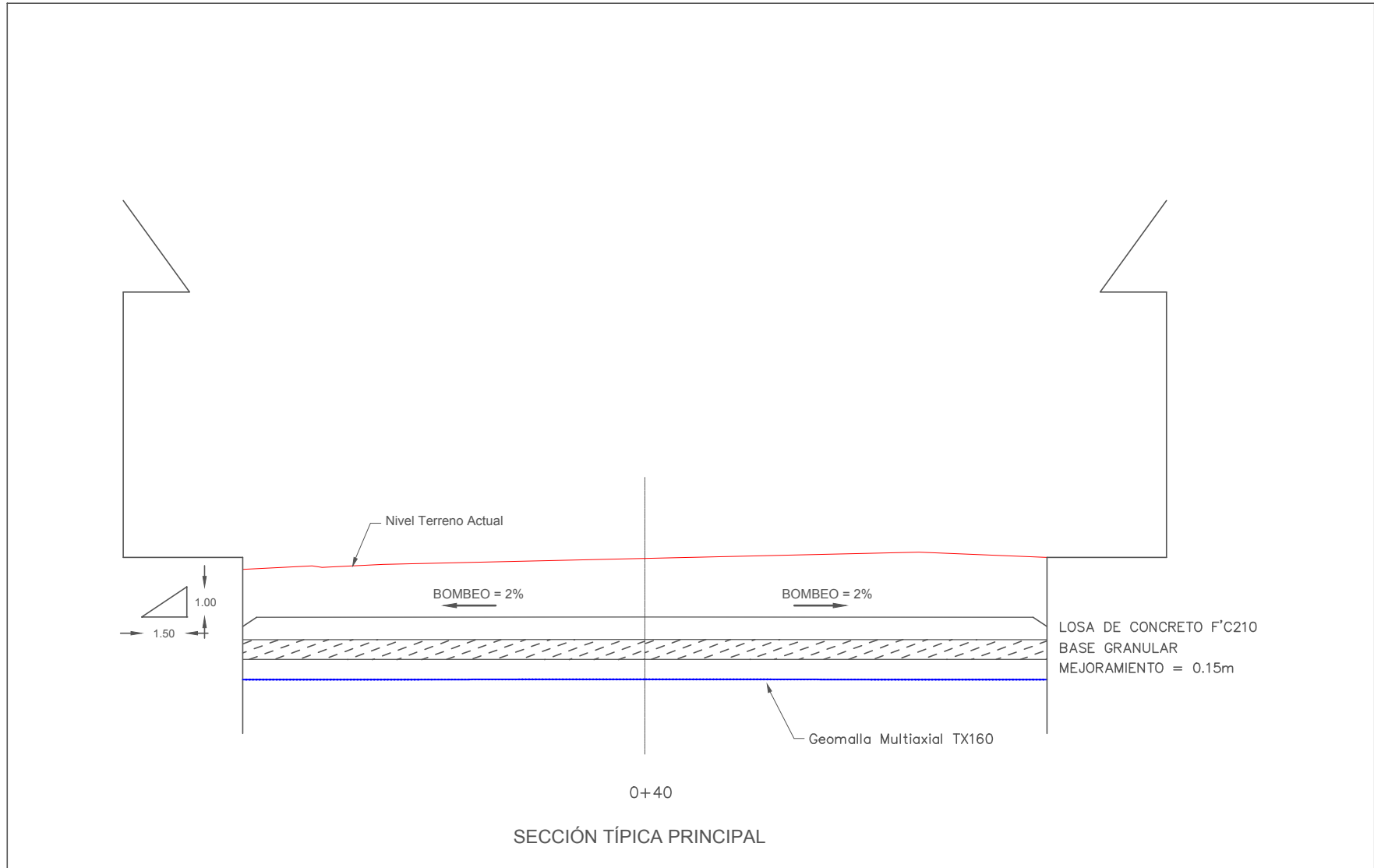
N°	FECHA	DESCRIPCION	EMISION/REVISION

NOTAS

NOMBRE	FECHA
DISEÑO:	
DIBUJO:	
REVISO:	
APROB. :	
APROB. :	
APROB. :	



TITULO			
SECCIÓN TÍPICA PRINCIPAL GEOMALLA_MULTIAXIAL_TX160			
ESCALA	N° DE PROYECTO	NÚMERO DIBUJO	REV.
		3	



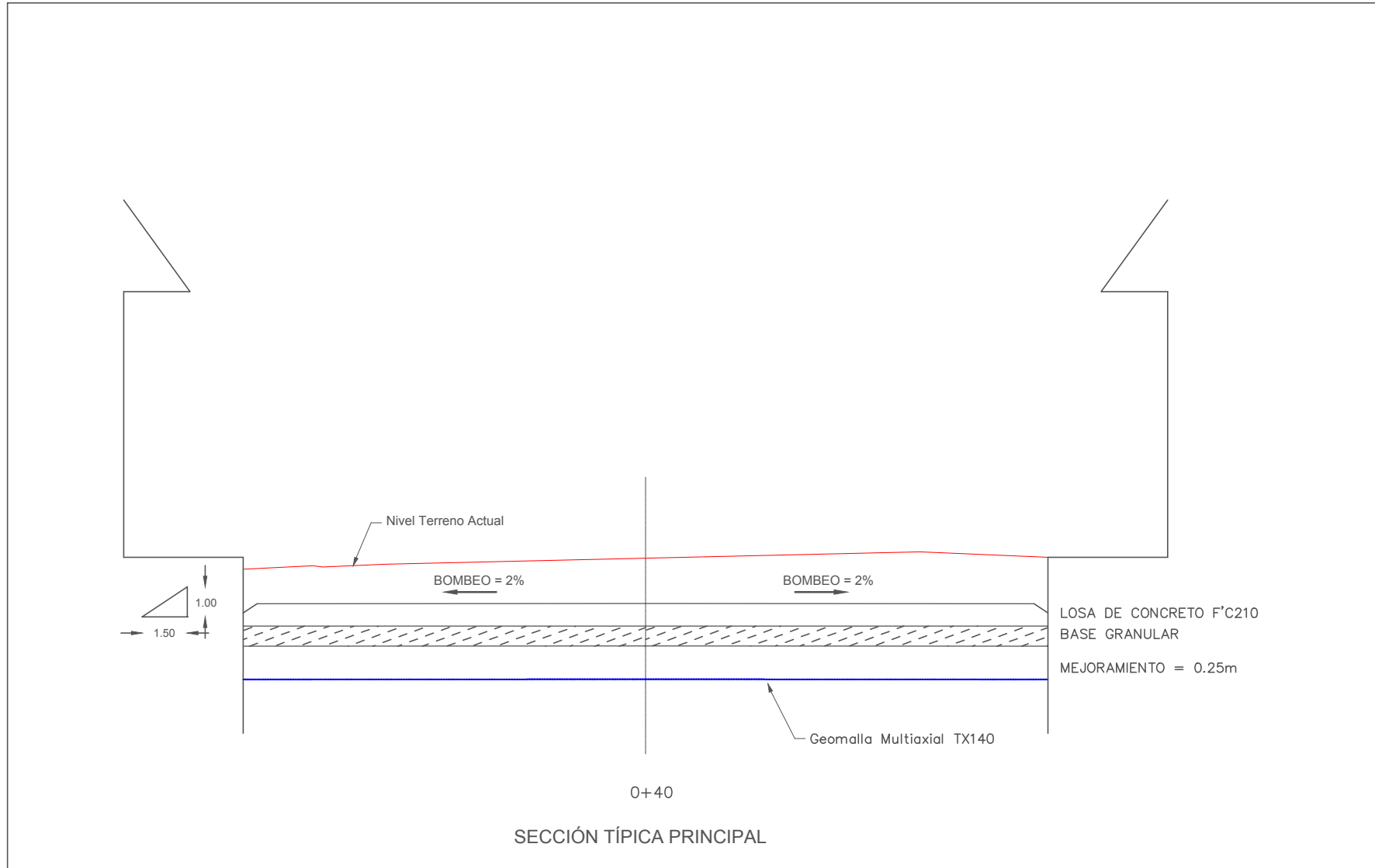
N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORADO POR	REVISADO POR

NOTAS

NOMBRE	FECHA
DISEÑO:	
DIBUJO:	
REVISO:	
APROB. :	
APROB. :	
APROB. :	



TÍTULO			
SECCIÓN TÍPICA PRINCIPAL GEOMALLA_MULTIAXIAL_TX160			
ESCALA	N° DE PROYECTO	NÚMERO DIBUJO	REV.
		4	



N°	FECHA	DESCRIPCION	ELABORADO POR	REVISADO POR

NOTAS

NOMBRE	FECHA
DISEÑO:	
DIBUJO:	
REVISO:	
APROB. :	
APROB. :	
APROB. :	



TITULO			
SECCIÓN TÍPICA PRINCIPAL GEOMALLA_MULTIAXIAL_TX140			
ESCALA	N° DE PROYECTO	NÚMERO DIBUJO	REV.
		5	

B. ENSAYOS DE SUELOS

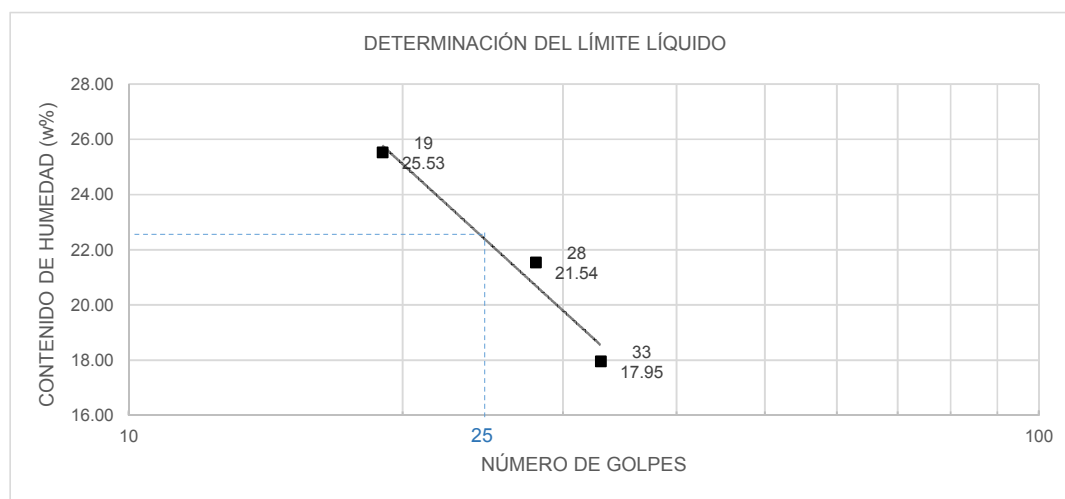
TESIS : MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA - CAJAMARCA 2016
 TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA
 FECHA : ENERO 2014

LÍMITES DE ATTERBEG

MUESTRA - CALICATA N°1

	Ensayo N°	Límite Plástico		Límite Líquido		
		1	2	1	2	3
	Tara N°	4	5	1	2	3
	Número de Golpes	-	-	19	28	33
1	Peso Tara + Suelo Húmedo	37.69	37.6	38.09	37.66	38.54
2	Peso Tara + Suelo Seco	36.23	36.41	36.03	35.9	36.98
3	Peso de la Tara (gr)	26.87	27.86	27.96	27.73	28.29
4	Peso del agua (1-2)	1.46	1.19	2.06	1.76	1.56
5	Peso del Suelo Seco (2-3)	9.36	8.55	8.07	8.17	8.69
6	% Humedad (4/5*100)	15.60	13.92	25.53	21.54	17.95
7	Promedio Límite Plástico	14.76				

Límite Líquido	=	21.67
Límite Plástico	=	14.76
Índice de Plasticidad (IP=LL-LP)	=	6.92



TESIS : MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES
TIPO TX140 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA –
LA MOLINA - CAJAMARCA 2016

TESISTA : MAYRA SILVA ARCE

DEPARTAMENTO : CAJAMARCA

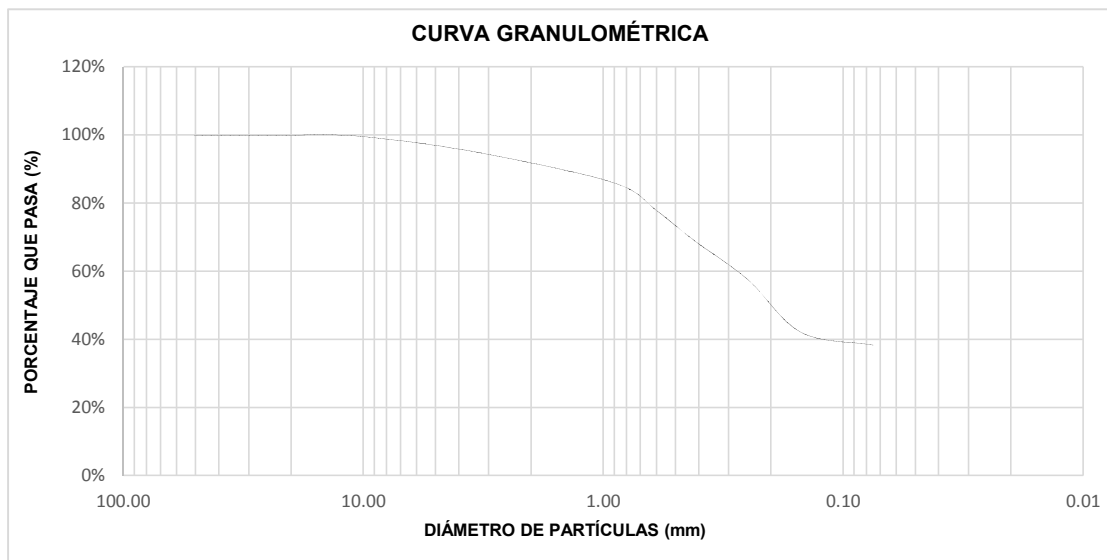
PROVINCIA : CAJAMARCA

DISTRITO : CAJAMARCA

FECHA : ENERO 2014

MUESTRA - CALICATA N°1

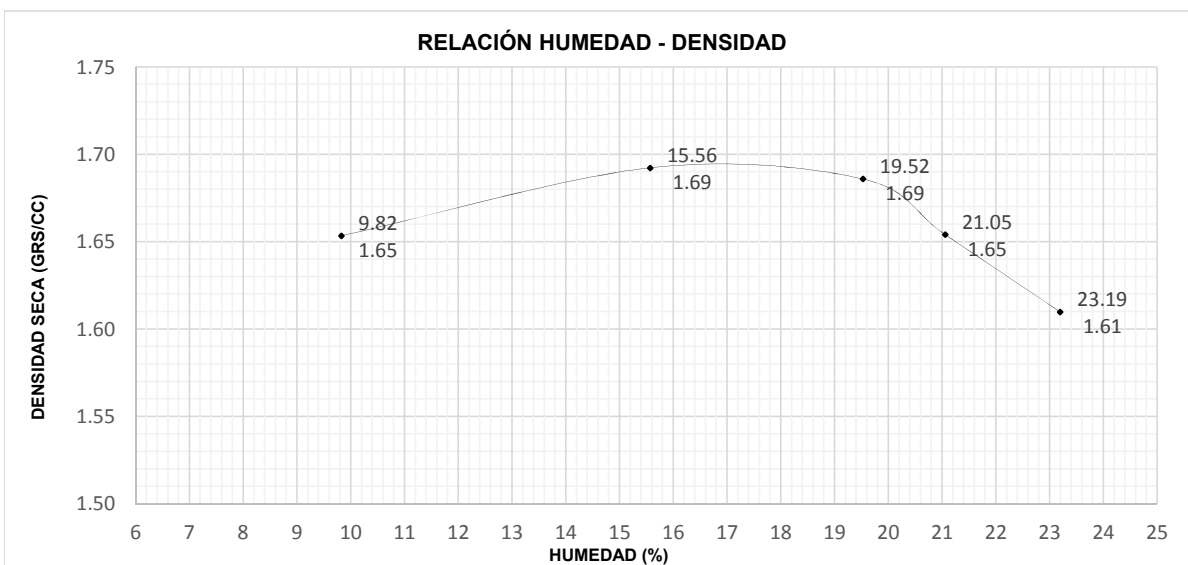
N° TAMIZ	Diámetro (mm)	Masa de Suelo Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que Pasa (%)
2"	50.80	0.000	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.10	0.000	0.00%	100.00%
1"	25.40	0.000	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	0.000	0.00%	100.00%
1/2"	12.70	0.000	0.00%	100.00%
3/8"	9.52	9.910	0.62%	99.38%
4	4.75	42.870	2.66%	96.72%
10	2.00	78.830	4.89%	91.83%
20	0.85	104.880	6.51%	85.32%
30	0.60	120.440	7.48%	77.84%
40	0.42	140.200	8.70%	69.14%
60	0.25	186.500	11.58%	57.56%
100	0.15	249.460	15.48%	42.08%
200	0.08	60.620	3.76%	38.32%
CAZOLETA		617.270	38.32%	0.00%
MASA TOTAL		1610.98		



TESIS : MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA - CAJAMARCA 2016
 TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA
 FECHA : ENERO 2014

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM D - 1557**

Ensayo N°		2	1	3	4	5
PESO ESPECÍFICO						
Peso de muestra húmeda + molde	grs	5920.00	6052.00	6108.00	6096.00	6078.00
Peso del molde	grs	4206.00	4206.00	4206.00	4206.00	4206.00
Peso de la muestra húmeda	grs	1714.00	1846.00	1902.00	1890.00	1872.00
Volumen del molde	cm3	943.90	943.90	943.90	943.90	943.90
Densidad húmeda	grs/cc	1.82	1.96	2.02	2.00	1.98
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara		2	1	3	4	5
Peso muestra húmeda + Tara	grs	238.72	129.26	245.49	261.64	262.81
Peso muestra seca + Tara	grs	219.83	115.52	209.86	220.80	218.46
Peso del agua	grs	18.89	13.74	35.63	40.84	44.35
Peso de la tara	grs	27.54	27.24	27.34	26.80	27.24
Peso de la muestra seca	grs	192.29	88.28	182.52	194.00	191.22
Contenido de humedad	%	9.82	15.56	19.52	21.05	23.19
PESO ESPECÍFICO SECO						
Densidad seca	grs/cc	1.65	1.69	1.69	1.65	1.61



Máxima Densidad Seca =	1.69
Óptimo Contenido de Humedad =	15.56%

Cuzco Minchan, Víctor
Encargado de Laboratorio

Aguilar Aliaga, Orlando
Director de Carrera

Ravines Azañero, Irene
Asesora

TESIS : MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA - CAJAMARCA 2016
TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
PROVINCIA : CAJAMARCA
DISTRITO : CAJAMARCA
FECHA : ENERO 2014

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
ASTM D 1883-99 AASHTO T 193-63 MTC E 132-2000

MOLDE	1		2		3				
Altura Molde mm.	176		176		176				
N° Capas	5		5		5				
N° Golp x Capa	56 Golpes		27 Golpes		13 Golpes				
Cond. Muestra	ANTES		DESPUES		ANTES		DESPUES		
P. Húm.+ Molde	11846.00		12152.00		11348.00		11940.00		
Peso Molde (gr)	7244.00		7244.00		7238.00		7238.00		
Peso Húmedo (gr)	4602.00		4908.00		4110.00		4702.00		
Vol. Molde (cc)	3175.52		3175.52		3175.52		3175.52		
Densidad H.(gr/cc)	1.45		1.55		1.29		1.48		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húmedo + Tara	134.61	153.81	348.00	123.81	127.25	314.00	144.05	130.12	480.00
Peso Seco + Tara	107.45	135.40	278.00	110.94	113.39	274.00	128.73	119.43	410.00
Peso Agua (gr)	27.16	18.41	70.00	12.87	13.86	40.00	15.32	10.69	70.00
Peso Tara (gr)	27.64	27.44	74.00	27.92	26.76	156.00	27.71	25.89	202.00
P. Muestra Seca	79.81	107.96	204.00	83.02	86.63	118.00	101.02	93.54	208.00
Cont. Humedad	34.03%	17.05%	34.31%	15.50%	16.00%	33.90%	15.17%	11.43%	33.65%
Cont.Hum.Prom.	25.54%		34.31%	15.75%		33.90%	13.30%		33.65%
DENSIDAD SECA	1.154		1.151	1.118		1.106	1.046		1.039

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		LEC.	HINCHAMIENTO		LEC.	HINCHAMIENTO		LEC.	HINCHAMIENTO	
			DEF.	(mm)		(%)	DEF.		(mm)	(%)
(Hs)	(Días)									
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	2.270	57.658	32.76	3.920	99.568	56.57	4.150	105.410	59.89
48	2	2.960	75.184	42.72	5.410	137.414	78.08	4.270	108.458	61.62
72	3	3.440	87.376	49.65	5.730	145.542	82.69	4.300	109.220	62.06
96	4	4.100	104.140	59.17	5.800	147.320	83.70	4.350	110.490	62.78

ENSAYO CARGA - PENETRACION

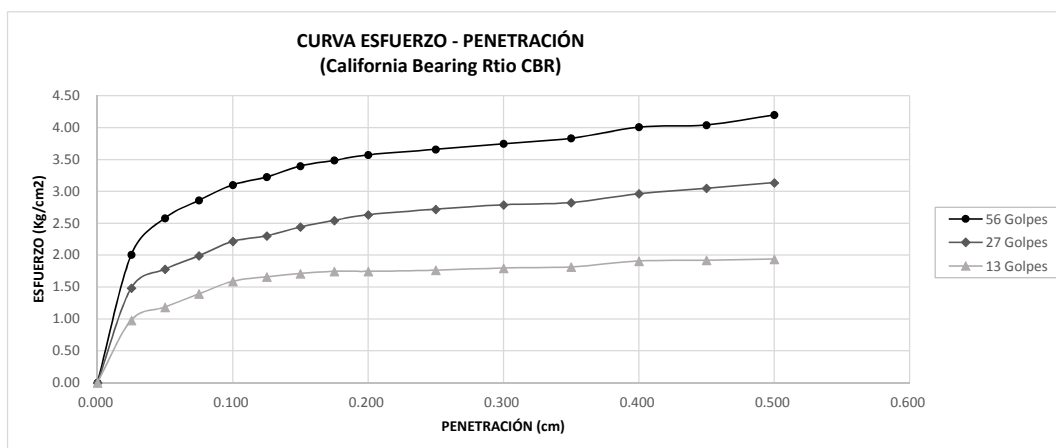
PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(puíg)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (kg/cm2)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (kg/cm2)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (kg/cm2)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	39	2.01	29	1.49	19	0.98
1.27	0.050	50	2.58	35	1.78	23	1.19
1.91	0.075	55	2.86	39	1.99	27	1.39
2.54	0.100	60	3.10	43	2.22	31	1.59
3.18	0.125	63	3.22	45	2.30	32	1.66
3.81	0.150	66	3.40	47	2.44	33	1.71
4.45	0.175	68	3.49	49	2.55	34	1.75
5.08	0.200	69	3.57	51	2.63	34	1.75
6.35	0.250	71	3.66	53	2.72	34	1.76
7.62	0.300	73	3.75	54	2.79	35	1.80
8.89	0.350	74	3.83	55	2.82	35	1.82
10.16	0.400	78	4.01	58	2.96	37	1.91
11.43	0.450	78	4.04	59	3.05	37	1.92
12.70	0.500	81	4.20	61	3.14	38	1.94

TESIS : MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE MALA CALIDAD CON
GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140 Y TX160, CAJAMARCA 2016
TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
PROVINCIA : CAJAMARCA
DISTRITO : CAJAMARCA
CARRETERA : MIGUEL IGLESIAS - TRES MOLINOS
FECHA INICIO:

ENSAYO DE ABSORCION

N° MOLDE	MOLDE N° 01	MOLDE N° 02	MOLDE N° 03
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE	12152	11940	11652
PESO DEL PLATO + MOLDE (gr)	7244	7238	7242
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO (gr)	4908	4702	4410
PESO SUELO HUMEDO SIN EMBEBER	4602	4110	3764
PESO DEL AGUA ABSORBIDA (gr)	306	592	646
PESO DEL SUELO SECO (gr)	4590	4104	3759
ABSORCION DE AGUA (%)	6.7 %	14.4 %	17.2 %

GRÁFICOS

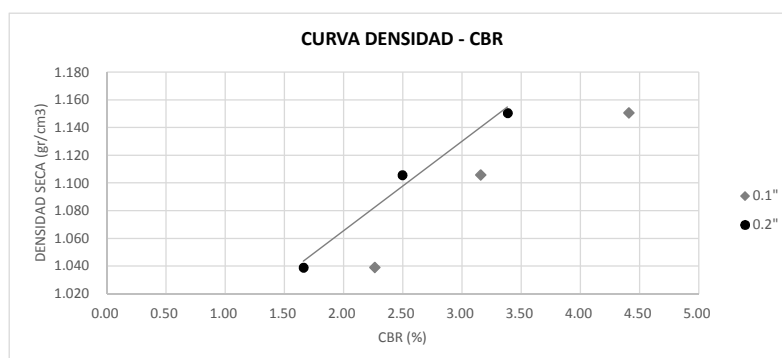


PENETRACIÓN	0.1 (*)	0.2 (*)
MOLDE 1	3.10	3.57
MOLDE 2	2.22	2.63
MOLDE 3	1.59	1.75

(*) Valores Corregidos

	Dseca	0.1"	0.2"	CBR
MOLDE 1	1.151	4.41	3.39	4.41
MOLDE 2	1.106	3.16	2.49	3.16
MOLDE 3	1.039	2.26	1.66	2.26

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. =	4.50%
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. =	2.50%



C. FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS



UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE

CONTEO DE TRÁFICO

DOCUMENTO
N°:

I. DATOS GENERALES

MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140
 TESIS : Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA -
 CAJAMARCA 2016
 TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA
 FECHA INICIO: 11/04/2013 FIN: 11/10/2013

II. DATOS

CONF. VEHICULAR	CONTEO DE VEHÍCULOS	TOTAL
MOTO		70
AUTOMOVIL		25
CAMIONETA		20
COMBI		15
OMNIBUS		
B2		30
B3		13
CAMIÓN		
C2		32
C3		2
C4		-
SEMITRAYLERS		
T2S1		3
T2S3		-
T3S2		-
T3S3		-

II. OBSERVACIONES:

LUNES


 Silva Arce, Mayra
 Tesista

Aguilar Aliaga, Orlando
 Director de Carrera

Ravines Azañero, Irene
 Asesora



UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE

CONTEO DE TRÁFICO

DOCUMENT
O N°:

I. DATOS GENERALES

MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140
 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA -
 CAJAMARCA 2016
 TESIS :
 TESIS : MAYRA SILVA ARCE
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA
 FECHA INICIO: 11/04/2013 FIN: 11/10/2013

II. DATOS

CONF. VEHICULAR	CONTEO DE VEHÍCULOS	TOTAL
MOTO		60
AUTOMOVIL		33
CAMIONETA		14
COMBI		10
OMNIBUS		
B2		28
B3		11
CAMIÓN		
C2		29
C3		2
C4		-
SEMITRAYLERS		
T2S1		5
T2S3		-
T3S2		-
T3S3		-

II. OBSERVACIONES:

MARTES


 Silva Arce, Mayra
 Tesisista

Aguilar Aliaga, Orlando
 Director de Carrera










Ravines Azañero, Irene
 Asesora

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	CONTEO DE TRÁFICO	DOCUMENT O N°:
--	--------------------------	-------------------

I. DATOS GENERALES

TESIS : MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140
 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA -
 CAJAMARCA 2016
 TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA
 FECHA INICIO: 11/04/2013 FIN: 11/10/2013

II. DATOS

CONF. VEHICULAR	CONTEO DE VEHÍCULOS	TOTAL
MOTO		64
AUTOMOVIL		27
CAMIONETA		14
COMBI		12
OMNIBUS		
B2		26
B3		12
CAMIÓN		
C2		26
C3		3
C4		-
SEMITRAYLERS		
T2S1		4
T2S3		-
T3S2		-
T3S3		-

II. OBSERVACIONES: MIÉRCOLES


 Silva Arce, Mayra
 Tesista

Aguilar Aliaga, Orlando
 Director de Carrera

Ravines Azañero, Irene
 Asesora



UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE

CONTEO DE TRÁFICO

DOCUMENT
O N°:

I. DATOS GENERALES

MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140
 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA -
 CAJAMARCA 2016
 TESIS :
 TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA
 FECHA INICIO: 11/04/2013 FIN: 11/10/2013

II. DATOS

CONF. VEHICULAR	CONTEO DE VEHÍCULOS	TOTAL
MOTO		80
AUTOMOVIL		22
CAMIONETA		12
COMBI		14
OMNIBUS		
B2		29
B3		10
CAMIÓN		
C2		29
C3		2
C4		—
SEMITRAYLERS		
T2S1		2
T2S3		—
T3S2		—
T3S3		—

II. OBSERVACIONES:

JUEVES


 Silva Arce, Mayra
 Tesista

Aguilar Aliaga, Orlando
 Director de Carrera

Ravines Azañero, Irene
 Asesora



UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE

CONTEO DE TRÁFICO

DOCUMENT
O N°:

I. DATOS GENERALES

MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140
 TESIS : Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA -
 CAJAMARCA 2016
 TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA
 FECHA INICIO: 11/04/2013 FIN: 11/10/2013

II. DATOS

CONF. VEHICULAR	CONTEO DE VEHÍCULOS	TOTAL
MOTO		56
AUTOMOVIL		22
CAMIONETA		15
COMBI		2
OMNIBUS		
B2		21
B3		4
CAMIÓN		
C2		28
C3		1
C4		—
SEMITRAYLERS		
T2S1		2
T2S3		—
T3S2		—
T3S3		—

II. OBSERVACIONES:

SABADO


Silva Arce, Mayra
Tesisista

Aguilar Aliaga, Orlando
Director de Carrera

Ravines Azañero, Irene
Asesora



UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE

CONTEO DE TRÁFICO

DOCUMENTO
N°:

I. DATOS GENERALES

MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140
 TESIS : Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA – LA MOLINA - CAJAMARCA 2016
 TESISTA : MAYRA SILVA ARCE
 DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
 PROVINCIA : CAJAMARCA
 DISTRITO : CAJAMARCA
 FECHA INICIO: 11/04/2013 FIN: 11/10/2013

II. DATOS

CONF. VEHICULAR	CONTEO DE VEHÍCULOS	TOTAL
MOTO		60
AUTOMOVIL		15
CAMIONETA		17
COMBI		1
OMNIBUS		
B2		20
B3		11
CAMIÓN		
C2		27
C3		2
C4		-
SEMITRAYLERS		
T2S1		1
T2S3		-
T3S2		-
T3S3		-

II. OBSERVACIONES:

DOMINGO

Silva Arce, Mayra
Tesista

Aguilar Aliaga, Orlando
Director de Carrera

Ravines Azañero, Irene
Asesora

D. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS GEOMALLAS

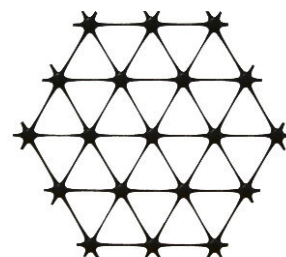
Especificación de Producto – Geomalla TriAx® TX140

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

General

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

Tensar TriAx® Geogrid



Propiedades Índice	Longitudinal	Diagonal	Transversal	General
▪ Distancia entre costillas paralelas ⁽²⁾ , mm (pulg)	40 (1.60)	40 (1.60)	–	
▪ Profundidad a mitad de costilla ⁽²⁾ , mm (pulg)	–	1.2 (0.05)	1.2 (0.05)	
▪ Ancho a mitad de costilla ⁽²⁾ , mm (pulg)	–	1.1 (0.04)	1.1 (0.04)	
▪ Forma de costilla				rectangular
▪ Forma de apertura				triangular

Integridad Estructural

▪ Eficiencia en unión ⁽³⁾ , %				93
▪ Estabilidad de apertura ⁽⁴⁾ , kg-cm/grad @ 5.0kg-cm ⁽²⁾				3.0
▪ Rigidez radial a baja deformación ⁽⁵⁾ , kN/m @ 0.5% deformación				225
	(lb/ft @ 0.5% deformación)			(15,430)

Durabilidad

▪ Resistencia a degradación química ⁽⁶⁾				100%
▪ Resistencia a luz ultravioleta e intemperismo ⁽⁷⁾				100%

Dimensiones y Despacho

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

Notas

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

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

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

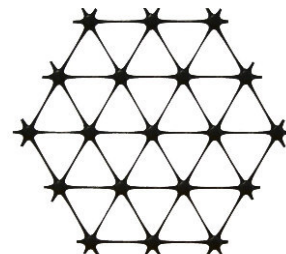
Especificación de Producto – Geomalla TriAx® TX160

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
▪ Distancia entre costillas paralelas ⁽²⁾ , mm (pulg)	40 (1.60)	40 (1.60)	-	
▪ Profundidad a mitad de costilla ⁽²⁾ , mm (pulg)	-	1.6 (0.06)	1.4 (0.06)	
▪ Ancho a mitad de costilla ⁽²⁾ , mm (pulg)	-	1.0 (0.04)	1.2 (0.05)	
▪ Forma de costilla				rectangular
▪ Forma de apertura				triangular

Integridad Estructural

▪ Eficiencia en unión ⁽³⁾ , %				93
▪ Estabilidad de apertura ⁽⁴⁾ , kg-cm/grad @ 5.0kg-cm ⁽²⁾				3.6
▪ Rigidez radial a baja deformación ⁽⁵⁾ , kN/m @ 0.5% deformación				300
	(lb/ft @ 0.5% deformación)			(20,580)

Durabilidad

▪ Resistencia a degradación química ⁽⁶⁾				100%
▪ Resistencia a luz ultravioleta e intemperismo ⁽⁷⁾				100%

Dimensiones y Despacho

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

Notas

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

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.

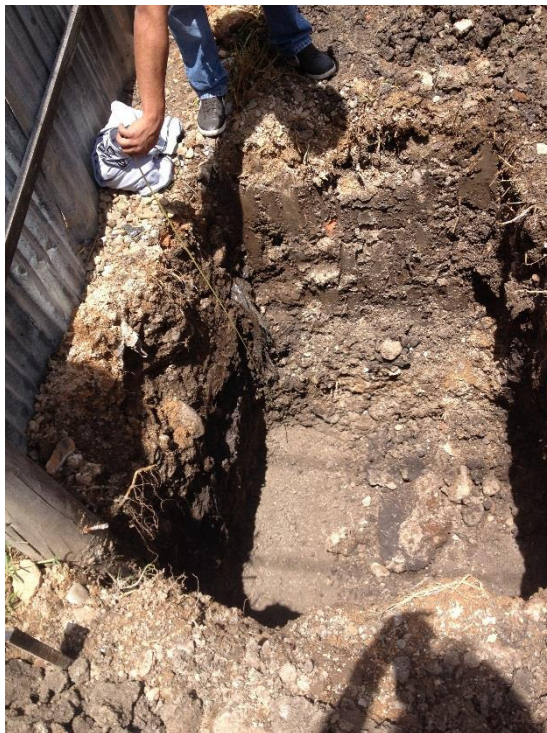
E. PANEL FOTOGRAFICO

Toma fotográfica n.º 3. Reconocimiento de la calle, la cual será ámbito de estudio



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 4. Calicatas para toma de muestras representativas



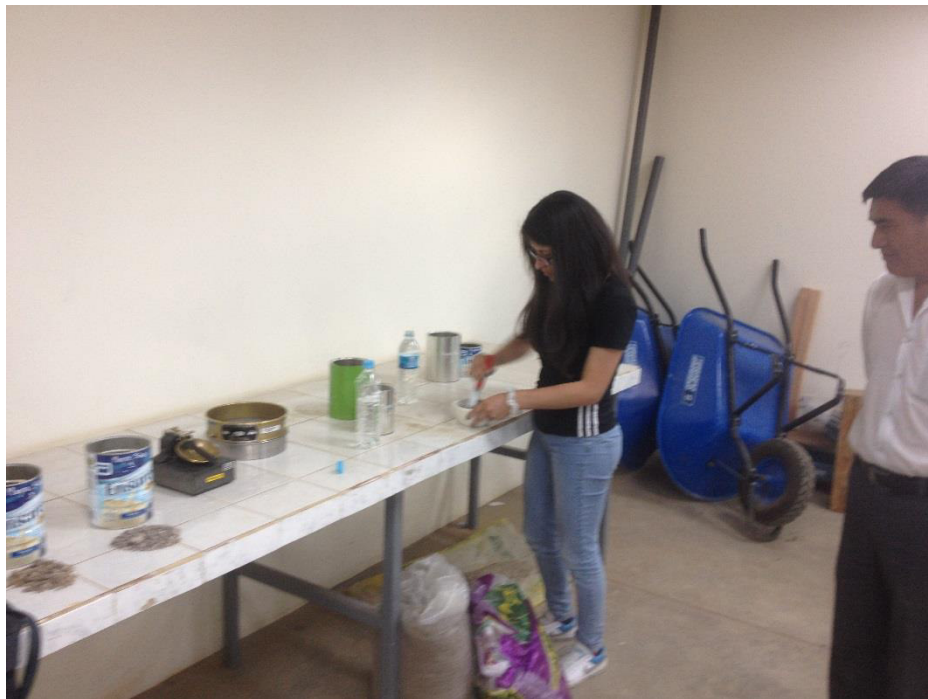
Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 5. Preparación de material para ensayos



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 6. Límites de Atterberg



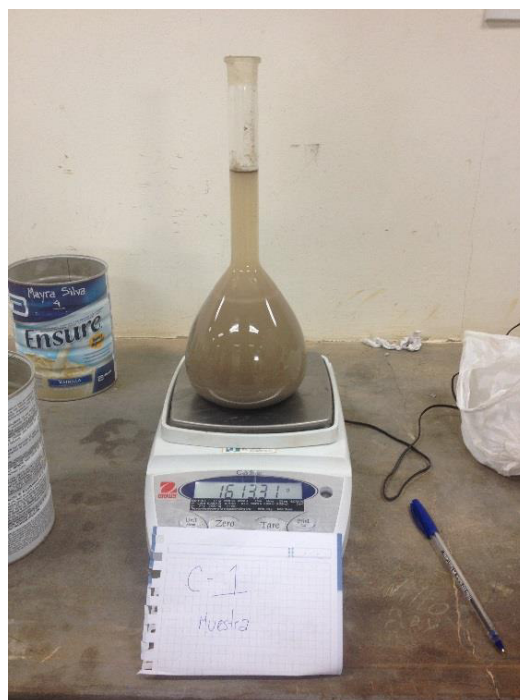
Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 7. Ensayo de Casagrande – Límite Líquido



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 8. Peso específico



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 9. Lavado de muestra representativa para análisis granulométrico



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 10. Análisis granulométrico



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 11. Preparación de muestra para Ensayo Proctor Modificado



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 12. Ensayo Proctor Modificado



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 13. Selección de material para ensayos de C.B.R.



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 14. Preparación de material para ensayo de C.B.R.



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 15. Molde nº1 - C.B.R.



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 16. Colocación de muestras al agua para ensayo de hinchamiento



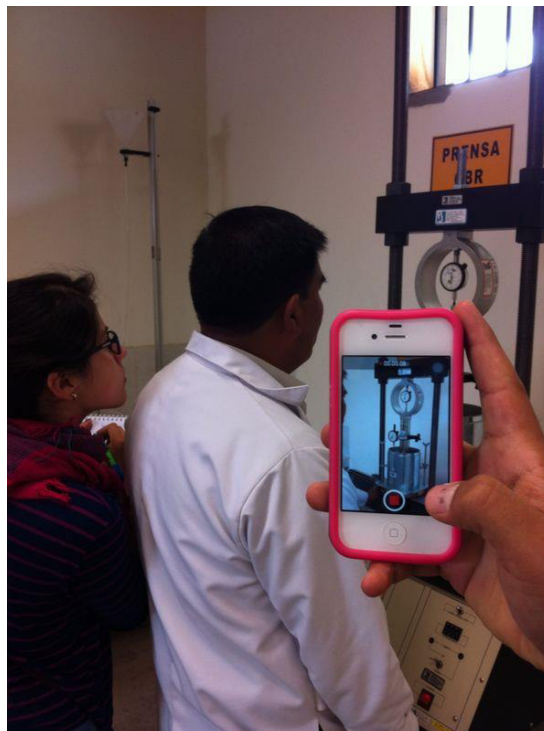
Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 17. Retiro de moldes del agua – C.B.R.



Fuente. Elaboración propia

Toma fotográfica n.º 18. Ensayo Carga - Penetración



Fuente. Elaboración propia