

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL



TESIS PROFESIONAL

EVALUACIÓN TÉCNICO- ECONÓMICO DEL USO DE
GEOMALLA MULTIAXIAL COMO REFUERZO EN LA
SUBRASANTE DE LA CARRETERA SANTA CRUZ-
BELLAVISTA, DISTRITO BELLAVISTA-JAÉN-CAJAMARCA

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Bach. JEANS MARCO MERA HEREDIA

Asesor:

ING. MANUEL URTEAGA TORO

Cajamarca-Perú

2017

COPYRIGHT©2017 by
JEANS MARCO MERA HEREDIA
Todos los derechos reservados

A:

**Dios padre por ser luz en mi Camino, brindarme guía, fuerza
y protección para salir adelante, a mis padres, quienes desde
siempre velaron por mi bienestar y estudio,**

**a Yudith; por su amor, apoyo incondicional y aliento en
momentos de cansancio y decline.**

Y a todos y cada uno de mis familiares por su ayuda y cariño.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor Ing. Manuel Urteaga Toro por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia en un marco de confianza y afecto, fundamentales para el término de este Proyecto de investigación.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por brindarme sus instalaciones para poder formarme como profesional.

A mis amigos y familiares por la muestra de aliento y afecto a mi persona en todo momento.

INDICE

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
I.I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	4
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	5
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	5
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. USACE (Army Corps of Engineers, US), ETL 1110-1-189, (2003).	6
2.2.1.1 Mecanismos de refuerzo.....	6
2.2.1.2. Método de diseño de un sistema de pavimento reforzado.....	9
2.2.1.3. Evaluación de la aplicabilidad de geosintéticos en caminos no pavimentados. .	11
2.2.2.- Clasificación de las geomallas.	12
2.2.2.1.- Según su función.....	12
2.2.2.2. Propiedades y especificaciones mínimas para geomallas.	14
2.2.2.3. Almacenamiento y transporte de geomallas.....	15
2.2.2.4. Ejecución de trabajos con geomallas.....	15
2.2.3. Diseño de caminos no pavimentados (Reforzado con geomalla).....	17
2.2.4.- Diseño de carretera no pavimentada. (Diseño convencional).....	21
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.	24
2.3.1. Pavimento.....	24
2.3.2. Subrasante.	24
2.3.3. Base.	25
2.3.4. CBR. (California bearing ratio).....	25
2.3.5. Geosintéticos	25
2.3.6. Geomallas.....	26
2.3.7. IMDA (Índice medio diario anual).....	26
CAPÍTULO III.....	27
MATERIALES Y MÉTODO.....	27

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	27
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	28
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.4.1. Técnicas de investigación.....	29
3.4.1.1. Información indirecta.....	29
3.4.1.2. Observación.....	30
3.4.2. Instrumentos.....	30
3.4.2.1 Formato de clasificación vehicular: Formato del MTC.....	30
3.4.2.2. Instrumentos para la realización de calicatas.....	30
3.5. METODOLOGÍA.....	30
3.5.1 Procedimiento para el desarrollo de la investigación.....	30
3.5.1.1 Diseño convencional.....	30
3.5.1.2. Diseño de la carretera con geomalla.....	45
CAPÍTULO IV.....	51
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
4.1. RESULTADOS OBTENIDOS.....	51
4.2. EVALUACIÓN TÉCNICA.....	51
4.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	52
4.4. DISCUSIÓN.....	53
CAPÍTULO V.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
ANEXOS.....	58

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Página
Figura 1. Confinamiento lateral.....	7
Figura 2. Distribución de zona de confinamiento.....	7
Figura 3. Mejoramiento de la capacidad portante.....	8
Figura 4. Efecto de zapato de nieve.....	8
Figura 5. Efecto de tensado de la membrana.....	9
Figura 6. Relación entre índice de cono, CBR y resistencia al corte.....	10
Figura 7. Geomalla uniaxial.....	12
Figura 8. Geomalla biaxial.....	13
Figura 9. Geomallas triaxiales.....	14
Figura 10. Instalación de la geomalla	16
Figura 11. Riego de material de afirmado.	17
Figura 12. Diseño de pavimento para cargas de rueda sencilla.....	20
Figura 13. Diseño de pavimento para cargas de rueda doble.....	20
Figura 14. Diseño de pavimentos para cargas de ruedas en tándem.....	21
Figura 15. Espesor del afirmado (NAASRA).....	24
Figura 16. Ubicación geográfica del estudio.....	28
Figura 17. Conteo de los vehículos, según los formatos del MTC.....	31
Figura 18. Ubicación en planta de las calicatas.....	36
Figura 19. Ubicación en planta de las calicatas.....	37
Figura 20. Espesores finales de capa granular para cada tramo analizado.....	52
Figura 21. Porcentaje de ahorro de material granular.....	52
Figura 22. Costos totales por tramo de diseño reforzado y no reforzado.....	53

INDICE DE TABLAS

CONTENIDOS	Página
Tabla 1. Identificación de la función principal vs tipo de geosintéticos.....	12
Tabla 2. Propiedades comúnmente reportadas de geomallas.....	14
Tabla 3. Propiedades de la geomalla multiaxial TX 130S.....	15
Tabla 4. Carga de vehículos militares.....	18
Tabla 5. Factores de capacidad de carga reforzada (Nc).....	19
Tabla 6. Clasificación de las carreteras según el tráfico.....	21
Tabla 7. Calculo de los factores destructivos por eje equivalente.....	22
Tabla 8. Cálculos referenciales para periodos de 5 y 10 años.....	23
Tabla 9. Tipos de afirmados, para cada tipo de tráfico.....	26
Tabla 10. Coordenadas UTM WGS 17M de la ubicación del proyecto.....	28
Tabla 11. Cálculo del IMDs.	32
Tabla 12. Proyección del tráfico.....	34
Tabla 13. Cálculo de factores destructivos.....	34
Tabla 14. Cálculo de factores destructivos o carga.....	34
Tabla 15. Cuadro de calicatas realizadas.....	35
Tabla 16. Clasificación de suelos y obtención del CBR de diseño.....	38
Tabla 17. Cuadro de resumen de resultados obtenidos.....	51
Tabla 18. Costos totales por tramo de diseño reforzado y no reforzado.....	53

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo por finalidad evaluar las repercusiones técnico- económico del uso de la geomalla multiaxial como refuerzo de la subrasante en la carretera Santa Cruz- Bellavista, Provincia de Jaén, Región Cajamarca; así mismo mostrar el procedimiento de construcción usando la geomalla en una vía no pavimentada. La recolección de datos se realizó con ayuda de los formatos de clasificación vehicular del MTC, estudio de mecánica de suelos; la cual fue ejecutada a lo largo de los 2.846 km. de la carretera que une las localidades de Santa Cruz y Bellavista. Se observó que la reducción de los espesores en los tramos de diseño reforzados con geomalla multiaxial varían entre 5.4% y 39.2 %, con respecto a tramo no reforzado, lo cual implica que hay un menor uso de material granular, todo esto sin afectar su capacidad de soporte de tránsito de la vía. Además, se ha visto que el uso de la geomalla multiaxial como refuerzo es económicamente viable, para los tramos en donde el suelo tiene un CBR menos a 2.5 %, variando el ahorro entre 10.09% y 24.48%, con respecto a costo de ejecución del diseño convencional. Por lo que se recomienda evaluar su uso, en donde el suelo de fundación tiene un CBR > 6%, ya que económicamente no es favorable.

Palabras clave: Geomalla, refuerzo, carretera, económico

ABSTRACT

The present research Project aimed to evaluate the technical and economic impact of the use of multiaxial geogrid as reinforcement of the subgrade on the Santa Cruz-Bellavista road, Jaén Province, Cajamarca Region; Also show the procedure of construction using the geogrid in an unpaved road. The data collection was done with the help of the vehicle classification formats of the MTC, study of soil mechanics; Which was executed along the 2,846 km. Of the road that connects the towns of Santa Cruz and Bellavista. It was observed that the reduction of the thicknesses in the design sections reinforced with multiaxial geogrid vary between 5.4% and 39.2%, with respect to non reinforced section, which implies that there is less use of granular material, all without affecting its capacity Of road traffic support. In addition, it has been seen that the use of the multiaxial geogrid as a reinforcement is economically viable, for the sections where the soil has a CBR less than 2.5%, varying the savings between 10.09% and 24.48%, with respect to the execution cost of the Conventional design. So it is recommended to evaluate its use, where the foundation soil has a $CBR > 6\%$, since it is not economically favorable.

Key words: geogrid, reinforcement, road, economic

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I.I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la construcción de obras viales que emprendió el hombre, se ha enfrentado a inconvenientes que se presentaron en algunos tipos de suelos de cimentación; por ello aprovechó de la mejor manera los materiales disponibles a su alrededor. Es así que existen pruebas del uso de troncos con el fin de estabilizar suelos arcillosos, o intentos por construir taludes con una mayor pendiente usando fibras naturales o vegetación como refuerzo (Orrego Cabanillas 2014).

En Estados Unidos de América, los geosintéticos han venido siendo usados para la estabilización de carreteras en zonas pantanosas, cerca de la costa oriental. Las condiciones desfavorables que presentaron algunos lugares de la ciudad de Chicago para la construcción de una vía fueron mejoradas mediante el uso de geotextiles (Cruz Vargas 2013)

Actualmente la utilización de productos geosintéticos alrededor del mundo se ha ido incrementando desde la década de los '70, además su uso y aplicación en obras es muy amplia y exitosa. Solo en las Américas se tienen instalados más de 170 millones de m² de geomalla, con lo que, considerando un camino de 4 mts. de ancho, tendríamos más de 40000 km. de carreteras funcionando con esta tecnología. (Velásquez Lujerio 2010)

En el Perú muchas de las carreteras importantes deben atravesar zonas lluviosas o zonas con ausencia total de materiales granulares de buena calidad, como es el caso de la carretera interoceánica sur, en el tramo que une los centros poblados de Kcauri y Pampacamara, Región Cusco; donde se usó la geomalla biaxial sobre el suelo de baja calidad (CBR =2.1%) , logrando un incremento en la capacidad portante del suelo, así

como en otros factores adicionales como, la rapidez en el proceso constructivo y la posibilidad de compactar materiales sobre las subrasantes blandas, hicieron esta solución técnica y económicamente atractiva (CONIRSA 2007).

En la Provincia de Jaén, el desconocimiento de estos nuevos procesos constructivos mediante la aplicación de la geomalla en carreteras, ha traído consigo el descuido y deterioro de sus rutas de acceso a la ciudad, ya sea por el elevado costo que genera la utilización de materiales adicionales, la existencia de sub rasantes de mala calidad o simplemente por la no disponibilidad o lejanía de material granular para lograr un espesor adecuado de relleno sobre la sub rasante que evite el deterioro rápido de la carretera.

La carretera Santa Cruz- Bellavista, la cual se encuentra en mal estado, afecta a los ciudadanos que transitan por dicha vía, este mal estado se refiere a baches, asentamientos que han incrementado su deterioro, disminuyendo su servicio óptimo. No se puede hablar de una causa única del deterioro de la carretera. Las fallas que afectan a la vía se producen por múltiples factores: un mal diseño del paquete estructural, errores constructivos, un deficiente sistema de drenaje para precipitaciones, efecto de solicitaciones externas como carga vehicular y agentes climáticos. Tal situación obliga a que se rehabilite constantemente esta vía, generando gastos elevados debido a la frecuencia con la que se hace este mantenimiento. La Municipalidad Distrital de Bellavista está encargada del mantenimiento de la carretera se ve obligada a destinar fondos para su mantenimiento, dejando de lado otros servicios prioritarios para la población.

En la actualidad, la aplicación de geomallas permite un empleo más eficiente de los recursos de los proyectos, los cuales se pueden optimizar mediante el conocimiento claro del aspecto técnico y económico del uso de este material.

Ante la situación anteriormente expuesta y los beneficios de las geomallas me pregunté ¿Cuáles son las repercusiones técnicas y económicas del uso de la geomalla multiaxial, como refuerzo de la subrasante en la carretera Santa Cruz- Bellavista?

Hoy en día las geomallas, destacan por su buen comportamiento mecánico en suelos blandos y como refuerzo de pavimentos, por lo cual creo que la aplicación de la geomalla en la carretera Santa Cruz- Bellavista es técnica y económicamente viable.

El desarrollo de esta investigación tiene un valor importante porque nos permitió ampliar los conocimientos teóricos/ prácticos sobre la aplicación de la geomalla multiaxial como refuerzo de la subrasante en las carreteras no pavimentadas, teniendo en cuenta que en la actualidad existen pocas investigaciones que hablen sobre las repercusiones técnicas- económicas ocasionadas por el uso de la geomalla multiaxial.

De otro lado los resultados de la presente investigación, servirán de base para estudiantes e interesados en investigar sobre este tema, además podrán contribuir en la toma de decisiones, al momento de optar por el tipo de diseño en la elaboración y/o ejecución de proyectos relacionados al diseño de carreteras no pavimentadas.

Por tanto, el objetivo principal de la presente investigación se enfocó en evaluar las repercusiones técnico- económico del uso de la geomalla multiaxial como refuerzo de la subrasante en la carretera Santa Cruz- Bellavista. Además, mostrar el procedimiento de construcción usando la geomalla en una vía no pavimentada y evaluar su viabilidad económica.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Caballeros Torres EA. (2006). Realizó una tesis con la finalidad de conocer las ventajas del uso de la geomalla y de la aplicación técnica de la misma, como alternativa para el refuerzo de la estructura del pavimento flexible en la red vial de Guatemala.

Se elaboró un diseño del pavimento flexible mediante la utilización del Software SpectraPave2TM, el cual permite el diseño convencional sin reforzar, así como el diseño de la sección reforzada con geomalla biaxial, llegando a la conclusión que la introducción de la geomalla biaxial en la estructura del pavimento flexible presentó una reducción de los espesores de las capas que la conforman, así como una reducción de los costos de construcción equivalentes al 2% para la geomalla BX 1100 y el 8% para la geomalla BX 1200.

Cruz Vargas E. (2013). Realizó una tesis con la finalidad de presentar de manera clara, explícita y experimental la teoría básica que le da sustento al uso de geomallas y sobre el impacto en el comportamiento mecánico de los suelos. En su investigación describe el método de diseño para carreteras no pavimentadas reforzadas con geomallas Tensar, desarrollado por el Dr. J.P. Giroud y el Dr. Jie Han., De la misma manera describe el método para carreteras reforzadas con geomallas de US Army Corps of Engineers. ETL- 1110- 1- 189. Concluyendo que entre los dos métodos planteados, el de mayor utilidad práctica es el procedimiento de diseño de pavimento flexible con ETL- 1110- 1- 189.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Orrego Cabanillas DA. (2014). Elaboró una investigación con el fin de determinar si el uso de las geomallas como refuerzo en base granulares dentro de una estructura de pavimento flexible es una alternativa económicamente viable sin disminuir la capacidad estructural de la vía. La metodología de la investigación consistió en diseñar un pavimento de tres formas diferentes, una es una sección convencional o no reforzada (AASHTO 1993) y la otra sección reforzada con geomalla biaxial y multiaxial (GMA WHITE PAPER II) . Concluyendo que los espesores obtenidos en las secciones no reforzadas son mayores en todos los casos a los espesores obtenidos en las secciones reforzadas, siendo en promedio un 35% mayor para el caso de geomallas biaxiales y en un 45 % mayor para el caso de geomallas multiaxiales.

En cuanto a lo económico concluyó que a pesar de que hay una reducción en el espesor de la capa base granular, el precio del mismo debería ser mayor para que las alternativas de refuerzo con geomalla sean viables.

Velásquez Lujerio EP. (2009). Elaboró una investigación con el fin de ilustrar acerca de las ventajas ocasionadas por la utilización de geomallas como refuerzo de bases, sub-bases y subrasantes en caminos pavimentados o sin pavimentar, mediante la utilización del Software SpectraPave2TM , el cual permite diseñar un pavimento flexible sin reforzar, así como reforzado con geomalla biaxial, además el programa incluye un desglose de los ahorros en agregado, en sobre- excavaciones y generales para el proyecto. El estudio concluye que el uso de las geomallas contribuye al mejoramiento de la sección estructural de los caminos y su colocación generalmente posibilita la utilización de suelos naturalmente malos para conformar la subrasante del camino.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Tingal Huatay W. (2013). Hizo una investigación en donde comparó el diseño de pavimento tradicional AASHTO y el diseño con geomalla en la pavimentación de la Av. Salomón Vílchez Murga de la ciudad de Cutervo, la metodología que utilizó fue diseñar el pavimento de dos maneras a lo largo de la progresiva 0+600 y la progresiva 0+800, una con el método convencional AASTHO y la otra con la utilización dela geomalla BX 1100. El resultado de esta investigación fue que el espesor de la capa base

de la sección reforzada fue menor a la capa base de la sección no reforzada en un 21% promedio en todo el tramo.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. USACE (Army Corps of Engineers, US), ETL 1110-1-189, (2003).

Las geomallas utilizadas dentro de un sistema de pavimento realizan dos de las funciones primarias de los geosintéticos: separación y refuerzo.

Los tres usos principales de una geomalla en un sistema de pavimento son: (a) servir de ayuda para la construcción sobre las sub-bases blandas, (b) mejorar o prolongar la vida útil proyectada de la carretera, y (c) reducir la sección transversal estructural de la vía. Las geomallas se han utilizado con éxito para proporcionar una plataforma de construcción sobre las sub-bases suaves (Cancelli et al. 1996, Douglas 1997, Haas et al. 1988, Halliday y Potter 1984, y Santoni et al. 2001). En esta aplicación, la geomalla mejora la capacidad de compactación de los agregados que la recubren, al tiempo que reduce la cantidad de material requerido para ser eliminado y reemplazado. Numerosos programas de investigación también han informado de resultados que documentan la vida de servicio más largos para las secciones de pavimento con geomallas en comparación con secciones similares sin geomallas (Al-Qadi et al., 1997, Barksdale et al., 1989, Cancelli et al., 1996, Collin et al., 1996, Haas et al. 1988, Miura et al. 1990, Perkins et al. 1997a / b, y Webster, 1993). Por último, la investigación ha demostrado que el espesor de la capa de base requerida para el diseño puede reducirse cuando una geomalla se incluye en el diseño (USACE 2003).

2.2.1.1 Mecanismos de refuerzo.

Se han identificado tres mecanismos fundamentales de refuerzo que implica el uso de geomallas para reforzar materiales de pavimento: (a) Confinamiento lateral, (b) la mejora de la capacidad de carga, y (c) el efecto de membrana tensada (USACE 2003).

a). Confinamiento Lateral. - Se refiere al confinamiento del material agregado durante la carga, lo que restringe el flujo lateral del material por debajo de la carga. Este mecanismo se produce entre las partículas del agregado y la geomalla de refuerzo. 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. La figura 1 ilustra el mecanismo de confinamiento lateral (USACE 2003).

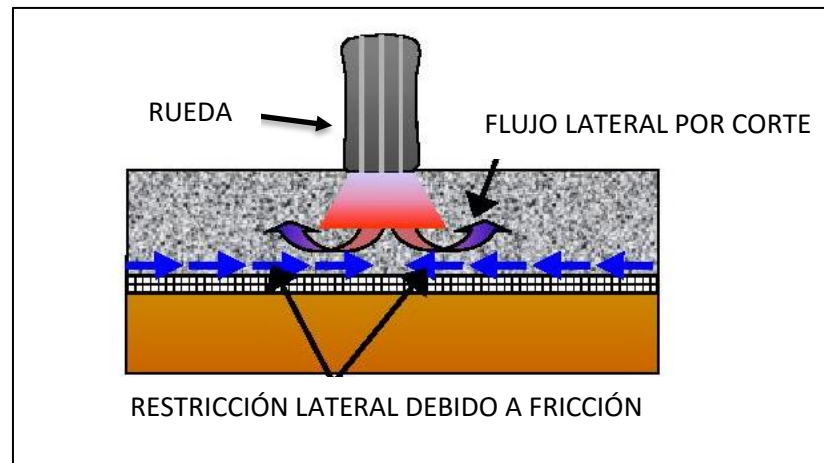


Figura 1.- Confinamiento lateral (USACE, 2003).

Se debe tener en cuenta que este confinamiento generado crea una capa de material más rígida; entonces se debe tener conciencia en 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. Es importante mencionar que se tendrá un confinamiento “máximo” en la zona próxima al elemento de refuerzo; mientras que a medida que nos alejamos de este, este efecto irá disminuyendo. (Valencia, 2009)

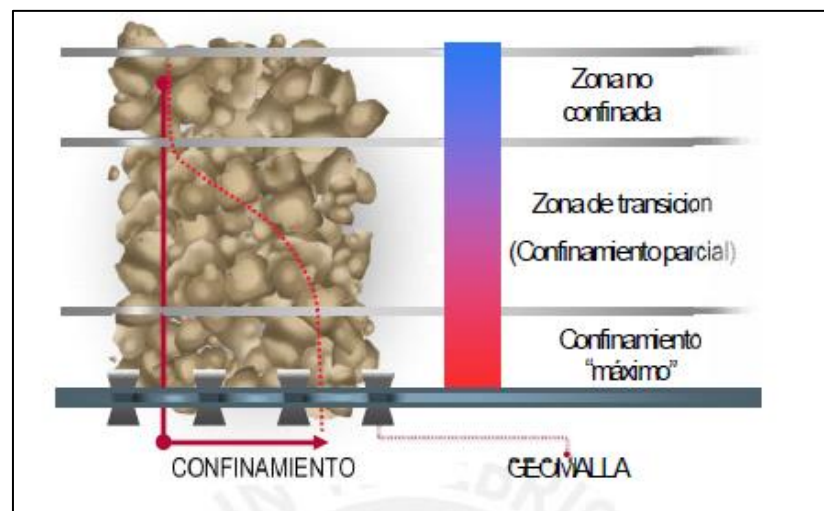


Figura 2.- Distribución de zona de confinamiento (Valencia, 2009).

b). Mejoramiento de la capacidad portante.- Se consigue desplazando la superficie de falla, ubicado inicialmente en la subbase relativamente débil al material de capa base relativamente fuerte o mayor resistencia, en este caso la capa granular (USACE 2003).

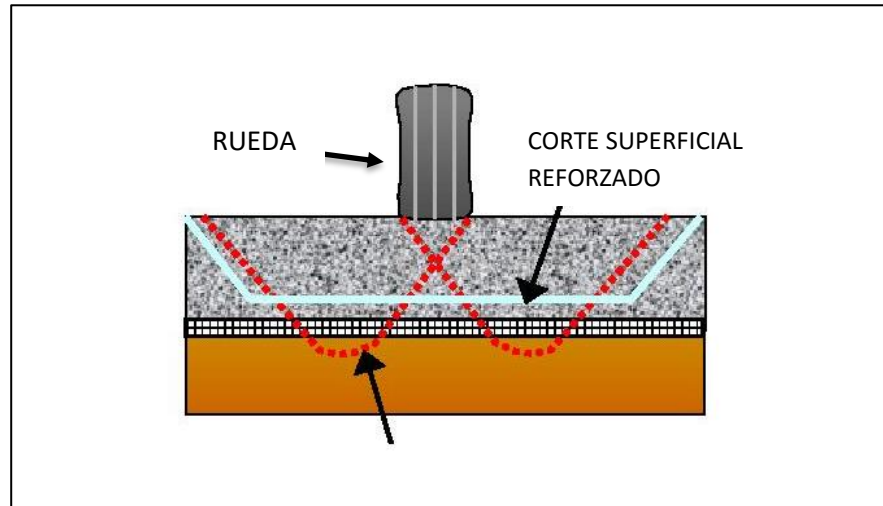


Figura 3.- Mejoramiento de la capacidad portante (USACE, 2003).

Esto es posible ya que la rigidez de la geomalla permite la redistribución de las cargas en un área mayor, disminuyendo los esfuerzos que el material blando debe soportar. Este mecanismo es 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 la nieve (TENSAR 2013).



Figura 4.- Efecto de zapato de nieve (TENSAR, 2013).

c). Efecto de tensado de la membrana. - Se basa en el concepto de una distribución de la tensión de tracción vertical, 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 importante que son soportados por la resistencia a la tensión que tiene el refuerzo (USACE 2003).

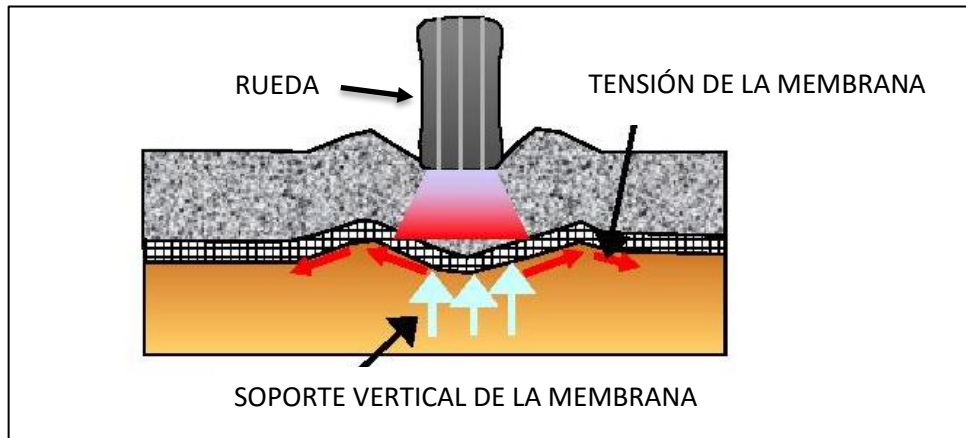


Figura 5.- Efecto de tensado de la membrana (USACE, 2003).

Durante mucho tiempo se consideró que este era el principal mecanismo de refuerzo. Sin embargo, si se hace un análisis de las condiciones necesarias para activarlo podemos encontrar una paradoja. Debido a que este mecanismo se activa para altos niveles de deformación, generalmente solo ocurre en vías no pavimentadas después de que la vía ha soportado un elevado número de cargas debido al tráfico. Esto se debe a que en vías pavimentadas, la deformación necesaria para movilizar este sistema de refuerzo es mucho mayor a la que se espera sin que se generen consecuencias perceptibles por el usuario. Por tal razón se debe considerar que, en aplicaciones de la geomalla como mejoramiento de la subrasante, se deberá considerar el mejoramiento de la capacidad portante y en menor grado, el efecto de membrana tensionada (Orrego Cabanillas 2014).

2.2.1.2. Método de diseño de un sistema de pavimento reforzado.

El primer paso en el diseño de un sistema de pavimento reforzado eficaz, es determinar las propiedades de la subrasante o terreno natural, incluyendo la distribución de tamaño de partículas, la resistencia al corte en situ, resistencia o capacidad de soporte. La resistencia al corte en situ se puede medir directamente usando dispositivos de corte (veleta) o indirectamente mediante correlaciones de capacidad de carga; California Bearing Ratio (CBR) ó pruebas de cono Dinámicas Penetrómetro (DCP).

La resistencia de diseño de la subrasante se define como el 75% de la parte superior de 18 pulgadas (45 cm) de la capa subrasante. El valor de la resistencia del 75%, se presenta cuando el 75% de las lecturas de resistencia reportadas del suelo son superiores a ese valor.

La figura 6. Se usa para convertir resistencias de diseño de los valores de índice de cono y de CBR a esfuerzo cortante (C) en psi (USACE 2003).

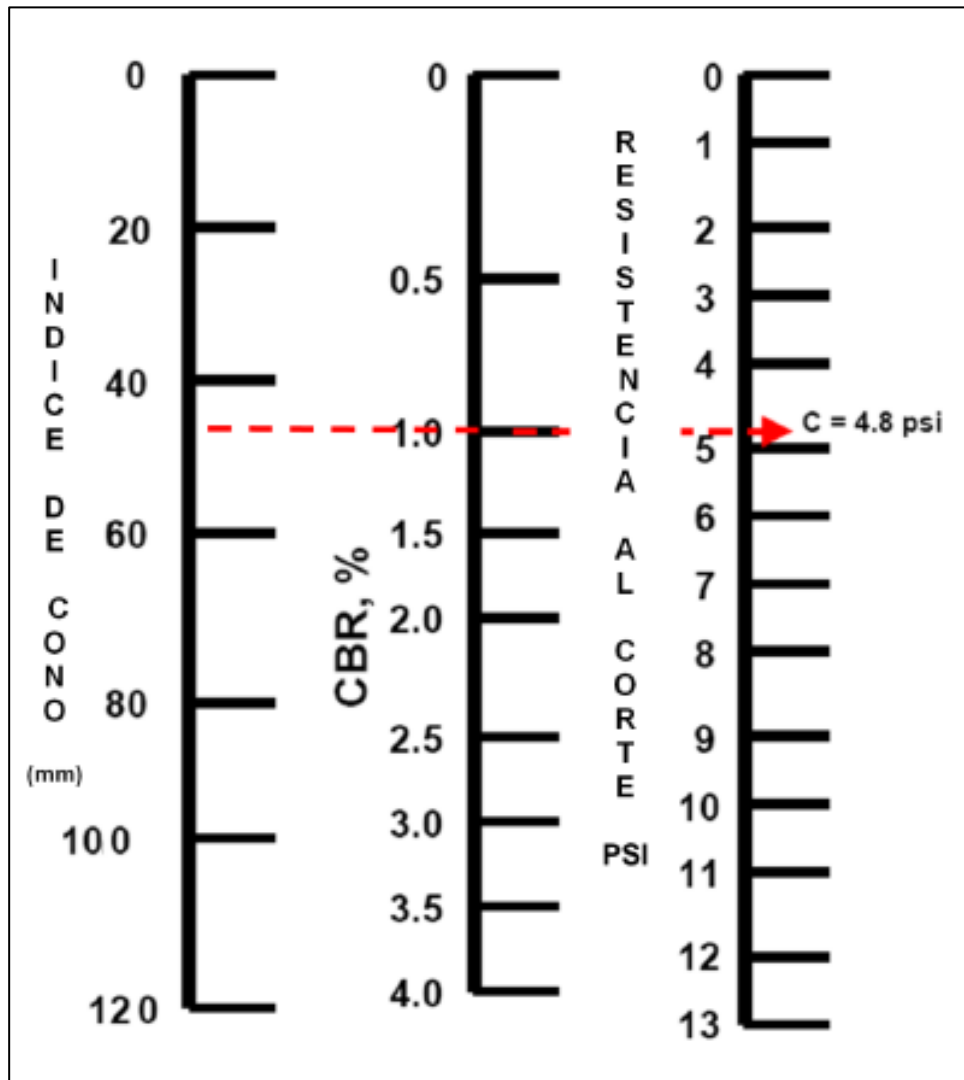


Figura 6. Relación entre índice de cono, CBR y resistencia al corte (USACE, 2003).

2.2.1.3. Evaluación de la aplicabilidad de geosintéticos en caminos no pavimentados.

- Terreno natural con $CBR < 0.5$ Para el diseño con CBR de 0.5 o menos, la principal aplicación es la estabilización mecánica. El uso de un geotextil no tejido se recomienda para el refuerzo en el subsuelo y en la subrasante. Con materiales de resistencias bajas, todo el espesor del relleno con agregado se debe utilizar y no se recomienda reducir el espesor de la capa de base. Así el diseño del espesor debe ser total y debe ser utilizado para resistencias de terrenos naturales con CBR de 0.5 ó menos. La tela no tejida, se coloca directamente sobre el suelo, seguido de la geomalla y luego el relleno de subrasante/ sub-base/ base.
- Terreno natural con $0.5 < CBR < 2.0$. Para el diseño con resistencias con CBR de 0.5 A 2.0, tanto la estabilización mecánica como el reforzamiento son útiles. Un geotextil no tejido se recomienda para la separación con resistencias de CBR de 2.0 o menos. El uso de una geomalla para el refuerzo también es generalmente rentable con CBR como estos, en términos de ahorro. Así, para este nivel de resistencia, tanto un geotextil y geomalla se recomienda en general, y el espesor total se puede reducir usando el apropiado factor de capacidad de soporte reforzado.
- Terreno natural con $2.0 < CBR < 4.0$. El uso de un geotextil no tejido para la separación es generalmente recomendado para las subrasantes de partículas finas y con terrenos naturales con valores de CBR mayor a 2 pero menor a 4. La principal aplicación es el refuerzo en la subrasante o la base. Sin embargo la relación Costo-beneficio en la utilización de una geomalla en estas consistencias, debe ser determinada mediante la realización de un análisis del costo del ciclo de vida de la viabilidad. La investigación ha indicado que la vida de servicio del pavimento se extiende con estas resistencias y un gran potencial de reducir el espesor de la base en pavimentos de superficie asfáltica se puede dar. Sin embargo, existe escasa información para pavimentos reforzados con estas resistencias de terreno natural para definir con precisión los beneficios en espesores, así como un factor de capacidad. Por lo que se recomienda que el uso del geotextil sirva para separar los diferentes materiales del pavimento.
- Terreno natural con $CBR > 4.0$. la investigación ha indicado que existe un potencial significativo con el refuerzo en estos valores de resistencia. Sin embargo cuantificar los beneficios aun no es concluyente. La principal aplicación de la geomalla es estos

valores de resistencia es el refuerzo en capas de agregados, sub-bases y bases. Debe realizarse una investigación adicional que lleve a cabo un análisis de costo del ciclo de la vida del pavimento, y así poder llevar a cabo la viabilidad económica con refuerzo de geomalla (USACE 2003).

TIPO DE GEOSINTÉTICO	FUNCIÓN PRINCIPAL				
	SEPARACIÓN	REFUERZO	FILTRACIÓN	DRENAJE	CONTAMINACIÓN
GEOTEXTIL (GT)	✓	✓	✓	✓	
GEOMALLA (GG)		✓			
GEOMEMBRANA (GM)					✓
GEOS. REVESTIDO DE ARCILLA (GCL)					✓
GEOESPUMA (GF)	✓				
GEOCOMPUESTO (GC)	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 1. Identificación de la función principal vs tipo de geosintéticos. (Koerner, 2016)

2.2.2.- Clasificación de las geomallas.

2.2.2.1.- Según su función.

a) Geomallas uniaxiales.- Se fabrican a partir de polietileno de alta densidad, que son diseñadas para resistir el alargamiento, cuando se someten a cargas pesadas durante largos periodos de tiempo. Son resistentes también a daños químicos o a la degradación biológica. Estas geomallas se fabrican por la perforación de una lámina de polímero homogénea para crear un producto uniforme que da como resultado la fuerza de unión superior, que permite la conexión duradera (TENSAR 2013).



Figura 7. Geomalla uniaxial (TENSAR, 2013).

b). Geomallas biaxiales.- Las geomallas biaxiales se crean utilizando resinas selectas de polipropileno que resisten altas cargas dinámicas de corto plazo o cargas moderadas durante periodos de tiempo más largos. Estos productos soportan cargas aplicadas en dos direcciones en el plano de la geomalla (TENSAR 2013).

Según el documento ETL 1110-1-189 del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, las definen como geomallas que presentan aberturas uniformes y resistencia a la tensión en dos sentidos: longitudinal y transversal. Se utilizan en aplicaciones de pavimentos o caminos y también como refuerzo secundario en taludes de suelo reforzado (USACE 2003).



Figura 8. Geomalla biaxial (TENSAR, 2013).

c). Geomallas triaxiales. - Cuentan con tres direcciones principales de rigidez, las cuales se refuerzan aún más con la geometría rígida triangular. La distribución tridimensional de la carga actúa en forma radial en todos los niveles dentro del agregado. Esto ayuda a garantizar el desempeño óptimo del refuerzo de la geomalla en una capa estabilizada en forma mecánica.

Las partículas de los agregados se traban dentro de la geomalla y quedan confinadas dentro de las aberturas. Estas interacciones crean una capa compuesta rígida con mejores características de desempeño. Las propiedades estructurales de la capa

estabilizada mecánicamente se ven influenciadas por la magnitud y la profundidad de las áreas confinadas.

Dentro de los usos de la geomalla triaxial en caminos no pavimentados, brinda una solución simple para endurecer la capa granular y reducir el esfuerzo en la subrasante (TENSAR 2013).

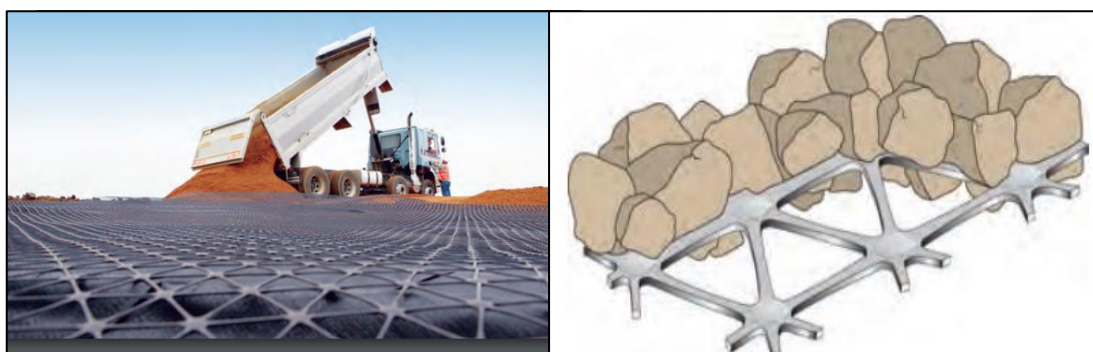


Figura 9. Geomallas tríaxiales (TENSAR, 2013).

2.2.2.2. Propiedades y especificaciones mínimas para geomallas.

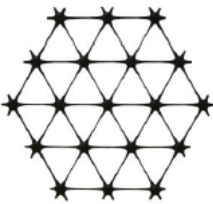
En las tablas 2 y 3, aparecerán las propiedades más comunes que son reportadas en fichas técnicas de los productores de geomallas.

Propiedades de Geomallas Comúnmente Reportadas.		
Propiedades de ingeniería	Método de ensayo	Unidades
Propiedades de refuerzo		
2% o 5% Modulo secante	ASTM D 6637 ¹	kN / m
Coefficiente de interacción	GRI GG5	* ²
Coefficiente de corte directo	ASTM D 5321	Grados
Apertura mm	Medida directa	Mm
Porcentaje de área abierta	COE CW-02215	%
Los valores del índice de Supervivencia		
Resistencia última a la tracción	ASTM D 6637 ¹	kN / m
Resistencia en los nodos	GRI GG2	%
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4356	%
Propiedades experimentales³		
Rigidez a la flexión	Bajo desarrollo	*
Estabilidad de apertura	Bajo desarrollo	*
[1] Método de ensayo modificado para geomallas en sitio de ASTM D4595		
[2] Propiedades adimensionales		
[3] Las propiedades de rigidez a la flexión y estabilidad de apertura están siendo evaluadas		

Tabla 2. Propiedades comúnmente reportadas de geomallas (USACE, 2003).

Tensar International Corporation reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the person specifying the use of this product and of the purchaser to ensure that product specifications relied upon for design or procurement purposes are current and that the product is suitable for its intended use in each instance.

Tensar TriAx® Geogrid



General

- The geogrid is manufactured from a punched polypropylene sheet, which is then oriented in three substantially equilateral directions so that the resulting ribs shall have a high degree of molecular orientation, which continues at least in part through the mass of the integral node.
- The properties contributing to the performance of a mechanically stabilized layer include the following:

Index Properties	Longitudinal	Diagonal	General
<ul style="list-style-type: none"> Rib pitch⁽²⁾, mm (in) Rib shape Aperture shape 	33 (1.30)	33 (1.30)	Rectangular Triangular
Structural Integrity			
<ul style="list-style-type: none"> Junction efficiency⁽³⁾, % Isotropic Stiffness Ratio⁽⁴⁾ Radial stiffness at low strain⁽⁵⁾, kN/m @ 0.5% strain (lb/ft @ 0.5% strain) 			93 0.6 200 (13,708)
Durability			
<ul style="list-style-type: none"> Resistance to chemical degradation⁽⁶⁾ Resistance to ultra-violet light and weathering⁽⁷⁾ 			100% 70%
Dimensions and Delivery			
The TX geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) and/or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 75 meters (246 feet) in length and 4.87 meters (16 feet) in width by 100 meters (328 feet) in length.			

Tabla 3. Propiedades de la geomalla multiaxial TX 130S (TENSAR, 2014).

2.2.2.3. Almacenamiento y transporte de geomallas

La producción de las geomallas se presenta en forma de rollo, lo que implica que estos sean estibados en racks que no excedan la estiba en cuatro rollos de 90 cm de diámetro externo, pueden ser colocados sobre el suelo, en obra antes de su colocación. El almacenamiento de las geomallas puede ser abierto por un tiempo prolongado (Cruz Vargas 2013).

El transporte en el lugar de fabricación se realiza mediante un rack, evitando que el material este izado en un solo punto; a fin de conservar la directriz del rollo de forma regular. El transporte a obra se realiza en plataformas con las dimensiones necesarias para que el rollo no sufra elongaciones fuertes, los rollos deben transportarse de forma completamente horizontal (Cruz Vargas 2013).

2.2.2.4. Ejecución de trabajos con geomallas

La construcción del pavimento sobre suelos muy blandos requiere una consideración especial, tanto para proteger los geosintéticos, como para evitar la sobrecarga del tráfico de la construcción. Si la subrasante tiene un CBR de 2.0 o mayor, la capa de desplante

debe ser compactada para identificar cualquier material inadecuado que pueda dañar la geomalla (USACE 2003).

Si el CBR de la subrasante es menor a 2.0, los materiales superficiales como la vegetación y raíces pueden ser ventajosas y no deben ser eliminados; cuando se trata de absorber costos por desmonte y desplante sobre todo si se trata de un camino de muy bajo tránsito (USACE 2003).

Antes de la instalación de la geomalla, el sitio debe ser limpiado, las superficies arrancadas y excavadas a la resistencia de diseño. Las pequeñas secciones de geomalla pueden ser utilizadas para cubrir las raíces, troncos o tallos y así reducir el potencial de perforación en la tela. La geomalla debe ser desenrollada a mano, por delante del relleno, directamente sobre el suelo de la subrasante.

La distancia mínima de superposición es de un pie; es necesario incluso si las intersecciones de geotextil se cosen (USACE 2003).



Figura 10. Instalación de la geomalla (TENSAR, 2013).

Los vehículos no deben ser conducidos en los geosintéticos sin protección antes de la colocación del agregado. Cuando los suelos sean muy blandos, es prudente colocar el relleno sobre el suelo estable y después empujarlo hacia adelante sobre la geomalla. En la Figura 11 se muestra como el transporte coloca el material sobre una capa del mismo previamente extendido, sin circular sobre la geomalla, a continuación, la motoniveladora realizará el extendido de forma tradicional, de la misma forma se realizará la compactación (Cruz Vargas 2013).



Figura 11. Riego de material de afirmado (Cruz, 2013).

2.2.3. Diseño de caminos no pavimentados (Reforzado con geomalla).

1.- Determinación de la resistencia al corte del suelo (C); el primer paso esencial en el diseño de una superficie de agregados es determinar las condiciones de diseño del terreno natural. Las condiciones de diseño de suelo de la subrasante, se pueden determinar usando ensayos de CBR in situ, ensayos con veleta, ensayos de cono, o ensayos de CBR saturado en laboratorio.

Una vez que las condiciones de diseño del terreno han sido determinadas, una evaluación de la aplicabilidad de geosintéticos debe llevarse a cabo, si el uso de un geotextil y/o geomalla se justifican en base a la evaluación de la aplicabilidad, el siguiente procedimiento se puede utilizar para diseñar la carretera con superficie de agregados (capa de base), de lo contrario los procedimientos comunes deben utilizarse para diseñar la carretera no pavimentada. Si el uso de la geomalla se justifica, la resistencia del suelo debe ser convertido del CBR a la resistencia del corte (C). La resistencia al corte (C) se puede determinar utilizando la figura 6. Con pruebas de índice de cono o CBR. La resistencia al corte (C) también se puede medir directamente usando dispositivos de corte, como veleta (USACE 2003).

2.- El siguiente paso es determinar el tráfico de diseño, debe basarse en la configuración del vehículo más pesado de la composición del tránsito, ya sea que se defina como carga de una sola rueda, una carga de doble rueda, o cargas de ruedas tándem.

El peso combinado del mecanismo seleccionado se utiliza como el peso del vehículo de diseño. Por ejemplo, utilizar la mitad de la carga del eje de una o dos ruedas de vehículo

con un solo eje. Para vehículos de varios ejes, se usa un medio de la carga total sobre los dos ejes más cercanos y más pesados. La tabla 4 proporciona valores típicos del tráfico de carga para vehículos del ejército de Estados Unidos de América. El espesor total de diseño presentado en este procedimiento se basa en el desarrollo de roderas de dos pulgadas (5cm) después de 1000 pasadas de una carga equivalente de 18 psi. El espesor total debe aumentar en un 10 % para un diseño de 2000 pasadas y 20% para el diseño de 5000 pasadas. Un aumento adicional del 10% en el diseño del espesor total debe ser añadido para el tráfico pesado de construcción (USACE 2003).

Cargas de tránsito de vehículos militares típicas.				
Tipo de Vehículo	Peso total del vehículo Lb	Carga por Diseño de la Rueda ¹, Lb		
		Rueda sencilla	Rueda Dual	Tandem
M54A2C, 6 x 6, 5-Ton Cargo Truck	40,200	5,000	--	16,000
M929A1, 6 x 6, 5-Ton Dump Truck	35,065	6,000	--	12,000
M1062, 4 x 4, Semitrailer Fuel Truck	64,600	--	--	34,000
M172A1, 4 x 4, 25-Ton Semitrailer	66,600	--	--	42,000
M872A1-3, 6 x 6, 34-Ton Semitrailer	86,440	--	--	57,000
M870, 6 x 6, 40-Ton Semitrailer	96,000	--	--	57,000
M747, 8 x 8, 60-Ton HET Semitrailer	152,000	--	--	27,000
M1000, 8 x 8, 70-Ton HET Semitrailer	190,400	--	--	37,000
621E, 14-18 cu. yd. Caterpillar Scraper	115,195	32,000	--	--
RTCH, 50,000 lb	166,800	69,000	--	--

[1] Cargas por diseño de ruedas para carreteras con refuerzo de geosintéticos. Utilice 1/2 del máximo de una sola rueda o rueda doble del eje de carga. Para ejes múltiples, utilice 1/2 del total de la carga más pesada sobre los 2 ejes adyacentes; y trate como una carga de ruedas en tándem.

Tabla 4. Carga de vehículos militares (USACE, 2003).

3.- Determinar el factor de capacidad portante reforzada (Nc). Tanto los factores de capacidad de soporte no reforzada y reforzada se determinaron utilizando datos empíricos de gran escala ERDC (Equipo de Carga Simulada) de secciones de prueba. El factor de capacidad portante No reforzada (Nc) es de 2.8. El factor de capacidad con refuerzo utilizando geotextil es de 5.0. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que este factor debe ser reducido a aproximadamente 3.6 para diseños conservadores. El factor de capacidad (Nc), cuando se utiliza un geotextil separador y geomalla de refuerzo es de 5,8. No existen datos suficientes para determinar un valor de Nc, para refuerzo solo con geomalla. Los factores de capacidad se resumen en la tabla 5 de acuerdo a las condiciones del subsuelo (USACE 2003).

Factores de capacidad de carga reforzada, N_c^1, para pavimentos con superficie de agregados (BASE)			
Paso 1: Determinar la resistencia de diseño del subsuelo y la aplicabilidad de los geosintéticos.			
$CBR \leq 0.5$	$0,5 < CBR \leq 2.0$	$2,0 < CBR \leq 4.0$	$CBR > 4.0$
Use un geotextil y una geomalla en la interfase del subsuelo y la base. La reducción del espesor de la base no se recomienda. Utilice TM 5-822-12 para el diseño de los espesores.	Tanto una geomalla y un geotextil son recomendados. Utilice este procedimiento de diseño para el cálculo del espesor total con reducción. <u>Geotextil</u> = 5.0^3 <u>Geomalla</u> = 5.8 <u>Ambos</u> ² = 5.8	Un geotextil se requiere para subsuelos finos. La geomalla también puede ser rentable. Llévase a cabo de análisis de costos. <u>Geotextil</u> = 5.0^3 <u>Geomalla</u> = 5.8 <u>Ambos</u> = 5.8	Realizar un análisis de costos. Considere los beneficios "No establecidos". La escasez de datos NO está disponible para determinarlos.
[1] El factor de capacidad de soporte sin refuerzo, N_c , es 2,8. [2] Tanto un geotextil y una geomalla se recomiendan. El geotextil sirve principalmente como una separación. [3] Utilice un factor de 3,6 para diseños de pavimentos reforzados con geotextiles conservadores.			

Tabla 5. Factores de capacidad de carga reforzada (N_c) (USACE, 2003).

4.- Por último, determinar el espesor total requerido, este se determinará utilizando las figuras 12 a 14 para una sola rueda, rueda doble y equipo de ruedas de carga en tándem, respectivamente. La capacidad de soporte del subsuelo (CN_c) se determina multiplicando la resistencia al corte (C) en psi por el factor de capacidad de soporte apropiado (N_c). La curva de diseño apropiada de las figuras 12 a 14, se introducen con la capacidad de terreno natural (CN_c) del valor en el eje X. Una línea vertical se traza desde la capacidad de soporte del terreno natural a la curva de diseño adecuado del peso. Una línea horizontal se proyecta desde ese punto de intersección con el espesor total requerido en pulgadas en el eje Y. La suma requerida del espesor total de caminos sin pavimentar deberá redondearse a la pulgada más alta siguiente. El espesor requerido de agregado para la condición no reforzada siempre se determinará con N_c de 2.8 como una base para comparar los ahorros relativos de la propuesta de diseño reforzado. El diseño reforzado entonces deberá calcularse utilizando el N_c apropiado dependiendo del tipo de refuerzo recomendado. El espesor mínimo total es de 6 pulgadas recomendado para camino sin pavimentar (USACE 2003).

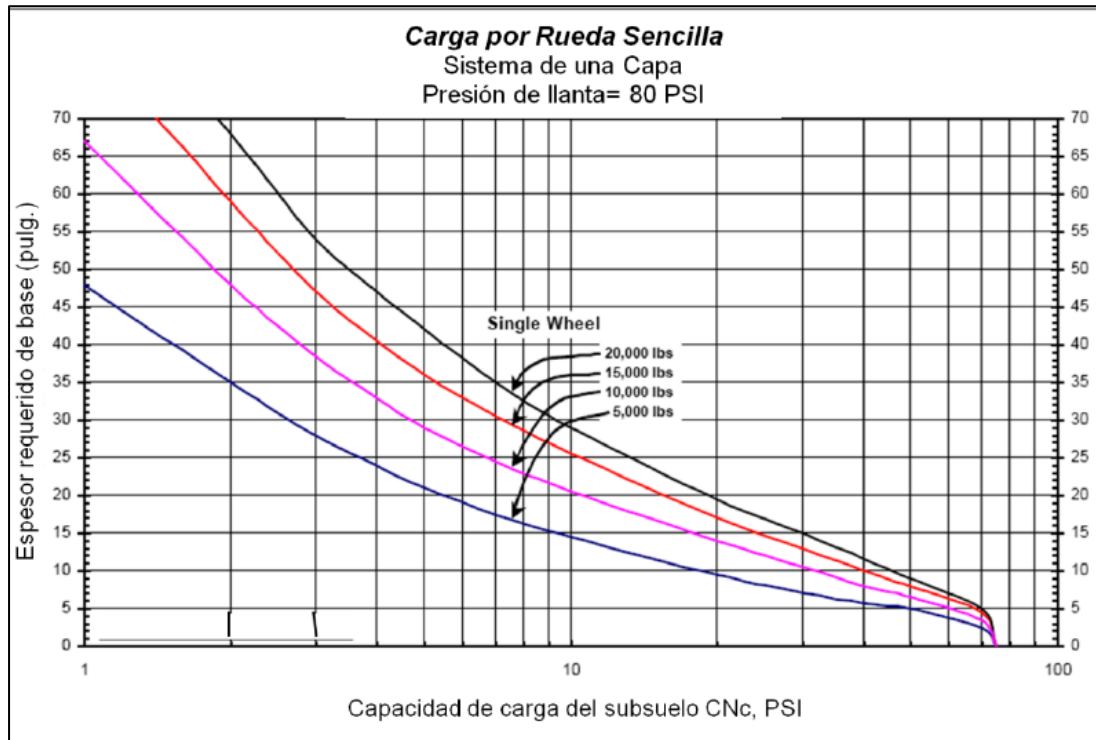


Figura 12. Diseño de pavimento para cargas de rueda sencilla (Capa de rodadura de base) (USACE, 2003).

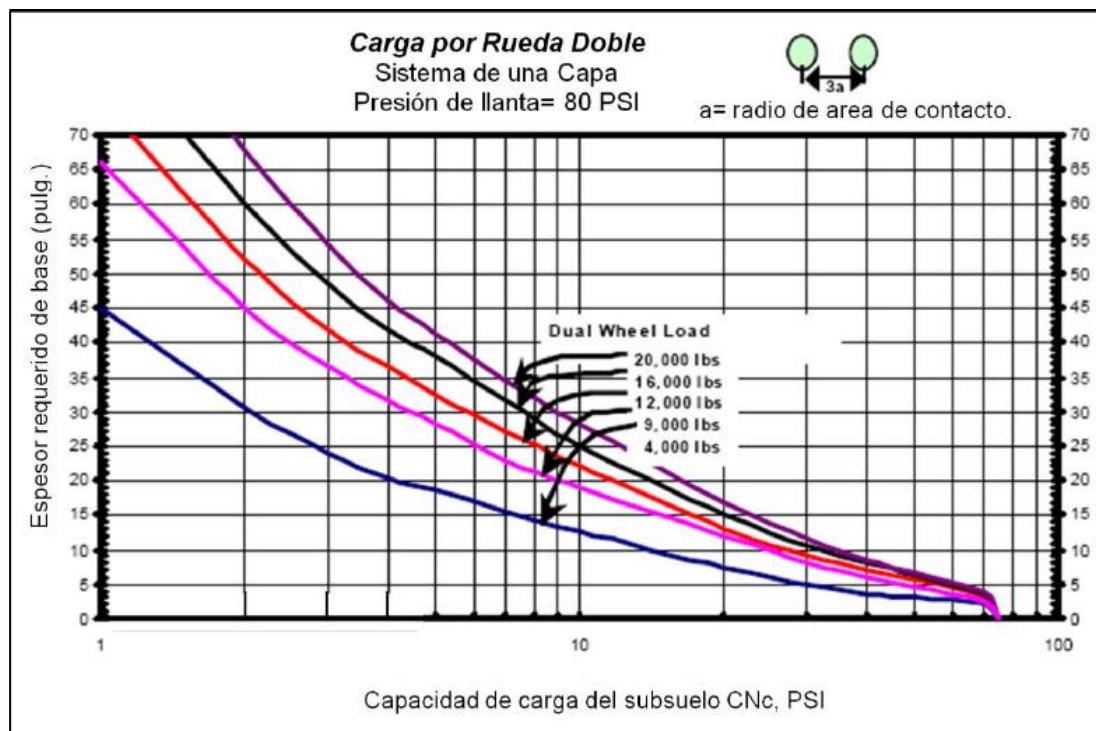


Figura 13. Diseño de pavimento para cargas de rueda doble (USACE, 2003).

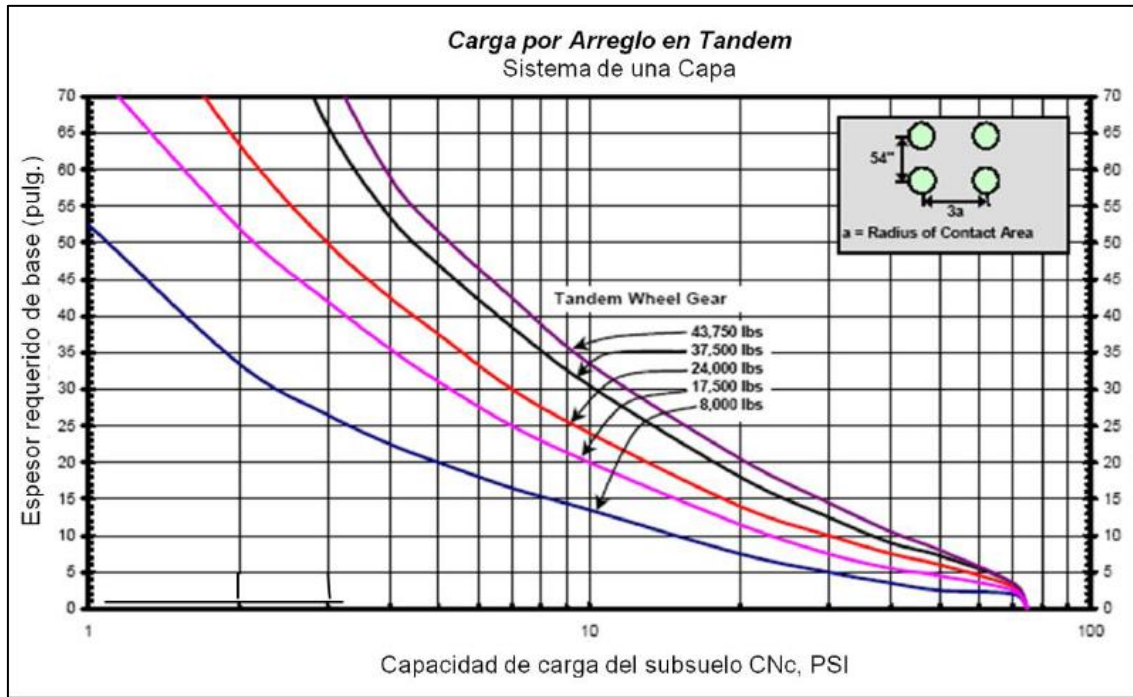


Figura 14. Diseño de pavimentos para cargas de ruedas en tándem (USACE, 2003).

2.2.4.- Diseño de carretera no pavimentada. (Diseño convencional)

Desde el punto de vista del diseño de la capa de rodadura solo tienen interés los vehículos pesados, considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 2.5 tn. El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior, provocan un efecto mínimo sobre la capa de rodadura, por lo que no se tienen en cuenta en su cálculo. El tráfico proyectado al año horizonte, se clasifica según lo siguiente:

CLASE	T0	T1	T2	T3
IMDA (Total vehículos ambos sentidos)	<15	16 - 50	51 - 100	101 - 200
Vehículos pesados (carril de diseño)	<6	6 - 15	16 - 28	29 - 56
Nº Rep. EE (carril de diseño)	$< 2.5 \times 10^4$	$2.6 \times 10^4 - 7.8 \times 10^4$	$7.9 \times 10^4 - 1.5 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5 - 3.1 \times 10^5$

Tabla 6. Clasificación de las carreteras según el tráfico (MDCNPBVT- MTC¹, 2008).

Para la obtención de la clase de tráfico que circula para el tramo en estudio, se realizará lo siguiente:

- a.- Identificación de sub tramos homogéneos de la demanda.
- b.- Conteos de tráfico en ubicaciones acordadas con la entidad y por un periodo mínimo de 3 días (1 día de semana+ sábado+ domingo), de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo.
- c.- Con los datos obtenidos se determinará el número de vehículos (IMDA) y la cantidad de pesados para el carril de diseño, suficientes para definir la clase tipo de tráfico. No obstante, será necesario obtener el número de repeticiones de ejes equivalentes (EE) para el periodo de diseño.
- d.- El concepto de EE corresponde a la unidad normalizada por AASHTO que representa el deterioro que causa en la capa de rodadura un eje simple cargado con 8,16 toneladas. Para el cálculo de los factores destructivos por eje equivalente calculados, se toma en cuenta el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones.

Tipo de eje	Eje equivalente EE 8.2tn
Eje simples de rueda simples	$[P/6.6]^4$
Eje simple de rueda doble	$[P/8.16]^4$
Eje tandem de rueda doble	$[P/15.1]^4$
Eje tridem de rueda doble	$[P/22.9]^4$
P=peso por eje en toneladas	

Tabla 7. Calculo de los factores destructivos por eje equivalente (AASHTO).

Se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos de tal manera de computar el efecto adicional del deterioro de los afirmados. Este efecto se incrementa más para el caso de las capas de revestimiento granular en altura donde la baja presión atmosférica genera un aumento de la presión interna del neumático, reduciendo su área de contacto y aumentando la presión sobre la capa de rodadura. Para evitar este efecto en el cálculo de los EE, las llantas deberían tener una presión máxima de 80 psi. Para el cálculo de EE de 8.2 t, se usará las siguientes expresiones por tipo de vehículo pesado.

El resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos pesados considerados:

$$N_{rep} \text{ de } EE_{8.2T} = \Sigma [EE_{\text{dia-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}] / (t)$$

$$EE_{\text{dia-carril}} = EE \times \text{Factor Direccional} \times \text{Factor carril}$$

EE = N° de vehículos según tipo x Factor de carga x Factor de presión de llantas.

Donde:

$N_{rep} \text{ de } EE_{8.2T}$ = Numero de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 t.

$EE_{\text{dia-carril}}$ = Ejes equivalentes por día para el carril de diseño.

365 = Número de días del año.

T = Tasa de proyección del tráfico, en centésimas.

EE = Ejes equivalentes.

Factor direccional = 0.5, corresponde a carreteras de 2 direcciones.

Factor carril = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido.

Factor de presión de llantas = 1, este valor se estima para los CBVT y con capa de revestimiento granular.

IMDA (total ambos sentidos)	Veh. Pesados (carril de diseño)	5 años (carril de diseño)		10 años (carril de diseño)	
		N° Repeticiones EE 8.2tn	N° Repeticiones EE 8.2tn	N° Repeticiones EE 8.2tn	N° Repeticiones EE 8.2tn
10	3	13,565	1.36E+04	15,725	1.57E+04
20	6	27,130	2.71E+04	31,451	3.15E+04
30	9	40,695	4.07E+04	47,176	4.72E+04
40	12	56,197	5.62E+04	65,148	6.51E+04
50	15	67,824	6.78E+04	78,627	7.86E+04
60	17	75,576	7.56E+04	87,613	8.76E+04
70	20	96,892	9.69E+04	112,324	1.12E+05
80	23	104,643	1.05E+05	121,310	1.21E+05
90	26	122,084	1.22E+05	141,528	1.42E+05
100	28	131,773	1.32E+05	152,761	1.53E+05
110	31	147,275	1.47E+05	170,733	1.71E+05
120	34	160,840	1.61E+05	186,458	1.86E+05
130	37	172,467	1.72E+05	199,937	2.00E+05
140	40	187,970	1.88E+05	217,909	2.18E+05
150	43	203,473	2.03E+05	235,881	2.36E+05
160	45	209,286	2.09E+05	242,620	2.43E+05
170	48	226,727	2.27E+05	262,838	2.63E+05
180	51	236,416	2.36E+05	274,071	2.74E+05
190	54	253,856	2.54E+05	294,289	2.94E+05
200	56	265,483	2.65E+05	307,768	3.08E+05
250	71	335,245	3.35E+05	388,641	3.89E+05
300	84	399,194	3.99E+05	462,775	4.63E+05
350	99	468,956	4.69E+05	543,648	5.44E+05
400	112	529,029	5.29E+05	613,289	6.13E+05

Tabla 8. Cálculos referenciales para periodos de 5 y 10 años (MDCNPBVT-MTC, 2008).

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA¹, que relaciona el valor soporte (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE.

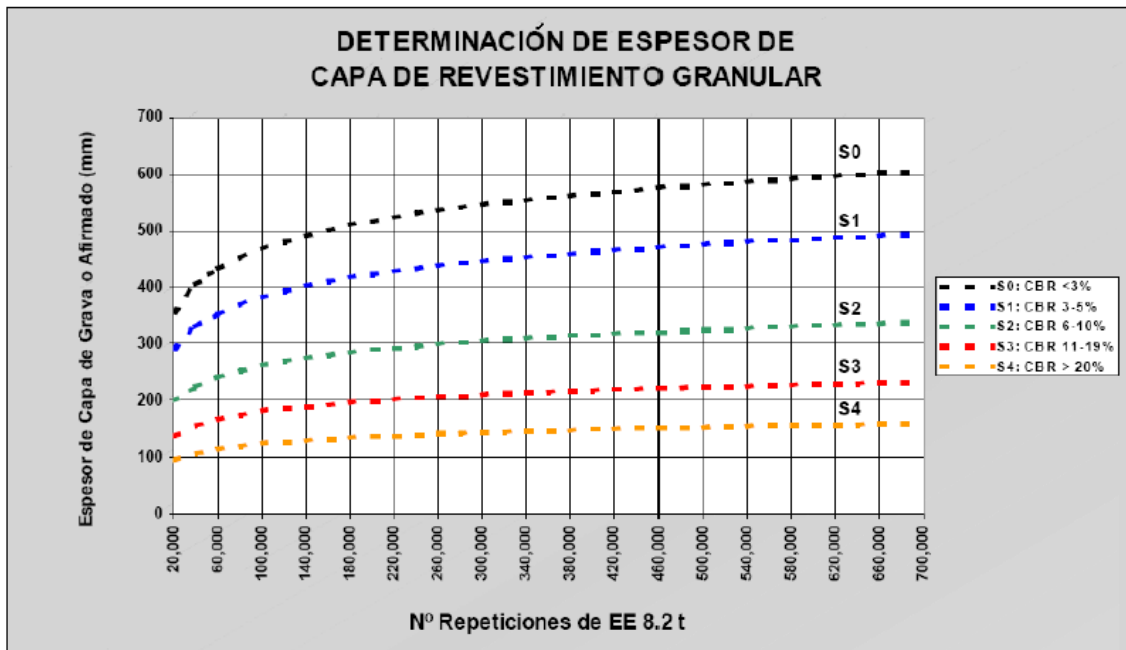


Figura 15. Espesor del afirmado (NAASRA).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

2.3.1. Pavimento

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas vehiculares provocadas por el tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada (Caballeros Torres 2006).

2.3.2. Subrasante.

La Subrasante es la capa de terreno natural de una carretera, que soporta la estructura del pavimento, se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto (Caballeros Torres 2006).

2.3.3. Base.

Es la capa de pavimento que sirve como superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la subrasante, que se encuentra en la parte inferior.

PORCENTAJE QUE PASA DEL TAMIZ	TRÁFICO T0 Y T1: TIPO 1 IMD<50 VEH.	TRÁFICO T2: TIPO 2 51 - 100 VEH.	TRÁFICO T3: TIPO 3 101 – 200 VEH.
50 mm (2")	100	100	
37.5 mm (1 ½")		95 – 100	100
25 mm (1")	50 – 80	75 – 95	90 – 100
19 mm (¾")			65 – 100
12.5 mm (½")			
9.5 mm (3/8")		40 – 75	45 – 80
4.75 mm (Nº 4)	20 – 50	30 – 60	30 – 65
2.36 mm (Nº 8)			
2.00 mm (Nº 10)		20 – 45	22 – 52
4.25 um (Nº 40)		15 – 30	15 – 35
75 um (Nº 200)	4 – 12	5 – 15	5 – 20
Índice de plasticidad	4 - 9	4 - 9	4 - 9

Tabla 9. Tipos de afirmados, para cada tipo de tráfico (MDCNPBVT- MTC, 2008).

2.3.4. CBR. (California bearing ratio)

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar.

2.3.5. Geosintéticos

Son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímeros, del tipo conocido genéricamente como plásticos que, de su forma elemental de polvos o gránulos, son convertidos en láminas, fibras, tejidos, etc (Cruz Vargas 2013).

2.3.6. Geomallas

Son materiales geosintéticos que consisten en juegos de costillas paralelas conectadas con aberturas de tamaño suficiente que permitan la trabazón del material con el que están en contacto (Koerner 2016).

2.3.7. IMDA (Índice medio diario anual)

El IMDA es el valor numérico estimado del tráfico vehicular en un determinado tramo de la red vial en un año. Es el resultado de los conteos volumétricos y clasificación vehicular en campo en una semana, y un factor de corrección que estime el comportamiento anualizado del tráfico de pasajeros y mercancías.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODO

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El presente estudio tuvo lugar en el tramo que une las localidades de Santa Cruz y Bellavista, distrito de Bellavista, Provincia de Jaén, Región Cajamarca. En las coordenadas presentadas en la siguiente tabla.

COORDENADAS UTM. WGS84 17M	NORTE	ESTE	ALTURA (m.s.n.m.)
Punto inicial (Santa Cruz)	9374743.92	0754300.43	486.17
Punto final (Bellavista)	9373465.08	0756645.84	445.24

Tabla 10. Coordenadas UTM WGS 17M de la ubicación del proyecto.

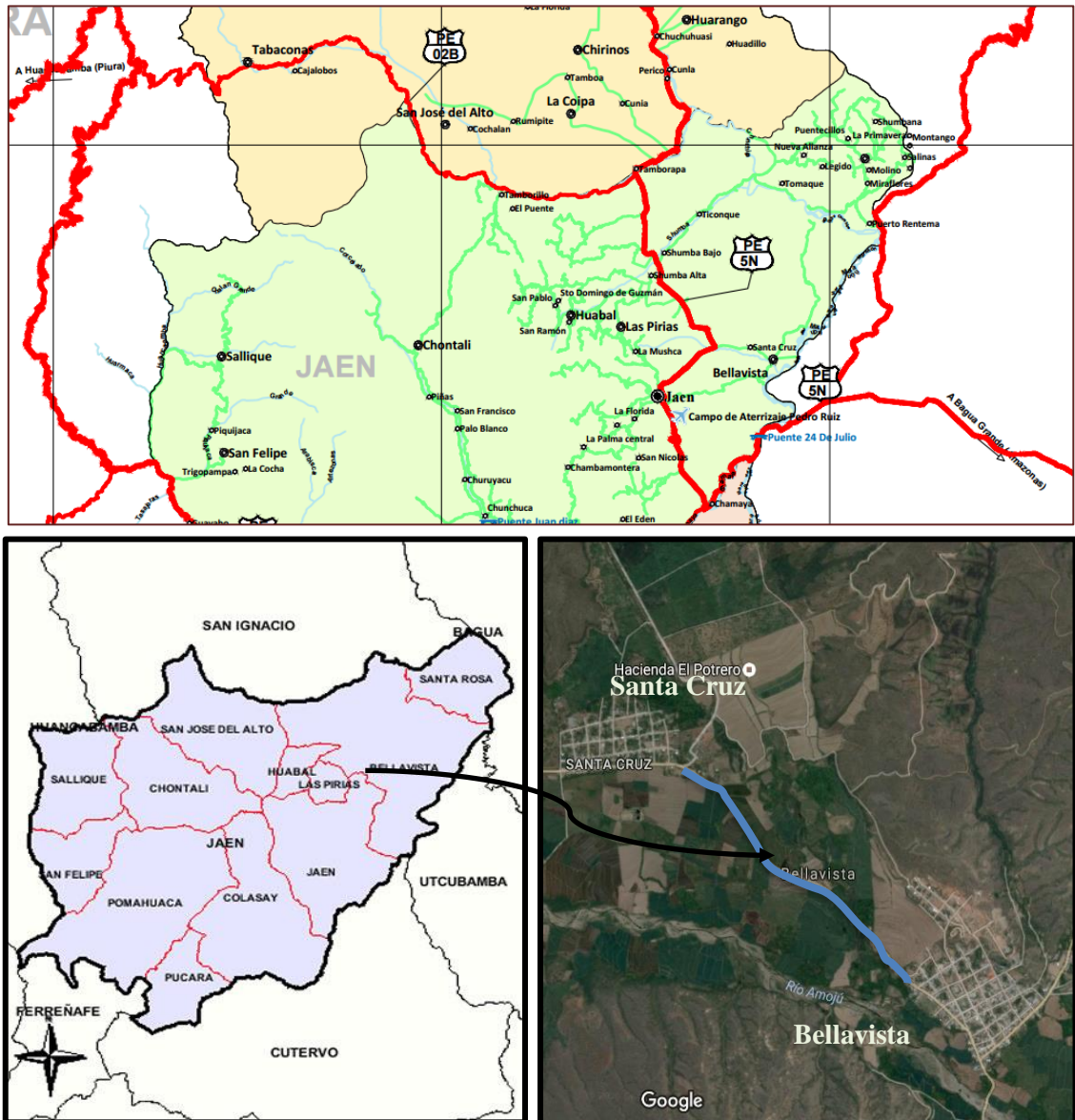


Figura 16. Ubicación geográfica del estudio (Google Earth, 2016).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación corresponde tipo aplicativo, nivel explicativo, método y diseño transversal correlacional.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó el muestreo aleatorio simple que se calculó con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 N p q}{E^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

Dónde:

n = Muestra óptima

N = Tamaño de la población (2.846 Km.)

p y q = parámetros estadísticos de la población (p = 50 y q = 50)

E = Nivel o margen de error admitido 5%, considerado por el investigador

Z = Nivel de confianza de 95%

Reemplazando valores:

$$n = \frac{(1.96)^2 2.846 \times 0.50 \times 0.50}{(0.05)^2 (2.846 - 1) + (1.96)^2 \times 0.50 \times 0.50}$$

$$n = \frac{2.7333}{0.96501}$$

$$n = 2.832 \text{ Km.}$$

De los datos obtenidos, se concluye que para un nivel de confianza al 95% se obtuvo de muestra n= 2.832 km. Por consiguiente la población y muestra en este caso se tomó misma.

Teniendo en cuenta el tipo de carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC. Considerando que la carretera es de bajo volumen de tránsito: con un IMD < 200 veh/día, se realizó 01 calicata cada 250 metros, a una profundidad de 1.50m. Por lo tanto se realizaron 13 perforaciones a lo largo de los 2.846 km. que tiene el tramo en estudio.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Técnicas de investigación

3.4.1.1. Información indirecta

Se realizó la selección de la información existente en fuentes bibliográficas como reglamentos, artículos de investigación, manuales, tesis de investigación y páginas web

de internet, para analizar temas generales sobre la investigación a realizar, recurriendo a las fuentes originales en lo posible.

3.4.1.2. Observación

La observación directa se realizó con el fin de hacer un reconocimiento general y verificar el estado actual en que se encuentra la carretera. Además de ubicar la estación donde se realizó el conteo de los vehículos.

3.4.2. Instrumentos

3.4.2.1 Formato de clasificación vehicular: Formato del MTC.

El formato me permitió recopilar la información para la clasificación vehicular, asimismo determinar el tipo de carretera, consistió en realizar el conteo vehicular desde una estación de estudio estratégicamente ubicada.

3.4.2.2. Instrumentos para la realización de calicatas.

Estos instrumentos (picos, palanas, barretas) se utilizaron para la realización de calicatas, las cuales fueron excavadas cada 500 m. a una profundidad de 1.5m, en un área aproximada de 1.05 m². (0.7m x 1.5m.), y sirvieron para recolectar una muestra de suelo, para determinar sus propiedades en el laboratorio de mecánica de suelos.

3.5. METODOLOGÍA

3.5.1 Procedimiento para el desarrollo de la investigación

3.5.1.1 Diseño convencional

3.5.1.1.1 Recopilación de información: determinación de la estación de estudio y llenado del formato.

El desarrollo de la investigación se inició con la recopilación de datos, para ello se estableció una estación de estudio o conteo en un punto del tramo, siendo este un lugar que se considere seguro. Luego se empezó a tomar nota en los formatos respecto del número y tipo de vehículos que circulaban en una y otra dirección, señalándose la hora en la que pasaba el vehículo por la estación. Los conteos se realizaron las 24 horas corridas. Pero en este caso que se tuvo conocimiento de la hora de mayor demanda, se

contó por un periodo no menor de 12 horas, siendo el horario de conteo de: 6.00 AM.- 6.00 PM. Durante una semana.

De esta manera se totalizaron los conteos por horas, por volúmenes, por clases de vehículos, por sentido. Determinando la demanda por sentido, en ambos sentidos y la hora de máxima demanda. Ver anexo 01



Figura 17. Conteo de los vehículos, según los formatos del MTC.

3.5.1.1.2. Cálculo de Índice medio diario (IMD)

El tráfico medio diario viene a ser el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado igual o menor a un año, dividido entre el número de días del periodo.

A partir de los datos obtenidos en los conteos y clasificación vehicular en campo, se procedió a analizar la consistencia de la misma.

3.5.1.1.3. Cálculo del tráfico medio diario semanal. (IMDS)

El índice medio diario semanal, se obtiene a partir del volumen diario registrado en el conteo vehicular, aplicando la siguiente fórmula:

$$IMDS = \Sigma Vi/7$$

Dónde: Vi= Volumen vehicular diario de cada uno de los 7 días de conteo.

CLASIFICACIÓN VEHICULAR

CARRETERA:	SANTA CRUZ- BELLAVISTA	ESTACIÓN:	BELLAVISTA
SENTIDO:	AMBOS	CODIGO EST.:	E-01






HORA	AUTO	CAMIONETAS		CAMION		TOTAL (IMDS) Veh./día	PORC. %
		PICKUP	RURAL Combi	2E	3E		
DIAGRA.							
VEH							
LUNES	64	39	21	20	8	22	12.59%
MARTES	60	42	18	21	8	21	12.43%
MIÉRCOLES	69	46	41	21	8	26	15.33%
JUEVES	67	48	43	21	6	26	15.33%
VIERNES	68	47	45	23	5	27	15.58%
SABADO	66	49	41	23	4	26	15.16%
DOMINGO	65	65	12	17	5	23	13.59%
TOTAL	65.5	48	32.5	21	6	172	
%	38%	28%	18%	12%	4%		100%
IMDs	145			27			

Tabla 11. Cálculo del IMDs. (Elaboración propia)

3.5.1.1.4. Cálculo del índice medio diario anual (IMDA)

Se obtiene a partir de la multiplicación del IMDS por el factor de corrección estacional (FC). El factor de corrección estacional es un valor que tiene como finalidad eliminar las variaciones del comportamiento del tránsito a lo largo de un año.

Los factores de corrección estacional se calculan tomando en cuenta una serie histórica anual completa de un año y para este estudio se ha tomado en cuenta los datos de las estaciones de peaje más próxima, como es el caso de Pucará del cual se tiene información completa. Se consideró un factor de corrección promedio para vehículos ligeros y pesados del año 2000-2010, proporcionados por PROVIAS NACIONAL.

$$\text{F.C. veh. ligeros} = 1.0146072$$

$$\text{F.C. veh. pesados} = 1.0139288$$

- Vehículos ligeros: $145 \times 1.0146072 = 147.12$ veh/día
- Vehículos pesados: $27 \times 1.0139288 = 27.37$ veh/día

3.5.1.1.5. Proyección del tránsito futuro

La carretera se diseña para un volumen de tránsito que se determina por la demanda diaria que cubrirá, calculando como el número de vehículos promedio que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual, que está determinada por el MTC. Para diversas zonas del país. En este estudio, compuesto básicamente por unidades ligeras y vehículos pesados, se ha considerado como tasa de crecimiento del tráfico ligero a la proyección de la tasa de crecimiento poblacional del periodo 2010-2015 del departamento de Cajamarca, y como tasa de crecimiento del tráfico pesado a la proyección de la tasa anual departamental del producto bruto interno del periodo 2007/2014 del departamento de Cajamarca.

Tasa de crecimiento anual para vehículos ligeros : 0.90 %

Tasa de crecimiento anual para vehículos pesados : 4.70 %

PROYECCIÓN DE TRÁFICO IMD (Veh/día)

Tasa de crecimiento poblacional (%)=	0.9
Tasa de crecimiento PBI departamental (%)=	4.7
Periodo de diseño (años)=	10

TIPO DE VEHICULOS	PROMEDIO DIARIO		TASA DE	IMD
	IMD	DISTRIB (%)	CREC. (%)	PROYECTADO
Autos	65.5	38.05	0.90	71
Camionetas Pick Up	48	27.88	0.90	52
Camioneta Rural	31.5	18.30	0.90	34
Camión 2 E	21	12.12	4.70	32
Camión 3E	6	3.65	4.70	10
TOTAL	172	99.99		198

IMD proy. = 198 veh/día

Tabla 12. Proyección del tráfico (Elaboración propia).

Luego se procedió a calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes (EE) para el periodo de diseño, para su cálculo se tomó en cuenta la metodología AASHTO, que representa el deterioro que causa en la capa de rodadura un eje simple cargado con 8.16 toneladas. Para el cálculo de los factores destructivos se toma en cuenta las siguientes relaciones.

TIPO DE EJE	EJE EQUIVALENTE EE 8.2 tn.
Eje simples de rueda simples	$[P/6.6]^4$
Eje simple de rueda doble	$[P/8.16]^4$
eje tandem de rueda doble	$[P/15.1]^4$
eje tridem de rueda doble	$[P/22.9]^4$
P= peso por eje en toneladas	

Tabla 13. Cálculo de factores destructivos (AASHTO).

TIPO DE VEHÍCULO	LONGITUD (m)	CARGA POR EJE (Tn)				PESO BRUTO MAXIMO	EJE EQUIVALENTE
		EJE DELANTERO		EJE 1			
		CARGA	EJE. EQUIV.	CARGA	EJE. EQUIV.		
CAMIONES SIMPLES							
C2 E	12.3	7	1.2653667	11	3.302251	18	4.5676177
C3 E	13.2	7	1.2653667	18	2.019213	25	3.2845797

Tabla 14. Cálculo de factores destructivos o carga (Elaboración propia).

Para el cálculo de EE de 8.2 t. se tomó en cuenta las siguientes expresiones por tipo de vehículo pesado. El resultado final es la sumatoria de los tipos de vehículos pesados considerados.

$$N_{rep. \text{ de EE}_{8.2T}} = \Sigma [EE_{\text{dia-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}] / (t)$$

3.5.1.1.6. Realización de calicatas.

En el presente estudio se realizaron calicatas cada 250 metros en la subrasante, a una profundidad de 1.50m, las mismas que están identificadas con su respectivas coordenadas y progresiva, tal y como se muestra en la tabla 15 y se aprecia en la Figura 18 y 19, esto con la finalidad de obtener muestras de suelo para realizar ensayos determinando sus propiedades fundamentales: como su granulometría, plasticidad, equivalente de arena, humedad natural y su clasificación de suelos.

CALICATA	MUESTRAS	PROGRESIVA (Km)	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
			NORTE	ESTE	
C - 1	M - 1	00 + 000	9374743.922	754300.43	1.50
C - 2	M - 1	00 + 250	9374757.719	754549.11	1.50
C - 3	M - 1	00 + 500	9374772.861	754799.38	1.50
C - 4	M - 1	00 + 750	9374783.118	755058.79	1.50
C - 5	M - 1	01 + 000	9374703.811	755280.81	1.50
C - 6	M - 1	01 + 250	9374552.798	755475.01	1.50
C - 7	M - 1	01 + 500	9374346.261	755615.86	1.50
C - 8	M - 1	01 + 725	9374156.519	755760.06	1.50
C - 9	M - 1	02 + 000	9374055.06	755998.21	1.50
C - 10	M - 1	02 + 250	9373924.78	756218.53	1.50
C - 11	M - 1	02 + 500	9373757.449	756387.75	1.50
C - 12	M - 1	02 + 750	9373575.099	756558.22	1.50
C - 13	M - 1	02 + 846	9373465.08	756645.84	1.50

Tabla 15. Cuadro de calicatas realizadas (Elaboración propia).

Una vez que se clasificaron los suelos por el sistema AASHTO para carreteras con tránsito menor a 200 vehículos por día, se elaboró un perfil estratigráfico identificando sectores homogéneos a partir del cual se determinó los suelos que controlan el diseño; como resultado se obtuvo cuatro sectores homogéneos, para el ensayo de CBR se tomó en cuenta el tipo de suelo más desfavorable, siendo el que determinará su diseño, como se muestra en la tabla 16.

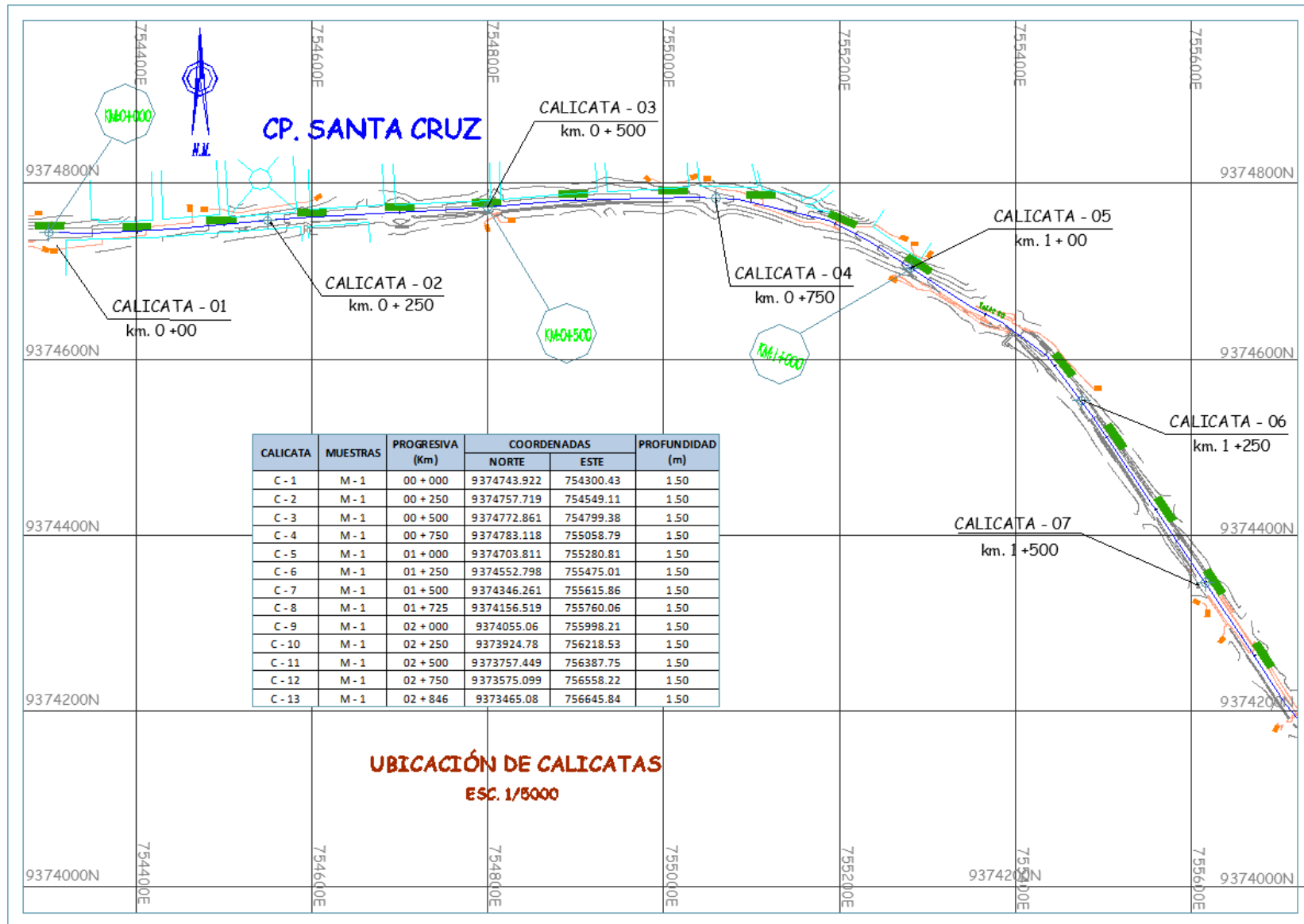


Figura 18. Ubicación en planta de las calicatas (Elaboración propia).

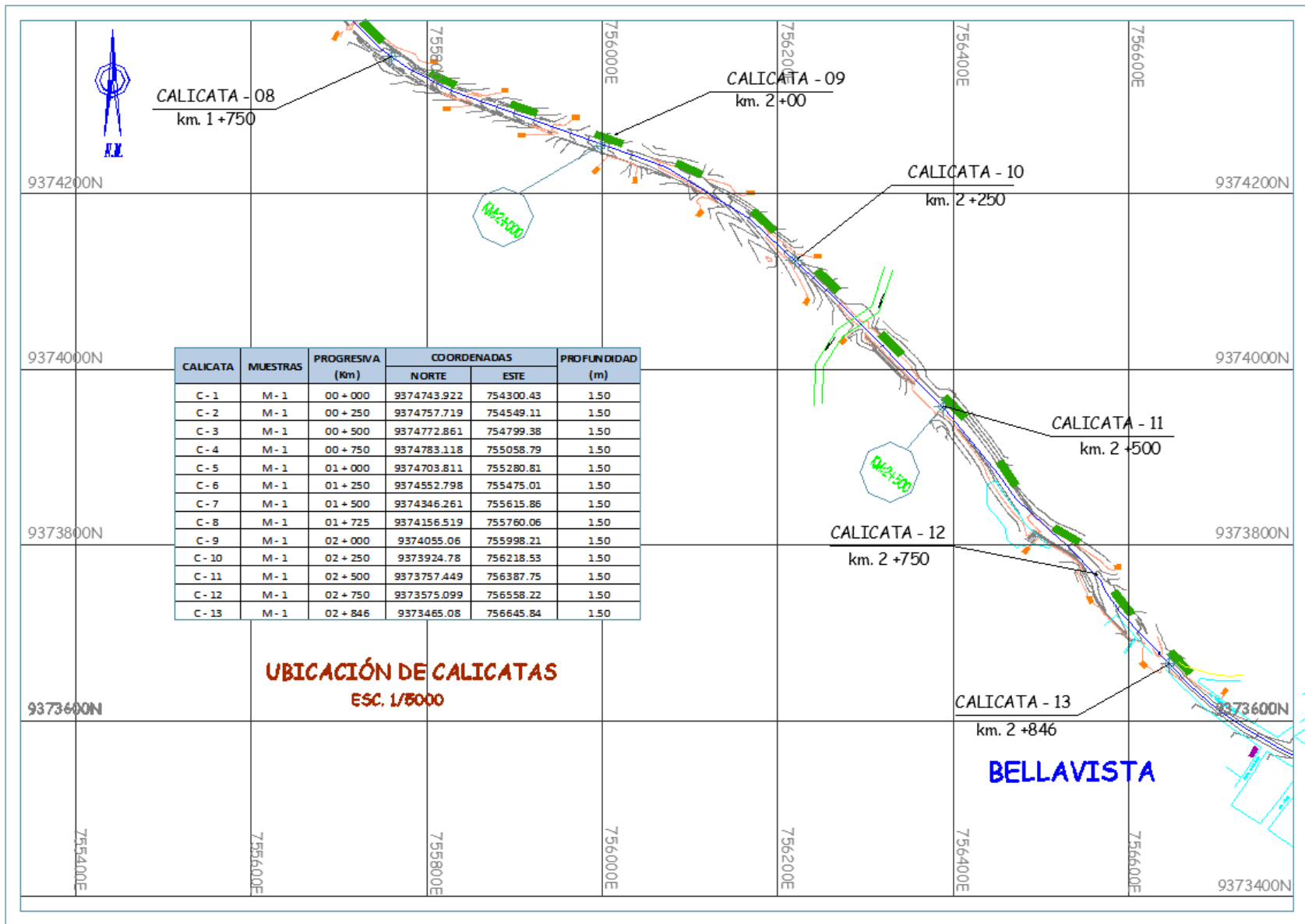


Figura 19. Ubicación en planta de las calicatas (Elaboración propia).

CUADRO GEOTÉCNICO ESPECIAL

PROGRESIVA Km.	CALICATA	CALICATA Nº	PROFUNDIDAD DE CALICATA m.	CLASIFICACION DEL SUELO A.A.S.H.T.O M 145	INDICE DE GRUPO A.A.S.H.T.O M 145 IG	CLASIFICACION DEL SUELO S.U.C.S. A.S.T.M. D 2487	DENSIDAD SECA A.S.T.M. D 2937 A.A.S.H.T.O. T 191 Ds (gr/cm ³)	PORCENTAJE DE COMPACTACION DEL ESTRATO (%)	PROCTOR MODIFICADO A.S.T.M. D 1557		C.B.R. (95 - 100 % M.D.S.)	CALIDAD GENERAL COMO SUB RASANTE
									DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm ³)	CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD (%)		
00 + 000	C - 1	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	GM	2.08	97	2.146	6.40	14.40	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 4	2	SM - SC	1.43	77	1.850	14.70	2.55	INADECUADA
00 + 250	C - 2	M´	0.00 - 0.40	A - 2 - 4	0	SM	1.91	85	2.240	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.40 - 1.50	A - 4	1	SC	1.45	-	-	-	-	REGULAR
00 + 500	C - 3	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	SM	1.91	85	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	SM - SC	1.51	-	-	-	-	REGULAR
00 + 750	C - 4	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	SM	1.97	88	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	9	ML	1.37	-	-	-	-	REGULAR
01 + 000	C - 5	M´	0.00 - 0.20	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.94	87	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.20 - 1.50	A - 2 - 4	0	SM - SC	1.53	79	1.92	11.80	6.45	REGULAR
01 + 250	C - 6	M´	0.00 - 0.20	A - 2 - 4	0	SM	1.95	87	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.20 - 1.50	A - 2 - 4	0	GC	1.36	-	-	-	-	REGULAR
01 + 500	C - 7	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	GP - GM	1.95	87	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	GC	1.49	-	-	-	-	REGULAR

01 + 750	C - 8	M´	0.00 - 0.20	A - 2 - 4	0	GM	2.03	94	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.20 - 1.50	A - 2 - 4	0	SC - SM	1.34	-	-	-	-	REGULAR
02 + 000	C - 9	M´	0.00 - 0.40	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.96	91	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.40 - 1.50	A - 2 - 4	0	SM	1.66	92	1.812	12.80	6.50	REGULAR
02 + 250	C - 10	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.96	91	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	SM	1.59	-	-	-	-	REGULAR
02 + 500	C - 11	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.89	88	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	GP - GM	1.80	-	-	-	-	REGULAR
02 + 750	C - 12	M´	0.00 - 0.35	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.89	87	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.35 - 1.50	A - 4	8	ML	1.56	95	1.642	18.20	2.20	INADECUADA
02 + 846	C - 13	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	GM	1.99	93	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 4	3	ML	1.42	-	-	-	-	POBRE

Tabla 16. Clasificación de suelos y obtención del CBR de diseño.

3.5.1.1.7 Determinación del espesor de la capa granular

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó la ecuación del método NAASRA, que relaciona el valor soporte del suelo CBR y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE.

A) Primer tramo Km. 0+00 AL Km. 0+ 500.

A.1) Parámetros de diseño.

IMDA (C2E)	: 21 veh. /día
IMDA (C2E)	: 6 veh. /día
Factores de carga (C2E)	: 4.56617
Factores de carga (C3E)	: 3.284579
t: tasa de proyección del tráfico (%)	: 0.047 %
n: Periodo de diseño (Años)	: 10 años
Factor direccional	: 0.50
Factor carril	: 1.0
Factor presión llantas	: 1.0

A.2. Propiedades de la subrasante

CBR (%)	: 2.55 %
---------	----------

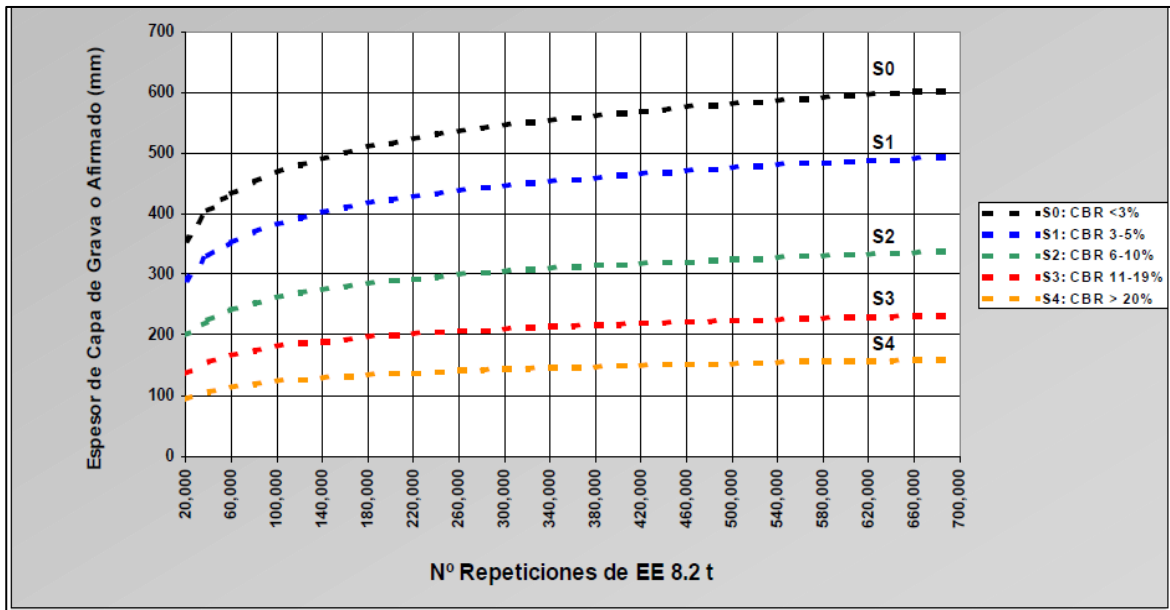
A.3. Cálculo del número de repeticiones de EE 8.2 tn.

EE = IMDA según tipo x Factor de carga x Factor de presión de llantas

$EE_{\text{dia-carril}} = EE \times \text{Factor direccional} \times \text{Factor carril}$

$N_{\text{rep. de EE}_{8.2T}} = \sum [EE_{\text{dia-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}] / (t) \quad : 261731.601 = 2.6 \times 10^5$

A.4. Cálculo del espesor de la capa granular.



Espesor del afirmado = 530 mm.

B) Segundo tramo Km. 0+500 AL Km. 1+ 500.

B.1) Parámetros de diseño.

IMDA (C2E) : 21 veh. /día

IMDA (C2E) : 6 veh. /día

Factores de carga (C2E) : 4.56617

Factores de carga (C3E) : 3.284579

t: tasa de proyección del tráfico (%) : 0.047 %

n: Periodo de diseño (Años) : 10 años

Factor direccional : 0.50

Factor carril : 1.0

Factor presión llantas : 1.0

B.2. Propiedades de la subrasante

CBR (%) : 6.45 %

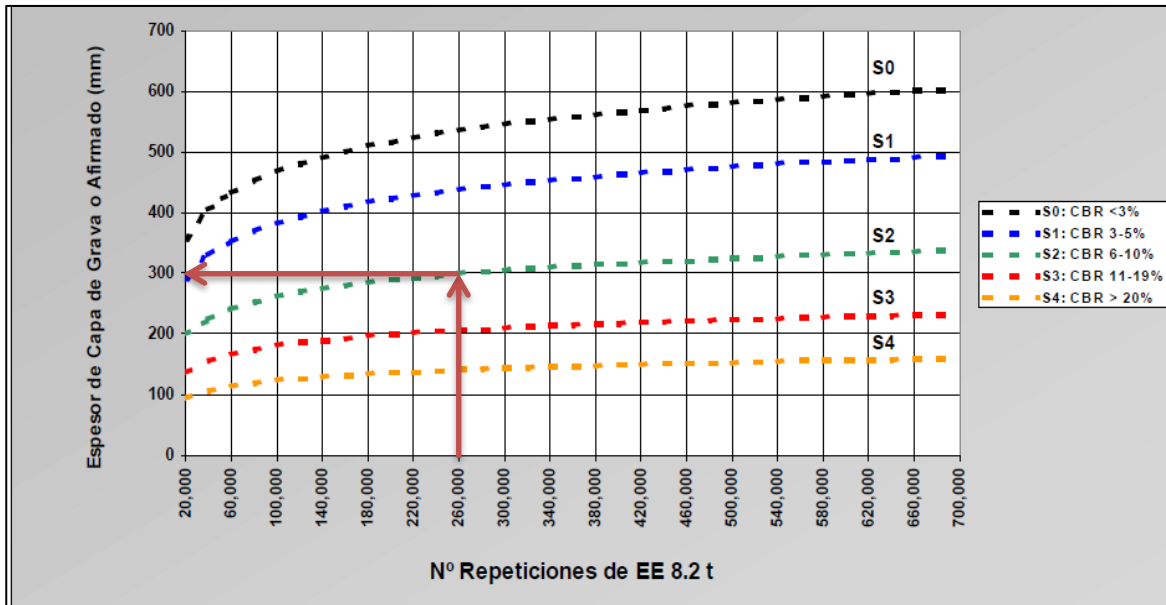
B.3. Cálculo del número de repeticiones de EE 8.2 tn.

EE = IMDA según tipo x Factor de carga x Factor de presión de llantas

EE_{dia-carril} = EE x Factor direccional x Factor carril

Nrep. de EE_{8.2T} = $\Sigma[EE_{\text{dia-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}] / (t)$: 261731.601 = 2.6 x 10⁵

B.4. Cálculo del espesor de la capa granular.



Espesor del afirmado = 300 mm.

C) Tercer tramo Km. 1+500 AL Km. 2+ 250.

C.1) Parámetros de diseño.

IMDA (C2E) : 21 veh. /día

IMDA (C2E) : 6 veh. /día

Factores de carga (C2E) : 4.56617

Factores de carga (C3E) : 3.284579

t: tasa de proyección del tráfico (%) : 0.047 %

n: Periodo de diseño (Años) : 10 años

Factor direccional : 0.50

Factor carril : 1.0

Factor presión llantas : 1.0

C.2. Propiedades de la subrasante

CBR (%) : 6.50 %

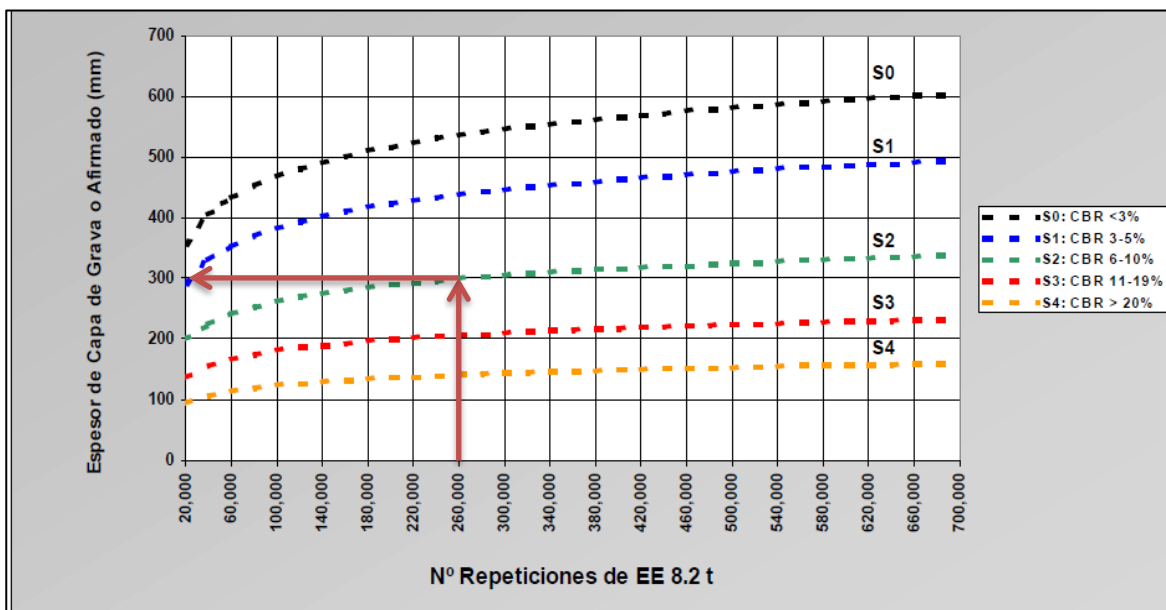
C.3. Cálculo del número de repeticiones de EE 8.2 tn.

EE = IMDA según tipo x Factor de carga x Factor de presión de llantas

$EE_{\text{dia-carril}} = EE \times \text{Factor direccional} \times \text{Factor carril}$

$N_{\text{rep. de EE}_{8.2T}} = \Sigma[EE_{\text{dia-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}] / (t) : 261731.601 = 2.6 \times 10^5$

C.4. Cálculo del espesor de la capa granular.



Espesor del afirmado = 300 mm.

D) Cuarto tramo Km. 2+250 AL Km. 2+ 846.

D.1) Parámetros de diseño.

IMDA (C2E) : 21 veh. /día

IMDA (C2E) : 6 veh. /día

Factores de carga (C2E) : 4.56617

Factores de carga (C3E) : 3.284579

t: tasa de proyección del tráfico (%) : 0.047 %

n: Periodo de diseño (Años) : 10 años

Factor direccional : 0.50

Factor carril : 1.0

Factor presión llantas : 1.0

D.2. Propiedades de la subrasante

CBR (%) : 2.20 %

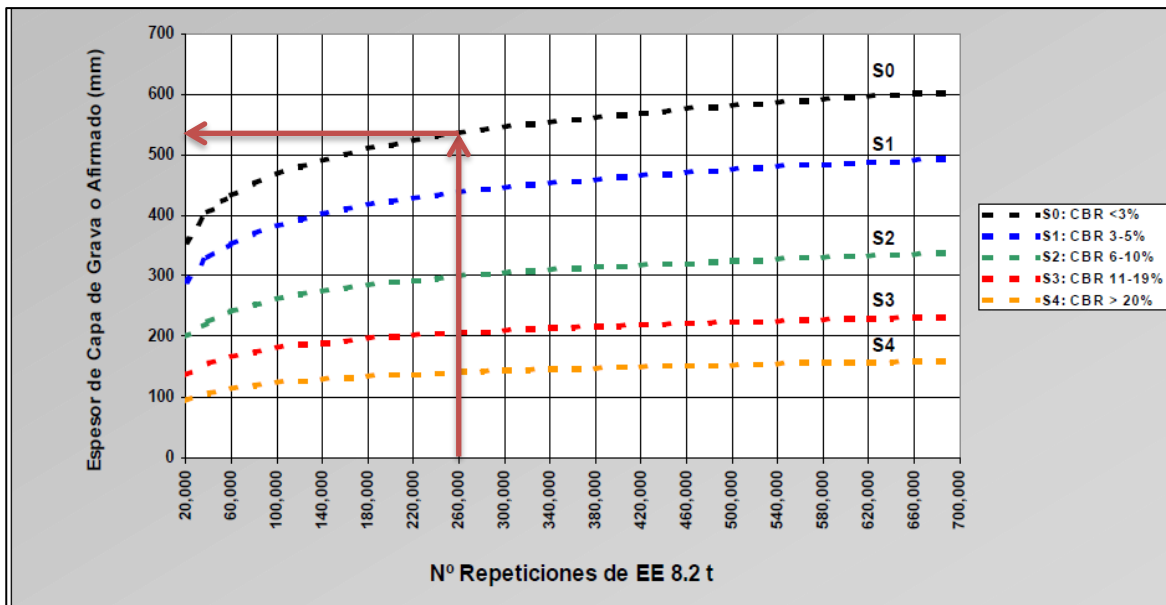
D.3. Cálculo del número de repeticiones de EE 8.2 tn.

EE = IMDA según tipo x Factor de carga x Factor de presión de llantas

$EE_{\text{dia-carril}} = EE \times \text{Factor direccional} \times \text{Factor carril}$

$N_{\text{rep. de EE}_{8.2T}} = \sum [EE_{\text{dia-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}] / (t) : 261731.601 = 2.6 \times 10^5$

D.4. Cálculo del espesor de la capa granular.



Espesor del afirmado = 530 mm.

3.5.1.2. Diseño de la carretera con geomalla

3.5.1.2.1. Determinación de la resistencia al corte del suelo (C).

Lo primero que se hizo fue determinar las condiciones de diseño del terreno natural, que se determinó realizando perforaciones (calicatas) para obtener una muestra de suelo y mediante un ensayo determinar el valor del CBR en laboratorio. Luego con los resultados de resistencia del suelo del CBR, se determinó la resistencia al corte (C) apoyándose en la Figura 6.

3.5.1.2.2.- Determinación del tráfico de diseño

Se debe tener en cuenta el vehículo más pesado de la composición del tránsito, ya sea que se defina como carga de una sola rueda, una carga de doble rueda, o cargas de ruedas tándem.

El peso combinado del mecanismo seleccionado, se utilizó como peso del vehículo de diseño. Por ejemplo, utilizar la mitad de la carga del eje de una o dos ruedas de vehículo con un solo eje. Para vehículos de varios ejes, se usó un medio de la carga total sobre los dos ejes más cercanos y más pesados.

De acuerdo a la clasificación vehicular presentada en el punto **3.5.1.1.1** los vehículos más pesados son los camiones de tipo 2E Y 3E.

3.5.1.2.3. Determinación del factor de capacidad portante reforzada (Nc).

Tanto los factores de capacidad de soporte no reforzada y reforzada se determinaron utilizando datos empíricos de gran escala ERDC (Equipo de Carga Simulada) de secciones de prueba. El factor de capacidad portante No reforzada (Nc) es de 2.8. El factor de capacidad con refuerzo utilizando geotextil es de 5.0. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que este factor debe ser reducido a aproximadamente 3.6 para diseños conservadores. El factor de capacidad (Nc), cuando se utiliza un geotextil separador y geomalla de refuerzo es de 5,8.

En este estudio se tomó en cuenta los factores de capacidad de carga presentados por USACE, el cual establece que para CBR con valores de $2.0 < CBR < 4.0$ se utilizará un factor de capacidad de $N_c = 5.8$.

3.5.1.2.4. Determinación del espesor total requerido

Este se determinó utilizando las figuras 12 a 14 para una sola rueda, rueda doble y equipo de ruedas de carga en tándem, respectivamente. La capacidad de soporte del subsuelo (CNc) se determinó multiplicando la resistencia al corte (C) en psi por el factor de capacidad de soporte apropiado (Nc). Luego en la curva de diseño apropiada de las figuras 12 a 14, se introdujo el valor de la capacidad de terreno natural (CNc) en el eje X. Luego se trazó una línea vertical desde la capacidad de soporte del terreno natural a la curva de diseño adecuado del peso. A continuación una línea horizontal se proyectó desde ese punto de intersección con el espesor total requerido en pulgadas en el eje Y. La suma requerida del espesor total de caminos sin pavimentar se obtuvo redondeándose a la pulgada más alta siguiente.

A) Primer tramo Km. 0+000 AL Km. 0+ 500.

A.1. Parámetros de diseño.

TRÁFICO DE DISEÑO (Camión C3E- EJE TANDEM), Se utilizará en este caso el modelo Militar M172A1, 25 ton. Semitrailer, El mismo que se acerca más a las características del camión de diseño C3E.

Carga por diseño de la rueda (libras) : 42000 lbs.

Factor de capacidad de carga reforzada (Nc) : 3.60

Factor de capacidad de carga no reforzada (Nc) : 2.80

A.2. Propiedades de la subrasante.

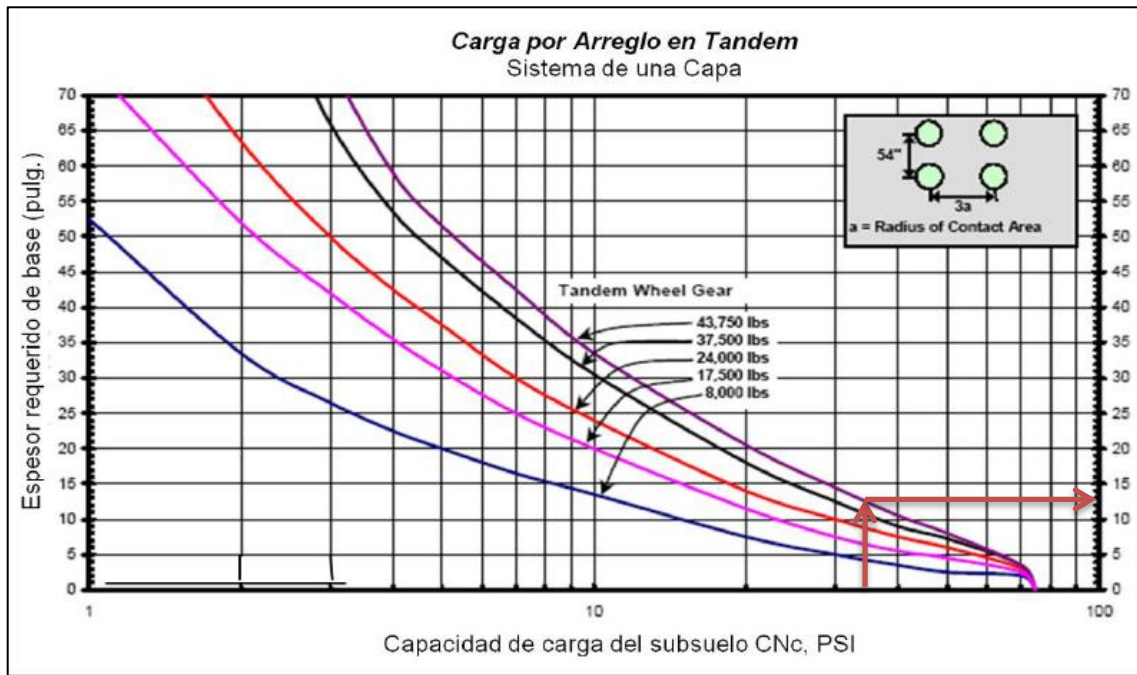
CBR (%) : 2.55 %

Resistencia al corte (C) : 9.6 psi

A.3. Cálculo de la capacidad de soporte del suelo.

$CNc = C \times Nc$: 34.56 psi

A.4. Cálculo del espesor de la capa granular.



Espesor del afirmado : 12 pulg. = 30.48cm.

B) Segundo tramo Km. 0+500 AL Km. 1+ 500.

B.1. Parámetros de diseño.

TRÁFICO DE DISEÑO (Camión C3E- EJE TANDEM), Se utilizará en este caso el modelo Militar M172A1, 25 ton. Semitrailer, El mismo que se acerca más a las características del camión de diseño C3E.

Carga por diseño de la rueda (libras) : 42000 lbs

Factor de capacidad de carga reforzada (Nc) : 3.60

Factor de capacidad de carga no reforzada (Nc) : 2.80

B.2. Propiedades de la subrasante.

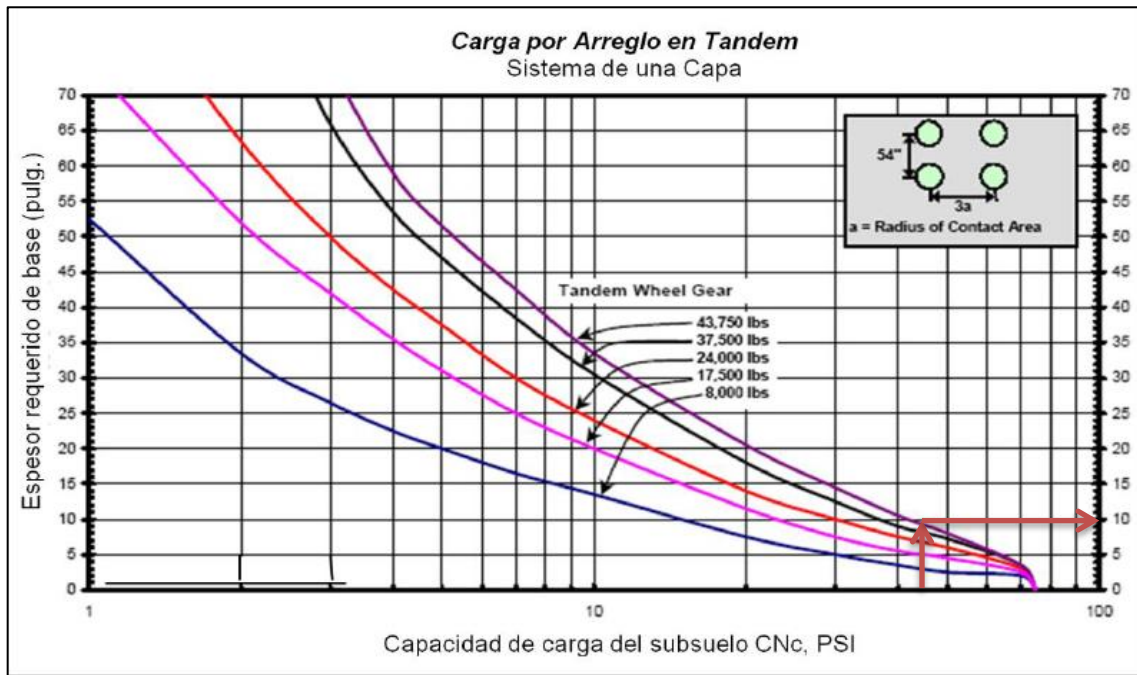
CBR (%) : 6.45 %

Resistencia al corte (C) : 13 psi

B.3. Cálculo de la capacidad de soporte del suelo.

$CNc = C \times Nc$: 46.8 psi

B.4. Cálculo del espesor de la capa granular.



Espesor del afirmado : 9.5 pulg. $\equiv 10'' = 25.40\text{cm}$.

C) Tercer tramo Km. 1+500 AL Km. 2+ 250.

C.1. Parámetros de diseño.

TRÁFICO DE DISEÑO (Camión C3E- EJE TANDEM), Se utilizará en este caso el modelo Militar M172A1, 25 ton. Semitrailer, El mismo que se acerca más a las características del camión de diseño C3E.

Carga por diseño de la rueda (libras) : 42000 lbs.

Factor de capacidad de carga reforzada (Nc) : 3.60

Factor de capacidad de carga no reforzada (Nc) : 2.80

C.2. Propiedades de la subrasante.

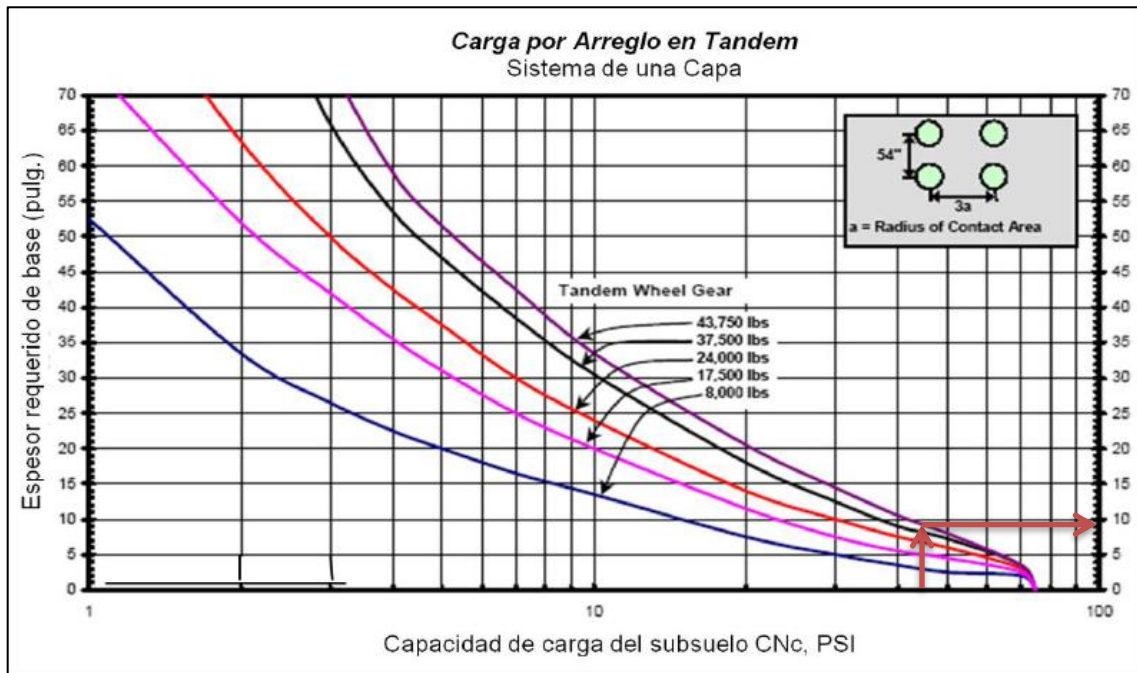
CBR (%) : 6.50 %

Resistencia al corte (C) : 13 psi

C.3. Cálculo de la capacidad de soporte del suelo.

$CNc = C \times Nc$: 46.8 psi

C.4. Cálculo del espesor de la capa granular.



Espesor del afirmado : 9.5 pulg. $\equiv 10'' = 25.4\text{cm.}$

D) Cuarto tramo Km. 2+250 AL Km. 2+ 846.

D.1. Parámetros de diseño.

TRÁFICO DE DISEÑO (Camión C3E- EJE TANDEM), Se utilizará en este caso el modelo Militar M172A1, 25 ton. Semitrailer, El mismo que se acerca más a las características del camión de diseño C3E.

Carga por diseño de la rueda (libras) : 42000 lbs.

Factor de capacidad de carga reforzada (Nc) : 3.60

Factor de capacidad de carga no reforzada (Nc) : 2.80

D.2. Propiedades de la subrasante.

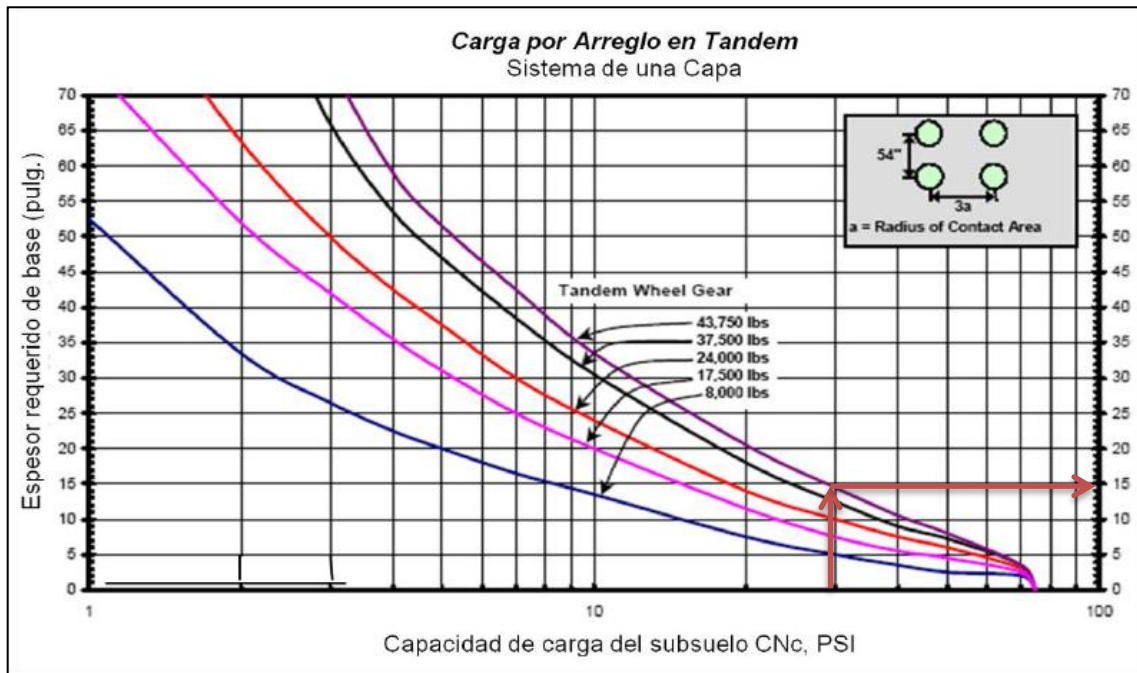
CBR (%) : 2.20 %

Resistencia al corte (C) : 8.25 psi

D.3. Cálculo de la capacidad de soporte del suelo.

$CNc = C \times Nc$: 29.7 psi.

D.4. Cálculo del espesor de la capa granular.



Espesor del afirmado : 14.5 pulg. \equiv 15" = 38.10cm.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla 17 se puede apreciar el resumen de los espesores de la capa de afirmado obtenidos para ambas alternativas, cabe señalar que para el diseño con geomalla, los resultados que no fueron de valor entero, se aproximaron al siguiente valor entero.

TRAMO EN ESTUDIO	DISEÑO CONVENCIONAL	DISEÑO CON REFUERZO DE GEOMALLA	DIFERENCIA DE ESPESORES (cm)
	Espesor del afirmado (cm)	Espesor del afirmado (cm)	
Km. 0+00 al Km. 0+500	53.00	(12") 30.48	22.52
Km. 0+500 al Km. 1+500	30.00	(10") 25.40	4.60
Km. 1+500 al Km. 2+250	30.00	(10") 25.40	4.60
Km. 2+250 al Km. 2+846	53.00	(15") 38.10	14.90

Tabla 17. Cuadro de resumen de resultados obtenidos.

4.2. EVALUACIÓN TÉCNICA

Para este caso se evalúa el desempeño de las secciones finales obtenidas en función de los parámetros de diseño inicial.

En la tabla 17 podemos apreciar el espesor final para cada caso de diseño, se puede ver que hay una reducción en los espesores de las secciones reforzadas respecto a la sección no reforzada en cada caso.

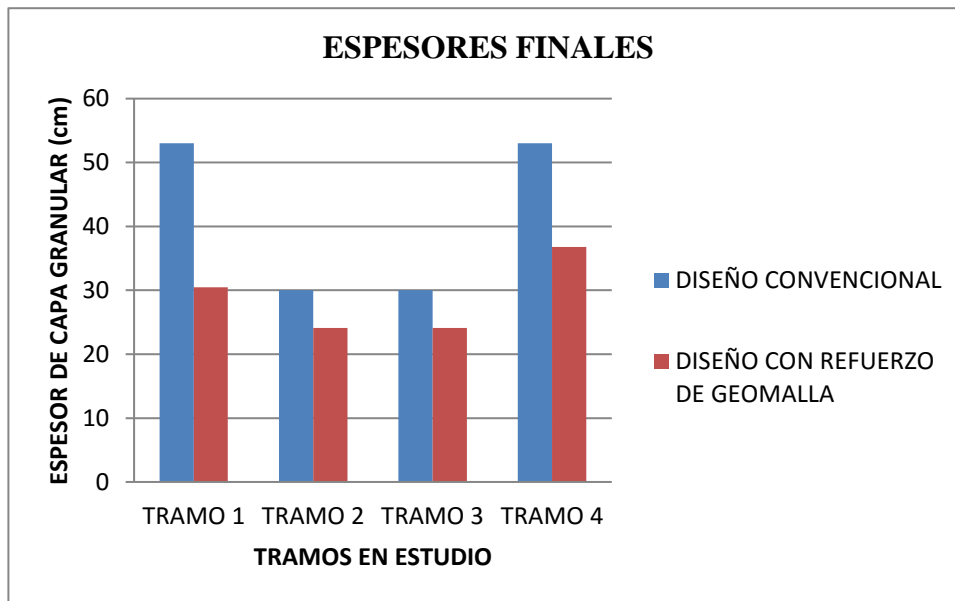


Figura 20. Espesores finales de capa granular para cada tramo analizado.

Esta diferencia se puede apreciar mejor en la Figura 21 donde se muestra la reducción del espesor de la capa de afirmado expresado como un porcentaje del espesor inicial de la sección no reforzada.

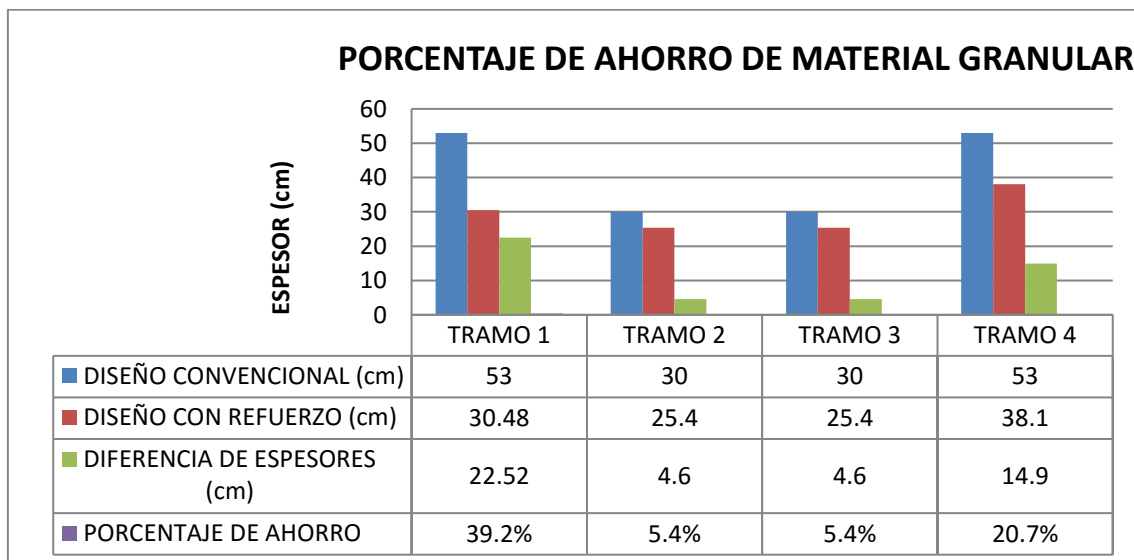


Figura 21. Porcentaje de ahorro de material granular.

4.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica se realizó teniendo en cuenta, por un lado, los insumos involucrados en las alternativas planteadas y por otro, el costo total de la construcción de los tramos (reforzados y no reforzados). Para hacer la primera evaluación

consideramos como insumos el material granular necesario para conformar el espesor requerido en cada tramo de diseño y el material de refuerzo a colocar.

Se consideró un ancho de 6 metros. Además se tomó en cuenta no solo el costo de los insumos sino el de su colocación. Para esto consideré los costos unitarios de las partidas involucradas: Extendido, riego y compactación de la capa de afirmado y suministro e instalación de geomalla multiaxial, con los cuales se calculó los costos totales por tramo. En la Tabla 18 se puede apreciar el costo total para cada tramo de diseño considerado, Los análisis de costos unitarios detallados pueden verse en el anexo 04.

TRAMO DE DISEÑO	NO REFORZADO	REFORZADO
	COSTO TOTAL S/.	COSTO TOTAL S/.
Km. 0+00 al km. 0+500	S/. 104,925.37	S/. 79,243.83
Km. 0+500 al km. 1+500	S/. 118,783.44	S/. 138,373.66
Km. 1+500 al km. 2+250	S/. 89,087.58	S/. 103,780.24
Km. 2+250 al km. 2+846	S/. 125,071.04	S/. 112,440.55
TOTAL	S/. 437,867.44	S/. 433,838.3

Tabla 18. Costos totales por tramo de diseño reforzado y no reforzado.

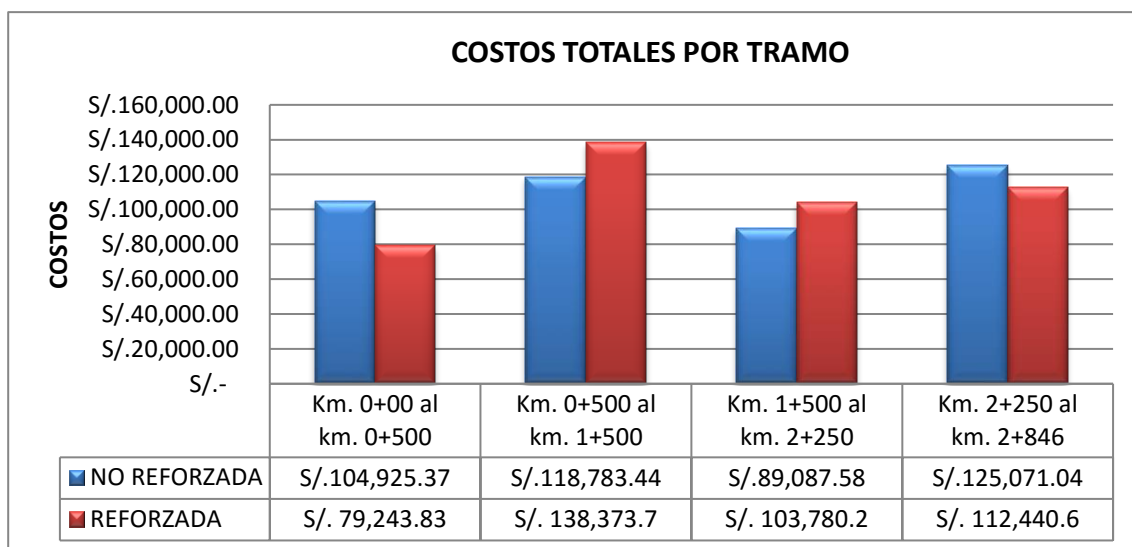


Figura 22. Costos totales por tramo de diseño reforzado y no reforzado.

4.4. DISCUSIÓN

- Los resultados obtenidos en esta investigación, muestran que efectivamente hay una reducción del espesor de la capa granular aplicando el refuerzo con

geomalla multiaxial. Con respecto a lo mencionado anteriormente se puede verificar que los resultados concuerdan con lo investigado por Caballeros Torres E.A. quien concluye que la introducción de la geomalla en la estructura del pavimento flexible reduce los espesores de las capas que la conforman.

Así mismo confirman que los espesores obtenidos en las secciones no reforzadas son mayores en todos los casos a los espesores obtenidos en las secciones reforzadas, siendo en promedio un 35% mayor para el caso de geomallas, tal y como lo concluye en su investigación Orrego Cabanillas D.A. (2014)

Por otro lado, los resultados muestran que si hay una reducción de los costos utilizando la geomalla multiaxial, estas mejoras en los costos se dan en los tramos cuyos suelos tienen un CBR del 2.20 al 2.55 %, confirmando que la introducción de la geomalla en la estructura del pavimento reduce los costos de ejecución tal y como lo concluye en su investigación Caballeros Torres E.A. (2006).

- Los resultados también muestran que en los tramos donde el CBR del suelo de fundación es mayor al 6%, la aplicación de la geomalla multiaxial como refuerzo no resulta económicamente viable. Por lo que es necesario realizar un análisis por cada proyecto en específico; considerando los volúmenes y distancias de extracción de materiales, dependiendo también de la calidad y espesor del suelo de desplante, como lo sugiere en su investigación Cruz Vargas E. (2013)

- Según Velasquez Lujerio E.P. (2009), en su investigación sobre el uso de las geomallas como refuerzo de bases, sub-bases y subrasantes, concluye que la geomalla contribuye al mejoramiento de la sección estructural de los caminos y su colocación generalmente posibilita la utilización de suelos naturalmente malos para conformar la subrasante del camino. Con respecto a lo mencionado por el autor anteriormente se puede verificar que el resultado de esta investigación nos muestra que efectivamente el uso de la geomalla multiaxial, actúa de manera positiva en la estructura del pavimento permitiéndose trabajar en suelos de CBR muy bajos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **CONCLUSIONES**

- La reducción de los espesores en los tramos de diseño reforzados con geomalla multiaxial varían entre 5.4 % y 39.2%, con respecto al tramo no reforzado, lo cual implica que hay un menor uso de material granular, todo esto sin afectar el aspecto técnico, ni su capacidad de soporte de tránsito de la vía.
- Se comprobó que en los tramos donde el CBR del suelo fue mayor al 6%, el espesor del afirmado reforzado con geomalla multiaxial es menor en un 5.4% con respecto al no reforzado, y que el costo de ejecución utilizando la geomalla multiaxial como refuerzo, repercute negativamente aumentando en un 16.49% con respecto al costo de ejecución del diseño convencional.
- El uso de la geomalla multiaxial como refuerzo es económicamente viable, para los tramos en donde el suelo tiene un CBR menor a 2.5%, variando el ahorro de entre 10.09% y 24.48%, con respecto a costo de ejecución del diseño convencional.
- Se pudo observar que el cálculo de las propiedades características de suelo natural influye de manera directa en el diseño, lo que implica que un cambio en las condiciones del CBR hace que la sección o el tramo en estudio no se comporte de la misma manera.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación y las conclusiones anteriormente mencionadas, se recomienda el uso de la geomalla multiaxial como refuerzo de la carretera Santa Cruz- Bellavista.

- **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda evaluar el uso de la geomalla multiaxial como refuerzo en una carretera, en donde el suelo de fundación tiene un CBR $>6\%$, ya que económicamente no es favorable, de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Orrego Cabanillas, DA. 2014. Análisis técnico- económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles. Tesis. Ing. Lima, Perú, Pontifica Universidad Católica. 81.
- Cruz Vargas, E. 2013. Influencia de geomallas en los parámetros mecánicos de materiales para vías terrestres. Tesis. Mg. Ing. México, UNAM. 148p.
- Velásquez Lujerio, EP. 2009. Uso de geomallas en la estructura de carreteras afirmadas, para trabajos de operación de los equipos en la explotación minera a cielo abierto. Tesis. Ing. Chimbote, Perú, Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote. 81.
- CONIRSA. 2007. Caso histórico: Pavimentación carretera interoceánica sur, uso de geomallas biaxiales en centros poblados (en línea). Lima, Perú. Consultado 08 dic. 2016. Disponible en <http://www.grupotdm.com/pdf/casos%20historicos/Pavimentacion-Carretera-Interoceanica-Sur.pdf>.
- Caballeros Torres, EA. 2006. Utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible. Tesis. Ing. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 168p.
- USACE (Army Corps of Engineers, US). 2003. ETL 1110-1-189, Use of geogrids in pavement construction. Washington, DC. 38p.
- Koerner, RM. 2016. Designing with geosynthetics: 6 ed . USA, Xlibris. V. 1, 1753 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, PE).2008. Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. 171p.
- PRODAC (Productos de Acero Cassadó S.a., PE). 2015. Soluciones confiables para el sector infraestructura.1. ed. 48p.

ANEXOS

ANEXO 01
FORMATOS DE CLASIFICACIÓN
VEHICULAR DEL MTC

ANEXO 02
PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía 01: Ingreso a la localidad de Santa Cruz.



Fotografía 02: Ingreso a la localidad de Bellavista.



Fotografía 03: Realizando el conteo vehicular.



Fotografía 04: Realizando el conteo vehicular, de acuerdo a los formatos del MTC.



Fotografía 05: calicatas realizadas a lo largo del tramo en estudio.



Fotografía 06: calicata realizada en el Km. 0+500, para la extracción de muestras.



Fotografía 07: verificación de la profundidad de la calicata realizada.



Fotografía 08: verificación de la profundidad de la calicata N° 08.



Fotografía 09. Realizando el ensayo de granulometría.



Fotografía 10. Realizando el ensayo para hallar el contenido de humedad



Fotografía 11: Realizando el ensayo para obtener el límite líquido



Fotografía 12: Realizando el ensayo para obtener el límite plástico

ANEXO 03
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL
TERRENO DE FUNDACIÓN

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN

1.0 GENERALIDADES.

El presente Anexo corresponde al Estudio de Mecánica de Suelos del terreno de fundación, del Proyecto: “Evaluación Técnico Económico del Uso de la Geomalla Multiaxial con Refuerzo en la Sub Rasante de la Carretera Santa Cruz - Bellavista”. Dicho estudio se ha efectuado mediante una investigación geotécnica que involucra trabajos de campo a través de pozos de exploración a cielo abierto o calicatas y ensayos de laboratorio, para evaluar las características físicas y resistentes del suelo de fundación sobre el cual será construido el pavimento (afirmado).

1.1 UBICACIÓN

El tramo del Proyecto: “Evaluación Técnico Económico del Uso de la Geomalla Multiaxial con Refuerzo en la Sub Rasante de la Carretera Santa Cruz de Bellavista”, se encuentra ubicado en el Distrito de Bellavista, Provincia de Jaén, Región Cajamarca, y sus coordenadas UTM en sus respectivos Punto Inicial y Punto final son las siguientes:

PUNTO INICIAL (Km. 00 + 000):	9374743.92 Norte	754300.43 Norte
PUNTO FINAL (Km. 02 + 846):	9373465.08 Este	756645.84 Este

2.0 INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.

2.1 TRABAJOS DE CAMPO.

El trabajo de campo incluyó las siguientes actividades:

Evaluación y selección de las excavaciones (calicatas), siguiendo los procedimientos de la Normas Técnicas para el Diseño de Caminos Vecinales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Excavación, registro y muestreo de las excavaciones, de acuerdo a las Normas A.S.T.M. D 420, y A.S.T.M. D 2488.

Calicatas.

En la exploración del subsuelo o terreno de fundación, se ejecutó un total de 13 calicatas o excavaciones a cielo abierto, ubicadas convenientemente de tal manera de cubrir el área en estudio y determinar su perfil estratigráfico.

CUADRO DE CALICATAS

CALICATA	MUESTRAS	Progresiva (Km)	Profundidad (m)
C - 1	M - 1	00 + 000	1.50
C - 2	M - 1	00 + 250	1.50
C - 3	M - 1	00 + 500	1.50
C - 4	M - 1	00 + 750	1.50
C - 5	M - 1	01 + 000	1.50
C - 6	M - 1	01 + 250	1.50
C - 7	M - 1	01 + 500	1.50
C - 8	M - 1	01 + 750	1.50
C - 9	M - 1	02 + 000	1.50
C - 10	M - 1	02 + 250	1.50
C - 11	M - 1	02 + 500	1.50
C - 12	M - 1	02 + 750	1.50
C - 13	M - 1	02 + 846	1.50

Muestreo.

Se tomaron muestras disturbadas representativas de los tipos de suelos encontrados (Mab), en cantidad suficiente como para realizar los ensayos de laboratorio, de acuerdo al procedimiento recomendado por la Norma A.S.T.M. D 420.

Registro de Excavaciones.

Paralelamente al muestreo se realizó el registro de cada una de las calicatas, anotándose las principales características de los tipos de suelos encontrados, tales como espesor, color, olor, condición de humedad, angulosidad, forma, consistencia o compacidad, cementación, reacción al HCl, estructura, tamaño máximo de partículas, etc.; de acuerdo a la Norma A.S.T.M. D 2488.

TRABAJOS DE LABORATORIO.

Ensayos de Laboratorio Estándar.

Las muestras representativas se trasladaron y ensayaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Tecnología del Concreto y Tecnología del Asfalto, de la Empresa: Geocon Vial - Ingenieros Consultores E.I.R.L., quienes me facilitaron sus instalaciones y equipos para realizar los ensayos necesario, siguiendo las Normas A.A.S.H.T.O., A.S.T.M. y N.T.P.; y son las siguientes:

- (Método de Ensayo de Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado).
- (Método de Ensayo para Determinar el Limite Liquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos).
- (Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un Suelo).
- (Método de Ensayo para Determinar el Peso Específico Relativo de las Partículas Sólidas de un Suelo).
- (Peso Volumétrico de un Suelo).

Ensayos de Laboratorio Especiales.

Siguiendo con el análisis de las muestras ensayadas en el Laboratorio, siguiendo las Normas; se procedió a ejecutar los ensayos especiales, y son los siguientes:

- Método de Ensayo de C.B.R. (Relación de Soporte de California).

CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL TERRENO DE FUNDACION.

CUADROS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Progresiva (Km.)	0 0+ 000	00 + 250
Calicata N°	C - 1	C - 2
Muestra	M - 1	M - 1
% Que pasa N° 10	85.87	84.94
% Que pasa N° 40	76.30	65.55
% Que pasa N° 200	49.70	43.08
Limite Liquido (%)	26	28
Índice de Plasticidad (%)	7	9
Clasificación A.A.S.H.T.O.	A - 4 (2)	A - 4 (1)

Progresiva (Km.)	00 + 500	00 + 750	01 + 000	01 + 250
Calicata N°	C - 3	C - 4	C - 5	C - 6
Muestra	M - 1	M - 1	M - 1	M - 1
% Que pasa N° 10	58.94	34.41	49.44	33.86
% Que pasa N° 40	49.88	27.04	27.13	26.82
% Que pasa N° 200	32.45	30.74	11.63	20.67
Limite Liquido (%)	22	36	29	28

Índice de Plasticidad (%)	4	N.P	7	8
Clasificación A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4 (0)	A - 2 - 4 (0)	A - 2 - 4 (0)	A - 2 - 4 (0)

Progresiva (Km.)	01 + 500	01 + 750	02 + 000	02 + 250
Calicata N°	C - 7	C - 8	C - 9	C - 10
Muestra	M - 1	M - 1	M - 1	M - 1
% Que pasa N° 10	52.32	49.04	56.40	80.02
% Que pasa N° 40	42.99	38.05	32.76	64.77
% Que pasa N° 200	33.04	15.10	21.02	29.02
Limite Liquido (%)	30	30	17	18
Índice de Plasticidad (%)	9	6	N.P	N.P.
Clasificación A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4 (0)	A - 2 - 4 (0)	A - 2 - 4 (0)	A - 2 - 4 (0)

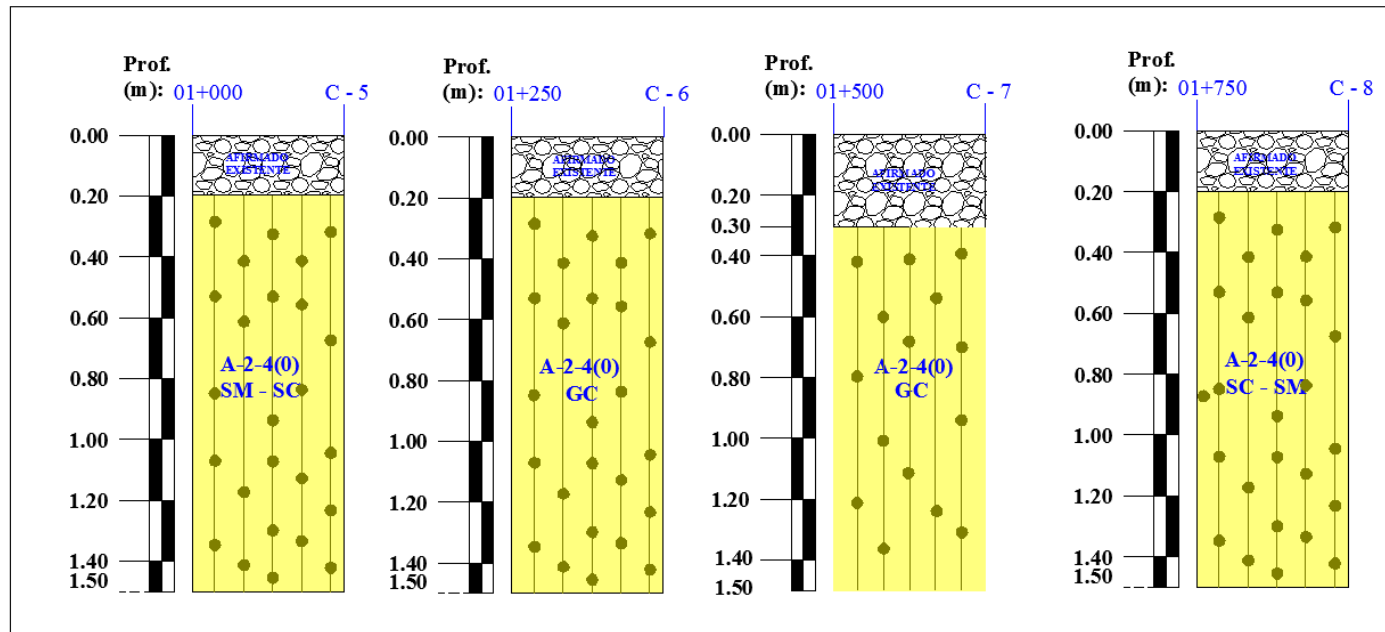
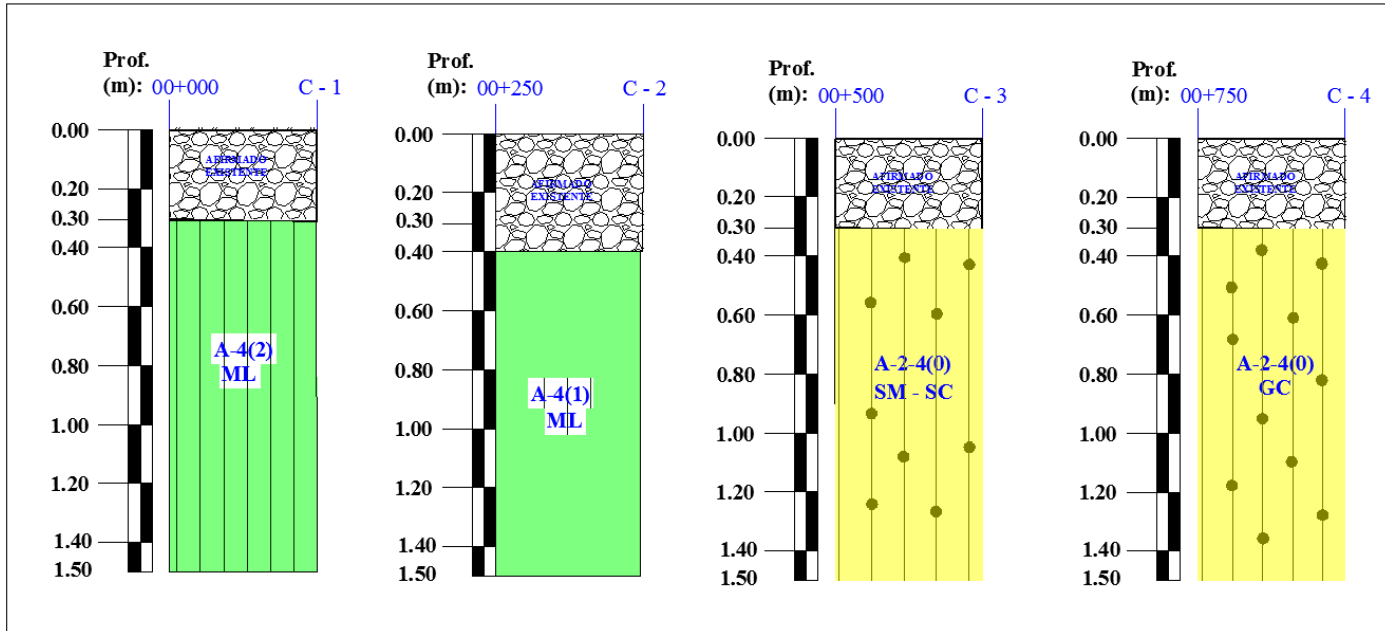
Progresiva (Km.)	02 + 500	02 + 750	02 + 846
Calicata N°	C - 11	C - 12	C - 13
Muestra	M - 1	M - 1	M - 1
% Que pasa N° 10	36.27	99.83	89.19
% Que pasa N° 40	19.89	98.74	79.32
% Que pasa N° 200	6.27	82.92	58.17
Limite Liquido (%)	28	37	31
Índice de Plasticidad (%)	N.P.	8	7
Clasificación A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4 (0)	A - 4 (8)	A - 4 (3)

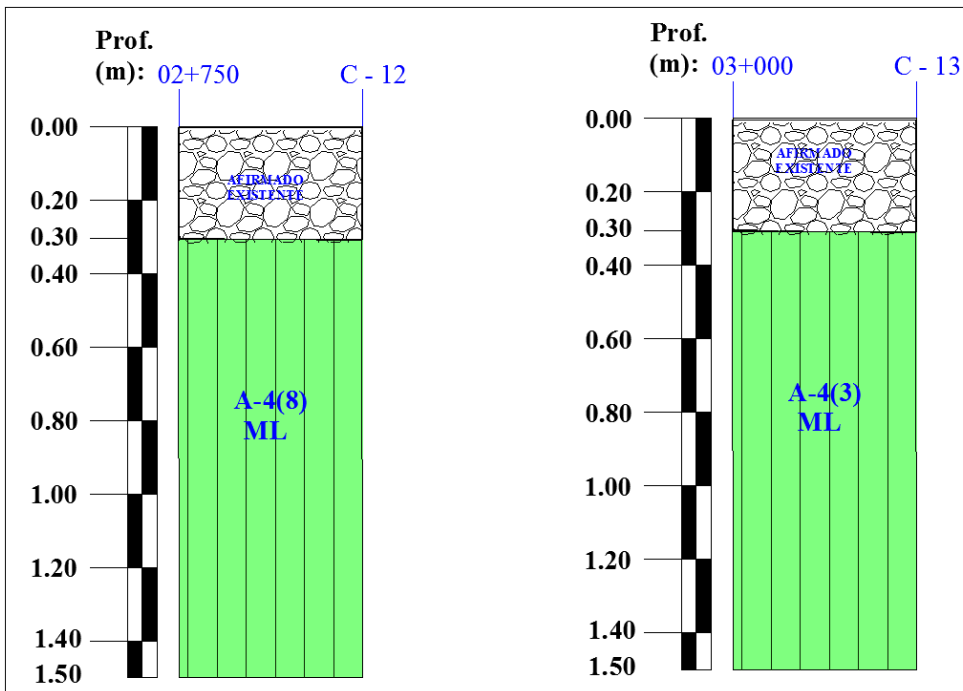
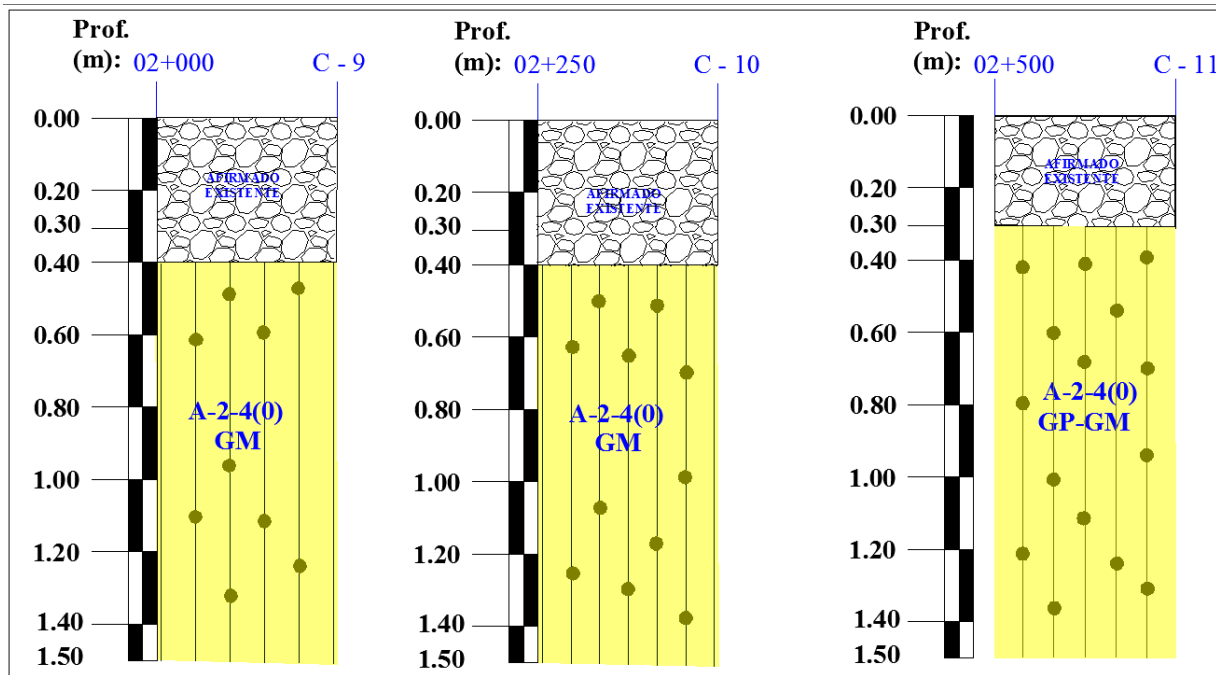
CUADRO GEOTÉCNICO ESPECIAL

PROGRESI VA Km.	CALICA TA	CALICA TA Nº	PROFUNDID AD DE CALICATA m.	CLASIFICACI ON DEL SUELO A.A.S.H.T.O M 145	INDICE DE GRUPO A.A.S.H.T.O M 145 IG	CLASIFICACI ON DEL SUELO S.U.C.S. A.S.T.M. D 2487	DENSIDAD SECA A.S.T.M. D 2937 A.A.S.H.T.O. T 191 Ds (gr/cm3)	PORCENTAJE DE COMPACTACIO DEL ESTRATO (%)	PROCTOR MODIFICADO		C.B.R. (95 - 100 % M.D.S.)	CALIDAD GENERAL COMO SUB RASANTE
									A.S.T.M. D 1557			
									DENSIDAD SECA MAXIMA (gr/cm³)	CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD (%)		
00 + 000	C - 1	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	GM	2.08	97	2.146	6.40	14.40	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 4	2	SM - SC	1.43	77	1.850	14.70	2.55	INADECUADA
00 + 250	C - 2	M´	0.00 - 0.40	A - 2 - 4	0	SM	1.91	85	2.240	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.40 - 1.50	A - 4	1	SC	1.45	-	-	-	-	REGULAR
00 + 500	C - 3	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	SM	1.91	85	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	SM - SC	1.51	-	-	-	-	REGULAR
00 + 750	C - 4	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	SM	1.97	88	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	GM	1.37	-	-	-	-	REGULAR
01 + 000	C - 5	M´	0.00 - 0.20	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.94	87	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.20 - 1.50	A - 2 - 4	0	SM - SC	1.53	79	1.92	11.80	6.45	REGULAR
01 + 250	C - 6	M´	0.00 - 0.20	A - 2 - 4	0	SM	1.95	87	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.20 - 1.50	A - 2 - 4	0	GC	1.36	-	-	-	-	REGULAR

01 + 500	C - 7	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	GP - GM	1.95	87	2.24	7.00	35.00	AFIRMADO REGULAR
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	GC	1.49	-	-	-	-	REGULAR
01 + 750	C - 8	M´	0.00 - 0.20	A - 2 - 4	0	GM	2.03	94	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.20 - 1.50	A - 2 - 4	0	SC - SM	1.34	-	-	-	-	REGULAR
02 + 000	C - 9	M´	0.00 - 0.40	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.96	91	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.40 - 1.50	A - 2 - 4	0	SM	1.66	92	1.812	12.80	6.50	REGULAR
02 + 250	C - 10	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.96	91	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	SM	1.59	-	-	-	-	REGULAR
02 + 500	C - 11	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.89	88	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 2 - 4	0	GP - GM	1.80	-	-	-	-	REGULAR
02 + 750	C - 12	M´	0.00 - 0.35	A - 2 - 4	0	SP - SM	1.89	87	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.35 - 1.50	A - 4	8	ML	1.56	95	1.642	18.20	2.20	INADECUADA
02 + 846	C - 13	M´	0.00 - 0.30	A - 2 - 4	0	GM	1.99	93	2.155	6.80	25.00	AFIRMADO DEFICIENTE (ELIMINACIÓN)
		M - 1	0.30 - 1.50	A - 4	3	ML	1.42	-	-	-	-	POBRE

3.0 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.





DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.

En base a los trabajos de exploración de campo, ensayos de laboratorio y al recorrido integral del tramo en estudio, se deduce lo siguiente:

CALICATA C - 1 (Km. 00 +000).

De 0.00 m. a 0.30 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (68.43 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (21.49 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (10.09 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.30 m. a 1.50 m.

Limo arenoso inorgánico A - 4 (2), de baja plasticidad, de color amarillo, mezclado con apreciable cantidad de grava T.M. 3/4" (14.13%). El estrato se encuentra húmedo; presenta una compresibilidad baja, sin olor.

CALICATA C - 2 (Km. 00 +250).

De 0.00 m. a 0.40 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (54.79 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (34.47 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (10.74 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.40 m. a 1.50 m.

Limo arenoso inorgánico A - 4 (1), de baja plasticidad, de color amarillo claro, mezclado con apreciable cantidad de grava T.M. 3/4" (15.06 %). El estrato se encuentra húmedo; presenta una compresibilidad baja, y sin olor.

CALICATA C - 3 (Km. 00 +500).

De 0.00 m. a 0.30 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (38.79 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (31.89 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (29.32 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.30 m. a 1.50 m.

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/2" (48.06 %), de color marrón claro con tonalidades amarillas, ninguna reacción al ácido clorhídrico,

apreciable proporción de arena fina a gruesa (26.50 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (25.45 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

CALICATA C - 4 (Km. 00 +750).

De 0.00 m. a 0.30 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (43.49 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (37.07 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (9.45 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.30 m. a 1.50 m.

Limo inorgánico A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/2" (65.59%), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de partículas finas menores al tamiz N° 200 (20.74 %), y arena gruesa a fina (13.67 %). El estrato se encuentra poco húmedo; medianamente denso y sin olor.

CALICATA C - 5 (Km. 01 +000).

De 0.00 m. a 0.20 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (50.00 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena fina a gruesa (40.88 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (9.13 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.20 m. a 1.50 m.

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/2" (50.56 %), de color marrón oscuro con tonalidades amarillas, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (39.80 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (11.63 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

CALICATA C - 6 (Km. 01 +250).

De 0.00 m. a 0.20 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (54.74 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (26.36 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (18.91 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.20 m. a 1.50 m.

Limo inorgánico A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/2" (66.14, de color amarillo claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, mezclada con apreciable proporción de

partículas finas menores al tamiz N° 200 (20.67 %), de mediana plasticidad y arena gruesa a fina (13.20 %), y El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

CALICATA C - 7 (Km. 01 +500).

De 0.00 m. a 0.30 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 2" (62.24 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena fina a gruesa (28.36 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (9.41 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.30 m. a 1.50 m.

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/2" (47.69, de color amarillo oscuro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, mezclada con apreciable proporción de partículas finas menores al tamiz N° 200 (33.04 %), de mediana plasticidad y arena fina a gruesa (19.28 %), y El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

CALICATA C - 8 (Km. 01 +750).

De 0.00 m. a 0.25 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (54.56 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena fina a gruesa (33.62 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (11.82 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.25 m. a 1.50 m.

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 3/4" (50.96 %), de color marrón con tonalidades amarillas, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena fina a gruesa (33.95 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (15.10 %). De mediana plasticidad. El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

CALICATA C - 9 (Km. 02 +000).

De 0.00 m. a 0.40 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (46.00 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena fina a gruesa (42.99 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (11.01 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.40 m. a 1.50 m.

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 3/4" (43.60 %), exenta de plasticidad, de color marrón, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (35.37 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (21.02 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

CALICATA C - 10 (Km. 02 +250).

De 0.00 m. a 0.30 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (54.32 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (37.20 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (8.48 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.30 m. a 1.50 m.

Arena limosa A - 2 - 4 (0), de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico; y presenta grava T.M. 1 1/2" (19.98 %), de baja plasticidad. El estrato se encuentra poco húmedo; medianamente denso, y sin olor.

CALICATA C - 11 (Km. 02 +500).

De 0.00 m. a 0.30 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1" (46.00 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (42.77 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (10.22 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.30 m. a 1.50 m.

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/2" (63.73 %), exenta de plasticidad, de color marrón oscuro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (30.00 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (6.27 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

CALICATA C - 12 (Km. 02 +750).

De 0.00 m. a 0.30 m. (Afirmado Existente)

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1" (51.98 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena gruesa a fina (38.53 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (9.49 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.30 m. a 1.50 m.

Limo inorgánico A - 4 (8), de mediana plasticidad, de color amarillo, alta resistencia en seco, rápida dilatancia, alta tenacidad, ninguna reacción al ácido clorhídrico, consistencia suave, mezclada con apreciable proporción de arena fina a gruesa (16.91 %), y poca cantidad de grava T.M. 3/4" (0.17%). El estrato se encuentra muy húmedo; consolidado, sin olor.

CALICATA C – 13 (Km. 02 +846).**De 0.00 m. a 0.30 m. (Afirmado Existente)**

Mezcla pobremente gradada A - 2 - 4 (0), conformada por grava T.M. 1 1/4" (54.27 %), exenta de plasticidad, de color marrón claro, ninguna reacción al ácido clorhídrico, apreciable proporción de arena fina a gruesa (23.12 %), y partículas finas menores al tamiz N° 200 (22.61 %). El estrato se encuentra poco húmedo, medianamente denso y sin olor.

De 0.30 m. a 1.50 m.

Limo arenoso inorgánico A - 4 (3), de baja plasticidad, de color marrón, mezclado con apreciable cantidad de grava T.M. 3/4" (10.81 %). El estrato se encuentra muy húmedo; presenta una compresibilidad baja, sin olor

4.0 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD SOPORTE DEL TERRENO DE FUNDACION.

Para determinar el C.B.R. de diseño, se determinó el tipo de suelo, de acuerdo a la Norma A.A.S.H.T.O. M 145, teniendo como estratos de suelos, más desfavorable a las siguientes Calicatas; obteniéndose los siguientes resultados, después de realizar los ensayos especiales.

Progresiva (Km)	Calicata N°	Muestra	Profundidad (m)	Tipo de Suelo A.A.S.H.T.O.	D.S.M. (gr/cm³)	O.C.H. (%)	C.B.R. (%) (95 % M.D.S)
00 + 000	C - 1	M - 1	0.30 - 1.50	A - 4 (2)	1.850	14.70	2.55
01 + 000	C - 5	M - 1	0.20 - 1.50	A - 2 - 4 (0)	1.92	11.80	6.45
02 + 000	C - 9	M - 1	0.40 - 1.50	A - 2 - 4 (0)	1.812	12.80	6.50
02 + 750	C - 12	M - 1	0.45 - 1.50	A - 4 (8)	1.642	18.20	2.20

ANEXO 04
ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

DESCRIPCIÓN : SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE AFIRMADO

PARTIDA : INSTALACIÓN DE AFIRMADO

UNIDAD : M3

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	PARCIAL	SUB TOTAL
MATERIALES					
SUMINISTRO DE MATERIALES DE AFIRMADO	m3	1.30	30.00	39.00	39.00
SUB PARTIDAS					
EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN DE PLATAFORMA	m3	1.00	26.99	26.99	26.99
					65.99

SUB PARTIDA	EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN DE PLATAFORMA						
m3/DIA	160.0000	EQ.	160.0000		Costo unitario directo por : m3	26.99	
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
CAPATAZ			hh	0.5000	0.0250	20.00	0.50
PEON			hh	4.0000	0.2000	14.30	2.86
							3.36
	Materiales						
AGUA			m3		0.0200	1.69	0.03
							0.03
	Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	3.36	0.10
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122 HP 2,000			hm	1.0000	0.0500	125.00	6.25
RODILLO LISO VIBR AUTOP 70-100 HP 7-9 T.			hm	1.0000	0.0500	150.00	7.50
MOTONIVELADORA DE 125 HP			hm	1.0000	0.0500	195.00	9.75
							23.60

ANEXO 05
COSTOS DE EJECUCIÓN DE PARTIDAS

COSTO DE EJECUCIÓN DE PARTIDAS

	s/.
SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE CAPA DE AFIRMADO /m3	65.99
INSTALACIÓN DE LA GEOMALLA MULTIAXIAL/ m2	6.30

ANCHO DE LA VÍA (m)	6
---------------------	---

TRAMO DE DISEÑO	SECCIONES NO REFORZADAS				SECCIONES REFORZADAS				
	ESPESOR (cm)	VOLUMEN A UTILIZAR (m3)	COSTO DEL MATERIAL / m3	COSTO TOTAL S/.	ESPESOR (cm)	VOLUMEN A UTILIZAR (m3)	COSTO DEL MATERIAL / m3	COSTO GEOMALLA BX S/.	COSTO TOTAL S/.
Km. 0+00 al km. 0+500	53.00	1590.00	65.99	S/. 104,925.37	30.48	914.40	S/. 60,341.99	S/. 18,901.84	S/. 79,243.83
Km. 0+500 al km. 1+500	30.00	1800.00	65.99	S/. 118,783.44	25.4	1524.00	S/. 100,570.0	S/. 37,803.68	S/. 138,373.7
Km. 1+500 al km. 2+250	30.00	1350.00	65.99	S/. 89,087.58	25.4	1143	S/. 75,427.48	S/. 28,352.76	S/. 103,780.2
Km. 2+250 al km. 2+846	53.00	1895.28	65.99	S/. 125,071.04	38.1	1362.46	S/. 89,909.56	S/. 22,530.99	S/. 112,440.6
				S/. 437,867.44					S/. 433,838.3