Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

Reforzamiento del componente estructural con la implementación de geomalla biaxial para la mejora de la carretera tramo sector empleados - Milagros, Yura, Arequipa

Moises Limascca Chaparro

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Arequipa, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital

Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien, con su bendición, llena siempre mi vida y la de mi familia.

Mi gratitud a mis hermanos, abuelas y tíos que, con sus palabras, me hacían sentir orgulloso de lo que soy y lo que puedo transmitir; ojalá un día esa fuerza me permita seguir avanzando.

A todos los docentes que aportaron sapiencia, conocimientos y apoyo que motivaron a desarrollarme personal y profesionalmente en la Universidad Continental.

Finalmente, mi mayor y sincero agradecimiento al Ing. Mg. Franz Emmanuel Estrada, primer colaborador en todo el proceso, el cual con su direccionalidad, conocimiento, enseñanza y colaboración, permitió el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada:

A Dios, por ser mi guía; a mis padres Hermenegildo y Aurelia, que con su amor, paciencia y esfuerzo me han llevado a cumplir hoy un sueño más, gracias por forjar en mí el don de esfuerzo y valentía y no temer a las contrariedades.

A mis hermanos Saúl y Doris por su cariño y aporte incondicional en todo momento.

Finalmente, dedico esta tesis a mis familiares y amigos por su apoyo en momentos de mayor necesidad.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 2

DEDICATORIA 3

RESUMEN 14

ABSTRACT 15

INTRODUCCIÓN 16

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO 18

1.1. Planteamiento y formulación del problema 18

1.1.1. Planteamiento del problema 18

1.1.2. Formulación del problema 20

1.2. Objetivos 21

1.2.1. Objetivo general 21

1.2.2. Objetivos secundarios 21

1.3. Justificación e importancia 22

1.3.1. Justificación 22

1.3.2. Importancia 24

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 25

2.1. Antecedentes del problema 25

2.1.1. Antecedentes internacionales 25

2.1.2. Antecedentes nacionales 27

2.1.3. Antecedentes locales 29

2.2. Bases teóricas 30

2.2.1. Material geosintético 30

2.2.2. Uso y Manejo de los geosintéticos 31

2.2.3. Especificaciones de los geosintéticos 34

2.2.4. Refuerzo en vías con geomallas 44

2.2.5. Valoración al aplicar geosintéticos en carreteras no pavimentadas 49

2.2.6. Clases de geomallas 51

2.2.7. Características y especificaciones técnicas de las geomallas 54

2.2.8. Transporte y almacenaje de geomallas 59

2.2.9. Construcción de carreteras con geomallas 60

2.2.10. Diseño de reforzado con geomalla en carreteras no pavimentadas 61

2.2.11. Diseño convencional de carretera no pavimentada 68

2.3. Definición de términos básicos 70

2.3.1. Pavimento 70

2.3.2. Subrasante 71

2.3.3. Base 71

2.3.4. CBR (California bearning ratio) 72

2.3.5. Geosintéticos 72

2.3.6. Geomallas 72

2.3.7. Geotextil 72

2.3.8. IMDA (Índice Medio Diario Anual) 73

2.3.9. Reforzamiento de carreteras 73

2.4. Características climáticas de la zona en estudio 73

2.4.1. Precipitación pluvial 73

CAPÍTULO III METODOLOGÍA 83

3.1. Método y alcance de la investigación 83

3.2. Diseño de la investigación 84

3.3. Población y muestra 85

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 86

3.4.1. Técnicas de investigación 86

3.4.2. Instrumentos 87

3.5. Diseño de la vía utilizando geomalla 88

3.6. Zona de intervención del estudio 88

3.7. Ensayos de laboratorio 92

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 99

4.1. Propiedades físico mecánicas de las geomembranas axiales 99

4.1.1. Comparativo entre geomallas uniaxiales y biaxiales 99

4.2. Área de estudio 104
4.2.1. Reconocimiento del área del proyecto 104
4.2.2. Planificación 104
4.2.3. Determinación del índice medio diario (IMD) 105
4.2.4. Determinación del tráfico medio diario semanal (IMDS) 106
4.2.5. Cálculo del índice medio diario anual (IMDA) 107
4.2.6. Proyección del tránsito a futuro 109
4.2.7. Estudio de mecánica de suelos 113
4.2.8. Módulos de diseño de la subrasante y suelos de fundación 131
4.2.9. Agresividad química de la subrasante 132
4.2.10. Información pluviométrica 140
4.2.11. Periodo de retorno 141
4.2.12. Estadística aplicada a la hidrología 141
4.2.13. Número de curva NC y porcentaje de impermeabilidad 143
4.2.14. Cálculo de caudales con HEC-HMS y HEC-RAS 144
4.3. Criterios y controles básicos para el diseño 145
4.3.1. Vehículo de diseño 145
4.3.2. Velocidad de diseño 145
4.4. Elementos de la sección transversal 146
4.4.1. Pavimento 146

4.4.2. Sección típica 146

4.5. CBR y Módulo de Resiliencia de Diseño 147

4.6. Espesor de la capa granular 147

4.6.1. Tramo 00+000 al 00+780 147

4.7. Diseño de pavimentos 149

4.8. Diseño de la carretera con geomalla 149

4.8.1. Resistencia al corte del suelo (C) 149

4.8.2. Determinación del tráfico de diseño con geomalla 150

4.8.3. Determinación del factor de capacidad de soporte reforzada (Nc) 151

4.8.4. Determinación del espesor total requerido 152

4.9. Análisis y Discusión de resultados 154

4.10. Evaluación técnica 155

4.11. Evaluación económica 156

4.12. Discusión 157

CONCLUSIONES 159

RECOMENDACIONES 162

Referencias 163

ANEXOS 169

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de resistencia de los geotextiles 40

Tabla 2**.** Aplicaciones por clase de geotextil. 41

Tabla 3. Función principal de los tipos de geosintéticos 50

Tabla 4. Características estándares consolidadas de las Geomallas. 54

Tabla 5. Especificaciones técnicas de geomalla uniaxial. 55

Tabla 6. Características técnicas Geomalla Biax 160 57

Tabla 7. Características técnicas: Malla Triaxial TRIAX 169 58

Tabla 8. Cargas típicas de vehículos militares. 63

Tabla 9. Factores de capacidad de carga reforzada (Nc). 64

Tabla 10. Categoría de vehículos por capa de rodadura 69

Tabla 11. Determinación de factores destructivos por eje equivalente. 70

Tabla 12. Tipos de afirmado para cada tipo de tránsito 71

Tabla 13. Profundidad del nivel freático del acuífero del río Chili. 79

Tabla 14. Radiación solar promedio de los años 2017 - 2019. 82

Tabla 15. Comparativo físico mecánico de geomallas uniaxiales y biaxiales. 101

Tabla 16. Utilidad de uso de las geomallas uniaxial y biaxial 102

Tabla 17. Ventajas comparadas de la aplicación de geomallas uniaxial y biaxial. 102

Tabla 18. Tipos de vehículos 105

Tabla 19**.** Cálculo del IMD 107

Tabla 20. Proyección del tráfico 111

Tabla 21. Equivalencias de EE por tipo de eje (AASHTO) 112

Tabla 22. Cálculo de factores destructivos o de carga. 113

Tabla 23. Calicatas: Progresivas y coordenadas 113

Tabla 24. Clasificación de los suelos 116

Tabla 25: Propiedades densimétricas. 116

Tabla 26. Propiedades de fase. 116

Tabla 27. Propiedades mecánicas como suelo de fundación. 116

Tabla 28. Propiedades del suelo como subrasante. 117

Tabla 29. Densidad relativa y compacidad. 122

Tabla 30. Categorías de subrasante 132

Tabla 31. Resultados de la evaluación química. 133

Tabla 32. Resultados Cantera "Vanesa Alejandra" - Base granular 138

Tabla 33. Información pluviométrica - Estación Base 140

Tabla 34. Ecuación de precipitación 141

Tabla 35. Hietograma (mm) - Método de bloqueo alterno - Microcuenca 1 142

Tabla 36. Número de curva "NC" y % de permeabilidad en microcuencas 144

Tabla 37. Parámetros de diseño tramo 00+000 al 00+780 148

Tabla 38. Comparativo del diseño convencional y con refuerzo de geomalla 154

Tabla 39. Costos integrales por diseño estudiado 156

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de confinamiento lateral. 42

Figura 2. Disposición de la zona de confinamiento. 42

Figura 3. Esquema de efecto de tensado de la membrana. 44

Figura 4. Reclusión lateral producido por la geomalla en el agregado granular. 47

Figura 5**.** Geomalla Uniaxial (UX). 51

Figura 6. Geomalla biaxial. 52

Figura 7. Geomalla triaxial. 53

Figura 8. Traslape y dirección de refuerzo. 60

Figura 9. Correlación entre CBR, índice de cono y resistencia al corte. 62

Figura 10. Diseño de pavimentos en cargas de rueda sencilla (Capa de rodadura de base). 67

Figura 11. Diseño de pavimentos para cargas de doble rueda. 67

Figura 12. Diseño de pavimentos en carga de ruedas tipo tándem. 68

Figura 13. Flujograma de precipitaciones máximas Enero – marzo. 74

Figura 14. Precipitación mensual acumulada 2017-2019. 75

Figura 15. Temperatura máxima, mínima y promedio: 2017 – 2019. 76

Figura 16. Vientos medio anual a 80 metros Arequipa. 77

Figura 17. Viento promedio diario 2016 – 2020. 78

Figura 18. Datos de humedad relativa de la zona en estudio. 80

Figura 19. Humedad relativa media mensual; 2017 – 2019. 81

Figura 20**.** Zona de intervención del estudio. Margen derecho. 89

Figura 21. Zona de intervención del estudio. Margen izquierdo. 90

Figura 22. Plano de ubicación de la zona en estudio. 90

Figura 23. Ubicación de la zona en estudio. 91

Figura 24.Características de fabricación geomalla uniaxial y biaxial 100

Figura 25. Conteo de vehículos, con el formato del MTC, ... 106

Figura 26. Estación de Pesaje Municipal N° 18, carretera Yura – Patahuasi Km, 77+300 108

Figura 27. Tasa de crecimiento poblacional regional del Perú. 109

Figura 28. Tasa de crecimiento del PBI por región. 110

Figura 29. Ubicación de calicatas. Vista de planta. 114

Figura 30. Trabajos de campo - calicatas. 115

Figura 31. Proporción de grava. 117

Figura 32. Proporción de arena. 118

Figura 33. Proporción de finos. 119

Figura 34. Bolonería. 120

Figura 35. Densidad de campo. 121

Figura 36. Densidad relativa. 122

Figura 37. Porosidad. 123

Figura 38. Índice de vacíos. 124

Figura 39. Humedad. 125

Figura 40. Grado de saturación. 126

Figura 41. Ángulo de fricción. 127

Figura 42. Humedad óptima. 128

Figura 43. Densidad seca máxima. 129
Figura 44. CBR al 100%. 130
Figura 45. CBR al 95% 130
Figura 46. CBR natural. 131
Figura 47. Distribución de caudales por calles. 144
Figura 48. Sección típica (I). 146
Figura 49. Sección típica (II). 146
Figura 50. Cálculo del espesor de la capa granular. 148
Figura 51. Diseño comparativo de relleno reforzado y no reforzado. 150
Figura 52. Determinación del espesor de la capa granular: Carga por arreglo tándem. 153
Figura 53. Diferencia de grosores: Método convencional y con refuerzo. 154
Figura 54. Grosores finales de capa granular comparado. 155
Figura 55. Porcentaje de ahorro de material granular. 155
Figura 56. Costos totales de diseño reforzado y no reforzado. 157

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo plantear el reforzamiento del componente estructural de la carretera del tramo sector Empleados –Milagros Yura, con la implementación de geomalla biaxial. Se realizó el aforo vehicular de la vía en estudio, del mismo modo se aperturó calicatas la evaluación del perfil del suelo. Para el diseño reforzado con geomalla se determinó la resistencia al corte del suelo, el aforo vehicular (IMD, IMDS, IMDA) y proyección de tránsito futuro, la capacidad de soporte reforzada (Nc) y determinando el espesor final de diseño. Teniendo como resultados que el parámetro de diseño se utilizó como base los camiones C3E con factor de capacidad de carga reforzada (Nc) de 4.0 %, teniendo un CBR de 3.972 %, con una resistencia al corte de 13 psi, lo que nos resulta un CNC de 52 psi, con lo que se determinó el grosor de la capa granular de 18 centímetros, siendo de menor grosor frente al diseño convencional que data de 32 centímetros, donde la diferencia de grosores es de 14.22 cm; teniendo un menor uso de material granular (55.6%). Con la aplicación de geomallas la rentabilidad es mayor con un ahorro de 6,863.73 soles, siendo un ahorro del 6.42%, por lo que el proyecto es viable en su desarrollo.

Palabras clave: Reforzamiento, geomalla biaxial, componente estructural.

ABSTRACT

The objective of this study is to propose the reinforcement of the structural component of the road in the Employees sector - Milagros Yura, with the implementation of biaxial geogrid. The vehicle gauging of the road under study was carried out, in the same way the evaluation of the soil profile was opened. For the design reinforced with geogrid, the shear strength of the soil, the vehicle capacity (IMD, IMDS, IMDA) and future traffic projection, the reinforced support capacity (Nc) was determined and the final design thickness was determined. Taking as results that the design parameter was based on 3E trucks with a reinforced load capacity factor (Nc) of 4.0 %, having a CBR of 3,972%, with a shear strength of 13 psi, which results in a CNc of 52 psi, with which we determined the thickness of the granular layer of 18 centimeters, being of less thickness compared to the conventional design that dates 32 centimeters, where the difference in thickness is 14.22 cm; having a lower use of granular material (55.6%). With the application of geogrids, it is more profitable with a saving of 6,863.73 soles, opting for a saving of 6.42%, so the project is viable in its development.

Keywords: Reinforcement, biaxial geogrid, structural component.

INTRODUCCIÓN

El estudio realizado tiene la finalidad de evaluar la implementación de geomalla biaxial con el propósito de aportar en el mejoramiento del comportamiento estructural de la carretera en el tramo Empleados – Milagros, Yura – Arequipa. Estudio que se realiza porque los centros poblados requieren mejorar las condiciones de tránsito en las vías con el propósito de mejorar la calidad de vida de la población que se encuentra dentro del ámbito de intervención.

El movimiento de personas, movimiento de carga y enseres desde el sector en estudio hacia la ciudad de Arequipa y aledaños, se requiere tener una vía segura frente a las diversas condiciones climatológicas que se presentan y las características de transitabilidad que se presentan. Actualmente se tiene un inadecuado sistema de transporte debido al deterioro de las vías, en especial en la época de precipitaciones pluviales.

Por lo que se necesita reforzar con geomalla en la capa de la estructura de la carretera la que aportará una mayor vida útil del tramo, reducción de los costos de mantenimiento de la vía y, por lo tanto, reducción de los costos en el que se incide.

El empleo de geomalla aporta en mejorar el comportamiento del componente estructural de la vía en comparación con los procedimientos tradicionales como son el AASHTO y del MTC. El diseño propuesto conlleva aminorar los grosores de las diversas capas que conforman la estructura, haciendo posible

que se reduzca el movimiento de suelos y en algunos casos, sin necesidad de traer material de relleno externo con propiedades específicas.

La aplicación de geomallas, en el caso de aplicarse en suelos ligeros o débiles, genera la distribución de carga de forma uniforme que eleva la capacidad portante de la subrasante, lo que hace mayor la accesibilidad y elaboración de las plataformas de trabajo frente a engorrosas metodologías tradicionales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La aparición de nuevos asentamientos humanos en las periferias de la ciudad de Arequipa, en especial en el distrito de Yura, vienen creando nuevas necesidades en las familias de estos, como son el agua, desagüe, luz y vías de acceso.

Los asentamientos humanos se originan por invasiones de terrenos eriazos que no tienen propietarios, áreas o terrenos donde el relieve no es regular y zonas sin acceso, que luego con el pasar del tiempo y la permanencia de los habitantes de éstos, inician la construcción de viviendas y habitándolas, lo que genera posteriormente los pedidos de servicios de primera necesidad como son agua, desagüe y luz, posteriormente, vías de acceso que permitan el transporte de las personas desde sus viviendas hacia los centros de trabajo, estudios entre otros.

Los principales problemas que se tienen en las carreteras afirmadas son las grietas, socavones, entre otras deformidades que incrementan el riesgo de sufrir accidentes; del mismo modo, las inclemencias del clima aumentan las portabilidades de desprendimientos, acumulación

de agua entre otros en aquellas vías con tramos en pésimas condiciones.

La zona en estudio se encuentra en terrenos ondulados y donde se encuentran próximos a las torrenteras que en épocas de lluvias provocan colmataciones de agua, acumulaciones de agua, afluencias de lodo, piedras y barro de escorrentía por gravedad en las pendientes sinuosas que humedecen la sección estructural de la carretera, produciendo inestabilidad de los suelos.

Los problemas por la baja capacidad de drenaje del agua en épocas de lluvia se dan porque no se realizó el trazo y diseño adecuado de la carretera, ni se tomó en cuenta a la red de drenaje natural (invasiones de terrenos no apropiados para vivienda); además, teniendo mal drenaje del agua superficial y sub superficial de la carretera, se debe distribuirla para que no haya acumulación excesiva en las zonas inestables, ni tampoco la erosión posterior aguas abajo.

El reforzamiento de carreteras afirmadas generalmente se mejora con la incorporación de gravas de canteras seleccionadas por zarandeo, con la dosificación de los compuestos de materiales como piedra, arena y finos de arcilla, con un diámetro máximo requerido de 75mm. Los afirmados con superficie de rodadura se estabilizan con materiales industriales como grava tratada con materiales como cal, aditivos químicos, entre otros (Atiquipa, 2018).

En el caso del estudio se propone el reforzamiento con geomalla biaxial, el cual es un componente efectivo para estabilizar subrasante con el trabado e inmovilización de los componentes estructurales como son los agregados en los espacios axiales de la geomalla, por lo que refuerza la carretera, aportando mayor tiempo de vida con la reducción de contaminación de la base, con las partículas finas presentes en la subrasante.

1.1.2. Formulación del problema

A. Problema general

¿Es posible reforzar el componente estructural con la implementación de geomalla biaxial para mejorar la carretera del tramo sector Empleados –Milagros Yura?

B. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de las geomallas biaxiales que se pueden implementar al componente estructural de la carretera del sector Empleados y Los Milagros?
- ¿Cómo se desarrolla el diseño del reforzamiento del componente estructural con la implementación de las geomallas en la carretera sector Empleados y Los Milagros?

- ¿Cómo se puede determinar el aporte en la mejora del comportamiento estructural de la carretera con la incorporación de la geomalla biaxial?
- ¿Cuáles son las bondades de la implementación de la propuesta respecto al de costo beneficio y factibilidad de aplicación con la implementación de la propuesta?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Plantear el reforzamiento del componente estructural de la carretera del tramo sector Empleados –Milagros Yura con la implementación de geomalla biaxial.

1.2.2. Objetivos secundarios

- ✓ Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las geomallas biaxiales que se pueden implementar al componente estructural de la carretera del sector Empleados y Los Milagros.
- ✓ Desarrollar el diseño del reforzamiento del componente estructural con la implementación de las geomallas en la carretera sector Empleados y Los Milagros.
- ✓ Determinar el aporte en la mejora del comportamiento estructural de la carretera con la incorporación de la geomalla biaxial.

- ✓ Realizar el comparativo de costo beneficio y factibilidad de aplicación con la implementación de la propuesta.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

1.3.1.1. Justificación técnica

El presente estudio se justifica de manera porque al mejorar el diseño de refuerzo estructural de la carretera con geomalla biaxial, se pretende mejorar las condiciones mecánicas, restricción del desplazamiento lateral, capacidad de soporte de carga, condiciones que aportan indirectamente a la capacidad drenante regular por la inmovilidad y pocas deformidades de la estructura en el transcurrir del tiempo, la cual va a garantizar que las vías de acceso a los asentamientos humanos sea permanente y de forma segura sin producirse interrupciones de paso en las épocas de lluvias o por tránsito vehicular, así como mayor tiempo de duración de la vía y con menores labores de mantenimiento. Esto implica relevancia social por ser beneficiaria la población con vías de acceso para los asentamientos humanos con el resto de la ciudad y accedan a desarrollar un medio de comunicación permanente y fluida de inter relaciones culturales, sociales, laborales, entre otros.

1.3.1.2. Justificación social

Tiene una justificación social porque la habilitación de carreteras o vías de comunicación, generalmente se realizan con un diseño estándar sin tomar en consideración las condiciones o factores climáticos del entorno mismo y condiciones de desarrollo de la zona de intervención; por lo que la durabilidad de las vías habilitadas no asfaltadas tienden a deteriorarse, interrumpirse por causas que no se tomaron en consideración, lo que incurren en gastos y costos de rehabilitación, interrupción de las vías y en la población ocasiona paralización de su labor cotidiana. Por lo tanto, el presente estudio ofrece una propuesta de mejorar las condiciones de transitabilidad fluida y con mayor vida útil evitando incurrir en incidentes y accidentes que afecten a la población que transita por la vía en el estudio del distrito de Yura.

1.3.1.3. Justificación económica

Como justificación en el aspecto económico permitirá bajar los costos de reparación y mantenimiento de la vía; del mismo, modo extender la vida útil de la carretera, por lo que se decrementan los costos de mantenimiento y reposición de la vía. En cuanto a las personas que emplean la vía, también reducirá los costos de mantenimiento y arreglo de los vehículos, así como se evita el deterioro o daños de mercancías de transporte.

1.3.1.4. Justificación ambiental

Por último, pero no menos importante se tiene la justificación ambiental, pues gracias al beneficio de esta investigación en la que se da conocer la propuesta de implementación de geomallas en el reforzamiento con el empleo de materiales geosintéticos que no dañan el medio ambiente, aportando en el mantenimiento y mejoramiento del medio ambiente, asegurando así la vida saludable de generaciones futuras.

1.3.2. Importancia

El presente estudio de investigación es importante porque aporta en mejorar la estructura de la carretera, dándole mayor vida útil, menores costos y tiempos de mantenimiento y englobando una mejor transitabilidad sostenida de los pobladores, así como el transporte de carga permanente y sin interrupciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

El estudio denominado “Aplicación de geosintéticos en la construcción de carreteras”, desarrollado en la ciudad de Guatemala, tiene por objetivo analizar el uso de los geosintéticos en la construcción de carreteras, teniendo conocimiento de los diversos materiales que se tienen en el mercado y los usos aplicables de cada uno en cada problema que se presenten en carreteras. La metodología utilizada fue del tipo descriptivo determinando las diversas aplicaciones de los geosintéticos, los beneficios con el uso racional y determinación del material geosintéticos a emplear; se llega a conclusiones de que el uso de geosintéticos entre las capas estructurales de un pavimento proporciona mayor vida útil en carreteras; los geotextiles de separación para no contaminar las capas granulares aportan a reducir el deterioro de las vías; los geosintéticos aporta a el uso menor de espesor de

capas de subbase y base; así como mejora la distribución de cargas en el subrasante (Fiorini, 2007).

La tesis denominada “Aplicación de geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de drenaje de carreteras”, desarrollado en El Salvador, siendo el objetivo general el análisis del uso de geosintéticos en la construcción de carreteras conociendo los diversos materiales que existen y sus usos, para aplicar en problemas de construcción de carreteras, siendo las metodologías de diseño y de su uso de geosintéticos en la conformación de los pavimentos e infraestructura de subdrenaje, teniendo como conclusiones de que para determinar el tipo de geotextil a usar en una obra específica debe regirse a la norma AASTHO M – 288-05, la cual contempla necesidades mínimas a contemplar para la función a emplear como son de separación, refuerzo, pavimentación, repavimentación, filtración y de drenaje (Díaz, 2009).

La tesis denominada “Utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible” tiene como objetivo desarrollar la teoría básica de sustento del empleo de las geomallas y su desempeño en la transitabilidad e impacto mecánico de los suelos, el cual desarrolla el diseño de carreteras no asfaltadas reforzadas con geomallas, tesis realizada por el Dr. J.P. Giroud y el PhD. Jie Han, también se desarrolla

el método de refuerzo con geomallas en carreteras reforzadas por la armada estadounidense departamento de ingeniería, siendo la conclusión que, de los dos métodos estudiados, el más aplicable es del método de diseño de pavimento flexible con ETL-1110-1-189 (Caballeros, 2006) .

2.1.2. Antecedentes nacionales

La tesis denominada “Aplicación de geomembrana HDPE para incrementar la capacidad de soporte en Defensores Del Morro, Chorrillos - Lima 2020”, siendo el objetivo hallar la influencia del uso de geomembrana HDPE para elevar la eficacia de soporte. La metodología es el uso de tablas recolectoras de datos para trabajo de campo, verificación de propiedades de la carreteras y aspectos relevantes, aplicación de ensayos del tipo de suelo y hallar la estructura de la vía más eficiente. Las conclusiones de que tomando en cuenta el medio ambiente, los geosintéticos reducen las emisiones de CO_2 que producen las máquinas que difiere al diseño tradicional AASTHO 93. El empleo de la geomembrana en la zona de estudio divide el esfuerzo de carga aportando a la mejora del suelo (Navarro y Rivera, 2020).

La tesis denominada “Análisis técnico- económico empleando geomallas de reforzamiento de bases granulares en pavimentos flexibles”, tiene como objetivo desarrollar si la aplicación de las geomallas como refuerzo en bases granulares en el estrato estructural

del pavimento flexible puede ser alternativa de reducción de la capacidad estructural de la vía y su viabilidad económica. La metodología empleada fue el diseño del pavimento de 3 modos distintos, la primera de tratamiento convencional sin refuerzo (AASHTO, 1993), la segunda con refuerzo de geomalla biaxial y la tercera con multiaxial (GMA WHITE PAPER II). Llegando a la conclusión que en los ensayos que no se emplearon refuerzos los espesores de las secciones son más altas, donde la reducción usando geomallas biaxiales fue de 35% y un 45% con el empleo de geomallas multiaxiales (Orrego, 2014).

La tesis “Evaluación técnico – económico del empleo de geomalla multiaxial de refuerzo en la subrasante de la carretera Santa Cruz – Bellavista, Cajamarca”, siendo el objetivo evaluar las repercusiones técnico- económico del uso de la geomalla multiaxial como refuerzo de la subrasante; teniendo como conclusión que se llega a reducir el espesor con el uso de geomalla multiaxial como refuerzo, existiendo reducciones entre 5.4% y 39.2 %, a comparación del tramo sin reforzamiento, obteniendo un reducido uso de material granular con las mismas propiedades de soporte de tránsito vial; sliendo positivo económicamente con la aplicación de la geomalla como refuerzo en los tramos con suelos de CBR menores a 2.5 %, que se obtuvo una

reducción de costos de 10.09% y 24.48%, a comparación de un diseño convencional o tradicional (Cruz, 2013).

2.1.3. Antecedentes locales

El estudio de grado “Análisis de costo y eficiencia de subdrenaje para la vía interoceánica”, siendo el objetivo analizar y evaluar el costo y eficiencia de subdrenaje en vías asfaltadas para controlar los ascensos de nivel freático alto San Antonio de Melgar de la Vía Interoceánica. Se ejecutó el diseño de geotextiles con la elección del geosintético que satisfaga las necesidades cuantitativas y cualitativas del proyecto. La elección del geotextil para utilizarlo en la filtración y subdrenaje: con el cálculo se cumple la relación de $K_g >= 10 \times K_s$ y una retención con un TAA < a 0.255 mm. Realizando un comparativo entre una construcción de vía con geotextil y sin geotextil, podemos ver que la diferencia se tiene en el grosor de la subbase granular, ya que con la geomalla se requiere un grosor menor de subbase granular, reduciendo los costos de instalación y mantenimiento. Además, la vida útil de la vía se prolonga (Velazco, 2017).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Material geosintético

Los geosintéticos son aquellos materiales que se componen en parte por productos derivados del petróleo, los cuales tienen funciones como de (Geosai, 2017):

- Separación de estratos: la separación con partículas diferentes para evitar la inter contaminación con el fin de preservar las características físicas y mecánicas de cada uno de ellos.
- Filtración: por medio de geosintéticos con microporos flexibles y permeables donde accede al paso de líquido menos el paso de partículas finas evitando la mezcla o contaminación entre estratos, aun siendo sometidas a trabajos de carga y compresión.
- Drenado: los geosintéticos acceden al flujo de fluidos o gases entre dos estratos.
- Refuerzo: los geosintéticos elevan la capacidad de carga del suelo, proporcionando superficies más estables a razón de una mejor distribución de cargas.
- Protección: son geosintéticos que aportan a contrarrestar daños por componentes intervinientes.
- Impermeabilización: es una función del geosintético de presentar una barrera aislante entre dos estratos diferentes.

2.2.2. Uso y Manejo de los geosintéticos

De acuerdo a los lineamientos AASHTO, en el desarrollo de infraestructura vial, la ingeniería viene desarrollando y evolucionando técnicas con el uso de tecnologías que incrementan las especificaciones técnicas de los elementos empleados a corto y largo plazo, incrementando la vida útil de los componentes y con consideración de beneficio costo de la inversión, siendo los geosintéticos una opción de reducción de costos (AASHTO, 2001).

Los geosintéticos son un medio de innovación en la ingeniería de carreteras por tener las siguientes propiedades y ventajas:

- Fabricados con elementos de alta resistencia y preservación del medio ambiente.
- Utilizados en lugares donde las condiciones de instalación y función sean severas.
- Resistencia con solvencia y no se desnaturaliza su composición al pasar del tiempo.

Los usos de los geosintéticos sirven para:

- Refuerzo de vías.
- Separación de capas y estructuras.
- Estabilización.

- Protección.
- Drenaje de fluidos.
- Barrera de fluidos.

Las funciones que tienen son:

- La separación de partículas finas de partículas gruesas.
- Uso en los refuerzos con elevada eficiencia.
- Las geomallas tienen elevado módulo de elasticidad y buen comportamiento de fluidez (creep).
- Su núcleo de poliéster aporta bondades mecánicas a la geomalla.
- Es revestido de polietileno, lo cual aporta protección al núcleo anti daños por acciones de instalación y trabajo.
- El polietileno ofrece elevada resistencia a la agresión de agentes químicos y biológicos.
- No presenta contaminación del medio ambiente.

Las condiciones técnicas de las geomallas son:

- Elevada resistencia a la tracción con reducida elasticidad.
- Buen comportamiento al contener cargas constantes.
- Excelente comportamiento de interacción de suelo/geomalla.
- Tiene una vida útil de más de 30 años.

- La función esencial es de refuerzo debido a que su elasticidad es reducida y buen desempeño cuando se le aplican cargas constantes.

En la instalación de los geosintéticos se tiene presente las siguientes recomendaciones (Geotexan, 2020):

- Tener en consideración las propiedades y componentes del relleno para que sea compatibles con las especificaciones del geosintético.
- Monitorear si el drenaje es el requerido en la integridad de las fases de construcción.
- Cuidar de que los equipos y maquinaria mecánica no entren en contacto con los geosintéticos para prevenir daños.
- La instalación de los geosintéticos debe realizarse conforme a los lineamientos técnicos determinados por la empresa fabricante.
- Para un buen alineamiento y evitar pliegues, el rollo se ubica en ángulo recto respecto al eje de refuerzos para tener un excelente alineamiento del refuerzo.
- El geosintético se fijará con estacas u otro medio para tener la posición exacta requerida en el diseño sin que se produzcan ondulaciones.

2.2.3. Especificaciones de los geosintéticos

Se tiene diversidad de productos en el mercado nacional; cada uno de los productos tienen análisis de laboratorio los cuales se basan en normas ASTM, ISO y GRI), con el fin de comprobar su calidad y propiedades que brindan cada una de ellas en diversas situaciones y su modo de comportamiento (Pavco, 2019).

De acuerdo a sus especificaciones técnicas se pueden elegir el tipo de material a emplear:

2.2.3.1. Geotextiles

Son aquellos que se identifican por su composición de polímeros y la estructura. Los que generalmente se expenden son en base a polipropileno: los geotextiles de nylon se usan esporádicamente los cuales deben ser aplicados permanentemente por no ser muy durables. Las dos estructuras son tejidas y no tejidas respectivamente. La distinción de ambos es el tipo de filamento empleado en su confección. Los ensayos que se les practican a las propiedades que brindan van evolucionando y determinando un incremento de la calidad de los elementos usados. Con los ensayos ASTM que se emplean se puede garantizar las propiedades de los geotextiles para el uso de materiales viales, siendo los ensayos los siguientes (SLab Perú, 2021):

2.2.3.1.1. USACE ETL 1110-1-189

De acuerdo a la USACE (Army Corps of Engineeers, U.S.) del año 2003, determinan que las geomallas que se utilizan en los pavimentos, cumplen dos funciones esenciales que son la separación de las capas y el refuerzo de la vía.

Las tres aplicaciones esenciales de la geomalla son:

- Aportan en la construcción de subbases blandas.
- Incrementan y alargan la vida útil de las carreteras.
- Aminora el grosor de los estratos transversales de la estructura de la vía.

Los estudios desarrollados determinan que al usar geomallas se adelgaza el grosor de la capa requerida en el diseño (USACE, 2003). Las geomallas incrementan las aptitudes de compactación de las partículas de los agregados que los envuelven y reduce los volúmenes de material granular que se necesita para ser descartado y remplazado; del mismo, modo diversos proyectos de investigación determinaron que las vías presentan mayor durabilidad en los tramos en los que se utilizó geomallas (Vargas et al., 2017).

2.2.3.1.2. Resistencia a la tensión: ASTM D4632

Ensayo dedicado con el fin de estimar la carga de ruptura y elasticidad de los geotextiles con el uso del método GRAB; se

determinan los parámetros en una muestra del geotextil. La muestra de dimensiones de 4 x 8 pulgadas son fijados en los bordes y se mide la tensión en un parea de 1” x 2” en ambos lados. La diferencia de tensión se ve en la dirección longitudinal de los ejes y se estima por una constante de deformación de 12 pulgadas por minuto. El reporte de la medición de carga de rotura se expresa en libras o newton y la elasticidad en porcentaje.

2.2.3.1.3. Resistencia al desgarre: (ASTM D4533)

Se mide la resistencia a la punción de geotextiles y de geomembranas. Los índices de estimación de este ensayo se dan en bases de placas circulares en las cuales es fijada el geosintético, donde una barra presiona el material y se determina la resistencia de la punción la cual se estima en Libras o Newton.

2.2.3.1.4. Permitividad: ASTM D4491

Ensayo similar al que se practica en la estimación de permeabilidad de suelos. Se le aplica carga variable y carga constante. La permeabilidad no se mide directamente por lo que se le relaciona con la ecuación 1 siguiente:

Ecuación 1.Permitividad

$$y = \frac{k}{t}$$

Donde tenemos que:

y = Permitividad del geotextil

k = Permeabilidad del geotextil (cm/seg. o pulg. /seg.)

t = Grosor del geotextil en pulgadas o centímetros.

2.2.3.1.5. Tamaño aparente de abertura: ASTM D4751 (AOS)

Para evaluar el tamaño de abertura aparente del geotextil se determina por la mayor área disponible por donde puede atravesar el suelo; se aplica la misma metodología de los análisis granulométricos de suelos con el uso de los mismos cedazos. La metodología es fijar el geotextil en el marco del tamiz y encima del geotextil se incorporan partículas de cristal en granos (Glass Bead); luego, se procede a agitar con el fin de propiciar el flujo de las partículas por medio de la geomalla. La dimensión de apertura aparente (AOS) de la malla no debe pasar más del 5% de partículas equivalentes al geotextil; el tamaño de partículas que pasan por el tamiz es registrado en el número de tamiz estándar U.S. los cuales tienen dimensiones en pulgadas y centímetros.

2.2.3.1.6. Retención del geotextil ASTM D5101

Ensayo que tiene por objeto hallar el grado de retención de suelos del geotextil en un lugar específico de uso; para este propósito se aplica parámetros y paso del agua por el proceso suelo geotextil

con el aporte de diversas cargas hidráulicas, se hacen las estimaciones de las cargas hidráulicas a variadas alturas dentro de la columna del equipo permeámetro con el fin de determinar el gradiente hidráulico los cuales reportan un coeficiente de gradiente. Para ser un geotextil aceptable del cociente de gradiente debe ser menor a 3 en el sistema suelo – geotextil.

2.2.3.1.7. Masa por unidad de área: ASTM D5261

Ensayo aplicado para hallar si las geomallas se rigen a los lineamientos de masa por unidad de área. Este ensayo se practica de modo de control de calidad en el desempeño de la geomalla. Este parámetro se halla por medio del peso de las muestras (con pesos determinados), con cortes de diversas secciones de los geotextiles en estudio. Los resultados obtenidos se promedian para determinar el valor ponderado por unidad de masa respecto a la unidad de área de la muestra, donde se expresan en unidades de gr/m^2, $onzas/yd^2$.

2.2.3.2. Durabilidad de los geotextiles

Se define como la habilidad del geotextil en soportar esfuerzos de instalación y el comportamiento eficiente al diseño propuesto y funcionalidades determinadas. Es en el uso de estabilización de carreteras donde la incorporación de geotextiles en suelos débiles,

cuando se tienen condiciones particulares y las necesidades del proyecto; la subrasante puede estar poco compacta y limpia posterior a la implementación del geotextil, por lo que las condiciones que se produzcan en el proceso de instalación como punzones, rasgados roturas y daños en el geotextil van a implicar en la durabilidad de la membrana.

En el año 2005 AASHTO M 288-05 emite criterios de supervivencia de los geotextiles, donde la guía determina 4 ensayos que reportan la resistencia a los esfuerzos de instalación que se puede visualizar en la Tabla 1, donde resalta que los geotextiles de clase 1 son aquellos de alta resistencia y el de clase 3, cumple requisitos mínimos (AASHTO, 2001).

Las necesidades de un proyecto de geotextiles se determinan por la resistencia a la elongación (ensayos de Grab Tensile test), en la Tabla 1 se muestra las propiedades de resistencia de los geotextiles, donde los valores mínimos en cuanto a la permitividad, tamaño de abertura aparente y estabilidad ultravioleta se rigen en el uso de cada geotextil. Por lo que se determina que:

- Geotextil con elongación >50%: son geotextiles indicados para alta deformación, el cual resiste al daño de instalación.
- Geotextiles con elongación <50%: se deforman menos los geotextiles y ofrecen menor deformación.

De acuerdo al proyecto de construcción de carreteras y los factores del entorno y de uso van a determinar la clase de geotextil a emplear. La guía AASHTO M 288-05 muestra 4 aplicaciones genéricas:

Tabla 1. Propiedades de resistencia de los geotextiles

			Clase de Geotextil [1], [2]					
			Clase 1		**Clase 2**		**Clase 3**	
	Método de ensayo	Unidad	Elongación < 50%	Elongación >50%	Elongación < 50%	Elongación >50%	Elongación < 50%	Elongación >50%
Resistencia Grab.	ASTM D 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia de la Costura [3], [4]	ASTM D 4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al Rasgado[5]	ASTM D 4533	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al Punzonado	ASTM D 6241	N	2750	1925	2200	1375	1650	990
Permisividad	ASTM D 4491	S						
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	Mn						
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D 4355	%						

[1] Clase requerida de geotextil.
[2] VMPR (Valor mínimo promedio por rollo).
[3] Medición ASTM D 4632.
[4] Traslapes de cosido en caso de ser requeridos.
[5] VMPR: Resistencia al rasgado trapezoidal en geotextiles de monofilamento (250N).
Nota: Tomado de Vargas et al., 2017, p. 10.

- ✓ Drenaje sub superficial
- ✓ Separación de capas
- ✓ Estabilización de suelos y taludes
- ✓ Control constante de la erosión

De acuerdo a las aplicaciones descritas se tiene la clase de geotextil a usar (Tabla 2).

Tabla 2. Aplicaciones por clase de geotextil.

Uso	Clase de Geotextil
Drenaje sub superficial.	2
Separación de capas	2
Estabilización de suelos y taludes	2 (en tejidos de un filamento)
Control constante de la erosión	1 (para todos)

Nota: Aplicaciones compiladas de acuerdo a su uso. Tomado de AASHTO M288-05, p. 2-9.

2.2.3.3. Mecanismos de refuerzo

Para los fines del estudio de refuerzo de carreteras se consideran tres mecanismos de refuerzo con la utilización de geomallas que refuerzan los materiales de la carretera (Geotexan, 2020) (Valencia, 2017):

a. Confinamiento lateral.
b. Mejoramiento de la capacidad de carga.
c. Impacto de membrana tensada.

a) Confinamiento lateral

Definido como el apartamiento del material agregado en el proceso de carga lo que limita el paso de agregados por debajo de la carga. Este proceso se presenta con las partículas del agregado y la geomalla de reforzado. Si se incrementa el

confinamiento lateral con impedimento de movimiento lateral de las partículas va a aportar a elevar el modelado del estrato granular sobre la geomalla como se muestra en la Figura 1. También aporta a evitar deformaciones verticales y rastros de la superficie en la rodadura (Geotexan, 2020).

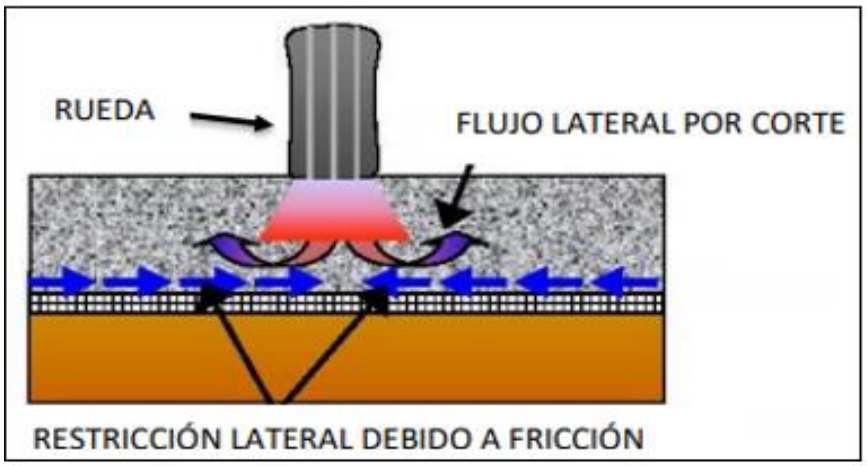


Figura 1. Esquema de confinamiento lateral.
Tomada de “Los Geotextiles y Geomembranas”, por Geotexan, 2020, p 8.

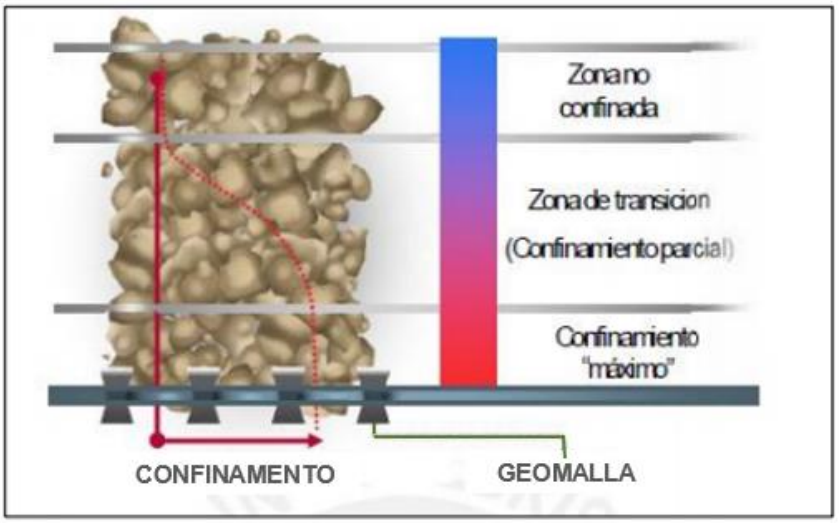


Figura 2. Disposición de la zona de confinamiento.
Tomada de “Nuevas tendencias en el diseño y construcción de carreteras reforzadas con geomallas”, por Valencia, 2009. p 19.

La producción del confinamiento hace una capa de material más consolidada, por lo que hay que tener cuidado en la disposición y características del espacio para así obtener un eficiente desempeño de los elementos, donde cada geomalla tiene un comportamiento diferente, como se muestra en la Figura 2. El mayor confinamiento se da en el área cercana al componente de refuerzo (Valencia, 2009).

b) Mejoramiento de la capacidad de carga

Característica aportada por la rigidez en la geomalla habiendo la distribución de los aportantes en un mayor espacio, haciendo que se reduzcan los esfuerzos que el material blando hace para el soporte. Este mecanismo se da en el trabajo de carreteras no pavimentadas o si la capacidad aportante de la subrasante es mínima; a estos mecanismos se le denomina también “zapato de nieve” por tener las mismas condiciones de comportamiento.

c) Efecto de membrana tensada

Es un mecanismo fundamentado en la propiedad distributiva de la tensión en la tracción vertical, lo cual se produce al manifestarse una deformación severa en el terreno a trabajar a consecuencia del peso de los vehículos que soporta la vía.

En esta situación se dan esfuerzos grandes los cuales son contenidos por la resistencia a la tensión que provee el refuerzo de geomalla (Geotexan, 2020).

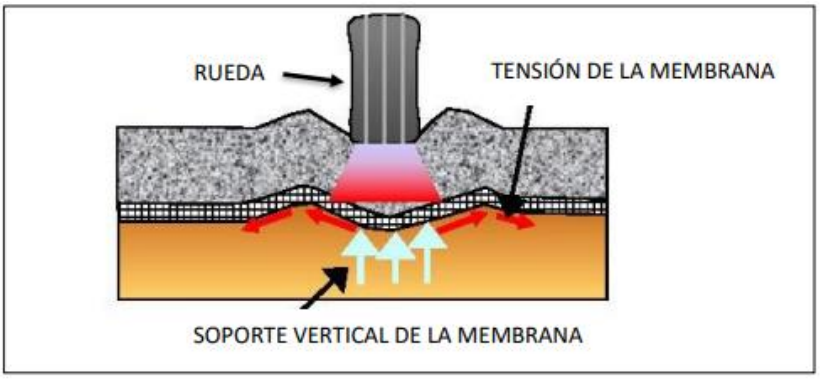


Figura 3. Esquema de efecto de tensado de la membrana.
Tomada de “Los Geotextiles y Geomembranas”, por Geotexan, 2020, p 9.

Este mecanismo no solo es un principal mecanismo de refuerzo; este mecanismo aporta en elevados niveles de deformación lo que se presenta en las carreteras no pavimentadas luego de que la vía soportó un alto tránsito con elevadas cargas por el tráfico, como se muestra en la Figura 3.

2.2.4. Refuerzo en vías con geomallas

Las geomallas son producto del troquelado de la geomembrana y estirada; en el caso de la geomalla biaxial es tensada en dos direcciones, donde se introduce unos nodos de mayor grosor, el cual aporta resistencia en ambos sentidos. Empleado en distribución de cargas en plataformas o terraplenes, en suelos de baja capacidad

portante, en suelos con saturación elevada y con estructura de mayor porcentaje de finos (Prodac , 2021).

Las vías se componen de un sistema de varias capas, con el fin de absorber y dispersar las cargas y esfuerzos causados por el tráfico vehicular, por lo que se proveen capas de mayor calidad cercana a la superficie para soportar las tensiones mayores de carga. La forma tradicional de una vía funciona distribuyendo las cargas aplicadas hasta llegar a un nivel permisible para la subrasante (Valencia, 2009).

La estructura general de un pavimento se conforma por:

- Estrato de tránsito rígido (concreto de cemento portland) o flexible (concreto de cemento asfáltico y adoquines de cemento), el cual tiene como base:
- Base de grava de diámetros estandarizados, materiales estabilizados (con cementos, cal o asfalto) o piedra chancada.
- Subbase de material de calidad inferior.

Para el diseño se tienen diversas metodologías como son los métodos empíricos, métodos limitantes de la fuerza de corte, deflexión, métodos regresivos y métodos mecánicos – empíricos. El método AASHTO se basa en la regresión de resultados empíricos, la cual se obtuvo por la AASHTO Road Test de 1950.

2.2.4.1. Metodología de diseño

La metodología es de AASHTO con modificaciones direccionadas a la aplicación de aporte estructural de las geomallas de acuerdo a las investigaciones realizadas por Filippo Montanelli, Aigen Zhao y Pietro Rimoldo, profesionales investigadores de la empresa TENAX CORP. Las modificaciones se realizaron de acuerdo a análisis de laboratorio y monitoreos en campo a escala real por la empresa antes mencionada. Con la información obtenida se determinan metodologías de aplicación en geomallas de elevado módulo de tensión y tipificadas por la aptitud de retención de agregados y elevada resistencia en sus juntas.

2.2.4.2. Mecanismos de reforzamiento proveídos por las geomallas

Se tienen tres métodos de refuerzo que ofrecen las geomallas de acuerdo a los estudios realizados por Giroud y Noiray, (Giroud y Noray, 1981); (Zornberg, 2013):

a) Reclusión lateral de la base o subbase

Obtenido por medio de la tensión y retención de la geomalla y el agregado. El cuál es el resultado de que los materiales granulares dependen del tipo de esfuerzo aplicado, si se eleva el agrupamiento lateral, se eleva el módulo de la capa granular sobre la geomalla (Figura 8).

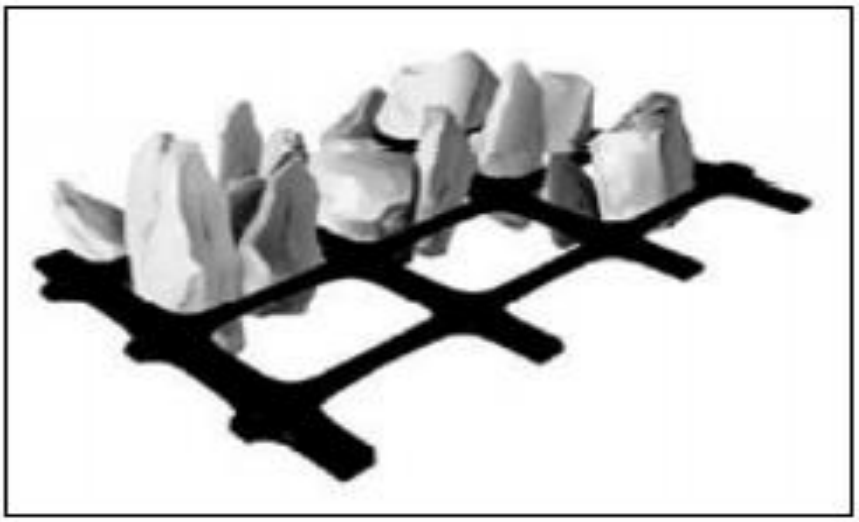


Figura 4. Reclusión lateral producido por la geomalla en el agregado granular. Tomada de “Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos”, por Zornberg, 2013, p 18.

b) Mejoras en la capacidad portante

Mecanismo que desplaza la subrasante blanda hasta la capa granular de mayor resistencia. Mecanismo que adquiere mejor aplicabilidad en las vías sin pavimentar, así como el comportamiento de los refuerzos en la subrasante es elevado.

c) Tensión de membrana

Mecanismo que se da por el material flexible elongado, el cual adquiere moldeado curvo por acción del peso vehicular, siendo el esfuerzo mayor en la cara cóncava que en la cara convexa por lo que al aplicar una carga, el esfuerzo vertical impartido por la geomalla a la subrasante es inferior que el esfuerzo vertical vertido a la geomalla; el mecanismo antes mencionados presenta

en niveles de deformación elevados como son las vías sin pavimentar luego de haber sufrido varias repeticiones elevadas de carga.

De los tres mecanismos el de mayor importancia en las estructuras de carreteras es de reclusión lateral. Se tiene 4 aportes:

- **Reducción de deslizamiento lateral de los agregados de la base o subbase**

  La implementación de una o más capas de geomallas entre la capa de base en el fondo, va a acceder la interacción cortante entre la geomalla y el agregado de acuerdo al desplazamiento lateral que se produzca. La elevada rigidez de la geomalla produce el retardo de la deformidad del material adjunto por tensión. La deformación lateral menor de la base o subbase va a ocasionar reducida deformidad vertical en la capa superficial de la carretera.

- **Incremento de reclusión y resistencia de la base o subbase en el conglomerado de refuerzo**

  Con el refuerzo de geomalla se aporta a elevar el estado rígido de la capa granular al determinar una buena interacción entre la capa granular y la geomalla.

- **Mejoras en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante**

En una carretera de estratos, si se tiene material poco rígido debajo de la base o subbase, implica que el esfuerzo vertical en la subbase o subrasante por debajo de la geomalla y las cargas aplicadas debe ser reducida conforme se incremente la rigidez de la base. Este hecho determina la deformidad superficial reducida y de mayor uniformidad.

- **Reducción de esfuerzos y cambio de forma por corte de la subrasante**

  La geomalla produce un estado de esfuerzos menores por tener una reducida deformación vertical de la subrasante.

Para el diseño de una estructura reforzada de carreteras se halla obteniendo las características de la subrasante o tierra natural así como el tamaño de partículas y capacidad de soporte. La resistencia al corte en el tramo se estima con veletas (directo) o de forma indirecta por intermedio de correspondencia de capacidad de carga; California Bearning Ratio (CBR) o pruebas de cono Dinámicas Penetrómetro (DCP).

2.2.5. Valoración al aplicar geosintéticos en carreteras no pavimentadas

a. Terreno base de CBR < 0.5%. En este tipo de terrenos es imprescindible la estabilización mecánica. En este tipo se aplica geotextil no tejido con el fin de reforzar el sub suelo y subrasante.

Si se cuenta con materiales de baja resistencia, se aplica el espesor de relleno con agregado completo sin contemplar reducciones del grosor del estrato de base. El diseño se fundamentó en disponer el geosintético no tejido sobre el suelo, a continuación, con geomalla y posteriormente se agrega el relleno de subrasante, subbase o base.

b. Terreno base con 0.5%< CBR< 2.0%. Se hace uso en la estabilización mecánica y de reforzamiento. Cuando el suelo tiene un CBR con valor de 2.0% se aplica para separación de sustratos.
c. Terreno base de 2.0%< CBR < 4.0%, en este tipo de terrenos se usa geotextil no tejido para la separación de subrasantes de partículas finas y de suelos de CBR entre 2% y 4%. Su empleo es en el refuerzo de la subrasante o la base. Se debe analizar el costo beneficio en su aplicación de acuerdo a la vida útil. Se puede aplicar, con ventajas de reducir el espesor de la base.
d. En suelos con CBR> 4.0% tiene un alto índice de aplicación de refuerzo en resistencia en las capas de agregados, subbases y bases (Koerner, 2014).

Tabla 3. Función principal de los tipos de geosintéticos

CLASE DE GEOSINTÉTICO	APORTE ESCENCIAL				
	SEPARACION	REFUERZO	FILTRACIÓN	DRENAJE	CONTAMINANTE
Geotextil (GT)	❖	❖	❖	❖	
Geomalla (GG)		❖			
Geomembrana (GM)					❖
Geosintético revestido de arcilla (GCL)					❖

Geo espuma (GF)	❖				
Geo compuesto (GC)	❖	❖	❖	❖	❖

Nota: Tomado de Koerner, “Geosynthetic Applications in Unpaved and Paved Road”, 2014, p 45.

2.2.6. Clases de geomallas

Respecto a las geomallas, de acuerdo a su uso se tiene:

a. Geomallas uniaxiales: geomalla confeccionada de polietileno de alta densidad (HDPE) con resistencia al elongamiento cuando se le aplica cargas pesadas en tiempos prolongados de tiempo, con resistencia a degradación biológico y agentes químicos. Resistentes a los daños en la instalación, no tienen degradación en suelos de hasta pH 12, usados en climas húmedos y secos. Geomalla que puede ser usada con materiales de relleno, suelos del lugar y de concreto reciclado ((Geoace, 2018).

Siendo sus usos en:

- Estabilidad de suelos y terrenos.
- Mejora y estabiliza la estructura de carreteras pavimentadas.

*Figura 5***.** Geomalla Uniaxial (UX).
Tomada de “Geomalla Uniaxial y Biaxial”, por Geoace . 2018. p 1.

b. Geomallas biaxiales: las geomallas biaxiales presentan una estructura bidimensional, fabricadas en base a polipropileno, tienen elevada resistencia tensional y elevado módulo de elasticidad. Presenta alta resistencia a las inclemencias del clima y medio ambiente, así como a los daños de instalación. La geomalla se emplea en la estabilización de suelos y de refuerzos de suelos blandos, fallas en taludes y deslizamientos (Geoace, 2018) .

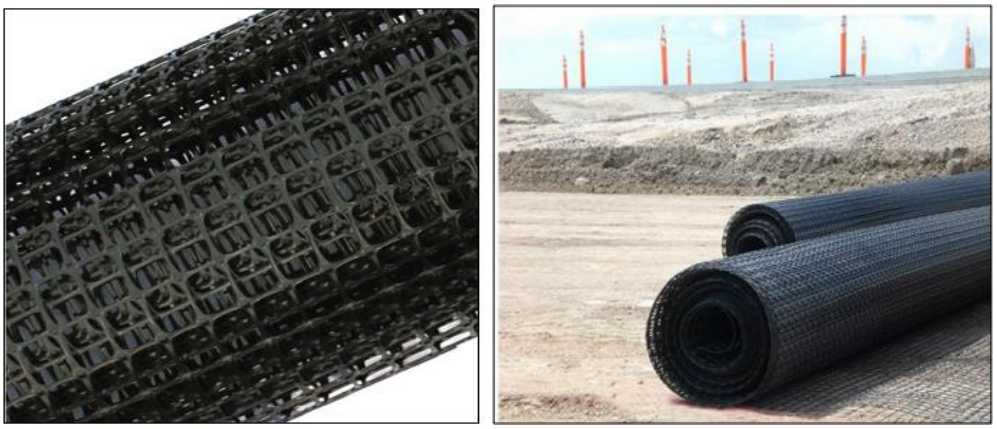


Figura 6. Geomalla biaxial.
Tomada de “Geomalla Uniaxial y Biaxial”, por Geoace . 2018. p 1.

Se aplica en:

- Estabilidad de terrenos o suelos.
- Mejoramiento y estabilización de las estructuras de carreteras pavimentadas.

De acuerdo a la información de ETL 1110-1-189 del staff de ingenieros del Ejército U.S.A., son geomallas que tienen aberturas uniformes y con resistencia a la tensión en los sentidos longitudinal y transversal (Geotexan, 2020).

c. **Geomallas triaxiales:** geomalla de distribución tridimensional, en donde las cargas se dan en forma radial en los agregados, lo que asegura un buen trabajo en el refuerzo de la geomalla en el rol mecánico. Tiene tres direcciones de rigidez. Los agregados se atrapan dentro de la geomalla lo cual provee una capa compuesta rígida con mayores desempeños (Geofort, 2021).

Figura 7. Geomalla triaxial.
Tomada del "Geomalla Uniaxial – Biaxial - Triaxial" por Geofort, 2021, p 1.

Usos:

- En los caminos no pavimentados aporta en el endurecimiento de la capa granular y a la vez reduce el esfuerzo a las cargas ejercidas en la subrasante (Tensar, 2021).

2.2.7. Características y especificaciones técnicas de las geomallas

En la tabla 4 se consolidan las características más los estándares que se muestran en las fichas técnicas de las diversas empresas fabricantes de geomallas.

En el mercado peruano se encuentran geomallas uniaxiales tejidas Gridpro WG-200-PET, donde se reporta las especificaciones técnicas de acuerdo a las propiedades físicas, mecánicas, características de interacción y comportamientos a largo plazo (Tabla 5), y se puede ver que los valores de masa por unidad de área varian en un 10%.

Tabla 4. Características estándares consolidadas de las Geomallas.

Características estándares consolidadas de las Geomallas		
Parámetros técnicos	**Método de ensayo**	**Unidades**
Aportes en el refuerzo		
2% o 5% módulo secante	ASTM D 6637[1]	kN/m
Coeficiente de interacción	GRI GG5	*[2]
Coeficiente de corte directo	ASTM D 5321	Grados
Apertura mm	Estimación directa	Mm
Porcentaje de área abierta	COE CW-02215	%
Índices de supervivencia		
Resistencia máxima de tracción	ASTM D 6637[1]	Kn/m
Resistencia en nodos	GRI GG2	%
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4356	%
Propiedades experimentales[3]		
Rigidez a la flexión	Bajo	-
Estabilidad de apertura	Bajo	-

[1] Método de ensayo acondicionado para geomallas in situ de ASTM D4595.
[2] Propiedades adimensionales.
[3] Propiedades de rigidez a la flexión y estabilidad de apertura en evaluación.
Nota: Tomado de "Propiedades comúnmente reportadas de geomallas" por USACE, 2003, p 18.

Las geomallas biaxiales son aquellas que han sido troqueladas y estiradas en dos direcciones implantando nudos de mayor grosor los cuales aportan mayor resistencia en los dos sentidos. Las geomallas biaxiales son utilizadas en:

Tabla 5. Especificaciones técnicas de geomalla uniaxial.

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNID.	VALOR
Resistencia longitudinal a la tensión ($T_{ULT)}$ - WARP	ASTM D 6637	kN/m	200
Deformación a la rotura	ASTM D 6637	%	<12
Resistencia transversal a la tensión (T_{ULT}) - WEFT	ASTM D 6637	kN/m	30
PROPIEDADES DE INTERACCIÓN	**NORMA**	**UNID.**	**VALOR**
Coeficiente de interacción (Ensayo Pullo ut)	ASTM 6706	-	1.04
Coeficiente de interacción (Ensayo corte directo)	ASTM D 5321	-	0.86
PROPIEDADES FÍSICAS	**NORMA**	**UNID.**	**VALOR**
Abertura nominal de la malla longitudinal	MEDIDO	mm	25
Abertura nominal de la malla transversal	MEDIDO	mm	25
PROPIEDADES A LARGO PLAZO	**NORMA**	**UNID.**	**VALOR**
Factor de reducción fluencia – creep	ASTM D 5262	RFCR	1.43
Factor de reducción durabilidad	97-144	RFD	1.15
Factor de reducción por años de instalación	ASTM D 5818	RFID	1.03
Factor de reducción total (RFG*(RFCR x RFD x RFID)	-	-	1.69
Resistencia a largo plazo LTDS x TULT/RFG	-	kN/m	118
Peso del rollo	-	Kg	130
Masa por unidad de área	ASTM D 5261	g/m^2	490
Rollo ancho	-	m	5.30
Rollo largo	-	m	50
Rollo área	-	m^2	265
Unidad de venta	-	m^2	-

Nota: Tomado de Geomalla Uniaxial tejida Gridpro WD-120-PET por Prodac, 2021, p 1. (Prodac, 2021).

- Refuerzos de subrasantes
- En la estabilización de suelos
- Estabilización de taludes
- En el tránsito de suelos blandos
- Redistribución de cargas
- Minimización de deformaciones

En la Tabla 6 se observa las especificaciones técnicas de la geomalla biaxial (Prodac, 2021).

También se tiene geomallas triaxiales TRIAX 160 (Tabla 7), la cual se utiliza para mejorar la estabilidad de suelos blandos y de bases granulares; es una geomalla constituida de resinas de polipropileno, perforadas y de estiramiento uniforme en sus tres direcciones teniendo las siguientes propiedades (USACE, 2003):

- Posee una apertura triangular de alta resistencia a cargas e integridad de la estructura frente a refuerzos mecánicos en labores de instalación.
- Tiene elevada resistencia a deformaciones de acuerdo a las fuerzas aplicadas en el uso.
- Elevada resistencia a la reducción de capacidad de carga.
- Presenta estabilidad de su estructura en el tiempo de uso largo y bajos condiciones ambientales adversas.

- Resistencia respecto a cambios degenerativos de los suelos en los que se les instale.

Tabla 6. Características técnicas Geomalla Biax 160

Características	Norma	Unidad	Valor
Polímero	--	PP	Polipropileno
Tipo	--	--	Extruido
Contenido mínimo de negro humo	ASTM D 1603	%	2
Espesor de costilla	ASTM D 5199	Mm/mm	1.5/1.5
Esfuerzo tensional al 2% de elongación (MD/CD)	ASTM D 6637	kN/m	10.0/10.0
Esfuerzo de tensión al 5% de elongación (MD/CD)	ASTM D 6637	kN/m	18.0/18.0
Esfuerzo último de tensión (MD/CD)	ASTM D 6637	kN/m	20.0/20.0
Elongación al esfuerzo último (MD/CD)	ASTM D 6637	%	15.0/10.0
Esfuerzo de tensión a la costilla	GRI-661	kN/m	20.0/20.0
Esfuerzo de tensión en la junta	GRI-662	kN/m	18.0/18.0
Resistencia a la intemperie	EN 12224	%	100
Resistencia a ácidos y alcalinos	EN 14030	%	100
Resistencia a la oxidación (56 días a 110°C)	ISO 13438	%	100
Resistencia a los rellenos del suelo	EN 12225	%	100
Abertura de malla (MD/CD)	Medido	mm/mm	40.0/40.0
Rollo ancho	--	m	4.00
Rollo largo	--	m	50
Rollo área	--	m^2	197.5
Unidad de venta	--	m^2	--

(1) Los valores vertidos en la Tabla 6 es respecto al sentido más desfavorable de la geomalla. Los valores MARV son respecto al valor resultante de: Valor típico – 2 veces la desviación estándar de la totalidad de valores históricos.

Nota: Tomado de "Geomallas Biaxial extruida TG 2020-S" por Prodac, 2021, p 1.

- Elevada resistencia al punzonamiento, desgastes y rasgados.

- Tienen buen soporte a las cargas dinámicas que se le impriman en el tráfico de la construcción en las tres direcciones dentro de su propio plano.

Tabla 7. Características técnicas: Malla Triaxial TRIAX 169

Características	Longitudinal	Diagonal	Transversal	Global
Equidistancia entre costillas paralelas (mm)(2)	40	40	--	
Hondura al centro de la costilla (mm)	--	1.6	1.4	
Ancho al centro de la costilla (mm)(2)	--	1.0	1.2	
Forma de costilla				Rectangular
Forma de la apertura				Triangular
Integridad estructural				
Eficiencia de juntas (%) (3)				93
Rigidez radial a baja deformación (4) (kN/m 0.5% deformación).				300
Rigidez radial a baja deformación, (4) (lb/pie @ 0.5% deformación)				20,580
Resistencia a degradación química (5)				100%
Resistencia a degradación por luz UV y condiciones ambientales (6)				70%

(1) Valores mínimo promedio hallados por método ASTM D4759-02. Los valores mínimos promedio de rollo (MARV) son valores estadísticos similares a valores promedio menos 2 veces a la desviación estándar.
(2) Valores nominales.
(3) Capacidad de transferencia estimada por ASTM D6637-10 y ASTM D7737-11, dada en porcentaje de la resistencia a la última tensión.
(4) El esfuerzo radial estimado por esfuerzos de tensión tomados en cualquier eje del plano de acuerdo a pruebas de la ASTM D 6637-10.
(5) La pérdida de resistencia a la capacidad de carga al exponer la geomalla a medios químicamente agresivos se estima por ensayos de inmersión conforme a la EPA 9090.

(6) Resistencia a reducción de capacidad de carga al exponer a 500 horas de luz UV y ambientes agresivos, se da por pruebas ASTM D 4355-05.
Nota: Tomado de “Geomalla Tensar Tri Ax (TX)” por Tensar, 2021, p 1.

- La geomalla triaxial brinda un soporte radial a 360 grados mediante refuerzos al suelo base o de fundación, por medio del aprisionamiento mecánico del suelo que se compacte; así como los materiales que se incorporen como relleno.
- Poseen rigidez de flexión en la instalación sobre suelos pobres y húmedos.
- Eficiente rigidez de torción frente a movimientos dinámicos de rotación en la sección, causados por los suelos de compactación o material de relleno cuando se aplican fuerzas de desplazamiento lateral como en el caso del paso de vehículos en movimiento.
- La geomalla se aplica en el refuerzo interior solar compactado o agregados de relleno ofreciendo mejoramientos de la capacidad de soporte de cargas dinámicas en estructuras.

2.2.8. Transporte y almacenaje de geomallas

La adquisición de geomallas es en rollos, los cuales se desplazan por racks con varios puntos de izaje, siendo por bloques de 4 rollos con diámetros externos de 90 centímetros. El transporte se debe realizar en plataformas que no provoquen deformaciones severas de los rollos, siendo su transporte en disposición horizontal. Su almacenamiento se accede en lugares abiertos por períodos largos (Cruz, 2013).

2.2.9. Construcción de carreteras con geomallas

La construcción de carreteras en suelos blandos es de especial cuidado por dos motivos:

- Para la protección de los geosintéticos (si es aplicable).
- Prevenir sobrecargas de densidad vehicular en la construcción.

Se considera que si la subrasante tiene CBR menores a 2.0%, cuando se requiere reducir costos en vías de bajo tránsito, no es necesario sacar la capa superficial de vegetación (Geotexan, 2020).

Figura 8. Traslape y dirección de refuerzo.
Tomada de "Recomendaciones para la construcción de muros de contención en suelo reforzado" por Geomatrix (2020), p 3.

Si la subrasante obtiene valores de CBR de 2.0% a más, la capa base de suelo tiene que estar compactada con el propósito de hallar materiales groseros que afecten la geomalla (9).

El traslape de las geomallas debe ser mínimo de 30 centímetros (1 pie) y puede ser cocido si el caso lo amerita.

El transporte de las geomallas al lugar de la instalación debe estar protegida para evitar contaminación y exposición a factores externos, hasta el vertido del agregado en la vía. En los suelos blandos o inestables, se requiere verter el relleno en el suelo estabilizado y luego desplazarlo hacia adelante sobre la geomalla del relleno, posteriormente con la motoniveladora se realiza el extendido bien distribuido del modo convencional con la compactación final. En la Figura 9 se puede ver la disposición de la geomalla en el estrato, el cual tiene disposición transversal (dirección de refuerzo), teniendo de acople entre mallas con un traslape de 30 centímetros, en caso de tener zonas con posibles desplazamientos debidos a pendientes o flujos agrestes se realizará el cocido de las geomallas entre ellas.

2.2.10. Diseño de reforzado con geomalla en carreteras no pavimentadas

Para el diseño de reforzamiento de carreteras no pavimentadas con geomalla se sigue el siguiente procedimiento:

a. Resistencia de corte del suelo (C).

En el diseño se hallan las condiciones del suelo natural. Se determina las condiciones de diseño de la subrasante por medio de los ensayos CBR dados en el lugar o saturado en el laboratorio, ensayos con veleta, ensayos de cono. Posteriormente se determina el geosintético a utilizar de acuerdo al uso de la

geomalla determinando su aplicabilidad de acuerdo a las condiciones de la carretera.

Seguidamente se evalúa el diseño de la carretera utilizando agregado en la superficie de la base. Al determinar el tipo de geomalla entonces la resistencia del suelo se valora de CBR a la resistencia de corte (C) con la relación de la Figura 9.

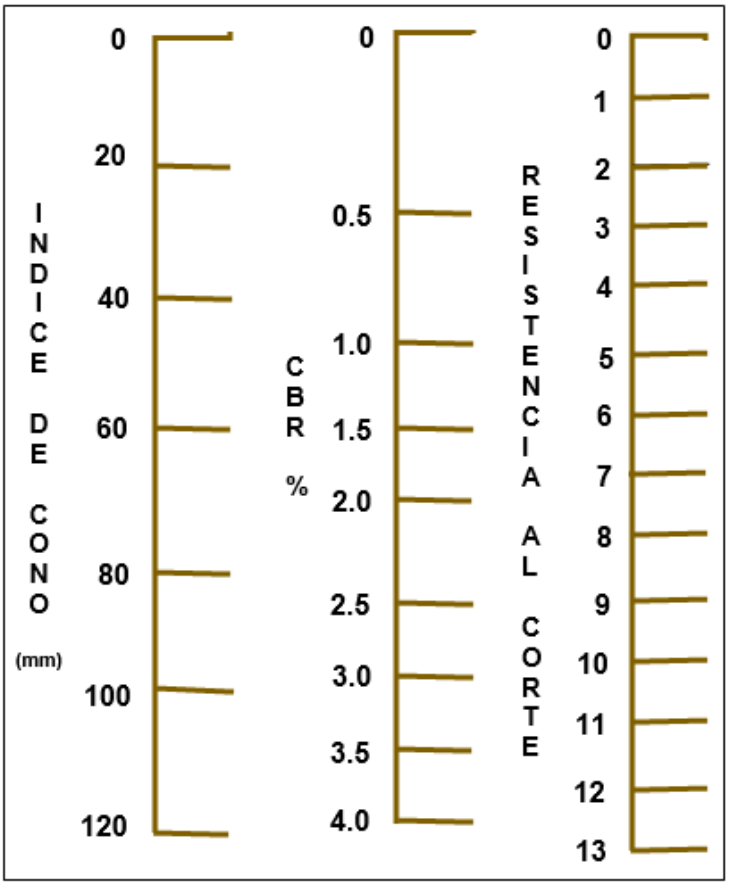


Figura 9. Correlación entre CBR, índice de cono y resistencia al corte. Tomado de USACE, 2003, p 38.

b. Aforo del tráfico

Se toma como referencia el vehículo de mayor peso dentro del desplazamiento del tránsito por la vía en estudio, definiendo cargas de una, dos, doble rueda y cargas de ruedas tándem.

El mecanismo a seleccionar de acuerdo al peso mixto, se emplea la tara del vehículo de diseño. Siendo una modalidad el uso del 50% de la carga impresa en el eje de una, dos ruedas del vehículo de un solo eje. En el caso de vehículos con varios ejes se utiliza el promedio de la carga integral encima de los dos ejes más próximos y de mayor peso. Tomando en consideración los parámetros determinados en los vehículos de la armada estadounidense (como se ve en la Tabla 8).

Tabla 8. Cargas típicas de vehículos militares.

Cargas típicas en vehículos militares				
Clase de vehículo	**Peso total del vehículo (lb)**	**Carga por diseño de rueda (Lb)[1]**		
		Rueda simple	**Rueda doble**	**Tándem**
M54A2C, 6X6,5–Ton Cargo Truck	40,200	5,000	--	16,000
M929A1, 6X6, 5-Ton Dump Truck	35,065	6,000	--	12,000
M1062, 4X4, Semitrailer Fuel Track	64,600	--	--	34,000
M172A1, 4x4, 25- Ton Semitrailer	66,600	--	--	42,000
M872A1-3, 6x6, 34 Ton Semitrailer	86,440	--	--	57,000
M870, 6x6, 40-Ton Semitrailer	96,000	--	--	57,000
M747, 8x8, 60-Ton HET Semitrailer	152,000	--	--	27,000
M1000, 8x8, 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 en carretera reforzada con geomalla. Uso de ½ del máximo una o rueda doble del eje de carga. En ejes múltiples se usa ½ del total de

la carga más pesada sobre los 2 ejes adyacentes, tratándolo como una carga de ruedas en tándem.

Nota: Tomado de "Cargas de tránsito de vehículos militares típicas" por USACE, 2003, p 18.

El grosor global del diseño en este método se sustenta en el desarrollo de roderas de 5 centímetros (2pulg), luego de 1,000 pasadas de una carga de soporte de 18 PSI.

El grosor integral se debe incrementar en un 10% en el diseño de 2,000 pasadas y 20% en el caso de diseño de 5,000 pasadas. En el caso de vehículos pesados de construcción se le adiciona un 10% (Geotexan, 2020).

c. Capacidad portante reforzada (N_c)

Se estima el factor de capacidad portante reforzada; se emplea información datos reales de alta escala ERDC (Equipo de Carga Simulada) de secciones de prueba.

Tabla 9. Factores de capacidad de carga reforzada (Nc).

Factor de capacidad de carga reforzada (Nc^1), con estrato superficial de agregados (base)			
Etapa 1: Hallar la resistencia de diseño del subsuelo y el uso de geosintéticos			
CBR≤ 0,5	**0,5<CBR≤2,0**	**2,0<CBR≤4,0**	**CBR>4,0**
Uso de geotextil y geomalla en la interfase del subsuelo y la base. No es recomendable reducir el grosor	Se recomienda geomalla y geotextil. Se usa el procedimiento de diseño para estimar el cálculo	Uso de geotextil en subsuelos finos. También se usa geomallas. Análisis de costos.	Desarrollar análisis de costos, considerando beneficios, no se tiene información para

de base. Uso de Tm 5-822-12 en el diseño de los grosores.	del grosor total con reducción. Geotextil: 5.0[3] Geomalla: 5.8 Ambos[2]: 5.8	Geotextil: 5.0[3] Geomalla: 5.8 Ambos[2]: 5.8	determinar la resistencia.

(1): El Factor de capacidad de soporte de carga sin refuerzo es Nc= 2,8.
(2): Recomendable el uso de geotextil y geomalla, el geotextil como separador.
(3): Se usa el factor 3,6 en diseños de pavimentos reforzados con geotextiles de conservación.
Nota: Tomado de "Factores de capacidad de carga reforzada Nc para pavimentos con superficie de agregados" por USACE, 2003, p 21.

La capacidad portante No reforzada (N_c) es igual a 2.8%. La capacidad portante reforzada con geotextil es igual a 5.0%. En estudios desarrollados el factor se reduce a 3.6% en diseños normales.

El N_c cuando se emplea geotextil separador y geomalla de refuerzo el factor es de 5.8%. Los factores de capacidad conforme a las características del subsuelo (USACE, 2003), se ven en la Tabla 8.

d. Espesor final de diseño

Siendo la última fase, estimar el grosor total necesario, para lo que se emplean las Figuras 10, 11 y 12 para los tres tipos que son de una rueda, doble rueda y conjunto de ruedas tipo tándem.

Capacidad de soporte del suelo (CN_c): determinando el producto de la resistencia de corte (C) en unidades de PSI con el factor de capacidad de soporte requerido (Nc). La lectura de la curva de diseño requerida aproximada en las figuras 10, 11 y 12, se aplican

con la capacidad de terreno natural (CN_c) del valor del eje X. a la curva de diseño requerido al peso. Para la estimación, se procede en el gráfico, trazando una línea vertical a partir de la capacidad de soporte del terreno base a la curva de diseño propuesto y adecuado del peso.

Luego se genera un trazo horizontal proyectado desde la conjetura de cruce con relación al grosor total solicitado en unidades americanas (pulgadas) en el eje Y. La sumatoria que se necesita obtenida del grosor total de la vía sin pavimentar se redondea a la medida más elevada que sigue. El grosor necesitado de agregado para diseño sin refuerzo se estima con Nc 2,8 con el fin comparativo de costos con el diseño con refuerzo. Para el diseño con refuerzo de geosintéticos se estima usando el Nc apropiado según el tipo de refuerzo recomendado. De acuerdo a la USACE, el grosor mínimo total recomendado es de 6 pulgadas en caminos sin pavimentar (USACE, 2003).

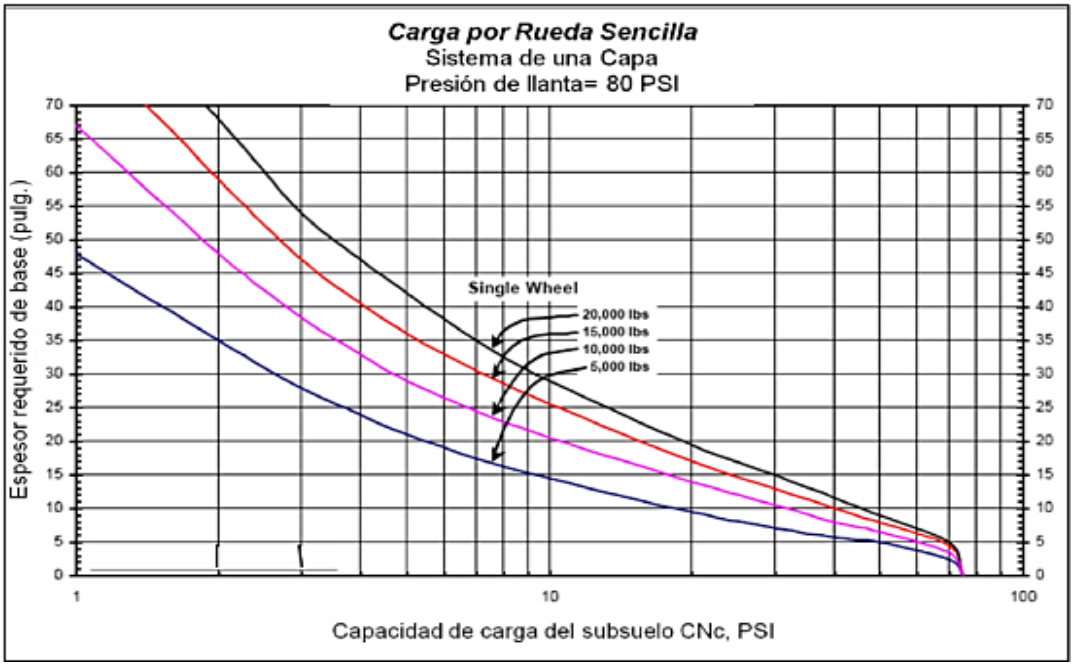


Figura 10. Diseño de pavimentos en cargas de rueda sencilla (Capa de rodadura de base).
Tomado de USACE, 2003, p 38.

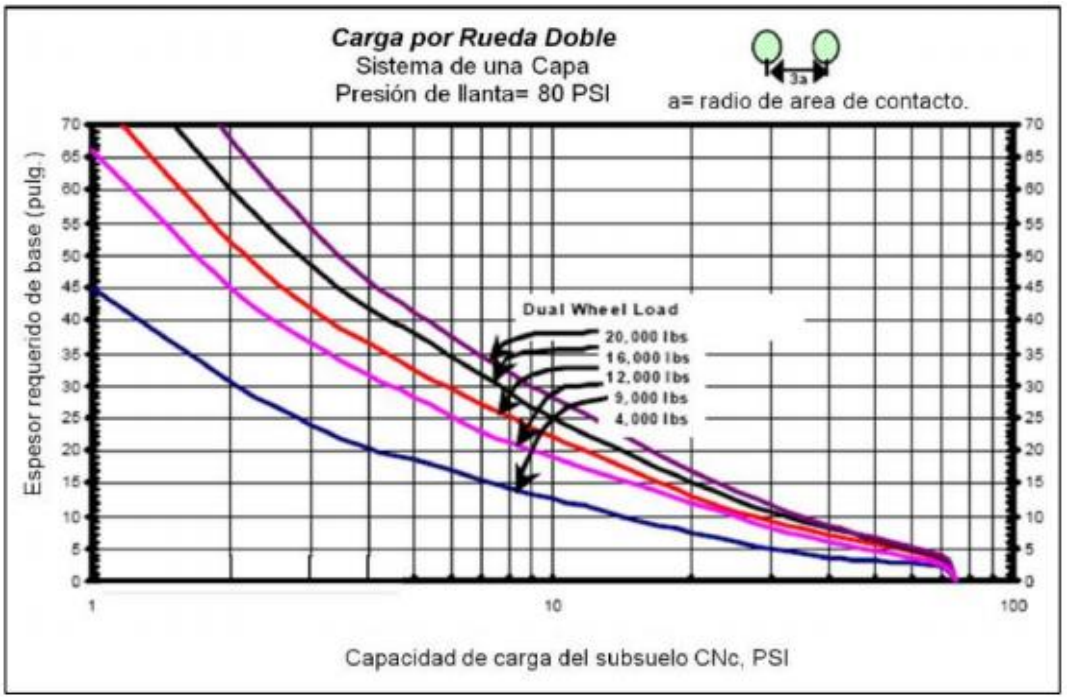


Figura 11. Diseño de pavimentos para cargas de doble rueda.
Tomado de USACE, 2003, p 38.

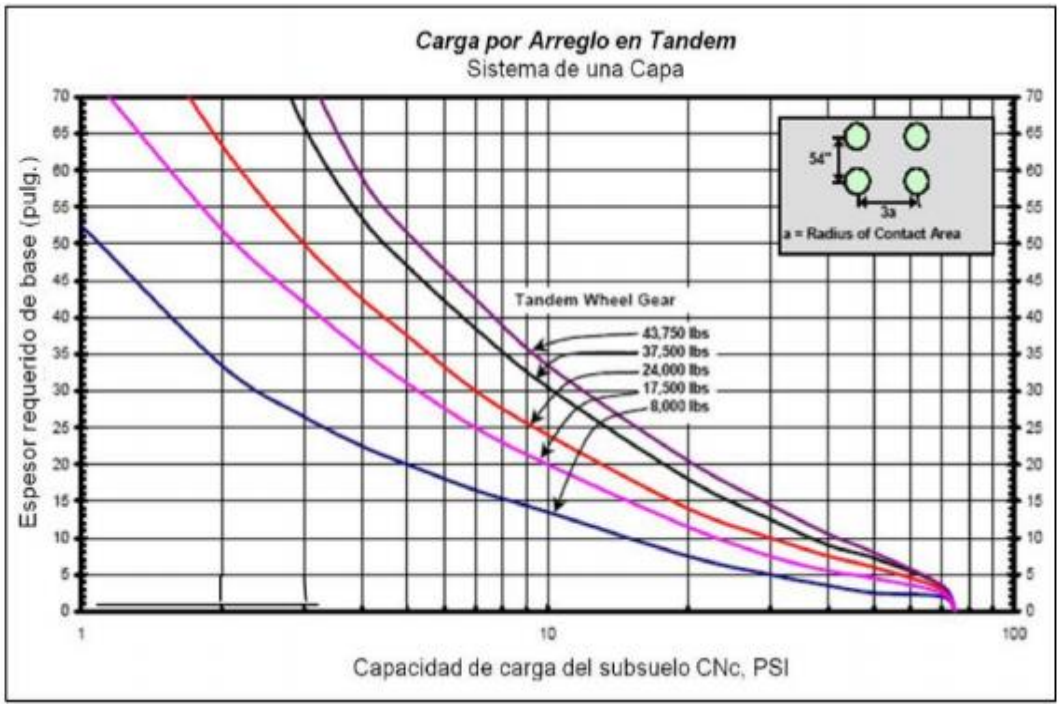


Figura 12. Diseño de pavimentos en carga de ruedas tipo tándem.
Tomado de USACE, 2003, p 38.

2.2.11. Diseño convencional de carretera no pavimentada

Para el diseño se toma en consideración los vehículos pesados en el diseño de capa de rodadura, tomando en cuenta los vehículos que tienen pesos brutos mayores de 2.5 toneladas (MTC, 2008), lo cual se plasma en la Tabla 10.

Los vehículos con pesos menores no causan mayor efecto en la capa de rodado, por lo que se toma en consideración los vehículos pesados. Para el cálculo del tráfico proyectado al año horizonte se categorizan en la Tabla 11.

Tabla 10. Categoría de vehículos por capa de rodadura

CATEGORÍA	T0	T1	T2	T3
IMDA (Cantidad vehículos ambos sentidos)	<15	16-50	51-100	101-200
Vehículos pesados (vía de diseño)	<6	6-15	16-28	29-58
N° Rep. EE (vía de diseño)	$<2.5 \times 10^4$	$2.6x10^4 – 7.8x10^4$	$7.9x10^4 – 1.5x10^5$	$1.6x10^5 – 3.1x10^5$

Nota: Tomado de "Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volúmen de tránsito", por MTC,2008, p 23.

2.2.11.1. Determinación del tráfico de vehículos en la zona de estudio

Con el fin de obtener la categoría de vehículos que circulan en el ámbito del proyecto se procederá de la siguiente manera:

1ero: Determinación de los subtramos aledaños homogéneos del tráfico.

2do: Contabilidad del tráfico de vehículos transadas con la Municipalidad de Yura con un tiempo de evaluación de 4 días (2 días de semana, sábado y domingo), se toma una semana de circulación promedio, con conteos por unidades vehiculares y por tipo de vehículo.

3ro: Con la información adquirida procedemos a determinar el IMDA (número de vehículos y el número de vehículos pesados para el diseño del carril, con el fin de determinar el tipo de tráfico. Se

requiere tener el número de repeticiones de ejes equivalentes (EE) para el periodo de diseño.

4to: La noción de EE se relaciona con la unidad normalizada por AASHTO, lo que muestra el grado de deterioro que afecta en la capa de rodadura. Para hallar el cálculo de los factores destructivos por eje se considera le método simplificado AASHTO, con la relación de la Tabla 11.

Tabla 11. Determinación de factores destructivos por eje equivalente.

Clase de Ejes	Eje equivalente EE 8.2 Toneladas
Eje simple de rueda simple	$[P/6.6]^4$
Eje simple de doble rueda	$[P/8.16]^4$
Eje tándem de doble rueda	$[P/15.1]^4$
Eje trídem de doble rueda	$[P/22.9]^4$

Nota: Tomado de "Provisional Standars – Interim Edition" - Recommended Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures", por AASHTO, 2001, p 13.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Pavimento

Estructura vial terrestre el cual se encuentra conformada por una o más estratos de materiales elaborados o no elaborados, la cual es dispuesto en el terreno acondicionado, y tiene por objetivo el de acceder el tránsito vehicular (Giordani y Leone, 2019).

2.3.2. Subrasante

De acuerdo a Caballeros (2006), la subrasante es la capa primigenia de una vía el cual va a soportar capas estructurales del afirmado o pavimento, donde se incide hasta una profundidad que no comprometa la carga de diseño que se realice en el estudio técnico de acuerdo al tránsito previsto.

2.3.3. Base

Es la manta de pavimento que, de disposición superficial de rodadura, siendo la labor esencial de soportar, distribuir y la transmisión de carga a la subrasante, la cual se dispone en la zona inferior.

En la Tabla 12 se muestra los tipos de afirmado empleados para cada tipo de tránsito.

Tabla 12. Tipos de afirmado para cada tipo de tránsito

Porcentaje que pasa por el tamiz	Tráfico T0 y T1: Tipo 1 IMD<50 Veh.	Tráfico T2: Tipo 2 IMD 51-100 Veh.	Tráfico T3: Tipo 3 IMD 101-200 Veh.
50 mm (2”)	100	100	
37.5 mm (1 ½”)		95-100	100
25 mm (1”)	50-80	75-95	60-100
19 mm (3/4”)			65-100
12.5 mm (1/2”)			
9.5 mm (3/8”)		40-75	45-80
4.75 mm (N° 04)	20-50	30-60	30-65
2.36 mm (N° 08)			
2.00 mm (N° 10)		20-45	22-52
4.25 um (N° 40).		15-30	15-35
75 um (N° 200)	4-12	5-15	5-20

Índice de plasticidad	4-9	4-9	4-9

Nota: Tomado del "Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volúmen de tránsito", por Minsiterio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2008, p 113.

2.3.4. CBR (California bearning ratio)

El CBR de un suelo se define como la carga unitaria de penetración de 0.1" o 0.2", lo cual se denomina en porcentaje en el respectivo valor estándar.

2.3.5. Geosintéticos

Son una gama de láminas, fibras y tejidos elaborados industrialmente a partir de elementos químicos como los polímeros o denominados comúnmente como plásticos, los cuales de su forma inicial en polvo o granular son transformados en láminas fibras, mallas, hilos, entre otros (Cruz, 2013).

2.3.6. Geomallas

Todas aquellas confecciones a base de materiales geosintéticos el cual tiene disposición de monofilamentos paralelas conectadas entre sí, dejando espacios de traba con el material que se tenga en contacto en su disposición final. (Koerner, 2014).

2.3.7. Geotextil

Es una membrana de forma laminar, de comportamiento flexible y poroso, el cual es de uso permanente en la construcción civil. Su conformación aporta un enlace mecánico o químico entre cada uno de

sus filamentos, lo cual le proporciona bondades mecánicas e hidráulicas (Grupo GHA, 2020).

2.3.8. IMDA (Índice Medio Diario Anual)

El IMDA es una cifra numérica de estimación del tráfico de vehículos en un tramo determinado de red vial en el lapso de un año.

2.3.9. Reforzamiento de carreteras

La conservación de carreteras se da por la exposición a las inclemencias del clima, fenómenos naturales regulares y anómalos, y las cargas que se aplican a sus elementos estructurales.

Para el refuerzo de las carreteras se pueden utilizar geosintéticos como son las geomallas de refuerzo para elevar la conservación de las carreteras (Geoace, 2018). El refuerzo de carreteras con geosintéticos son un aportante que eleva la capacidad portante (resistencia al corte) del sustrato, así como la estabilidad en la construcción de las capas de la vía.

2.4. Características climáticas de la zona en estudio

2.4.1. Precipitación pluvial

La época de lluvias en Arequipa se da en los tres primeros meses del año, lo que corresponde a la estación de verano (GRA, 2018).

Donde la precipitación promedio en la ciudad de Arequipa es de 15 a 100 milímetros; para el resto de los meses de abril a diciembre las precipitaciones son mínimas o casi nulas ((SENAMHI, 2017).

Como se denota en la Figura 13, se muestra la variación de 10 a 100 mm, donde se muestra e incremento transversal direccionado al este del país.

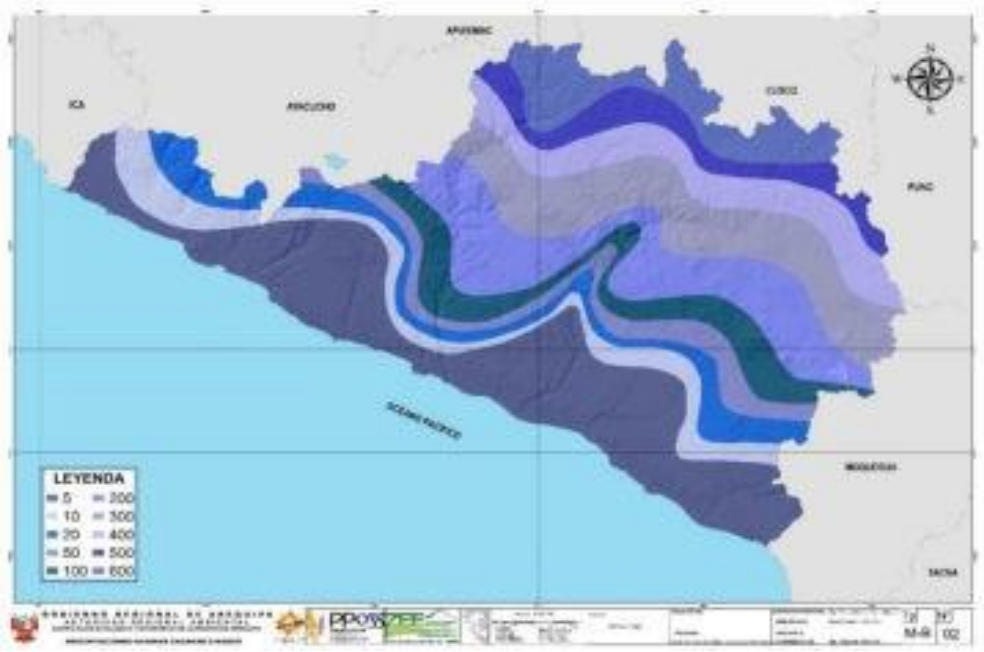


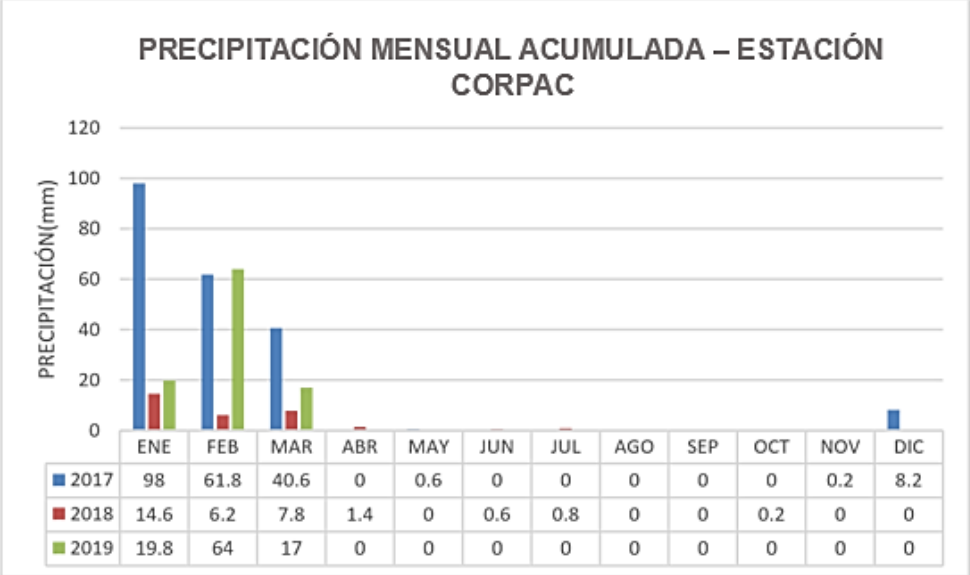
Figura 13. Flujograma de precipitaciones máximas Enero – marzo.
Tomado de Periodo lluvioso – Precipitaciones máximas, por Gobierno Regional Arequipa, 2018, p 2.

Precipitación en la zona en estudio

Los datos meteorológicos fueron tomados de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Rodríguez Ballón de Arequipa, en un periodo del 2017 al año 2019, ya que la información meteorológica del

año 2020 se encuentra incompleta por la ausencia de registros por las restricciones causadas por la pandemia COVID 19.

En la Figura 14 se puede ver que el pico de precipitación máxima se dio en enero del año 2017 con una lámina de 98 milímetros; las precipitaciones son en los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo), en el resto de meses las precipitaciones son ausentes.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2017	98	61.8	40.6	0	0.6	0	0	0	0	0	0.2	8.2
2018	14.6	6.2	7.8	1.4	0	0.6	0.8	0	0	0.2	0	0
2019	19.8	64	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 14. Precipitación mensual acumulada 2017-2019.
Tomado de la estación meteorológica CORPAC, 2019.

En la Figura 14, se puede ver que el pico de precipitación máxima se dio en enero del año 2017 con una lámina de 98 milímetros; las precipitaciones son en los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo), en el resto de meses las precipitaciones son ausentes.

Temperatura

El factor térmico es un factor climático de importancia que influye en el rendimiento de un pavimento. En la Figura 15 se muestran las temperaturas mínimas, máximas y temperatura promedio de modo mensual entre los años 2017 al 2019. Se puede observar que se tiene una temperatura máxima de 30°C (86°F) y una mínima registrada de 4°C (39.2°F).

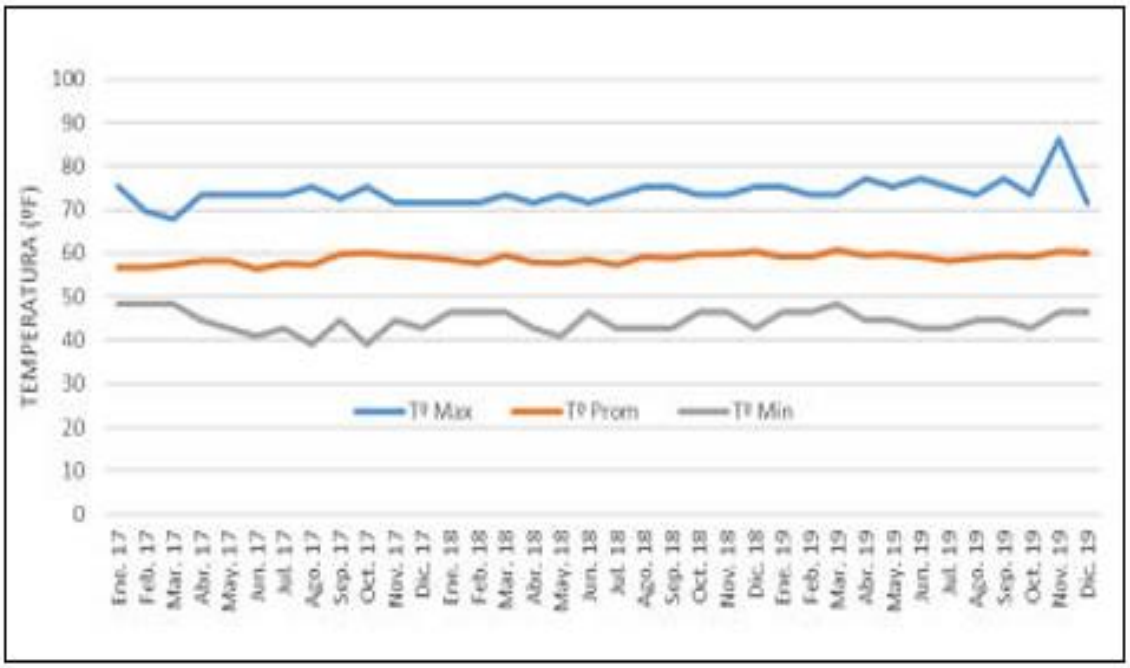


Figura 15. Temperatura máxima, mínima y promedio: 2017 – 2019.
Tomado de la Estación meteorológica CORPAC, 2019.

Viento

El viento que es la resultante de las diferencias de presión causado por las diferencias de temperatura en la atmósfera. Se tiene los elementos de medición que son la dirección y velocidad de los vientos.

La dirección se da en cero grados de los vientos que vienen del norte y la escala se incrementa a los 360° en sentido horario; se tiene un viento del sureste equivalente a 135 grados y otro viento proveniente del sur a 180 grados (Maximiliano, 2016).

Los vientos en la zona en estudio se tomaron de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Rodríguez Ballón, en el periodo noviembre 2016 al 3 de marzo del año 2020 (Figura 17), los valores más altos son de 18.7 km/h y el valor menor es de 6.44 Km/h.

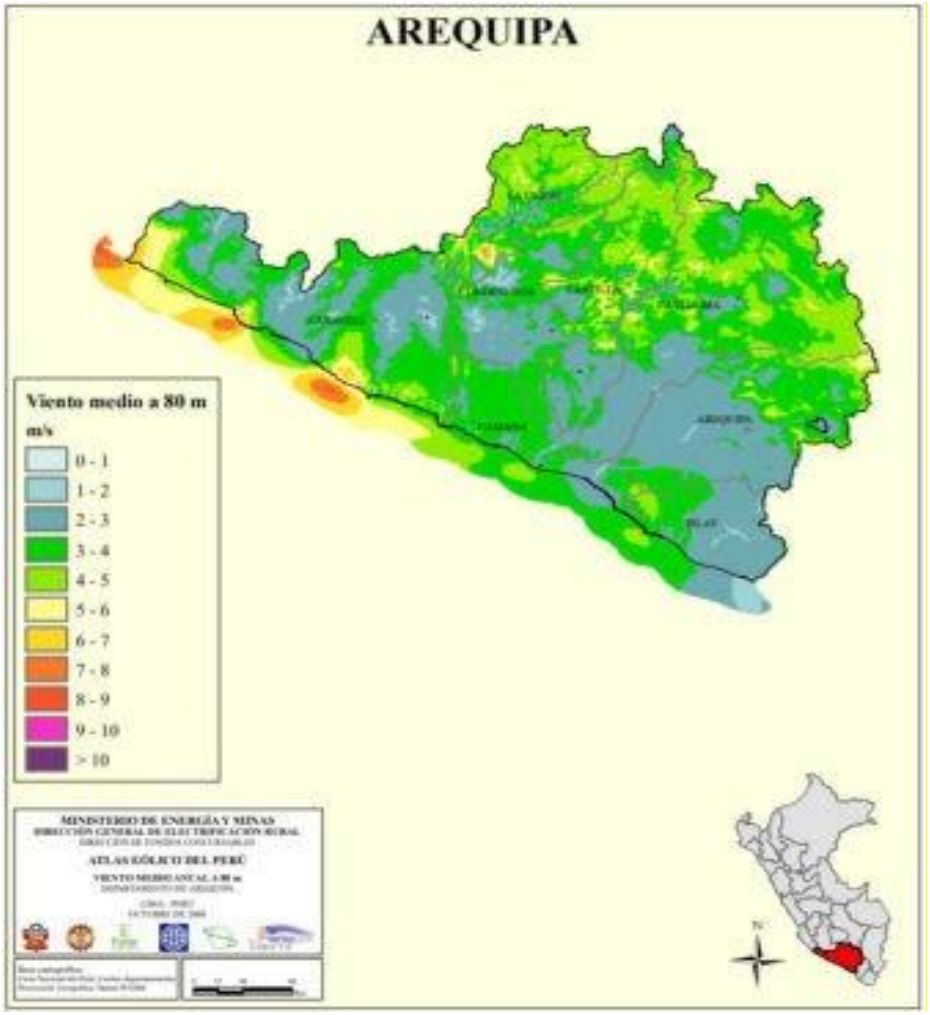


Figura 16. Vientos medio anual a 80 metros Arequipa.

Tomado de Línea Base ambiental – social, por Ministerio de Energía y Minas (MINEM), 2021, p. 34.

La velocidad del viento promedio por hora en Arequipa es casi homogénea siendo un promedio de 8 a 13 km/h. Las ráfagas de viento más frecuentes provienen del norte en el intervalo del 16 de abril al 15 de octubre, teniendo un 52% a fines de junio ((GRA, 2018).

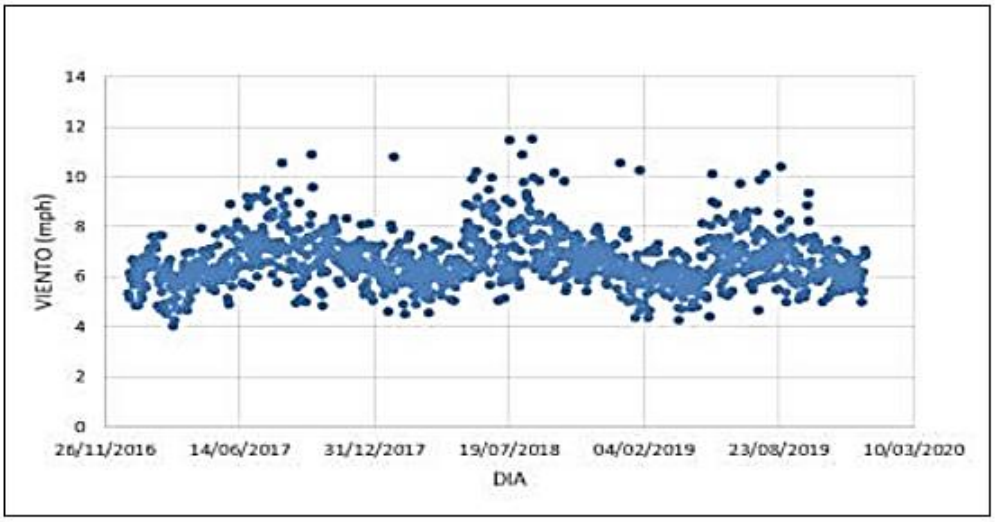


Figura 17. Viento promedio diario 2016 – 2020.
Tomado de Línea Base ambiental – social, por Ministerio de Energía y Minas (MINEM), 2021, p. 34.

Profundidad del nivel freático

Tabla 13. Profundidad del nivel freático del acuífero del río Chili.

ZONA	SECTOR	VARIACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO (m)
ZONA I	Buenos Aires - Buena Vista – Chinihaya	1.00 - 3.03
	Virgen de Chapi	32.67 - 55.28
ZONA II	Las Peñas - Las Peñas Tradicional – Cacapato	0.77 - 9.00
	Torres San Isidro - Virgen de la Candelario - 28 de Julio - San Cosme – Irrigación	40.00 - 66.77
ZONA III	Los Pinos - Vallecito – Magisterial	6.79 - 21.12
	La Campiña Dorada	16.90 - 24.78
	San Lorenzo - La Negrita - La Perla	45.00 - 64.38
	Parque Industrial	35.00 - 47.58
ZONA IV	Las Malvinas - Mariscal Castilla	4.36 - 15.00
	Límites de la zona IV y III	60.00 - 87.76
	Río Seco - Alto Libertad	65.51 - 102.40
ZONA V	Pampas Camarones - Guillermo Torreblanca	1.59 - 5.92
	Sachaca	5.86 - 11.10
	Pampas Nuevas	1.42 - 13.90
	El Molino - Chusicani – Junín	25.00 - 31.71

Nota: Tomado de Estudio hidrogeológico del acuífero del rio Chili por Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2018, p 88.

De acuerdo a estudios antes realizados, el estudio agro geológico del acuífero del rio Chili del ANA (Autoridad Nacional del Agua) (ANA, 2018), expuesto el año 2018, fijan que el nivel freático de la zona de Río Seco se presenta entre 65.51 metros y 102.40 metros de profundidad (Tabla 12).

Humedad relativa en la zona de estudio

Figura 18. Datos de humedad relativa de la zona en estudio.
Tomado de Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional por SENAMHI, 2019.

La humedad relativa en la ciudad de Arequipa es de 46%, el cual va a ser supeditado a la temperatura y por ende a la estación que se encuentre, teniendo registros de máxima humedad promedio del 70% en la estación de verano y una humedad relativa mínima promedio de 27% en las estaciones de otoño, invierno y primavera. (SENAMHI, 2017).

En la zona de estudio, a la humedad relativa se obtuvo del SENAMHI para el periodo 2017 – 2019, (SENAMHI, 2019), data extraída de la página web institucional (Figura 18).

En la zona de estudio, a la humedad relativa se obtuvo del SENAMHI para el periodo 2017 – 2019, (SENAMHI, 2019), data extraída de la página web institucional (Figura 18).

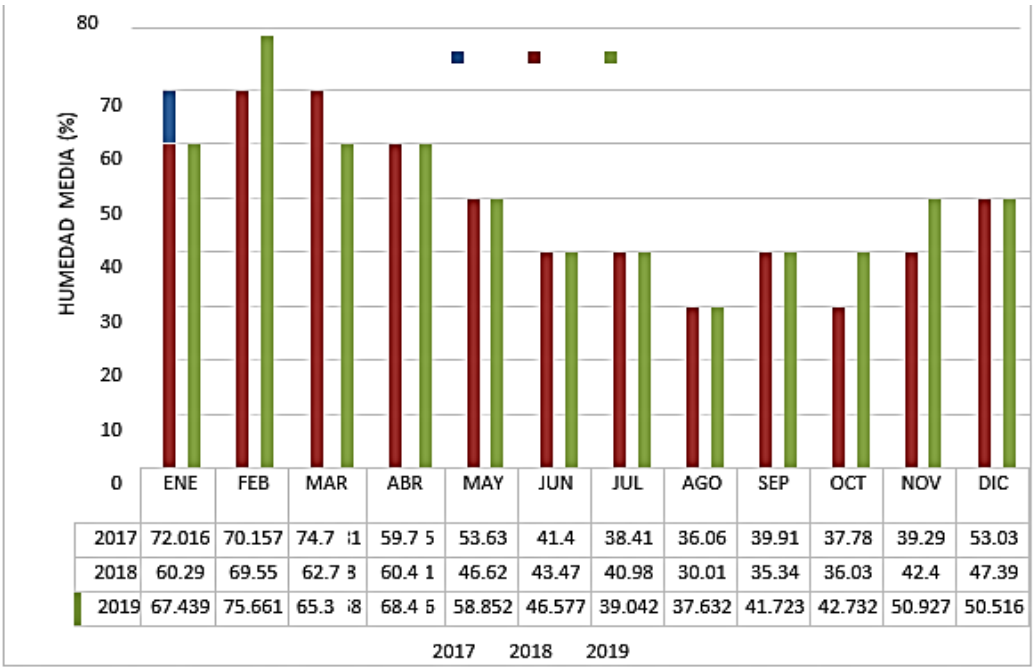


Figura 19. Humedad relativa media mensual; 2017 – 2019.
Tomado de Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional por SENAMHI, 2019.

De acuerdo a las figuras anteriores se tiene la tendencia de la HR en Arequipa se plasma en la Figura 19. Los más altos valores se registran en los meses de verano con valores de 75% y de cifras menores en todo el año restante con significancia del 30%.

Radiación solar

La información se obtiene por medio de los boletines mensualizados que emite el SENAMHI, boletines de monitoreo de radiación UV-B (SENAMHI, 2021).

Tabla 14. Radiación solar promedio de los años 2017 - 2019.

MES	IUVB	Kwh/m2*dia
ENERO	11.5	10.35
FEBRERO	11.1	9.99
MARZO	10	9
ABRIL	9	8.1
MAYO	6.8	6.12
JUNIO	6	5.4
JULIO	5.8	5.22
AGOSTO	7.7	6.93
SEPTIEMBRE	9.6	8.64
OCTUBRE	11	9.9
NOVIEMBRE	11.2	10.08
DICIEMBRE	11.4	10.26

Nota: Tomado de Monitoreo de radiación UV-B. Tiempo/Radiación UV por SENAMHI, 2021, p 4.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

Estudio con enfoque cualitativo, en donde se evalúa examinando los acontecimientos en sí, la revisión de los estudios previos, siendo los dos procesos de forma simultánea, con el propósito de generar una teoría sólida con el caso que está observando (Hernández Sampieri, 2018). En el presente estudio se evaluará cualitativamente el tipo de geomalla a utilizar de acuerdo a sus cualidades físicas y mecánicas que respondan a los requerimientos del tramo en estudio, así como el tipo de tránsito vehicular en la vía en estudio.

Tiene enfoque cuantitativo. El cual explora fenómenos, eventos, poblaciones, hechos o variables; en donde se cuantifica su presencia o nivel (Hernández Sampieri, 2018), en el estudio se determinará el aforo vehicular por la vía y la cantidad de geomalla biaxial a emplear.

Las herramientas para obtener y analizar la información son la toma de muestras, estudio del caso, grupos de enfoque y ensayos. (Namakforoosh, 2005).

El alcance de la investigación es a nivel urbano con el refuerzo de las vías de una sección del poblado de Yura con geomallas en la subrasante.

3.2. Diseño de la investigación

Es un estudio no experimental donde las variables no son manipuladas deliberadamente. El desarrollo se da en el observar, medir y analizar la estructura de la carretera, con el fin de a posterior calcular la alternativa nueva de espesor de las capas de la carretera empleando geosintéticos.

Conforme a la direccionalidad es prospectiva, ya que se estima y se realiza el análisis estructural de la carretera con el método tradicional con el fin de que a posterior se realice el mejoramiento de la carretera con el empleo de geomallas.

Conforme a la evaluación del problema estudiado es transversal, donde se recaban y mide la información una sola vez de la variable, la cual procede a la descripción y análisis de los geosintéticos en la carretera, la información del tráfico y los ensayos de laboratorio del suelo en estudio.

La investigación en curso conforme a la orientación es aplicada por el uso de teorías que se cuentan en el país como son el manual de suelos pavimentos y de carreteras, con el fin de conocer el refuerzo de carreteras, empleando la metodología AASHTO 93, MEPDG, así como los manuales del MTC para la estructura de carreteras; de esa manera dar propuestas de soluciones a problemas prácticos de tránsito en la carretera y un elevado desempeño.

Es una investigación descriptiva ya que se determina la estimación y descripción del comportamiento estructural de la carretera del tramo sector empleados – los milagros, empleando geomallas.

Conforme al enfoque de la investigación es mixto, dado a que la adquisición de información es cuantitativa en cuanto a la norma del MTC (topografía, estudio edafológico, tránsito vehicular, entre otros). La comparación de los resultados con el empleo de los geosintéticos se da en forma cualitativa.

3.3. Población y muestra

La población todas las redes viales afirmados sin y con carpeta asfáltica ubicadas en zonas de terrenos estructurales irregulares y de apertura de accesos.

La muestra para el presente estudio se encuentra en el tramo de la asociación de vivienda del M.T.C. Los Camineros del sector Empleados hasta el AA.HH. urbanización popular de interés social Los Milagros – vivienda taller zona 2, con una longitud de 780,75 metros de longitud y 8,00 metros de ancho del distrito de Yura, provincia de Arequipa, de la región Arequipa. Tramo de vía de acceso por vía afirmada con el fin de mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal.

Para determinar el tamaño muestral se aplicó el muestreo aleatorio simple, en donde tenemos la aplicación de la siguiente fórmula:

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

Donde se tiene que:

N = Tamaño de la población = 849.75 metros.

p = Parámetro poblacional = 50.

q = Parámetro poblacional = 50.

z = Nivel de confianza deseado (95% ó 1.96)

E = Margen de error = 1%.

n = Muestra óptima = 780.75 metros.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de investigación

Información directa e indirecta: identificación y selección de los datos que se tienen en la zona de estudio, como son las fuentes bibliográficas como normas, trabajos de investigación, artículos científicos, manuales, información de entidades en internet, con el fin de evaluar y dilucidar temas competentes al estudio en curso, levantando información de fuentes primarias. Del mismo modo se acude a la información hidrológica para la evaluación de los factores pluviales.

Observación: la evaluación ocular directa se desarrolló con el propósito de evaluar y verificar de modo genérico las condiciones actuales del estado de la vía.

Aforo vehicular: se realizó el aforo vehicular con su respectivo tonelaje y frecuencia, lo que proporciona información valedera que permite determinar la dimensión de soporte de la vía para determinar el tipo, disposición y cantidades de geomalla biaxial a utilizar y así garantizar la eficiencia y capacidad de reforzamiento del componente estructural de la carretera del tramo en estudio en conjunción de los factores climáticos adversos en épocas de avenidas de lluvias.

Determinación del espesor final de diseño con geomalla biaxial: se determinó el grosor de la subrasante con geomalla de refuerzo de acuerdo a la evaluación granulométrica, el aforo vehicular y el diseño estructural con geomalla biaxial.

3.4.2. Instrumentos

Registro de clase vehicular: formato del MTC. Permitió recolectar data para categorizar por clase de vehículo, seguidamente hallar el tipo de vía. Para este fin se realizó el aforo de vehículos en un punto estratégico de una zona representativa en estudio.

Herramientas para la apertura de 4 calicatas, documentos de registro escrito y fotográfico, la profundidad de excavación se realizó cada 250 m., siendo la profundidad de apertura de 1.60 metros en un área aproximada de 1.05 m2. (0.7m x 1.5m.), las cuales aportan con el fin de recopilar porciones representativas de suelo para analizarlos en

laboratorio, para hallar las características y condiciones en el laboratorio de mecánica de suelos.

3.5. Diseño de la vía utilizando geomalla

Para el diseño de estructura de pavimento reforzado se fundamenta en el método ASSHTO 93, el cual ha sido adoptado para poder explicar el aporte estructural en la vía, método realizado por Filippo Montanelli, Aigen Zhao y Pietro Rimoldo, los cuales se basaron en ensayos de laboratorio y verificaciones in situ a escala real en donde explican este método empleando geomallas biaxiales.

Las geomallas biaxiales son de consistencia rígida que contemplan elevados valores de esfuerzo y resistencia. La geomalla a emplear en el tramo en estudio es de resistencia a la tensión de 20 KN/m.

3.6. Zona de intervención del estudio

Región: Arequipa.

Departamento: Arequipa.

Provincia: Arequipa.

Distrito: Yura.

Sector: Asociación de vivienda del M.T.C. Camineros sector Empleados hasta el asentamiento humano Urbanización Popular de interés social Los Milagros.

Ubicación: 16°17´53” S 71°37´36” W

16°18´02” S 71°37´26” W

Distancia intervenida: 780,75 metros de longitud.

8,00 metros de ancho.

*Figura 20***.** Zona de intervención del estudio. Margen derecho. Elaborado por el autor.

Figura 21. Zona de intervención del estudio. Margen izquierdo.
Elaborado por el autor.

Figura 22. Plano de ubicación de la zona en estudio.
Elaborado por el autor.

Accesibilidad

El acceso al ámbito del presente estudio se da por vía terrestre a través de la carretera Arequipa Yura ruta 34-A que forma parte del Corredor Vial Interoceánico Perú-Brasil – Tramo V, contigua a la cual se encuentra una vía auxiliar paralela a ésta, con superficie de tierra.

El proyecto permite brindar acceso a los predios ubicados en los Comités 4, 18, 19, 29 y 31 del Sector A, Zona 1 de la Asociación Ciudad de Dios; contándose a la fecha con vías con superficie de tierra.

En la Figura 23 se muestra la ubicación de la zona del proyecto.

Figura 23. Ubicación de la zona en estudio.
Tomado de Google earth, 2022.

Condiciones de clima y altitud

La zona de estudio presenta un clima templado, desértico y con amplitud térmica moderada, con las siguientes características:

Altitud:	1,151.0 msnm
Temperatura máxima:	26.5ºC
Temperatura mínima:	9.5ºC
Temperatura promedio:	18.2ºC
Pluviosidad:	3.1 mm/año
Gradiente térmico:	17.0”C

3.7. Ensayos de laboratorio

Se efectuaron ensayos de laboratorio de suelos en la empresa Paredes Ejecutores S.A.C. conforme a estándares prescritos por normas nacionales e internacionales, orientados a determinar las propiedades físicas, propiedades de fase y mecánicas del suelo de fundación. Ensayos solicitados por Varick Construcciones S.A.C. quien ejecuta obras civiles para la Municipalidad Distrital de Yura.

En el caso de las propiedades de fase, se complementó información con los resultados de densidad de campo y humedad registrados in situ.

a. Análisis granulométrico

Alineado a las normas ASTM D 422, AASHTO T 88 y MTC E 107. Determinado como análisis mecánico. Se determinó los porcentajes de piedra, grava y arena, limo y arcilla de una determinada masa de suelo.

Si el material es granular los porcentajes de piedra, grava y arena pueden determinarse fácilmente mediante el empleo de una serie de tamices estándar por registro de los pesos retenidos en cada tamiz y el cálculo de los porcentajes retenidos y pasantes correspondientes. En cambio, cuando el suelo contiene una apreciable cantidad de limos y arcillas (material pasante del tamiz N°200) habrá que utilizar métodos basados en el principio de sedimentación.

b. Contenido de humedad

De acuerdo a las normas ASTM D 2216, AASHTO T 265 y MTC E 108.

El contenido de humedad de un suelo se define como la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica. Se obtiene por diferencia de los pesos registrados de una muestra tomada in situ con su humedad natural y el peso de la misma una vez secada al horno a 110°C durante 24 horas o hasta que no presente variación en su peso. Se expresa normalmente en porcentaje.

c. Densidad de campo

De acuerdo a las normas ASTM D 1556, AASHTO T 191 y MTC E 117, consiste en la determinación del peso específico natural del terreno, obtenido como el cociente entre el peso de la muestra extraída y su volumen correspondiente. Ya que normalmente las muestras alteradas presentan volúmenes irregulares, estos se determinan de forma indirecta haciendo uso del cono de arena, mediante el volumen de la muestra es obtenido como el volumen que ocupa por desplazamiento una arena calibrada de peso específico conocido. Siendo que las condiciones de humedad pueden ser variables, se ha determinado en campo la humedad con Speedy, para de esta forma expresar el peso específico natural húmedo, correspondiente a su humedad natural y peso específico natural seco, correspondiente a la condición seca del material.

d. Gravedad específica de suelos (picnómetro)

De acuerdo a las normas ASTM D 854, AASHTO T 100 y MTC E 113, se refiere a la gravedad específica de los sólidos, la cual es la relación entre el peso al aire de las partículas minerales del suelo, y el peso aire del agua destilada considerando un mismo volumen y una misma temperatura. La determinación de la gravedad específica de sólidos se realizó por medio de un frasco calibrado (fiola) o un picnómetro.

e. Densidad relativa de suelos

De acuerdo a las normas ASTM D 4254 y ASTM D 4253, consiste en determinar los pesos unitarios en seco mínimo y máximo, los mismos que están asociados a los estados más suelto y más denso del suelo, de manera que el peso específico natural suelto corresponde a un valor intermedio entre ambos extremos. Así, la densidad relativa se convierte en un parámetro acotado que varía entre 0% para el estado más suelto y 100% para el estado más denso, de utilidad práctica en el análisis de suelos granulares.

f. Corte directo (consolidado de drenado)

De acuerdo a las normas ASTM D 3080, AASHTO T 236 y MTC E 123, el ensayo de corte directo es uno de los métodos que permite determinar la resistencia al corte de un suelo. En este ensayo el suelo se coloca en una caja de sección rectangular o circular especialmente diseñada de área y altura conocidas, dividida por la mitad, de manera que la mitad inferior está fija, mientras que la mitad superior puede deslizarse horizontalmente. Una vez colocada la muestra de suelo en la caja se aplica una fuerza normal y luego una fuerza horizontal hasta que el material falle a lo largo de una superficie aproximadamente horizontal. Las condiciones de compacidad del terreno son variables, existiendo concentraciones de material calichoso mezcladas con suelo en estado suelto; se ha realizado conservadoramente el ensayo

de corte directo considerando las condiciones de compacidad menos favorables, es decir, para las condiciones de densidad mínima.

g. Proctor modificado

De acuerdo a las normas ASTM D 1557, AASHTO T 180 y MTC E 115), este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m3 (56000 pie-lbf/pie3)).

Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾" pulg). Se proporciona 3 métodos

alternativos (A, B C), dependiendo de la gradación de los materiales a ser ensayados.

h. California Bearing Ratio (C.B.R.)

Alineado a las normas ASTM D 1883, AASHTO T 193 y MTC E 132. Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías.

El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles. Sin embargo, su valor es normalmente correlacionado con el módulo de resiliencia.

Para aplicaciones donde el efecto del agua de compactación sobre el CBR es mínimo, tales como materiales no-cohesivos de granos gruesos, o cuando sea permisible para el efecto de diferenciar los contenidos de agua de compactación en el procedimiento de diseño, el CBR puede determinarse al óptimo contenido de agua de un esfuerzo de compactación especificado. El peso unitario seco especificado es normalmente el mínimo porcentaje de compactación permitido por la especificación de compactación de campo de la entidad usuaria.

Para aplicaciones donde el efecto del contenido de agua de compactación en el CBR es desconocido o donde se desee explicar su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua,

generalmente el rango de contenido de agua permitido para la compactación de campo por la especificación de compactación en campo de la entidad usuaria.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físico mecánicas de las geomembranas axiales

De acuerdo a la Tabla 1, se muestran las propiedades físicas – mecánicas de los geotextiles, de igual modo en el ítem 2.2.4.2. se detallan los mecanismos de refuerzo proveídos por las geomallas, en la Tabla 4 se tienen las características estándares consolidadas de las geomallas exponiendo los aportes de refuerzo, índices de supervivencia. En la Tabla 5 se presentan las especificaciones técnicas de la geomalla uniaxial, en cuanto a sus propiedades mecánicas y físicas, propiedades de interacción y propiedades de vida útil; en la Tabla 6 se muestran las características de la geomalla biaxial. En el ítem 2.2.7. se detallan las características y especificaciones técnicas de las geomallas axiales. En la Tabla 15 se detalla el comparativo físico mecánico de las geomallas biaxiales y biaxiales. Por lo que, con la información obtenida, se determina las propiedades físico mecánicas comparativas:

4.1.1. Comparativo entre geomallas uniaxiales y biaxiales

Los geosintéticos se encuentran compuestos de superficies regulares de poliéster, polipropileno y/o polietileno de elevada densidad, las cuales se encuentran dispuestas en forma rectangular en forma de listones y unidos por puntos denominados nodos, se tienen.

De acuerdo a los procedimientos de fabricación se tienen geomallas uniaxiales y biaxiales, donde evidenciamos las diferencias en cuanto a sus propiedades físico mecánicas. Las geomallas uniaxiales y biaxiales se fabrican en una lámina de geotextil perforado y tratada a una tensión gradual dándole forma con las características requeridas (Texdelta, 2021).

A) Geomallas uniaxiales o monorientadas

Geomallas con le proposito de ofrecer resistencia tensional en el sentido de la expansión del rollo, es decir, que contemplan un diseño de refuerzo unidireccional en estructuras de suelo mecánicamente estable, lo que incluye diversos tipos de material de relleno. La tensión de soporte es longitudinal, tal como se muestra en la Figura 24.

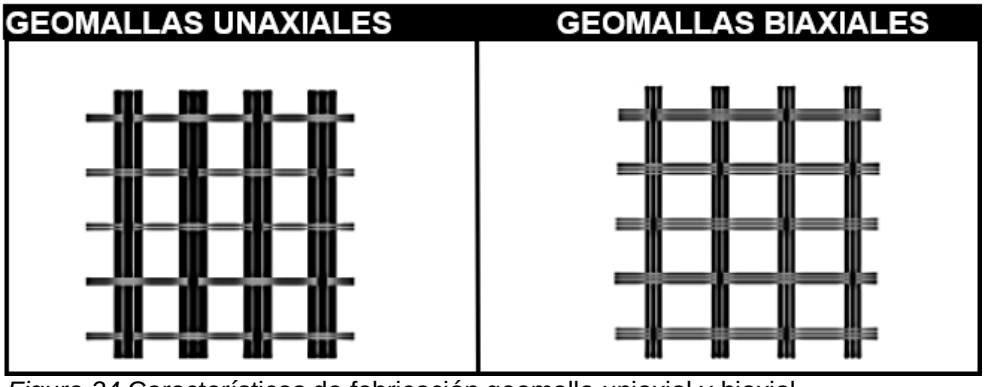


Figura 24.Características de fabricación geomalla uniaxial y biaxial
Fuente: Elaborado en base a Texdelta (2021) .

B) Geomallas biaxiales o biorientadas

Geomallas con diseño para un refuerzo en mas de una dirección,

para resistencia de tensión longitudinal y transversal, donde los listones son fabricados de modo perpendicular, conformando una grilla con aberturas de diversos tamaños, lo que permite incorporarse en suelos de material pétreo. La geomalla se encuentra compuesta por una o mas capas de geomallas bi orientadas de material polipropileno (PP), las cuales son producidas de extrusión, con estirado o tensionado por método biaxial, siendo el obejtivo de mejorar sus propiedades físicas de tracción.

Tabla 15. Comparativo físico mecánico de geomallas uniaxiales y biaxiales.

Geomalla Uniaxial	Geomalla Biaxial
Diseño de refuerzo unidireccional en estructuras de suelo mecánicamente estable	Diseño para un refuerzo en mas de una dirección.
Tensión de soporte es longitudinal.	Tensión de soporte longitudinal y transversal.
Refuerzo en suelos de diversos tipos de material de relleno.	Permite incorporarse en suelos de material pétreo.
Los tiempos de instalación y reducción de gregado requerido son poco significativos.	Produce reducción de tiempo de obra, con menores costos por la reducción de agregado requerido.
Propiedades físicas de trsacción en un solo sentido.	Mejores propiedades físicas de tracción.
Mediano nivel acción a la tensión. Resistencia media a los daños mecánicos en la instalación.	Elevado nivel de acción de tensión. Alta resistencia a daños mecánicos de instalación.
Poca interacción con los agregados de la base.	Interacción con los agregados confinados en la base.

Fuente: Elaborado por el autor.

Son geomallas que tienen un alto nivel de acción de tensión, tambien ofrecen buena resistencia a los daños mecánicos que se puedan ocasionar en la instalación en el proceso constructivo de la vía. Las geomallas biaxiales tienen interacción con los agregados confinados en la base.

En cuanto a la utilidad de uso de las geomallas, se tiene en la Tabla 16, donde las geomallas biaxiales son empleadas en la estabilización de subrasantes y refuerzo de bases.

Tabla 16. Utilidad de uso de las geomallas uniaxial y biaxial

Geomalla Uniaxial	Geomalla Biaxial
Muros de contención.	Vías pavimentadas .
Taludes de elevada pendiente.	Vías no pavimentadas.
Terraplenes	Caminos.
	Plataformas de aeropuertos.
	Estacionamientos
	Ferrocarriles
	Diques
	Edificaciones
	Áreas petrolíferas

Fuente: Elaborado en base a Texdelta (2021) .

En cuanto a las propiedades físico mecánicas se direcciona a emplear la geomalla biaxial, el cual cumple con las utilidades para el estudio.

Tabla 17. Ventajas comparadas de la aplicación de geomallas uniaxial y biaxial.

Geomalla Uniaxial	Geomalla Biaxial

Reducción de agregado requerido.	Aporta en elevada reducción de agregado requerido.
Incremento de la vida útil de la vía.	Incrementa la vida útil de la vía.
Incremento de la capacidad portante.	Aporta una elevada respuesta elástica de refuerzo en el suelo.
Control del asentamiento inferencial.	Controla posibles deformaciones estructurales a largo plazo (bajo creep).
Recubre los depósitos blandos.	Capacidad portante mecánica para estabilizado de suelos blandos compresibles: Capacidad de tensión.
Puenteo de espacios vacíos.	Puenteo de espacios vacíos y los estabiliza con rellenos trabados..
Aporta soluciones a inconvenientes de estructura de suelos reforzados con materiales de relleno.	Aporta soluciones a diferentes inconvenientes relacionados a cualquier material de relleno.
Aporta una interacción buena con el suelo.	Contiene nodos fuertes que avalan el entrabamiento y resistencia al desgarre.
Son aplicables en suelos de relieve accidentado.	La instalación no aporta daños mecánicos de la misma.
Remplazan a componentes tradicionales de contención.	Remplazan a componentes tradicionales de contención.
Su aplicación accede a construir muros y taludes inclinados verticales con vegetación	Su aplicación es mas amplia.
Produce elevada fuerza y módulo de tensión en dirección longitudinal.	Produce elevada fuerza y módulo de tensión en dirección longitudinal y transversal.
Completamente inerte a reacciones químicas y biológicas con el suelo.	Completamente inerte a reacciones químicas y biológicas con el suelo.

Fuente: Elaborado en base a Texdelta (2021).

Sin embargo, no se toma en consideración la geomalla triaxial por tener un mayor costo en el producto y que de acuerdo a las condiciones de la zona en estudio la geomalla biaxial se comporta de manera eficiente, e incurrir en mayores costos - beneficios y limitaciones financieras en las entidades municipales.

4.2. Área de estudio

4.2.1. Reconocimiento del área del proyecto

Se realizó en campo un reconocimiento del área en estudio directa del proyecto como de las áreas y vías aledañas, realizando caminatas, así como recorridos en camioneta, lo cual permitió en su momento conocer las maniobras que normalmente realizan los conductores, así como la identificación de lugares aparentes para establecer las estaciones de conteo.

Trabajo de campo

Las labores de campo que se realizaron se centraron en la elaboración de conteos vehiculares en vía del proyecto.

4.2.2. Planificación

En los conteos vehiculares, se han tomado en cuenta las mismas categorías vehiculares consideradas por la Municipalidad Distrital de Yura, los que se consignan en el anexo 01 y 02; para el tipo de

vehículos se tomó el código, descripción, categoría y tipo que se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Tipos de vehículos

Código	Descripción	Categoría	Tipo
MO	Motos	Motos	Liviano
AU	Autos	Autos	
CM	Camionetas	Camionetas	
MV	Minivan	Minivan	
B3	Bus 3 ejes	Bus	Pesado
C2	Camión 2 ejes	Camión	
C3	Camión 3 ejes		

Nota: Descripción de vehículos por tipo y categoría. Tomado del "Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volúmen de tránsito", por el MTC, 2008, p 85.

4.2.3. Determinación del índice medio diario (IMD)

Para su determinación del IMD, se halló por el registro total de vehículos que circulan en un tiempo determinado, dividido entre la cantidad de días del lapso de tiempo.

Aplicando el formato del MTC se acudió a recopilar la data de clase vehicular, el tipo de carretera (Anexo 01).

El conteo se desarrolló en un lugar del tramo representativo, iniciándose a tomar apunte en el formato en relación al número y tipo de vehículo que circulaban, indicándose la hora en que circulaba el vehículo por el punto de registro. Respecto al conteo de 24 horas seguidas que se solicita, se excepcionó por que se tiene conocimiento

que las horas de mayor afluencia vehicular es en un periodo no menor de 12 horas, por lo que los conteos fueron desarrollados en las horas de mayor transitabilidad, se realizó en un periodo de 12 horas, siendo el conteo de 06:00 a.m. a 18:00 p.m., lo cual se hizo durante 7 días.

Figura 25. Conteo de vehículos, con el formato del MTC,
Elaborado por el autor.

Con la información adquirida en el conteo y definición de clase de vehículo en campo, se prosiguió con el análisis de consistencia de lo obtenido.

4.2.4. Determinación del tráfico medio diario semanal (IMDS)

Para determinar el índice medio diario semanal, se da por la relación del volumen diario obtenido en el conteo de vehículos, desarrollando la ecuación 2:

Ecuación 2. Índice medio diario semanal

$$IMDS = \sum \frac{Vi}{7}$$

Donde:

Vi = Volumen de vehículos que transitaron diariamente, registro por 7 días.

En la Tabla 15 tenemos la clasificación y aforo vehicular, donde se tiene un IMD promedio de vehículos livianos de 281 y de IMD de 64 en vehículos pesados.

Tabla 19. Cálculo del IMD

CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS POR CLASE											
Carretera		Sector Empleados - Milagros						Estació	Villa Milagros		
Sentido		Dos sentidos						Código	E-01		
CLASE	**Moto**	**Auto**	**Camionetas**			**Minivan**	**BUS 3E**	**CAMIÓN**		**TOTAL VEH./DÍA (IMDS)**	**PORCENTAJE (%)**
			Pick up	**Rural**	**Panel**			**2E**	**3E**		
DIAGRAMA VEHICULAR											
Lunes	48	72	45	22	55	48	36	22	7	51	14.72%
Martes	39	69	52	18	62	47	36	24	9	51	14.76%
Miércoles	41	58	38	15	59	47	36	21	5	46	13.27%
Jueves	47	72	51	19	61	48	35	25	8	52	15.17%
Viernes	48	68	49	22	58	48	35	22	11	52	14.97%
Sábado	43	71	73	25	62	47	36	18	7	55	15.84%
Domingo	32	65	37	20	25	40	30	19	4	39	11.28%
TOTAL	43	68	49	20	55	46	35	22	7.3	345	100.00%
%	12%	20%	14%	6%	16%	13%	10%	6%	2%	100%	100.00%
IMD´s	281						64			345	

Nota: Determinación del IMD por clase de vehículos, IMDS y porcentaje. Elaborado por el autor en base al formato del MTC.

4.2.5. Cálculo del índice medio diario anual (IMDA)

Índice obtenido por medio de la multiplicación del IMDS por el factor de corrección estacional (FC). Dicho factor es una cifra que tiene como fin eliminar las fluctuaciones de tráfico en los doce meses del año.

Los factores de corrección estacional se estima considerando una serie histórica de los 12 meses completa de un año, para esto se tomará en consideración la información de la estación más próxima de peaje, como es el caso de la E.P.M. Yura N° 18, ubicado en la carretera Yura – Patahuasi Km 77+300, del anexo Patahuasi, en Pampa Cañahuas, concesión dada a COVISUR-Arequipa, siendo el centro de información logística en el distrito de Cayma de la Región Arequipa del cual se tiene información casi completa del año 2015-2019, proporcionado por Provias Nacional (Quispe, 2020).

Figura 26. Estación de Pesaje Municipal N° 18, carretera Yura – Patahuasi Km, 77+300
Tomado de Covisur – Arequipa, 2020.

F.C. vehículos ligeros = 1.015

F.C. vehículos pesados = 1.0134

Tenemos:

- Vehículos ligeros: 239 x 1.015 = 242.585
- Vehículos pesados: 63 x 1.0134 = 68.8442

4.2.6. Proyección del tránsito a futuro

El diseño del tramo de la carretera se realiza en base a la demanda diaria de circulación de vehículos, para lo cual se determina la cantidad de vehículos en promedio que utilizarán la vía diariamente en la actualidad y el pronóstico de incremento de acuerdo a la tasa anual de crecimiento por año, el cual se encuentra determinado por el MTC para diversas zonas del Perú.

Años	Apurímac	Arequipa	Cuzco	Ica	Lima	Madre Dios	Puno	Tacna
2007	0.40%	1.65%	0.93%	1.66%	2.02%	3.57%	1.16%	2.02%
2008	1.50%	1.10%	1.10%	2.00%	1.60%	2.50%	1.20%	2.40%
2009	1.50%	1.10%	1.10%	2.00%	1.60%	2.50%	1.20%	2.40%
2010	1.50%	1.10%	1.10%	2.00%	1.60%	2.50%	1.20%	2.40%
2011	1.50%	1.10%	1.10%	2.00%	1.60%	2.50%	1.20%	2.40%
2012	1.50%	1.10%	1.10%	2.00%	1.60%	2.50%	1.20%	2.40%
2013	1.50%	1.10%	1.10%	2.00%	1.60%	2.50%	1.20%	2.40%
2014	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2015	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2016	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2017	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2018	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2019	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2020	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2021	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2022	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2023	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2024	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2025	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
2026	1.30%	0.90%	0.90%	1.30%	1.30%	2.00%	1.00%	2.00%
Tasa =	**1.31%**	**1.00%**	**0.96%**	**1.53%**	**1.43%**	**2.23%**	**1.07%**	**2.12%**

Figura 27. Tasa de crecimiento poblacional regional del Perú.
Tomado de Proyecciones de la población por departamentos para la serie 2010-2025 por INEI, 2015, p 52.

Años	Apurímac	Arequipa	Cuzco	Ica	Lima	Madre Dios	Puno	Tacna
2007	3.65%	13.65%	9.70%	9.38%	10.78%	10.99%	-5.01%	5.31%
2008	-7.43%	11.15%	6.87%	18.44%	8.94%	2.02%	7.47%	14.22%
2009	-3.84%	0.78%	16.87%	4.09%	0.33%	6.90%	4.10%	7.84%
2010	8.74%	5.92%	13.01%	7.07%	10.55%	9.63%	5.96%	0.90%
2011	5.87%	4.37%	12.85%	10.99%	8.58%	10.13%	5.79%	4.48%
2012	12.92%	4.73%	1.88%	1.43%	6.07%	-20.56%	4.74%	6.37%
2013	11.09%	2.97%	17.61%	9.15%	6.05%	14.85%	7.42%	-1.07%
2014	4.42%	0.72%	0.16%	3.95%	3.91%	-15.63%	2.55%	-1.63%
2015	7.33%	3.52%	0.49%	2.75%	3.13%	23.03%	0.75%	-0.70%
2016	3.20%	3.80%	3.60%	3.40%	3.30%	3.40%	3.30%	3.40%
2017	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
2018	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
2019	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
2020	3.20%	3.80%	3.60%	3.40%	3.30%	3.40%	5.00%	5.00%
2021	3.20%	3.80%	3.60%	3.40%	3.30%	3.40%	5.00%	5.00%
2022	3.20%	3.80%	3.60%	3.40%	3.30%	3.40%	5.00%	5.00%
2023	3.20%	3.80%	3.60%	3.40%	3.30%	3.40%	5.00%	5.00%
2024	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
2025	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
2026	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
Tasa =	**4.05%**	**4.50%**	**5.96%**	**5.34%**	**4.91%**	**3.70%**	**4.02%**	**4.10%**

Figura 28. Tasa de crecimiento del PBI por región.
Tomado de PBI por departamento para la serie 2007 - 2026. por INEI, 2015, p. 29.

El presente estudio tiene vehículos ligeros y vehículos pesados, para determinar la tasa de crecimiento del tráfico de vehículos ligeros se considera la proyección de la tasa de crecimiento poblacional del Perú periodo 2010 – 2025 del departamento de Arequipa, como se muestra en la Figura 19; para determinar la tasa de crecimiento del tráfico de vehículos pesados se tomara en cuenta la proyección de la tasa de

crecimiento del PBI anual por región del período 2020 – 2026 del departamento de Arequipa, como se muestra en la Figura 19 (Riesco y Arela, 2021) (INEI, 2015).

Tasa de crecimiento anual para vehículos ligeros: 1.00%

Tasa de crecimiento anual para vehículos pesados: 4.50%

De acuerdo a los cálculos proyectados para un tiempo de diseño de 20 años como se muestra en la Tabla 20, se tiene que el IMD del proyecto es de 344.6 vehículos por día.

Tabla 20. Proyección del tráfico

PROYECCIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR IMD (Veh. /día)				
Tasa de crecimiento poblacional Departamento de Arequipa (%)				1.00
Tasa de crecimiento del PBI Departamento de Arequipa (%)				4.50
Periodo de diseño (años)	20			
TIPO DE VEHÍCULOS	**PROMEDIO DIARIO**		**TASA DE CREC. (%)**	**IMD PROYECTADO**
	IMD	**DISTRIB (%)**		
Motos	42.6	12%	1.00	47
Autos	67.9	20%	1.00	75
Camioneta Pick Up	49.3	14%	1.00	54
Camioneta Rural	20.1	6%	1.00	22
Panel	54.6	16%	1.00	60
Combi	46.4	13%	1.00	51
Bus	34.9	10%	4.50	38
Camión 2E	21.6	6%	4.50	24
Camión 3E	7.3	2%	4.50	8
TOTAL	**344.6**	**100%**		**379**

Nota: Proyección del tráfico vehicular por tipo de vehículo con tasa de crecimiento e IMD proyectado. Elaborado por el autor.

A continuación, se estima la cantidad de repeticiones de ejes equivalentes (EE) para el periodo de diseño, para esta determinación se toma en consideración la metodología AASHTO, lo que representa el grado de deterioro que se ocasiona en el estrato de rodadura un eje simple con una carga de 8.16 TM.

Para poder estimar los factores destructivos se toma en consideración las correlaciones de la Tabla 21:

Tabla 21. Equivalencias de EE por tipo de eje (AASHTO)

TIPO DE EJE	EJE EQUIVALENTE EE 8.2 Ton.
Eje simple, de rueda simple	$[P/6.6]^4$
Eje simple, de rueda doble	$[P/8.16]^4$
Eje tándem de rueda doble	$[P/15.1]^4$
Eje trídem de rueda doble	$[P/22.9]^4$
P= Peso por eje en toneladas	

Nota: Tomado de "Provisional Standars – Interim Edition" - Recommended Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures por ASSTHO, 2001, p 46.

Para estimar el EE (ejes equivalentes) de 8.2 toneladas, se considera las relaciones por la clase de vehículo pesado. El producto es la adición de las clases de vehículos pesados tomados en cuenta en el estudio (Ecuación 3).

Ecuación 3. Ejes equivalentes

$$N° \text{ Rep. De } EE_{8.2T} = \sum [EE_{\text{día-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}]/(t)$$

Tabla 22. Cálculo de factores destructivos o de carga.

TIPO DE VEHÍCULO	LONGITUD (m)	CARGA POR EJE (Ton)				PESO BRUTO MÁXIMO	EJE EQUIVALENTE
		EJE DELANTERO		EJE 1			
		CARGA	EJE EQUIV.	CARGA	EJE EQUIV.		
CAMIONES SIMPLES							
C2 E	12.3	7	1.26537	11	3.302251	18	4.56762
C3 E	13.2	7	1.26537	18	2.019213	25	3.28446

Nota: Desarrollado en base a fundamentos de Provisional Standars – Interim Edition" - Recommended Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures por ASSTHO, 2001, p 48.

4.2.7. Estudio de mecánica de suelos

4.2.7.1. Exploración del terreno

4.2.7.1.1. Ejecución de Calicatas

Para el desarrollo del estudio se ejecutaron calicatas cada 250 metros en la subrasante, a una profundidad de 1,60 metros. Calicatas ubicadas con sus coordenadas y progresivas, tal como se muestra en la Tabla 23 y en la Figura 29.

Tabla 23. Calicatas: Progresivas y coordenadas

CALICATA	MUESTRAS	PROGRESIVA (Km)	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
			SUR	OESTE	
C-1	M-1	00+000	16°17´53"	71°37´36"	1.50
C-2	M-1	00+250	16°18´00"	71°37´29"	1.50
C-3	M-1	00+500	16°17´52"	71°37´35"	1.50
C-4	M-1	00+750	16°18´02"	71°37´26	1.50

Nota: Determinación de calicatas, profundidad, muestras, progresivas, coordenadas de ubicación y profundidad de apertura. Elaborado por el autor.

Calicatas realizadas con la finalidad de tener las muestras de suelo con el fin de hallar las características físicas como son: granulometría, plasticidad, equivalente de arena, humedad natural y clasificación de suelos. Se considera pertinente realizar cuatro calicatas por el grado de uniformidad del terreno y las secciones diferenciales de percepción del lugar.

Figura 29. Ubicación de calicatas. Vista de planta.
Tomado de Google earth, 2021.

Luego de clasificar los suelos por la metodología AASHTO para vías de tránsito menor a 200 vehículos por día, se identificó los sectores

homogéneos donde se determina lo suelos de control del diseño, con lo que se obtiene cuatro sectores homogéneos, para los ensayos de CBR se tomó en cuenta los suelos desfavorables (Figura 29).

Figura 30. Trabajos de campo - calicatas.

4.2.7.1.2. Resultados de ensayos de laboratorio

De acuerdo a los ensayos de laboratorio efectuados y en el campo, se determinaron las propiedades densimétricas, de fase y de mecánica de suelo.

En las tablas 24 a la 27, se muestran los resultados (América IC&C, 2021)(anexo 05):

*Tabla 24***.** Clasificación de los suelos

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION		GRANULOMETRIA					LIMITES DE CONSISTENCIA		
			SUCS	AASHTO	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	Cu %	Cc %	LL	LP	IP
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	SM	A-1-b (0)	33.78%	54.82%	11.40%	49.80%	0.90%	NP	NP	NP
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	SM	A-1-b (0)	28.23%	68.87%	12.90%	38.80%	0.60%	NP	NP	NP
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	SM	A-1-b (0)	31.25%	52.70%	16.04%	49.80%	0.90%	NP	NP	NP
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	SP-SM	A-1-b (0)	25.75%	57.69%	16.56%	24.30%	0.80%	NP	NP	NP

Nota: Clasificado de suelos por granulometría y límites de consistencia. Realizado por el autor.

Tabla 25: Propiedades densimétricas.

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	PESO ESPECÍFICO				G.E.	PESOS UNITARIOS		BOLONERIA
			Υ_n (g/cm^3)	Υ_d (g/cm^3)	Υ_{sat} (g/cm^3)	Υ_b (g/cm^3)	G_S	$\Upsilon_{d.min}$ (g/cm^3)	$\Upsilon_{d.máx}$ (g/cm^3)	(%)
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	1.824	1.824	2.126	1.126	2.614	1.745	2.049	15.0%
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	1.853	1.796	2.107	1.07	2.606	1.715	1.978	10.0%
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	1.950	1.855	2.149	1.149	2.628	1.526	1.966	10.0%
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	1.599	1.543	1.942	0.942	2.567	1.433	1.728	0.0%

Tabla 26. Propiedades de fase.

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	POROS			POROSIDAD					
			e	e_{min}	$e_{máx}$	n (%)	n_{min} (%)	$n_{máx}$ (%)	D. RELATIVA (%)	C. AGUA (%)	(%)
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	0.43	0.28	0.498	30.2%	21.6%	33.3%	29.2%	3.8%	22.9%
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	0.45	0.32	0.519	31.1%	24.1%	34.2%	33.8%	3.2%	18.5%
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	0.42	0.34	0.44	29.4%	25.2%	30.5%	22.2%	5.1%	32.2%
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	0.66	0.49	0.791	39.9%	32.7%	44.2%	41.7%	3.6%	13.9%

Tabla 27. Propiedades mecánicas como suelo de fundación.

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	ϕ (°)	ϕ (rad)	c (Kg/cm2)	K_0	K_a	K_p	μ
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	26.78	0.47		0.549	0.379	2.640	0.322
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	28.12	0.49		0.529	0.359	2.783	0.339
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	29.03	0.51		0.515	0.346	2.886	0.351
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	29.78	0.52		0.503	0.336	2.974	0.361

Tabla 28. Propiedades del suelo como subrasante.

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	CHO (%)	DS al 100% (g/cm^3)	DS al 95% (g/cm^3)	DS natural (g/cm^3)	$CBR_{0.1*}$ al 100% (%)	$CBR_{0.1*}$ al 95% (%)	$CBR_{0.1*}$ natural (%)
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	10.041%	0.588	0.566	0.542	18.528	9.868	5.342
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	9.935%	0.507	0.481	0.461	15.966	8.394	4.543
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	10.854%	0.443	0.421	0.403	13.957	7.338	3.972
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	10.041%	0.606	0.575	0.551	19.083	10.032	5.430

Nota: Propiedades del suelo como subrasante, densidad del suelo, CBR al 100%, 95% y natural. Realizado por el autor.

De acuerdo a la tabla 24, se puede ver en la figura 31 el contenido de grava de las diferentes calicatas y las muestras extraídas de sus estratos. Conforme puede apreciarse la calicata C1 es la que presenta el mayor contenido de grava con 33.78%.

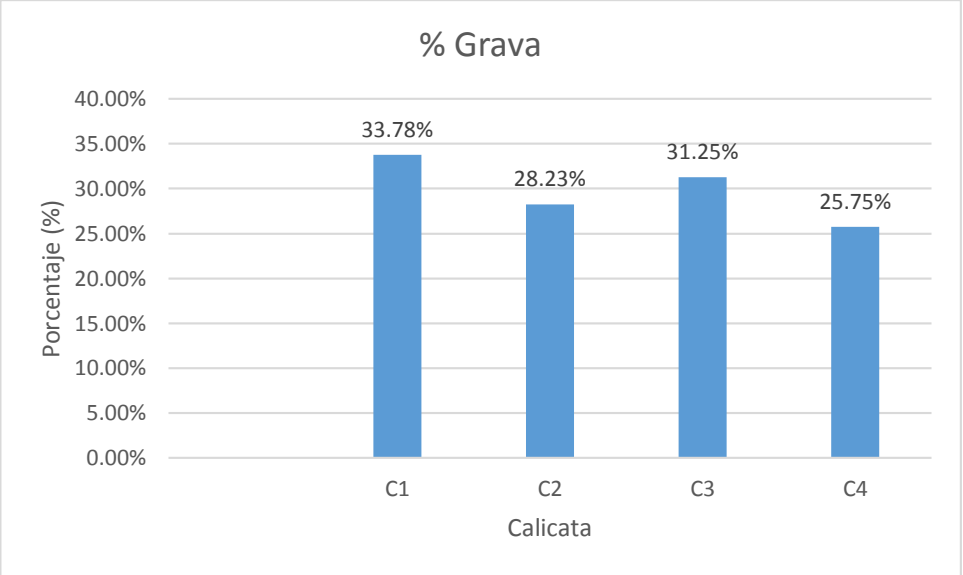


Figura 31. Proporción de grava.

La calicata con la menor cantidad de grava es la C4 con 25.75%. Dado que los ensayos de laboratorio por norma se realizan sobre

la fracción menor de 3”, se entiende que el porcentaje de grava se refiere a la porción comprendida a partir de 3” y que queda retenida en el tamiz No 4 (4.75 mm).

En la figura 32 se puede apreciar que el terreno es fundamentalmente arenoso, y que es justamente predominante esta fracción comprendida entre los tamices No 4 y No 200 (4.75 mm y 0.075 mm). Se puede apreciar que en líneas generales el contenido de arena se encuentra por encima de 54.82%, y en la mayoría de calicatas por encima de 55%. La calicata C2 es la que presenta el mayor contenido de arena con 68.87%, en tanto que la calicata C3 es el que presenta el menor contenido de arena con 52.70%.

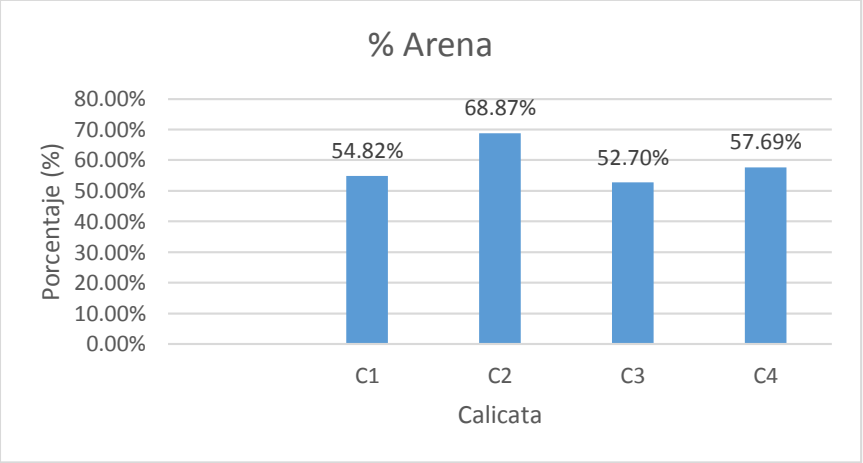


Figura 32. Proporción de arena.

Por otro lado, en la figura 33 se puede apreciar el contenido de finos en las diferentes calicatas realizadas durante la prospección de campo, notándose que el contenido de material pasante del tamiz No 200 (inferior a 0.075 mm) varía entre 11.40% y 16.56%.

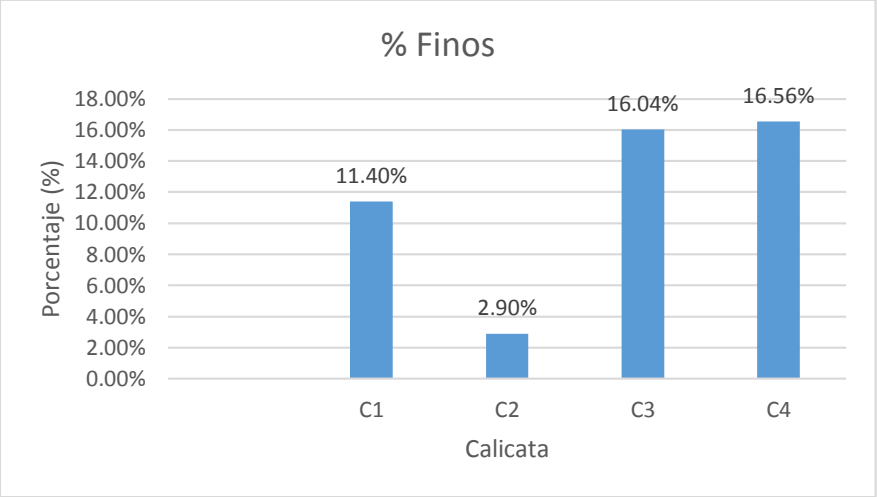


Figura 33. Proporción de finos.

Toda fracción de material con tamaño mayor a 3" ha sido clasificada como bolonería, habiéndose determinado su proporción en volumen por inspección visual, ya que estas fracciones de acuerdo con norma, no son ensayadas en laboratorio. Sin embargo, para efectos de una adecuada caracterización del terreno es importante mencionarla, ya que durante los trabajos de movimiento de tierras representan una mayor dificultad de acarreo especialmente donde se consideren excavaciones manuales. Los contenidos de bolones

son alrededor de 15% en la calicata C1. En las calicatas C2, C3 y C4 no se ha presentado bolonería.

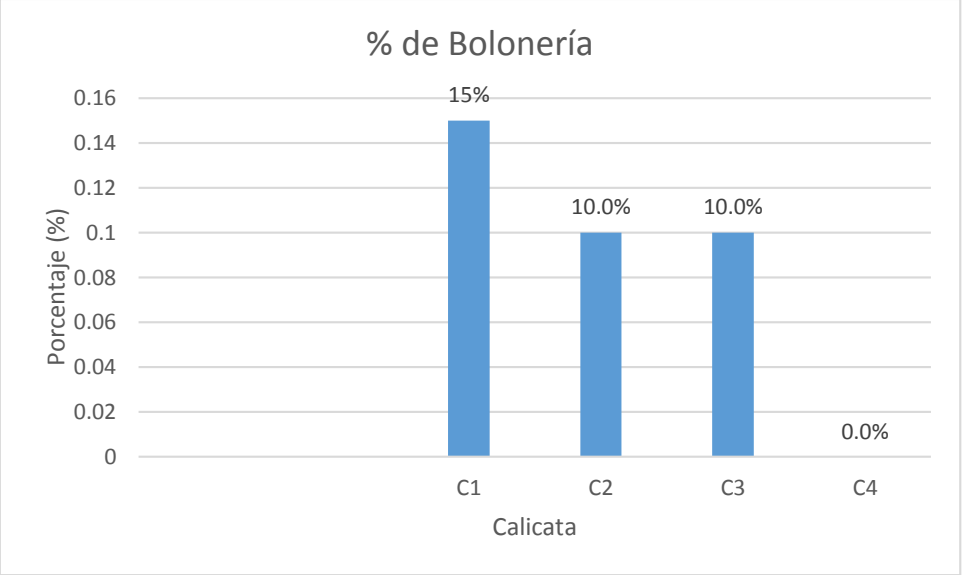


Figura 34. Bolonería.

Durante los trabajos de campo se ha efectuado en todas las calicatas el ensayo de densidad de campo por el método del cono de arena con la finalidad de determinar la densidad y humedad naturales del terreno, y poder completar la información respecto a las condiciones in situ del terreno que permitieran estimar su densidad relativa y compacidad, lo que permite tener una idea de las condiciones del terreno a excavar, presentándose normalmente mayor dificultad al excavar un terreno de alta compacidad con respecto a un terreno de baja compacidad, el cual se encuentra en un estado próximo a su condición más suelta. En la figura 35 se muestra las densidades de campo obtenidas para la condición seca

del terreno. Las condiciones encontradas son intermedias, con cierto sesgo hacia el límite inferior del rango comprendido entre la densidad mínima y densidad máxima, por lo que se puede concluir que la compacidad del terreno es media a baja.

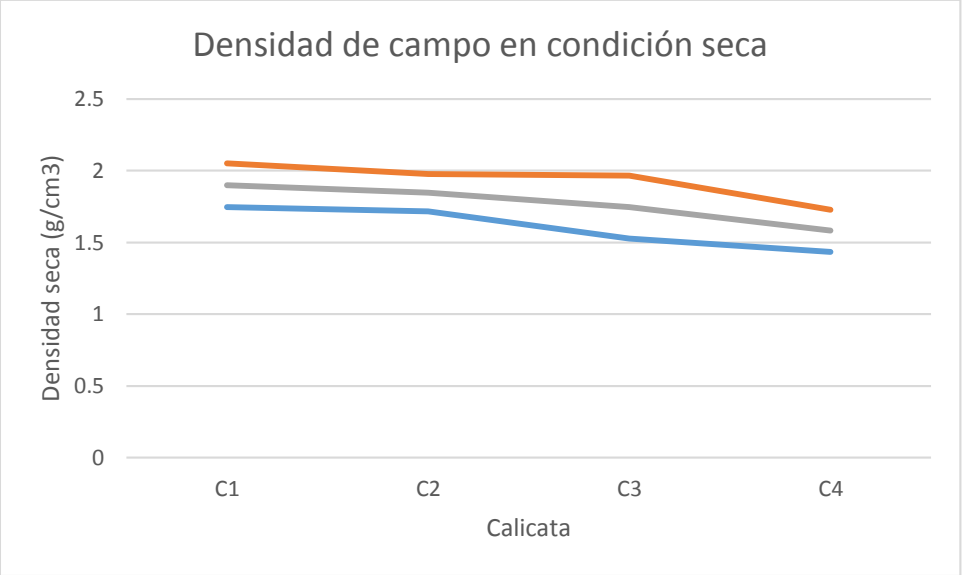


Figura 35. Densidad de campo.

A pesar de que en las excavaciones de algunas calicatas se ha observado que se presentan concentraciones locales de caliche con un grado de cementación intermedio; la ripiabilidad el terreno puede considerarse normal.

En la figura 36 se muestra la densidad relativa obtenida en cada calicata, siendo la calicata C4 la que ha presentado una mayor densidad relativa con 41.7%. Por otro lado, la calicata C3 es la que presenta la menor densidad relativa con 22.2%. En líneas

generales se puede considerar la densidad relativa intermedia a baja, lo cual tiene un impacto sobre la deformabilidad del terreno.

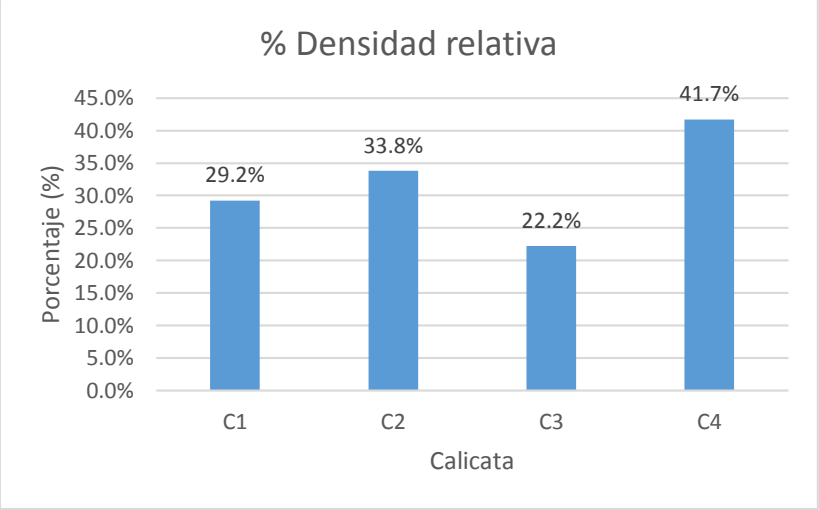


Figura 36. Densidad relativa.

Diferentes investigadores han determinado relaciones cualitativas entre la densidad relativa y la compacidad del terreno, calificándolo en función a una escala como la mostrada en la tabla 29 (Badillo, J. y Rodriguez, R., 2005).

Tabla 29. Densidad relativa y compacidad.

Densidad relativa Dr (%)	Compacidad
Dr < 15%	Muy suelta
15% < Dr ≤ 35%	Suelta
35% < Dr ≤ 65%	Media
65% < Dr ≤ 85%	Compacta
Dr > 85%	Muy compacta

Nota: Tomado de Badillo, J. y Rodríguez, R. (205).

Contándose con todos los parámetros de caracterización del suelo, y habiendo sido determinadas sus propiedades densimétricas, pueden también determinarse sus propiedades de fase, que permiten conocer indirectamente su deformabilidad. Así por ejemplo, un suelo con un mayor índice de vacíos se espera que sea más deformable que uno con un menor índice de vacíos, y lo propio sucede con la porosidad.

La porosidad a su vez guarda relación con la permeabilidad del terreno, de manera que en un suelo con mayor porosidad se espera una mayor permeabilidad.

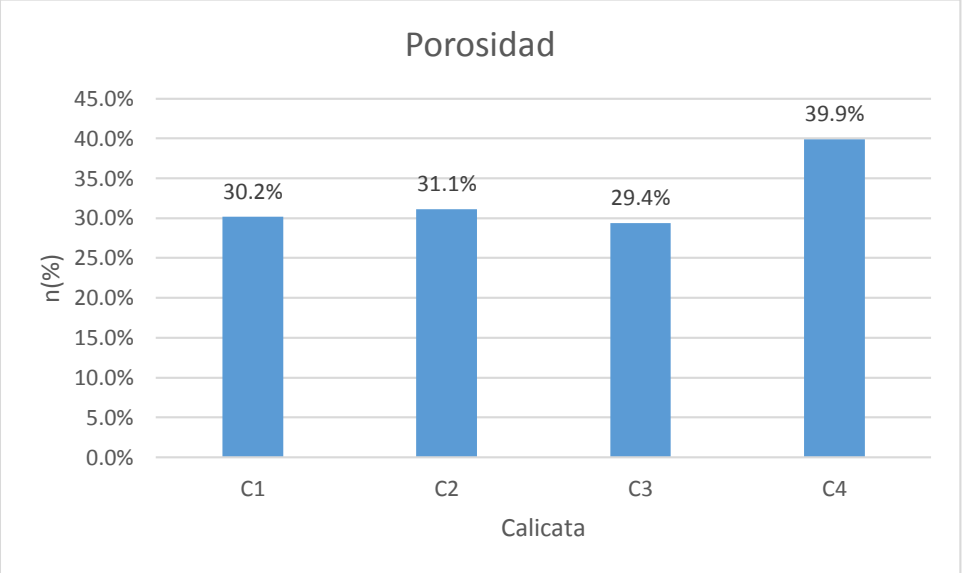


Figura 37. Porosidad.

En la figura 37 se muestran los resultados respecto a la porosidad, la cual se encuentra alrededor del 30%, siendo relativamente

uniforme en el terreno. La calicata con la mayor porosidad es la C4 con 39.9%, y la calicata con la menor porosidad es la C3 con 29.4%.

El índice de vacíos varía entre 0.417 y 0.663 conforme puede apreciarse en la figura 38. Existe una variación del índice de vacíos en las calicatas.

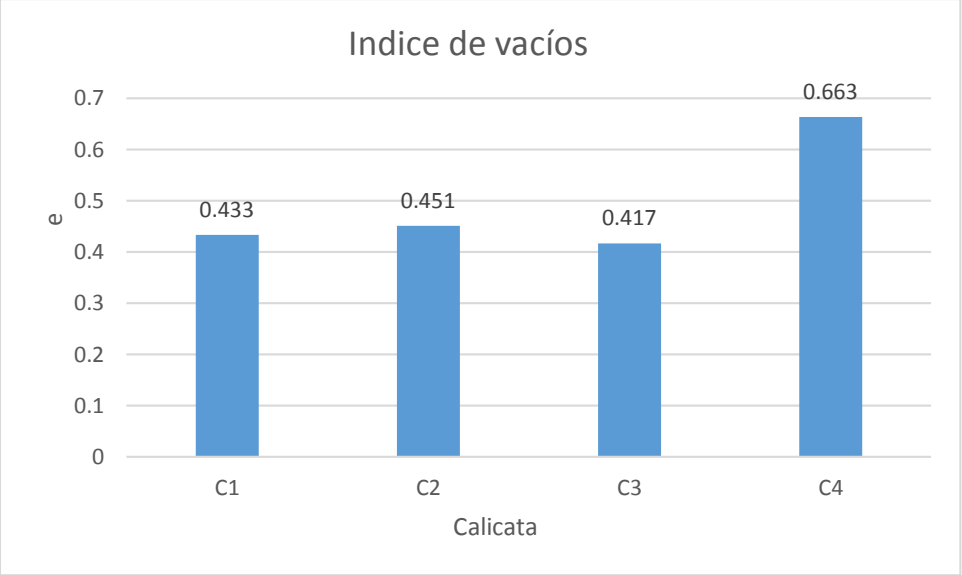


Figura 38. Índice de vacíos.

Por otro lado, cobra importancia conocer las condiciones de humedad del terreno, las que han podido ser verificadas in situ mediante el ensayo del carburo de calcio con humedómetro tipo Speedy, y corroborada en laboratorio por diferencia de pesos entre la muestra húmeda y muestra seca. En suelos finos es vital el conocimiento de la humedad, ya que este tipo de suelos es

normalmente sensible a las variaciones en el contenido de humedad, generándose variaciones de volumen que pueden inducir esfuerzos en las estructuras. En el caso de suelos granulares como los que se tienen en el proyecto, estos son menos sensibles a las variaciones de humedad, particularmente porque se han identificado suelos no plásticos. En general, se presenta un suelo con un bajo contenido de humedad, lo cual puede apreciarse en la figura 39, en que el terreno presenta contenidos entre 3.2% y 5.1%.

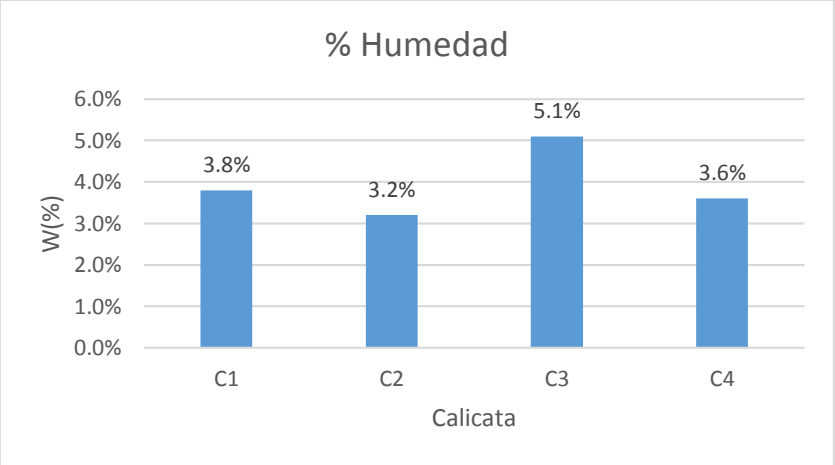


Figura 39. Humedad.

El suelo al estar compuesto de fases sólida, líquida y gaseosa, presenta una estructura interna de vacíos, la cual dependiendo de las condiciones de humedad se encontrará parcial o totalmente ocupada por agua. Mientras que el contenido de humedad indica la

proporción de agua contenida en peso, el grado de saturación indica el porcentaje de vacíos ocupados por agua.

La figura 40 muestra el grado de saturación de los suelos analizados, el cual varía entre 13.9% y 32.2%.

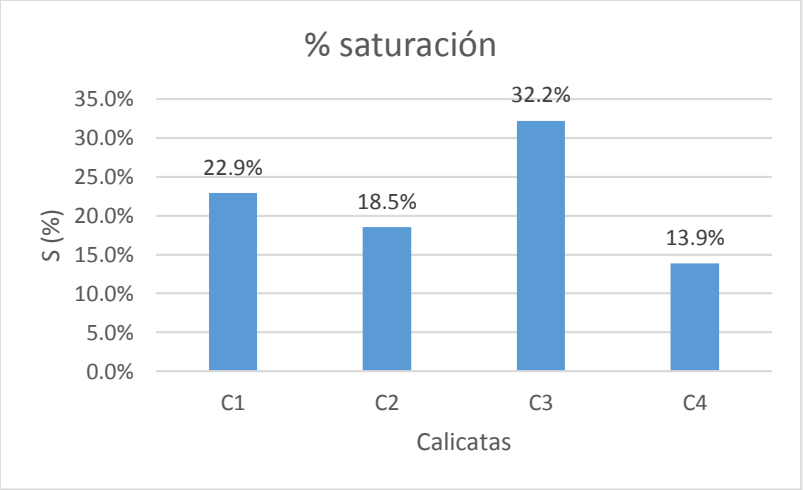


Figura 40. Grado de saturación.

Las propiedades mecánicas de los suelos del proyecto han sido evaluadas mediante el ensayo de corte directo. En dicho ensayo, se han obtenido como parámetros el ángulo de fricción interna (f) y la cohesión (c). Al tratarse de suelos granulares predominantemente arenosos se han considerado para todas las muestras cohesiones nulas.

En la figura 41 se muestran los ángulos de fricción de las diferentes muestras de suelo, siendo sus valores muy parecidos, presentándose valores entre 26.78° y 29.78°.

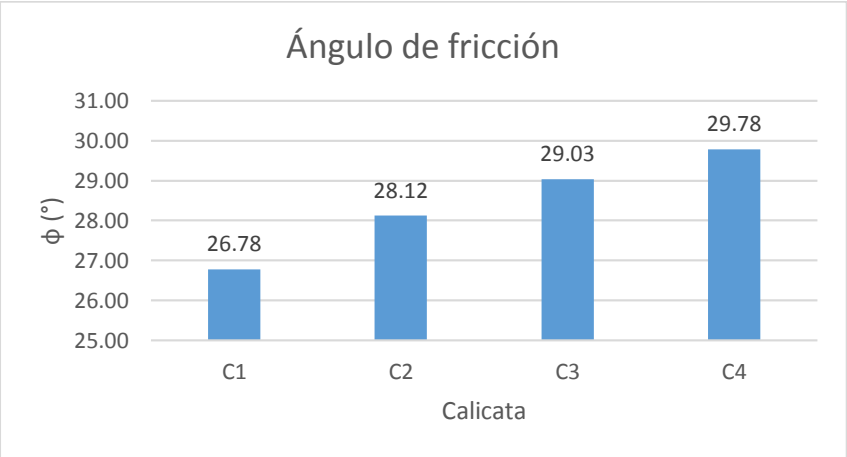


Figura 41. Ángulo de fricción.

En el cálculo de estas constantes se han empleado las siguientes fórmulas: Constante de reposo: $K_o = 1 - \text{sen } Ø$

Constante de empuje activo:

$$K_a = \cos \square \frac{\cos \square - (\cos^2 \square - \cos^2 Ø)^{1/2}}{\cos \square + (\cos^2 \square - \cos^2 Ø)^{1/2}}$$

Constante de empuje pasivo:

$$K_p = \cos \square \frac{\cos \square + (\cos^2 \square - \cos^2 Ø)^{1/2}}{\cos \square - (\cos^2 \square - \cos^2 Ø)^{1/2}}$$

Estas dos últimas para el caso de un relleno con un ángulo $\beta = 0°$, se simplifican en:

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varnothing}{2}\right) \qquad K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\varnothing}{2}\right)$$

Por otro lado, se han analizado las características de compactación del terreno, para el caso en que este sea empleado como material propio de los rellenos, así como subrasante de los pavimentos.

En la figura 42 se indican las humedades óptimas de compactación, y en la figura 43 las densidades secas máximas correspondientes al ensayo de Proctor Modificado.

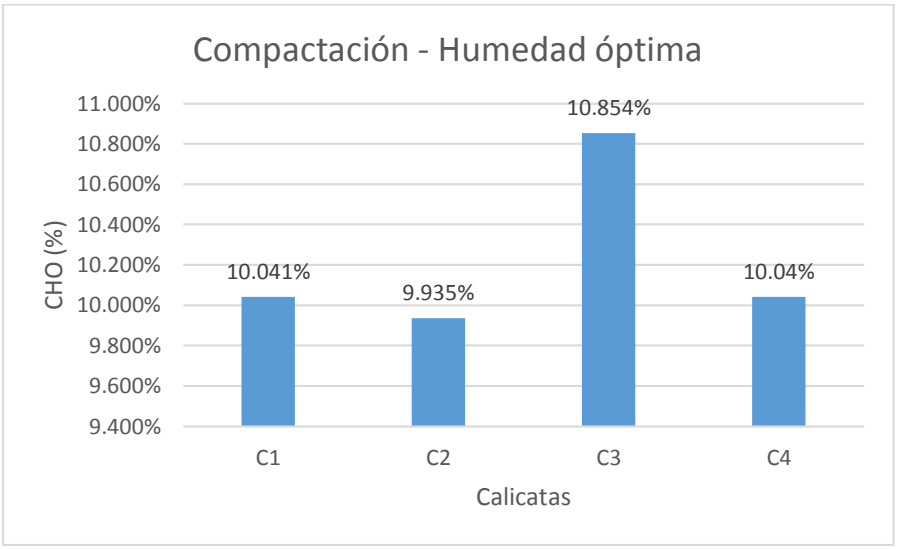


Figura 42. Humedad óptima.

Las humedades óptimas de compactación varían entre 9.94% y 10.85 %, existiendo correlación entre la gradación del terreno y estos contenidos de humedad, de manera para materiales más finos las humedades óptimas se aproximan al límite superior

identificado; en tanto que para materiales más gruesos se aproximan al límite inferior.

La densidad seca máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado varía entre 1.923 y 1.974 g/cm3. Existe correlación entre la gradación del terreno y las densidades obtenidas, ya que los suelos gruesos han mostrado tendencia a mayores densidades máximas. La densidad máxima constituye una expresión numérica del estado más compacto al que se puede llevar a un suelo por medio de procedimientos de compactación.

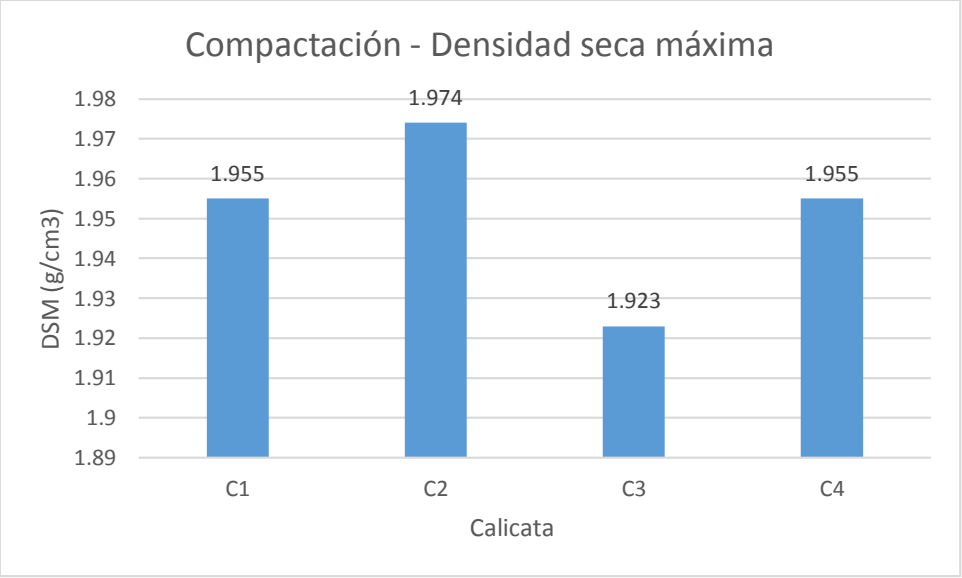


Figura 43. Densidad seca máxima.

En el caso de emplearse un estrato de suelo como subrasante de un pavimento debe tenerse en cuenta que asociado a su grado de compactación se tendrán valores de CBR, los que deberán tomarse

en cuenta a la hora de definir un CBR de diseño para cualquier Estudio de Pavimentos. Los valores de CBR asociados al 100%, 95% de grado de compactación, así como a su densidad natural, se muestran respectivamente en las figuras 44, 45 y 46.

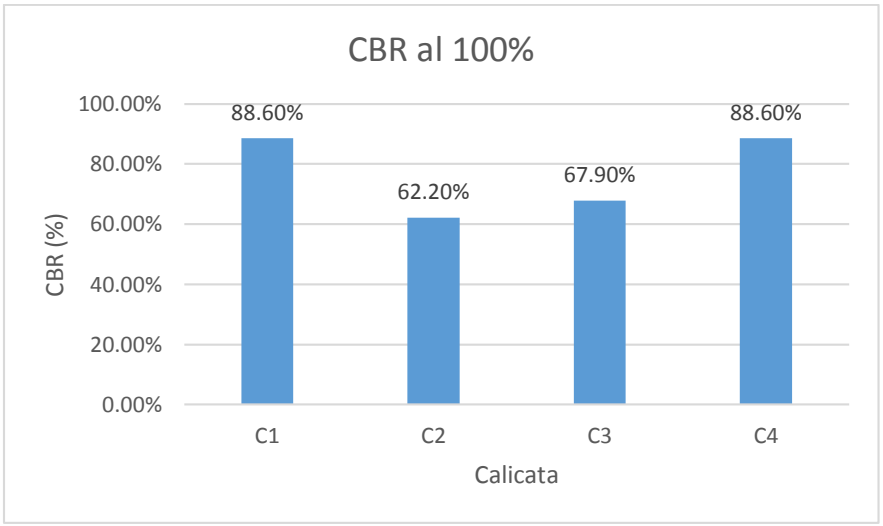


Figura 44. CBR al 100%.

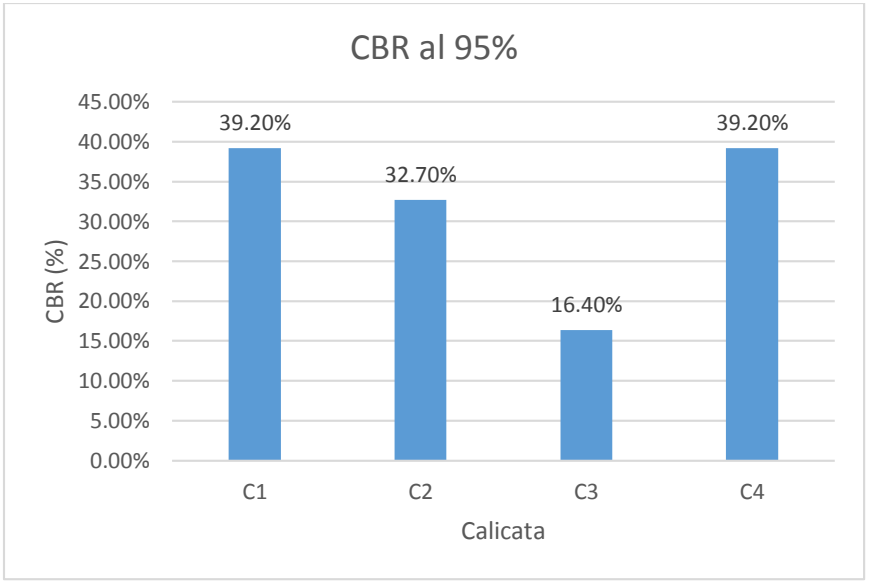


Figura 45. CBR al 95%

Con respecto al diseño de pavimentos, es la figura 46 la que arroja información más relevante. En el mismo puede observarse que el CBR del terreno en condiciones naturales varía desde 17.70% a 27.7%. El diseño de pavimentos deberá considerar el CBR representativo con fines de diseño, siguiendo alguna de las metodologías aceptadas y la correlación correspondiente con el módulo resiliente.

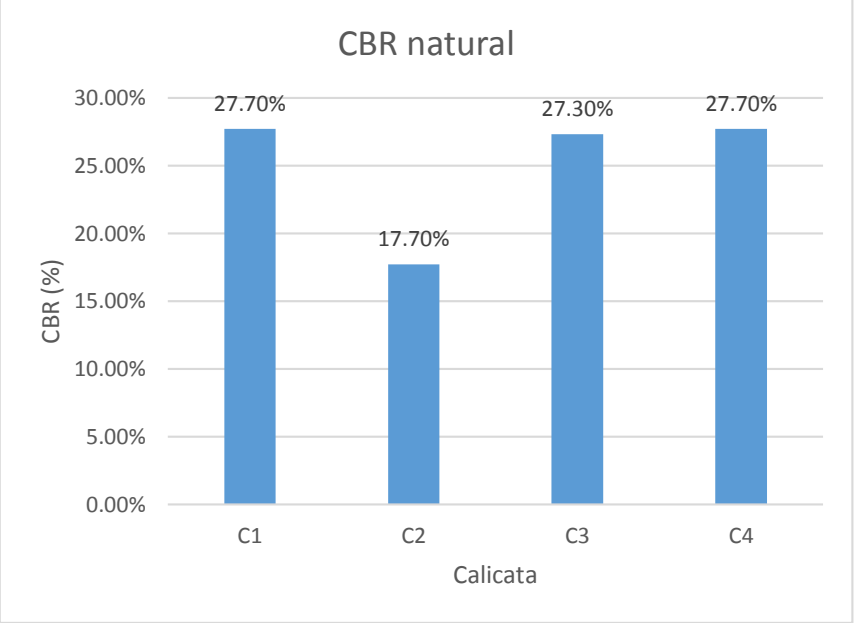


Figura 46. CBR natural.

4.2.8. Módulos de diseño de la subrasante y suelos de fundación

Se determinó el módulo resiliente y CBR de diseño por el método del percentil. Para el nivel de carga estimado en el Estudio de Tráfico le corresponde un percentil de diseño del 75%.

Los módulos de resiliencia han sido obtenidos por correlación con el CBR, haciendo uso de la ecuación:

Ecuación 4. Módulo de resiliencia

$$Mr\ (psi) = 2{,}555 x CBR^{0.64}$$

El módulo de resiliencia de diseño corresponde a 6.1767 psi y el CBR de diseño es 3.972, que de acuerdo con la Tabla 22, corresponde a una subrasante pobre (MTC, 2007).

Tabla 30. Categorías de subrasante

Categorías de subrasante	CBR (%)
S_0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S_1: Subrasante pobre	3%< CBR< 6%
S_2: Subrasante regular	6%< CBR< 10%
S_3: Subrasante buena	10%< CBR< 20%
S_4: Subrasante muy buena	20%< CBR< 30%
S_5: Subrasante excelente	CBR >= 30%

Nota: Tomado de "Manual de carreteras" por Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2007, p 81.

4.2.9. Agresividad química de la subrasante

En el Estudio de Mecánica de Suelos y Cimentaciones EMS del presente proyecto se ha realizado la evaluación de agresividad química considerando el contenido de sulfatos, cloruros, sales solubles y pH del suelo. Los resultados se muestran en la tabla 31.

Por lo visto la concentración de sulfatos corresponde a un nivel leve, igualmente la concentración de cloruros y sales solubles permite calificar la subrasante como no agresiva al concreto.

Tabla 31. Resultados de la evaluación química.

Muestra	Sulfatos (p.p.m.)	Cloruros (p.p.m.)	Sales solubles (p.p.m.)	pH
1-A	17.26	0.14	497.35	8.28
1-B	210.23	17.35	1,018.80	7.85

4.2.10. Estudio de canteras y fuentes de materiales

El Estudio de Canteras y Fuentes de Materiales tiene por objetivo la evaluación preliminar de los materiales de cantera en cuanto a sus características físicas y parámetros de calidad que los convierten en adecuados o no para los diferentes usos que se designen en obra.

Igualmente, se proponen canteras para el aprovisionamiento de materiales en los volúmenes requeridos por obra, sin que esto represente impedimento de evaluar otras alternativas en la etapa de ejecución de obra que permitan optimizar las labores de construcción. Los trabajos han comprendido el muestreo de materiales en cantera, así como la realización de ensayos de laboratorio.

Canteras estudiadas

En el presente estudio se han analizado en forma preliminar los materiales correspondientes a las canteras Vanesa Alejandra, Añashuayco y La Poderosa. Considerándose estas canteras como posibles opciones de fuente de aprovisionamiento de materiales para la base granular del Proyecto, ya que cuentan con volumen, cantidad y calidad.

Posteriormente a las evaluaciones preliminares se determinó emplear como cantera principal la cantera Vanesa Alejandra, por satisfacer los requerimientos de calidad del proyecto, contar con el volumen disponible y una distancia de transporte razonable.

Ensayos de laboratorio de agregados de canteras

De acuerdo a los ensayos de laboratorio conforme a estándares prescritos por normas nacionales e internacionales, orientados a determinar las propiedades físicas, así como parámetros de calidad de los agregados realizados conjuntamente con la Municipalidad Distrital de Yura, se tiene:

Material: Relleno estructural

Material empleado en el relleno de estructuras y secciones de relleno de explanaciones. De acuerdo con el Estudio de Mecánica de Suelos; se empleará para estos rellenos el material proveniente de las excavaciones.

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-42, MTC E 107.
- Límite liquido malla N°40 ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite plástico malla N°40 ASTM D-4318, MTC E 111.
- Clasificación SUCS ASTM D-2487.
- Clasificación AASHTO ASTM D-3282.
- Materia orgánica en arena ASTM C-140, MTC E 213.
- Abrasión Los Ángeles ASTM C-535, MTC E 207.

Material: Base granular

Material a ser empleado como capa de base en el pavimento de adoquines de concreto.

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-42, MTC E 107.
- Material que pasa por la malla N°200 ASTM C-117, MTC E 202.
- Límite liquido malla N°40 ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite plástico malla N°40 ASTM D-4318, MTC E 111.
- Clasificación SUCS ASTM D-2487.
- Clasificación AASHTO ASTM D-3282.
- Contenido sales solubles totales, MTC E 219.
- Materia orgánica en arena ASTM C-140, MTC E 213.
- Partículas chatas y alargadas ASTM D-4791, MTC E 221
- Porcentaje de caras de fractura ASTM D-5821, MTC E 210.
- Proctor modificado ASTM D-1557, MTC E 115.

- CBR ASTM D-1883, MTC E 132.
- Abrasión Los Ángeles ASTM C-535, MTC E 207.
- Equivalente de arena ASTM D-2419, MTC E 114.
- Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio ASTM C-88, MTC E 209.

Material: Arena para capa de soporte

Se aplica sobre la base granular nivelada y compactada para dar soporte a la capa de adoquines de concreto.

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-42, MTC E107.
- Material que pasa por la malla N°200 ASTM C-117, MTC E202.
- Límite liquido malla N°40 ASTM D-4318, MTC E110.
- Límite plástico malla N°40 ASTM D-4318, MTC E111.
- Clasificación SUCS ASTM D-2487.
- Clasificación AASHTO ASTM D-3282
- Equivalente de arena ASTM D-2419, MTC E 114

Material: Arena para sello

Se aplica entre las juntas de adoquines para garantizar la trabazón entre ellos.

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-42, MTC E107.
- Material que pasa por la malla N°200 ASTM C-117, MTC E202.

- Límite líquido malla N°40 ASTM D-4318, MTC E110.
- Límite plástico malla N°40 ASTM D-4318, MTC E111
- Clasificación SUCS ASTM D-2487.
- Clasificación AASHTO ASTM D-3282

Resultados:

Analizando las tres canteras: “Vanesa Alejandra”, “Añashuayco” y “La Poderosa”, se ha considerado el empleo de los materiales de cantera en las siguientes aplicaciones: Relleno estructural, base granular para vías, arena de soporte y arena de sello en pavimento de adoquines de concreto, como se muestra en la Tabla 23.

- Se ha considerado el empleo de los materiales de cantera en las siguientes aplicaciones: relleno estructural, base granular para vías, arena de soporte y arena de sello en pavimento de adoquines de concreto.
- Igualmente se han evaluado agregados fino y grueso para su uso en concretos hidráulicos, y evaluado en forma preliminar diseños de mezcla para tres tipos de resistencia a la compresión: f’c = 140, 175 y 210 kg/cm2.
- La cantera “Vanesa Alejandra”, satisface la especificación de base granular para vías. Puede emplearse también como base granular para bermas y veredas, así como relleno estructural, sin

mayor modificación del material. Solo requiere control de su tamaño máximo en cantera, lo cual puede lograrse mediante zarandas estáticas (Tabla 32).

Tabla 32. Resultados Cantera "Vanesa Alejandra" - Base granular

ENSAYO		TIPO	REQUERIMIENTO	RESULTADO
BASE Y SUBBASE GRANULAR				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		ESTÁNDAR	A, B, C, D	B
LÍMITE LÍQUIDO		ESTÁNDAR	25% máx.	NP
LÍMITE PLÁSTICO		ESTÁNDAR	IP = 6% máx. (subbase) IP = 4% máx. (base)	NP
CLASIFICACIÓN SUCS		ESTÁNDAR		SP-SM
CLASIFICACIÓN AASHTO		ESTÁNDAR		A-1-a (0)
SALES SOLUBLES TOTALES		ESTÁNDAR	1% máx.(subbase) 0.5% máx. (base)	0.8%
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS		ESTÁNDAR	20% máx. (subbase) 15% máx. (base)	14.6%
% CARAS FRACTURADAS	1 CARA	ESTÁNDAR	80% mín (base)	80.8%
	2 CARAS		40% mín (base)	40.2%
CBR		ESPECIAL	40% mín. (subbase) 80% mín. (base)	83.4%
PROCTOR MODIFICADO		ESPECIAL	DSM (g/cm3) CHO (%)	2.051 6.50%
ABRASIÓN LOS ÁNGELES		ESPECIAL	50% máx. (subbase) 40% máx.(base)	20.6%
EQUIVALENTE DE ARENA		ESPECIAL	25% mín. (subbase) 35% mín. (base)	74.0%
DURABILIDAD AG		"	18% máx. (base)	4.4%
DURABILIDAD AF		"	15% máx. (base)	5.8%

Nota: Desarrollado por el autor y tomado de "Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal del sector A, Ciudad de Dios – Yura", *por* América IC&C, 2021, p.30.

- La cantera “Vanesa Alejandra”, no se recomienda como materia para arena de soporte y arena de sello en el pavimento de adoquines de concreto. Ya que, no obstante poder modificarse mediante venteo de finos y control de su tamaño máximo, comparativamente la cantera “Añashuayco” es más aparente para estos usos.
- La cantera “Añashuayco”, no cumple con todos los requerimientos de calidad para base granular en vías; sin embargo, si puede utilizarse como base granular en bermas y veredas, así como relleno estructural.
- La cantera “Añashuayco” posee las mejores condiciones para arena de soporte y arena de sello para el pavimento de adoquines de concreto, requiriendo un venteo para la reducción de material fino y control del tamaño máximo en cantera mediante el uso de zarandas estáticas y en obra en el momento de ser utilizada como sello de los adoquines.
- La cantera “La Poderosa” satisface todos los requerimientos de material de base granular para vías, y puede utilizarse igualmente en veredas y bermas. No se recomienda su empleo como arena de soporte y arena de sello en el pavimento de adoquines de concreto, por no ser eficiente, dado su mayor costo y distancia de transporte.

- Se han evaluado las canteras “Vanesa Alejandra” y “La Poderosa” para la producción de concreto hidráulico. Ambas satisfacen los requerimientos mínimos normativos.
- Se recomienda proporciones en peso y volumen, acorde con las características de los agregados.

4.2.10. Información pluviométrica

Se utilizó la información pluviométrica correspondiente a las estaciones La Pampilla, Chiguata y Ubinas, mostradas en la Tabla 33.

Tabla 33. Información pluviométrica - Estación Base

ESTACIONES BASE			
LATITUD	**COORD. NORTE (m) LONGITUD**	**ALTITUD (m.s.n.m.)**	**ESTACIÓN**
16°24´49.83”	71°32´4.27”	2365.00	EST. LA PAMPILLA
16°24´23.2”	71°24´32.9”	2943.00	EST. CHIGUATA
16°23´19.59”	70°51´14.61”	3380.00	EST. UBINAS

Nota: Tomado de Senamhi “Mapa de estaciones Arequipa – Moquegua y de “Periodo lluvioso – Precipitaciones Máximas Arequipa” por Gobierno Regional de Arequipa (GRA), 2018, p. 2.

Se trabajó con los registros de precipitaciones máximas de 24 horas con datos completos y verificados mediante análisis de consistencia y datos dudosos.

La precipitación máxima para las microcuencas se ha generado a partir de las estaciones base multiplicados por un factor de corrección proveniente de la relación entre las alturas y ubicación geográfica, de esa relación se obtiene un factor de corrección altitudinal (ai) y factor de influencia geográfica (bi), que luego sirven para calcular los

coeficientes de las ecuaciones de influencia para las cuatro micro cuencas, como se muestra a continuación.

En la Tabla 34 se muestra la ecuación de precipitación de la cuenca en estudio en función de las estaciones base.

Tabla 34. Ecuación de precipitación

ECUACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN EN ESTUDIO EN FUNCIÓN DE LAS ESTACIONES BASE ($E_e = \sum ai \times bi \times Eb$)						
E_e 1 =	0.664	X Eb 1 +	0.321	X Eb 2 +	0.090	X Eb 3
E_e 2 =	0.653	X Eb 1 +	0.309	X Eb 2 +	0.083	X Eb 3
E_e 3 =	0.669	X Eb 1 +	0.317	X Eb 2 +	0.085	X Eb 3
E_e 4 =	0.715	X Eb 1 +	0.341	X Eb 2 +	0.090	X Eb 3

Nota: Tomado de "Periodo lluvioso – Precipitaciones Máximas Arequipa" por Gobierno Regional de Arequipa (GRA), 2018, p. 4.

4.2.11. Periodo de retorno

La normatividad peruana de obras de saneamiento 0S-060, señala que, para sistemas de drenaje menor, el periodo a considerar es de 2 a 10 años y para drenaje urbano mayor, el periodo de retorno debe ser igual a 25 años.

En este caso se considera para el diseño un periodo de retorno de 10 años.

4.2.12. Estadística aplicada a la hidrología

Las precipitaciones para periodos menores a 24 horas, ha sido hallada utilizando la ecuación de DICK Y PESCHKE (Guevara, 1991).

Esta fórmula relaciona la precipitación máxima 24 horas con precipitaciones cuyas duraciones que fluctúan entre 5 minutos y 24 horas. Este método produce una envolvente con los datos obtenidos por la organización meteorológica cuando no se tienen las curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia).

Ecuación 5. Ecuación Dick y Perschke

$$P_d = P_{24horas} * (\frac{d}{1440})^{0.25}$$

En dónde:

Pd: Precipitación (mm)

d: Duración en minutos.

P 24 horas: Precipitación máxima en 24 horas (mm).

Tabla 35. Hietograma (mm) - Método de bloqueo alterno - Microcuenca 1

DURACIÓN (min.)	INTENSIDAD (mm/h.)	PROF. ACUM (mm)	PROF. INCRE (mm)	INT. BLOQUE (mm/h)	TIEMPO (min.)	ORDENADO
10	61.800	10.300	10.300	618.00	0-10	0.367
20	36.800	12.267	1.967	118.00	10-20	0.517
30	27.100	13.550	1.283	77.00	20-30	0.700
40	21.900	14.600	1.050	63.00	30-40	0.817
50	18.500	15.417	0.817	49.00	40-50	1.283
60	16.100	16.100	0.683	41.00	50-60	10.300
70	14.400	16.800	0.700	42.00	60-70	1.967
80	13.000	17.333	0.533	32.00	70-80	1.050
90	11.900	17.850	0.517	31.00	80-90	0.683
100	11.000	18.333	0.483	29.00	90-100	0.533
110	10.200	18.700	0.367	22.00	100-110	0.483
120	9.600	19.200	0.500	30.00	110-120	0.500

Nota: Desarrollado por el autor en base a la toma de datos de "Periodo lluvioso – Precipitaciones Máximas Arequipa" por Gobierno Regional de Arequipa (GRA), 2018, p. 12.

Luego, utilizando el método de Bloque Alterno, se desarrolla el hietograma de diseño utilizando una curva de Intensidad – Duración – Frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempos sucesivos de duración, en este caso de 10 min. Sobre una duración total en este caso de 120min.

Se han calculado para cada microcuenca las lluvias máximas (mm), las intensidades máximas (m/h) y su correspondiente hietograma. En la Tabla 35 a manera de ejemplo se muestra el hietograma correspondiente a la microcuenca 1.

4.2.13. Número de curva NC y porcentaje de impermeabilidad

El valor del coeficiente de escorrentía se establece de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas cuyos cursos interceptan el alineamiento en estudio.

En virtud a ello, los coeficientes de escorrentía varian según dichas características.

Para este caso se utilizó la tabla de valores de número de curva en función del código Corine Land Cover, que nos da una gran variedad de usos de suelo con su correspondiente número de curva.

En la Tabla 36, se muestran los resultados de número de curva “NC” y el porcentaje de permeabilidad para cada microcuenca en un tiempo de 10 años.

Tabla 36. Número de curva "NC" y % de permeabilidad en microcuencas

CUENCAS	MÉTODO RACIONAL (T= 10 años)		
	ÁREA (Km²)	NC	% Permeabilidad
MICRO CUENCA 1	0.77400	93	3.88%
MICRO CUENCA 2	0.04573	93	3.66%
MICRO CUENCA 3	0.10772	93	3.21%
MICRO CUENCA 4	0.51311	92	3.10%

Nota: Desarrollado por el autor en base a la toma de datos de "Periodo lluvioso – Precipitaciones Máximas Arequipa" por Gobierno Regional de Arequipa (GRA), 2018, p. 12.

4.2.14. Cálculo de caudales con HEC-HMS y HEC-RAS

Se realizaron los cálculos correspondientes con el software HEC-HMS, el cual realiza las simulaciones a partir de dos parámetros los cuales son el número de curva y la impermeabilidad.

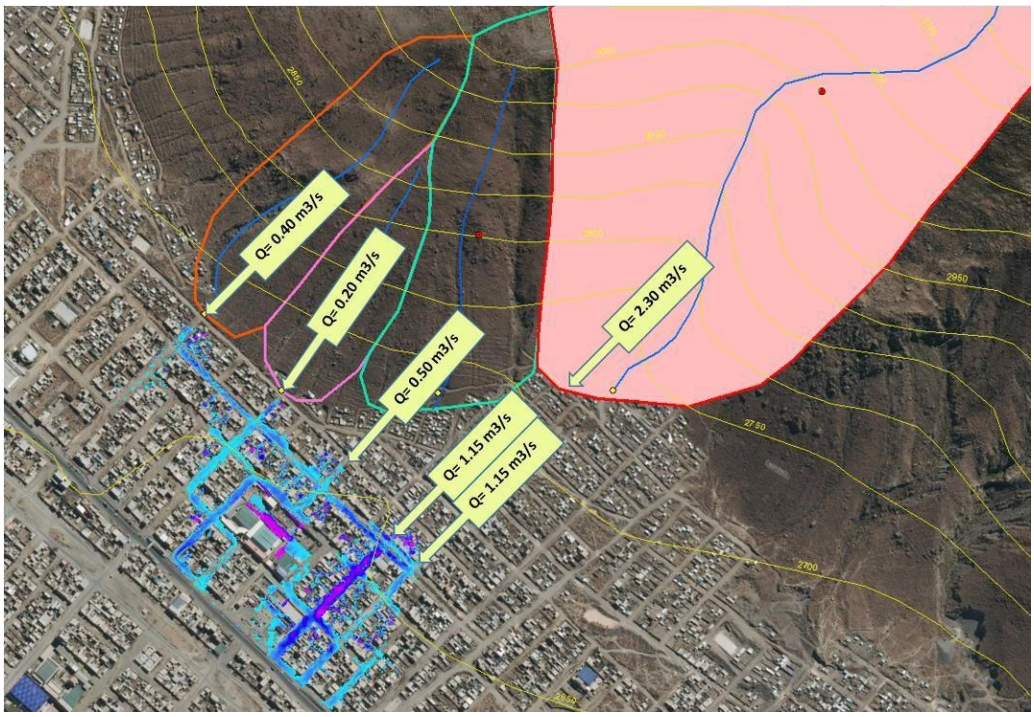


Figura 47. Distribución de caudales por calles.
Tomado de "Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal del sector A, Ciudad de Dios – Yura", *por* América IC&C, 2021, p.64.

En la Figura 47, se muestran los caudales calculados para las principales calles afluentes al proyecto.

4.3. Criterios y controles básicos para el diseño

4.3.1. Vehículo de diseño

Se ha decidido considerar como vehículo de diseño al C3E de la Normativa Peruana del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

4.3.2. Velocidad de diseño

Para el presente proyecto, al tratarse de calles colectoras locales, cuya principal función es la de dar accesibilidad a los predios existentes, se ha adoptado una velocidad de diseño de 40 Km/h. El tramo en estudio es de enfoque mixto por ser una vía de acceso que comunica los sectores Empleados y Milagros, los cuales son centros poblados con accesos urbanos propios en cada sector, siendo la zona de estudio una tramo de carretera que a futuro conectará como vía de acceso a la ciudad de Arequipa en el cono norte con la panamericana sur como vía alterna, pero por pasar por la zona urbana el tráfico son de velocidades reducidas de acuerdo al Reglamento Nacional de Tránsito (artículo 162°).

4.4. Elementos de la sección transversal

4.4.1. Pavimento

La sección de pavimento propuesta conformada por: (i) capa de rodadura conformado por adoquines de concreto e=0.08 m, f'c=420 kg/cm2, (ii) cama de arena e=0.05 m, y (iii) base granular e=0.20 m.

4.4.2. Sección típica

En las Figuras 48 y 49 se muestran algunas secciones típicas. Donde se muestra una avenida de doble vía, con bermas y veredas, y sardineles.

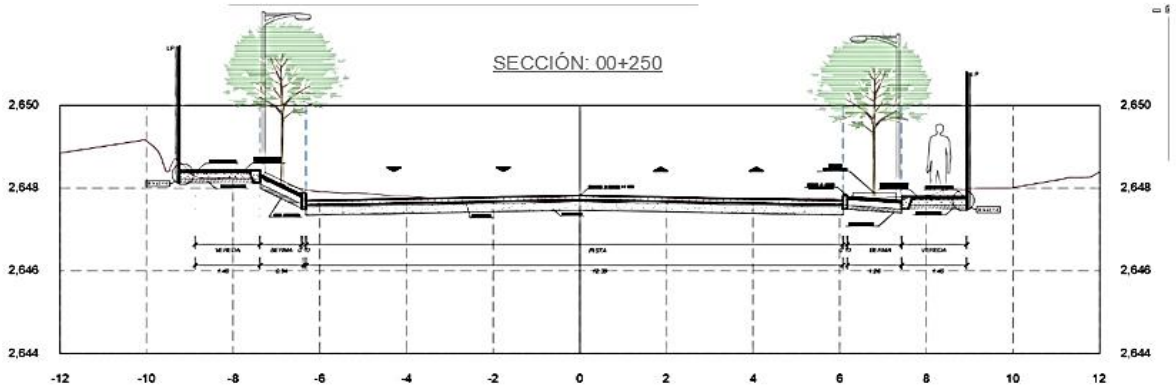


Figura 48. Sección típica (I).
Elaborado por el autor.

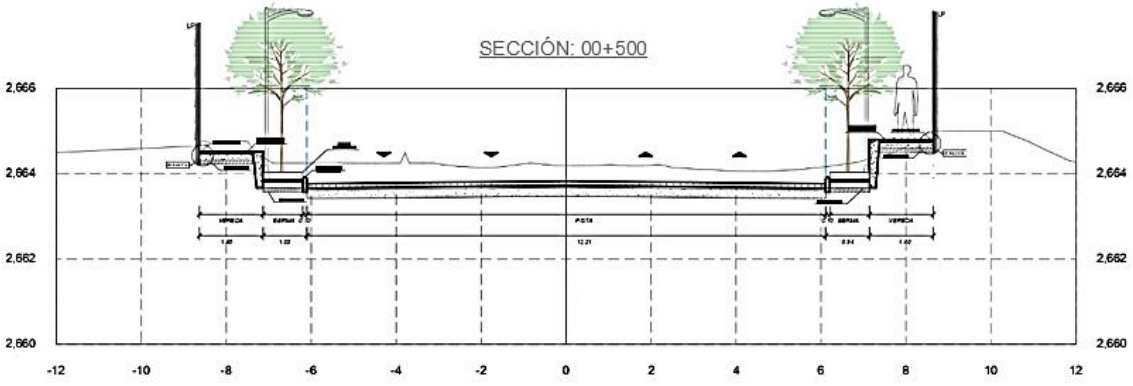


Figura 49. Sección típica (II).
Elaborado por el autor.

La sección del pavimento propuesto está conformada por una capa de rodadura constituido por adoquines de concreto e= 0.08 m, f´c = 420 kg/cm^2, cama de arena e = 0.05 m y una base granular e = 0.10 m.

4.5. CBR y Módulo de Resiliencia de Diseño

En base a la prospección de calicatas y ensayos de laboratorio se ha determinado un CBR de diseño de 19.8, y un módulo de resiliencia de diseño de 17,267.43 psi. Los valores determinados corresponden en general a una subrasante buena.

4.6. Espesor de la capa granular

4.6.1. Tramo 00+000 al 00+780

Propiedades de la subrasante

CBR (%): 3.972%

Cálculo de número de repeticiones de EE 8.2 toneladas

EE = IMDA por clase x Factor de carga x Factor de presión de llantas

EE = 22 x 4.56762 x 1.00 = 100.48764

$EE_{día\text{-}carril}$ = EE x Factor direccional x Factor carril

$EE_{día\text{-}carril}$ = 100.488 x 0.50 x 1.00

$EE_{día\text{-}carril}$ = 50.244

Nrep. De $EE_{8.2\ ton}$ = $\sum [EE_{día\text{-}carril} \times (1+t)^{n-1}] /(t)$

Nrep. De $EE_{8.2\ ton} = 345\ [50.244 \times (1+0.045)^{10-1}] / 0.045$

Nrep. De $EE_{8.2\ ton} = 345 \times [50.244 \times (1.48)] / 0.045$

Nrep. De $EE_{8.2\ ton}$ = 345 x [74.361]/0.045

Nrep. De $EE_{8.2\ ton}$ = 345 x 1,652.463413

Nrep. De $EE_{8.2\ ton}$ = 570,090.573 = **5.70×10^5**

Tabla 37. Parámetros de diseño tramo 00+000 al 00+780

Elementos de diseño	Parámetros
IMDA /C2E)	22 vehículos/día
IMDA /C3E)	7 vehículos/día
Factor de carga (C2E)	4.56762
Factor de carga (C3E)	3.28446
t: Tasa de proyección del tráfico (%)	0.045%
n: Periodo de diseño (años)	20
Factor direccional	0.50
Factor carril	1.00
Factor presión de llantas	1.00

Fuente: Elaborado por el autor en base al "Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volúmen de tránsito" por MTC, 2008.

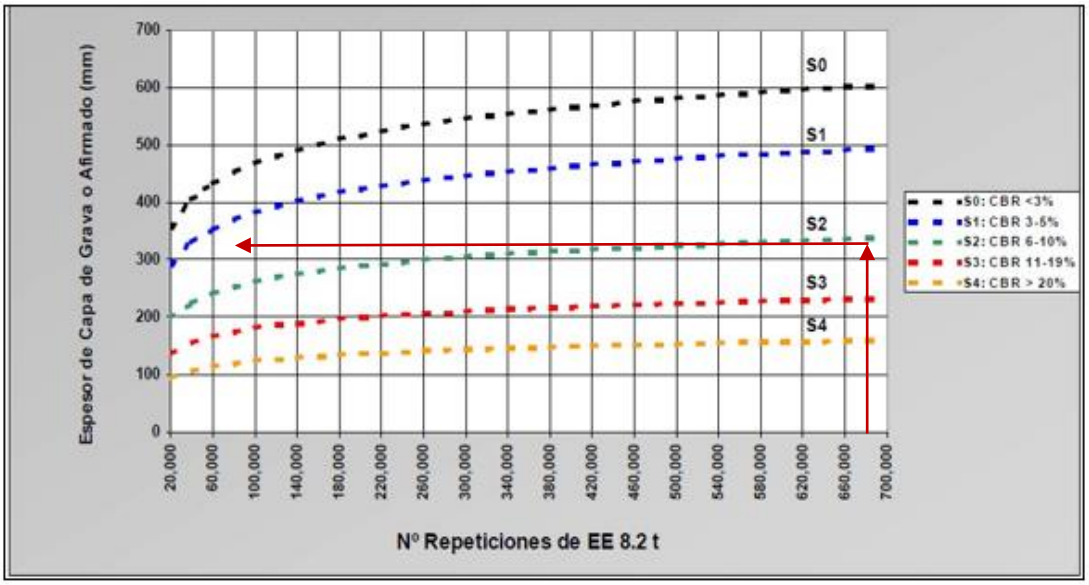


Figura 50. Cálculo del espesor de la capa granular.
Elaborado por el autor en base a **"**Diseño de pavimentos en carga de ruedas tipo tándem", por USACE, 2003, p 38.

Espesor del afirmado (capa granular) de 320 mm o 32 centímetros.

4.7. Diseño de pavimentos

Se utilizaron los métodos de diseño ASCE (2010) e ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute), habiéndose determinado que los espesores de diseño satisfacen los requerimientos de serviciabilidad y capacidad estructural para el nivel previsto de carga.

Por lo tanto, se concluye que la sección típica escogida es satisfactoria no solo desde el punto de vista de la serviciabilidad, sino también estructuralmente.

El pavimento se compone de una carpeta de adoquines de concreto tipo II, f'c=420 kg/cm2, e=0.08 m, una cama de arena e=0.05 m y una base granular e=0.32 m. Los adoquines serán cubiertos en sus juntas por una arena de sello que restrinja el desplazamiento relativo entre unidades.

4.8. Diseño de la carretera con geomalla

4.8.1. Resistencia al corte del suelo (C)

Se determinó en primera instancia las condiciones de diseño del terreno natural, por lo que se realizó calicatas, determinando el CBR en la Tabla 9. Posteriormente con los resultados de resistencia del suelo del CBR, se halla la resistencia al corte usando los parámetros de la Figura 9.

4.8.2. Determinación del tráfico de diseño con geomalla

Para la determinación del tráfico se tomará en consideración el vehículo de mayor tonelaje que transita, tomando en cuenta todas las variantes de carga que se tengan. Se toma en consideración el mecanismo de peso combinado del vehículo de diseño. Para el caso de vehículos pesados de más de dos ejes, se emplea el promedio de carga total ejercido sobre los dos ejes más próximos y más pesados.

Tomando en consideración la clasificación vehicular que se denota en la Tabla 22, los vehículos de mayor peso son los camiones de tipo C2E y C3E.

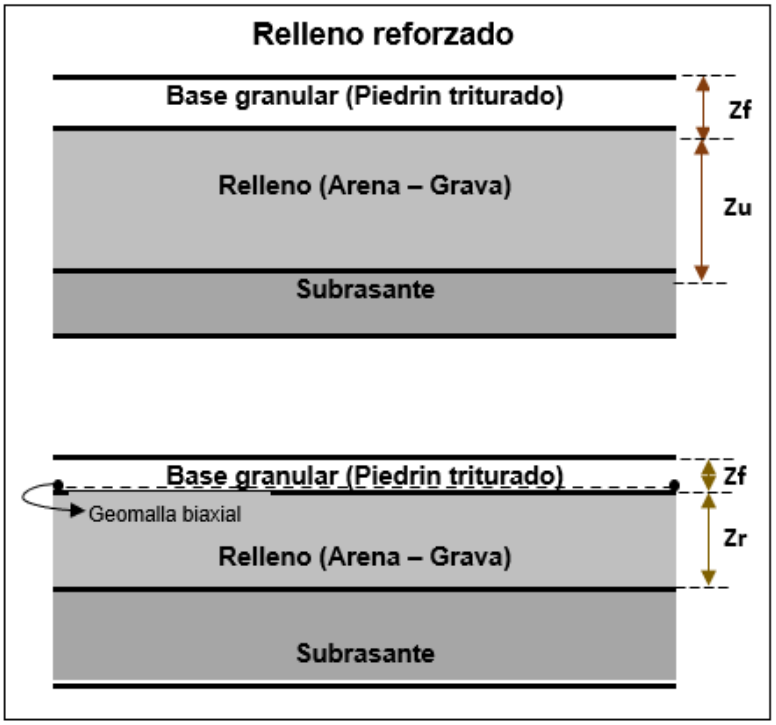


Figura 51. Diseño comparativo de relleno reforzado y no reforzado.
Zf: Espesor de agregado para soporte de cargas dinámicas con relleno reforzado.
Zu: Espesor de agregado con relleno sin reforzar, Zr: Espesor de relleno para soporte con relleno reforzado.
Tomado de "Aplicación de geosintéticos en la construcción de carreteras" por Fiorini, 2007, p. 78.

4.8.3. Determinación del factor de capacidad de soporte reforzada (Nc)

Para obtener los factores de capacidad portante no reforzada y reforzada se utilizaron información empírica de escala elevada ERDC (Equipo de Carga Simulada) contemplando las secciones de prueba.

- El factor de capacidad portante sin refuerzo (Nc): 2.8.
- El factor de capacidad con refuerzo empleando geotextil: 5.0.

Conforme a trabajos de investigación actuales, han afirmado que el factor de capacidad con refuerzo empleando geotextil decrece a un factor de 3.6 para un diseño conservador.

El factor de capacidad portante reforzada (Nc) se valoriza en 5,8 respecto al uso de geomallas separadoras y de refuerzo. En el presente estudio se toma em consideración los factores de capacidad de carga de USACE, en donde valores de CBR de 2.0%> CBR>4.0%, empleando la capacidad de Nc = 5.8%. Cabe señalar que el CBR va a reducirse en épocas de lluvia, ya que, por el relieve y pendiente del terreno de la zona, se incrementa los niveles de humedad basal y por tener composición mayoritaria de materiales finos, la estructura del suelo se vuelve vulnerable y suave con la humedad presente en esas épocas, por lo que se toma este parámetro.

4.8.4. Determinación del espesor total requerido

Para el hallazgo, se emplea las Figuras 10 a la 12 para una rueda, doble rueda y conjunto de ruedas de carga tándem. La capacidad de soporte del subsuelo (CNc) se halla por el producto de la resistencia al corte (C) en psi por el factor de capacidad de soporte adecuado (CNc). Luego de acuerdo a la curva de diseño apropiado de las Figuras 10, 11 y 12 se inserta el valor de la capacidad de terreno natural (CNc) en el eje X. Seguidamente se traza la línea vertical desde la capacidad de soporte del terreno natural a la curva de diseño adecuado de peso. Seguidamente el trazo de la línea horizontal desde el punto de intersección del espesor total requerido en pulgadas en el eje Y. La suma necesitada del espesor total de los caminos sin pavimentar se obtiene redondeando a la medida en pulgadas superior.

Tramo Km 00+000 al 00+780

A) Parámetros de diseño

Tráfico de diseño (Camión C3E – Eje tándem), para esto se emplea un modelo de camión militar M172A1, de 35 toneladas que es un Semitrailer, el cual se asemeja a las especificaciones del camión de diseño C3E.

Carga por diseño por rueda : 42,000 libras.

Factor de capacidad de carga reforzada (CNc): 4.0

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

B) Propiedades de la subrasante

CBR: 3.972%

Resistencia al corte (C): 13 psi

C) Cálculo de la capacidad de soporte del suelo

CNc = C x Nc = 52 p.s.i.

D) Determinación del grosor de la capa granular

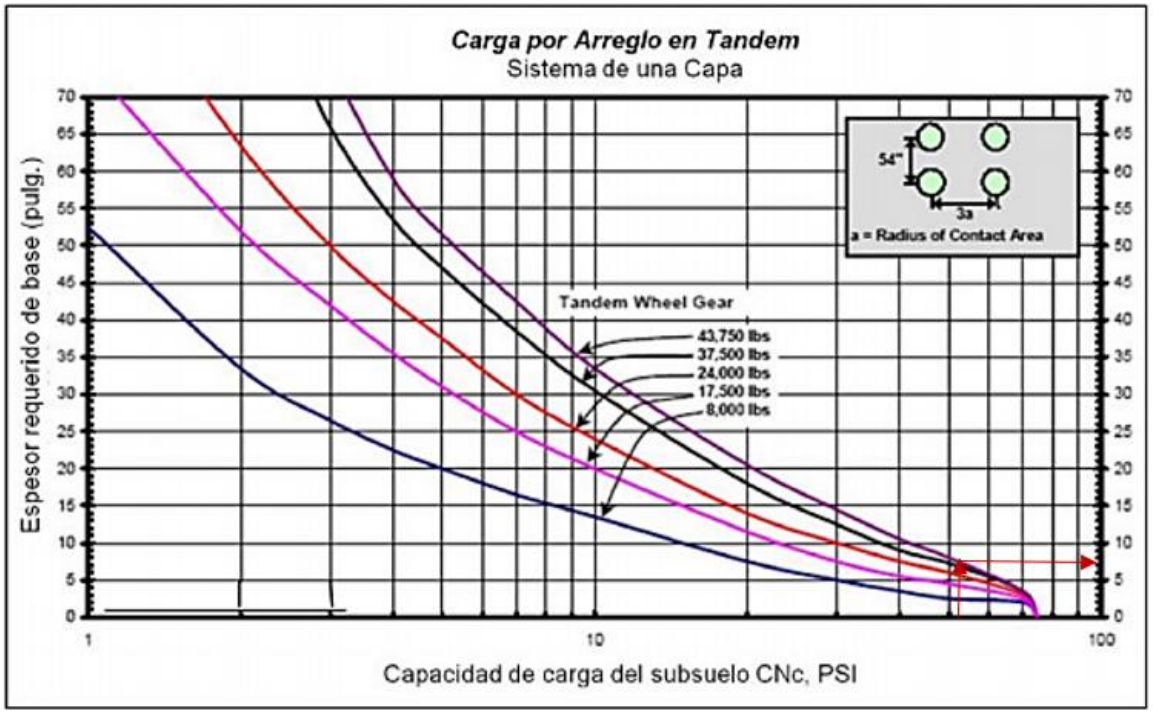


Figura 52. Determinación del espesor de la capa granular: Carga por arreglo tándem. Elaborado por el autor en base a Tomado de USACE, 2003, p 38.

.

De acuerdo al diagrama de correspondencias (Figura 52) se obtiene que el grosor de la capa granular, siendo de 7 pulgadas, que es equivalente a 17.78 cms.

4.9. Análisis y Discusión de resultados

Se puede determinar que los espesores a emplear de la capa de afirmado obtenidos en el estudio con ambas alternativas que son el diseño convencional y le diseño con refuerzo con geomalla, los resultados se tienen en la Tabla 38. Se realiza el comparativo del grosor del afirmado determinado en el diseño convencional (Figura 53) y el diseño con refuerzo con geomalla (Figura 54).

Tabla 38. Comparativo del diseño convencional y con refuerzo de geomalla

Tramo en estudio	Diseño convencional	Diseño de refuerzo con Geomalla	Diferencia de grosores
	Grosor del afirmado (cms)	Grosor del afirmado (cms)	(cms)
Km 00+00 al Km 0+780	32.00	17.78	14.22

Nota: La diferencia de grosores comparado entre el diseño convencional y diseño con refuerzo con geomalla, elaborado por el autor.

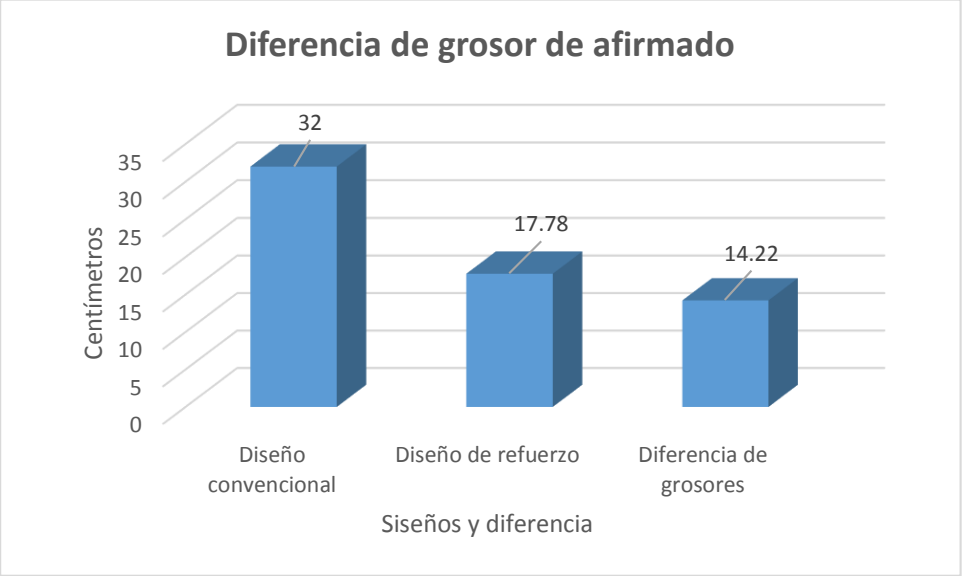


Figura 53. Diferencia de grosores: Método convencional y con refuerzo.

4.10. Evaluación técnica

En este ítem se analiza el desempeño del tramo respecto a los parámetros de diseño inicial. En la Figura 54 se puede ver el espesor final respecto al diseño; se puede notar que se da una disminución del espesor de la sección reforzada en comparación con el diseño sin refuerzo.

Figura 54. Grosores finales de capa granular comparado.
Elaborado por el autor.

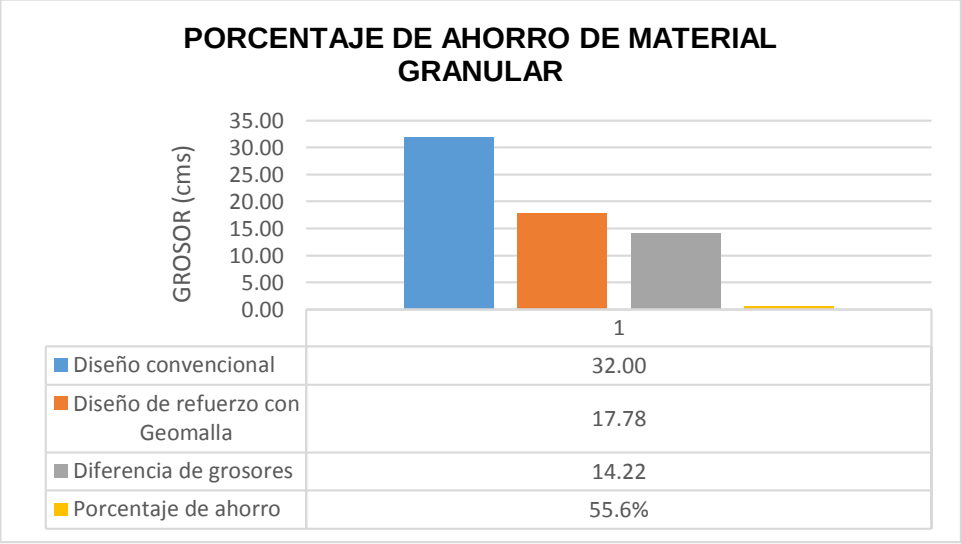


Figura 55. Porcentaje de ahorro de material granular.
Elaborado por el autor.

La diferencia en el grosor de diseño se puede desarrollar más aún en la Figura 55, expresados en porcentaje del espesor inicial (modelo tradicional) y el espesor con sección reforzada.

4.11. Evaluación económica

Para la evaluación económica se consideró los materiales a emplear en las dos alternativas planteadas y el costo total de la construcción de ambos tramos con refuerzo y sin refuerzo.

Para evaluar el insumo de material granular requerido para componer el grosor en el tramo de diseño y el material de refuerzo a emplear. Se toma en cuenta que el ancho de vía es de 8 metros, se considera también los costos de mano de obra por instalación. Se realizó las partidas como son esparcimiento, riego y compactación de La capa de afirmado y los costos de geomalla biaxial (utilizándose 6,240 metros cuadrados) y la instalación de la misma, haciendo el costo total del tramo en estudio. En la Tabla 39 se muestra los costos totales para el tramo diseñado, y los análisis de costos unitarios se detallan en el anexo 06 y 7.

Tabla 39. Costos integrales por diseño estudiado

Diseño	**Costo integral**
Tramo reforzado	S/ 102,749.07
Tramo no reforzado	S/ 109,612.80
Diferencia de costo	S/ 6,863.73

Nota: El tramo reforzado incluye los costos de la geomalla, como se muestran en el anexo 05, elaborado por el autor.

Se puede ver que el empleo de geomallas biaxiales es más rentable con ahorro de dinero en la ejecución de obra en un diferencial de 6,863.73 soles, como se muestra en la Figura 56.

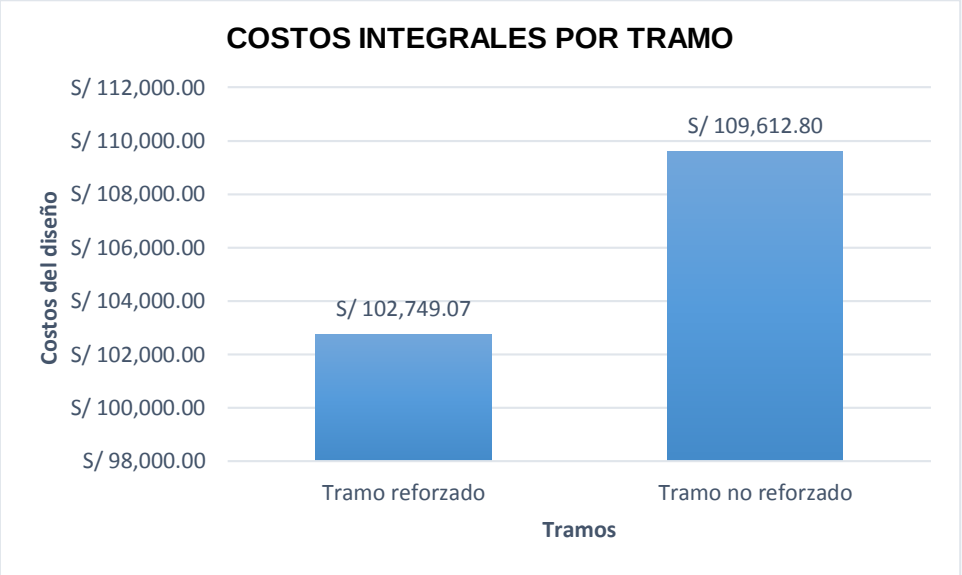


Figura 56. Costos totales de diseño reforzado y no reforzado.
Elaborado por el autor.

4.12. Discusión

- Los resultados determinados en el presente estudio de investigación demuestran que, con el empleo de geomalla biaxial de refuerzo, se reduce el espesor de la capa granular. Por lo que se coincide con el trabajo realizado por Caballeros, E. (2006), que afirma que la implementación de geomalla en la estructura del pavimento flexible disminuye los espesores de los estratos que lo conforman.

  Se determina que los espesores de la conformación del diseño estructural sin refuerzo son de mayor dimensión, siendo un promedio de un 45.4% mayor que el grosor determinado con el uso de

geomallas, tal como lo avala el estudio de investigación de Orrego, D. (2014)., El empleo de geomalla produce reducción de costos, lo que hace aseverar que la incorporación de la geomalla en la estructura del pavimento va a disminuir los costos de ejecución, tal como lo avala Caballeros, E. (2006).

- El investigador Velásquez, E. (2009), en mención de su estudio sobre el empleo de geomallas como refuerzo de bases, sub bases y subrasantes, determina que la geomalla aporta a las mejoras de la sección estructural de los caminos y su incorporación en el diseño aporta a emplear suelos naturalmente malos como subrasante de una vía.

CONCLUSIONES

Primero. - El diseño de la estructura del tramo del kilómetro 0+00 al Km 00+780, muestra que el diseño con el reforzamiento con geomalla biaxial aporta un 55.6% de menor uso de material granular frente a un diseño estándar, diseño que resguarda las capacidades de soporte de tránsito de la carretera y considerando las características granulométricas y de características del terreno.

Segundo. - Con la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las geomallas, las geomallas biaxiales son utilizadas en la estabilización de subrasantes y refuerzo de bases, tanto en vías pavimentadas o sin pavimento, las cuales son producidas de extrusión, con estirado o tensionado por método biaxial, siendo el objetivo de mejorar sus propiedades físicas de tracción y un alto nivel de acción de tensión, con elevado nivel de interacción confinados en la base. De acuerdo a los objetivos del proyecto este tipo de geomalla biaxial produce elevada fuerza y módulo de tensión en dirección longitudinal y transversal; aporte alto en el empleo de agregado requerido. También aporta en la vida útil de la vía.

Tercero.- Primero se determinó los factores de carga de la vía, determinando el IMD promedio de vehículos livianos de 281 y 64 vehículos pesados; el IMDS es de 345 vehículos. El IMD proyectado es de 379 vehículos. Determinando

el cálculo destructivo o de carga respecto a la referencia de vehículos pesados, siendo el C2E de 4.56762 y en C3E 3.28446. A continuación, se determinaron los estudios mecánicos de los suelos por medio de la apertura de 4 calicatas, de acuerdo a su granulometría el suelo es fundamentalmente arenoso por encima del 55%, la compacidad del terreno es media a baja. Ripialidad del terreno normal, respecto a la porosidad es relativamente uniforme, además de tener suelos de bajo contenido de humedad en promedio anual; al tratarse de suelos granulares predominantemente arenosos se han considerado para todas las muestras cohesiones nulas. En el mismo puede observarse que el CBR del terreno en condiciones naturales varía desde 17.70% a 27.7%. Se determinó el diseño de la carretera estándar, determinando que el grosor de la capa granular es de 32 centímetros, el diseño de la carretera con geomalla, en donde el grosor de la capa granular es de 17.78 centímetros.

Cuarto. – La estimación de las particulares características de un suelo natural condiciona de forma directa en el diseño, lo que muestra que un cambio en las condiciones del CBR produce que el tramo en estudio no tenga el mismo comportamiento. analiza el desempeño del tramo respecto a los parámetros de diseño inicial. En el espesor final respecto al diseño, se puede notar que se da una disminución del espesor de la sección reforzada en comparación con el diseño sin refuerzo. Determinándose una diferencia de grosores de 14.22 centímetros, obteniéndose un porcentaje de ahorro de 55.6%.

Quinto. - El empleo de geomalla biaxial como refuerzo en la estructura de la carretera es económicamente asequible, variando un ahorro del 6.42% que equivale a 6,863.73 soles en comparación al diseño tradicional o estándar. Teniendo los costos integrales en el tramo en estudio, siendo de 109, 612.80 soles en el tramo no reforzado y de 102,749.07 soles en el tramo reforzado. Conforme a los resultados, es factible, y rentable por lo que se tienen dos aportes que son la reducción de costos y el refuerzo estructural., por lo que es recomendable hacer uso de la geomalla biaxial como refuerzo en la carretera tramo sector Empleados – Milagros, Yura, Arequipa.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar el comportamiento de los suelos en las diversas estaciones del año, en especial, en las épocas de precipitaciones pluviales, para determinar el comportamiento de las geomallas biaxiales.

Se recomienda hacer futuros estudios en diversos sectores de la ciudad donde se requiere el refuerzo estructural de las vías para elevar la vida útil de las vías y a un menor costo de mantenimiento.

Referencias

AASHTO. 2001. *Provisional Standars – Interim Edition" - Recommended Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures, AASHTO Designation PP46-01 .* USA : Interim Edition, 2001. 13.

América IC&C. 2021. *Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal del sector A, Ciudad de Dios - Yura.* Arequipa - Perú : Municipalidad Distrital de Yura, 2021.

ANA. 2018. *Estudio hidrogeológico del acuífero del rio Chili del MINAG y el ANA.* Arequipa - Perú : Autoridad Nacional del Agua, 2018. 35.

2009. *Aplicación de los geosintéticos en la estructura de pavimentos y en obras de drenaje para carreteras.* San Salvador - El Salvador : Universidad de El Salvador, 2009. 16.

Badillo, J. y Rodriguez, R. 2005. *Mecpanica de suelos. Tomo 1. Fundamentos de Mecánica de Suelos.* México : Editorial Limusa S.A. de C.V., 2005.

Caballeros. 2006. *Utilización de la geomalla como refuerzo de estructura del pavimento flexible.* Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 3.

Cruz. 2013. *Influencia de las geomallas en los parámetros mecánicos de materiales para vías terrestres.* México : UNAM, 2013. 4.

Díaz. 2009. *Aplicación de geosisntéticos en la estructura de pavimentos y en obras de drenaje de carreteras.* El Salvador : Universidad de El Salvador, 2009. 2.

Fiorini. 2007. *Aplicación de geosintéticos en la construcción de carreteras.* Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 1.

Fiorini, A. 2007. *Aplicación de geosintéticos en la construcción de carreteras.* Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.

Geoace. 2018. *Geomalla Uniaxial y Biaxial.* Callao - Perú : s.n., 2018. 20.

Geofort. 2021. *Geomalla Uniaxial - Biaxial - Triaxial.* Lima - Perú. : Grupo Geofort, 2021.

GEOFORT. 2021. *Geomalla Uniaxial - Biaxial - Triaxial.* Lima - Perú. : s.n., 2021. 22.

Geosai. 2017. *Aplicaciones de geomallas.* s.l. : Soluciones Ambientales Integrales, 2017. 8.

Geotexan. 2020. *Los Geotextiles y Geomembranas.* Huelva - España : s.n., 2020. 14.

Giordani y Leone. 2019. *Pavimentos.* El Rosario - Argentina : Universidad Tecnológica Nacional, 2019. 24.

Giroud y Noray. 1981. *Geotextile Reinforced Unpaved Road Design.* USA : ASCE Journal, Geotech, 1981. 17.

Gobierno regional de Arequipa. 2018. *Periodo lluvioso - Precipitaciones máximas.* Arequipa - Perú : SIAR Arequipa, 2018. 32.

GRA. 2018. *Periodo lluvioso - Precipitaciones máximas.* Arequipa - Perú : Gobierno Regional de Arequipa, 2018.

Grupo GHA. 2020. *¿Qué es un geotextil y para que se usa?* Lima - Perú. : Grupo Empresarial GHA, 2020.

Hernández Sampieri. 2018. *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* México : Mc Graw Hill, 2018. 25.

INEI. 2015. *PBI por departamento para la serie 2007 - 2026.* Lima - Perú : s.n., 2015. 29.

—. 2015. *Proyecciones de la población por departamentos para la serie 2010-2025.* Lima - Perú : INEI, 2015. 28.

Koerner. 2014. *Geosynthetic Applications in Unpaved and Paved Road.* USA : Geotechnical conf. Hershey, 2014. 19.

Maximiliano. 2016. *Implementación dle modelo climático EICM con fines de diseño para pavimento de concreto asfáltico.* Lima - Perú. : Universidad Nacional de Ingeniería, 2016. 33.

MEF. 2017. *Plan Marco MAcroeconómico Multianual 2016-2019.* Lima - Perú : s.n., 2017. 30.

MINEM. 2021. *Linea Base Ambiental - Social.* Arequipa - Perú : s.n., 2021. 34.

Montoya, R. y Quispe, J. 2020. *Aplicación de la metodología MEPDG - AASHTO 2008 en el eje de integración vial norte - Yura.* Arequipa - Perú : Universidad Nacional de San Agustín, 2020. 29.

MTC. 2007. *MAnual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción".* Lima - Perú. : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2007.

—. 2008. *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volúmen de tránsito.* Lima - Perú : Minsiterio de Transportes y Comunicaciones, 2008. 23.

MTC-OGPP. 2020. *Plan intermodal de transporte del Perú.* Lima - Perú : s.n., 2020. 31.

Namakforoosh, Mohammad. 2005. *Metodología de la investigación.* 2a. ed. México DF : Limusa, 2005.

Navarro y Rivera. 2020. *Aplicación de geomembrana HDPE para mejorar la capacidad de soporte en la Av. Defensores.* Callao - Perú : Universidad César Vallejo, 2020. 5.

Orrego. 2014. *Análisis técnico - económico del uso de las geomallas como refuerzo de bases granulares de pavimentos flexibles.* Lima - Perú : Pontifica Universidad Católica del Perú, 2014. 6.

Pavco. 2019. *Soluciones con Geotextiles.* Lima - Perú. : Geosistemas PAVCO, 2019. 11.

Prodac. 2021. *Geomallas Biaxial extruida TG 2020-S.* Callao - Perú : Infraestructura@prodac.com.pe, 2021.

—. 2021. *Geomallas Uniaxial tejida Grispro WG-120-PET.* Callao - Perú. : s.n., 2021.

Quisoe, J. 2020. 2020.

Quispe, Montoya y. 2020. *Aplicación de la metodología MEPDG-AASHTO en el eje de integración vial norte - Yura.* Arequipa - Perú. : Universidad NAcional de San Agustín, 2020.

Riesco y Arela. 2021. *Economía y empleo en Arequipa: DIagnóstico y perespectivas en el bicentenario.* Arequipa - Perú. : Universidad Católica San PAblo, 2021.

SENAMHI. 2019. *Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional.* Arequipa - Perú : Servicio NAcional de Hidrología y Meteorología, 2019.

—. 2021. *Monitoreo de radiación UV-B. TAdiación solar promedio años 2017 - 2019.* Arequipa - Perú : Servicio NAcional de Hidrología y Meteorología, 2021.

—. 2017. *Precipitaciones pluviales máximas y mínimas por departamento.* Arequipa - Perú : s.n., 2017. 33.

SLab Perú. 2021. *Laboratorio sistema de servicios y análisis.* Lima - Perú : s.n., 2021. 12.

Tensar. 2021. *Geomalla Tensar Tri Ax (TX).* Bogotá - Colombia : s.n., 2021.

Texdelta. 2021. España : Tex Delta Non Wovens Tecnical abrics, 2021.

USACE. 2003. *Use of geogrids in pavement construction.* Whashintong D.C: : Army Corps of En gineers, 2003. 9.

—. 2003. *Use of geogrids in pavement construction.* Whashington. DC - Estados Unidos : s.n., 2003.

Valencia R. 2009. *Nuevas tendencias en el diseño y construcción de carreteras reforzadas con geomallas.* San José de Costa Rica : s.n., 2009. 15.

Vargas et al. 2017. *La geomalla como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles.* Guayaquil - Ecuador : s.n., 2017. 10.

Velazco. 2017. *Análisis de costo y eficiencia de subdrenaje para la vía interoceánica.* Arequipa - Perú : Universidad Alas Peruanas, 2017. 7.

Zornberg. 2013. *Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos.* Texas - USA : Universidad de Texas, 2013. 18.

ANEXOS

Anexo 01: Formato de Clasificación vehicular MTC – Formato – 01

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

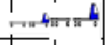
OPP

FORMATO DE CLASIFICACIÓN VEHICULAR

FORMATO N° 1

ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA				ESTACION	
SENTIDO		←	→	CODIGO DE LA ESTACIÓN	
UBICACIÓN				DIA Y FECHA	
DIA					

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
DIAGRA. VEH.																				
06:00 07:00	E S																			
07:00 08:00	E S																			
08:00 09:00	**E S**																			
09:00 10:00	E S																			
10:00 11:00	E S																			
11:00 12:00	E S																			
TOTAL																				

Anexo 01-1: Conteo del tráfico por día y hora: Formato de Clasificación vehicular MTC – Formato – 02

Conteo del tráfico en rangos de horas

Día: Lunes Tiempo de conteo: 12 horas Rango: 06:00 a.m. a 18:00 p.m.

CLASE	Moto	Auto	Camionetas			Minivan	BUS 3E	CAMIÓN		TOTAL VEH./DÍA
			Pick up	Rural	Panel			2E	3E	
DIAGRAMA VEHICULAR										
06:00 - 06:59	3	5	2	0	2	2	2	3	1	20
07:00 - 07:59	5	8	4	2	4	5	4	2	2	36
08:00 - 08:59	9	9	5	2	6	4	2	2	0	39
09:00 - 09:59	3	6	2	1	3	3	2	1	0	21
10:00 - 10:59	3	5	2	1	5	3	2	3	0	24
11:00 - 11:59	4	8	4	1	5	3	2	0	0	27
12:00 - 12:59	5	7	3	2	6	5	4	1	1	34
13:00 - 13:59	5	6	5	4	4	5	4	2	0	35
14:00 - 14:59	2	3	3	2	5	5	4	4	0	28
15:00 - 15:59	3	4	4	1	4	3	4	2	0	25
16:00 - 16:59	4	6	6	2	6	5	2	0	1	32
17:00 - 17:59	2	5	5	4	5	5	4	2	2	34
TOTAL	48	72	45	22	55	48	36	22	7	355
%	14%	20%	13%	6%	15%	14%	10%	6%	2%	100%
IMD´s	290						65			355

Conteo del tráfico en rangos de horas

Día: Martes Tiempo de conteo: 12 horas Rango: 06:00 a.m. a 18:00 p.m.

CLASE	Moto	Auto	Camionetas			Minivan	BUS 3E	CAMIÓN		TOTAL VEH./DÍA
			Pick up	Rural	Panel			2E	3E	
DIAGRAMA VEHICULAR										
06:00 - 06:59	2	2	3	0	2	1	2	4	0	16
07:00 - 07:59	4	7	5	2	3	5	4	1	1	32
08:00 - 08:59	6	10	4	3	7	4	2	3	3	42
09:00 - 09:59	4	7	2	1	5	3	2	1	0	25
10:00 - 10:59	3	5	3	0	4	3	2	2	1	23
11:00 - 11:59	3	7	4	1	5	4	2	2	0	28
12:00 - 12:59	5	6	3	2	5	4	4	1	0	30
13:00 - 13:59	4	5	5	3	7	5	4	2	0	35
14:00 - 14:59	2	4	6	2	8	4	4	3	1	34
15:00 - 15:59	1	4	4	1	5	4	4	2	1	26
16:00 - 16:59	3	7	6	2	6	5	2	1	1	33
17:00 - 17:59	2	5	7	1	5	5	4	2	1	32
TOTAL	39	69	52	18	62	47	36	24	9	356
%	11%	19%	15%	5%	17%	13%	10%	7%	3%	100%
IMD´s	287						69			356

Conteo del tráfico en rangos de horas

Día: Miercoles Tiempo de conteo: 12 horas Rango: 06:00 a.m. a 18:00 p.m.

CLASE	Moto	Auto	Camionetas			Minivan	BUS 3E	CAMIÓN		TOTAL VEH./DÍA
			Pick up	Rural	Panel			2E	3E	
DIAGRAMA VEHICULAR										
06:00 - 06:59	1	3	1	1	3	2	2	4	1	18
07:00 - 07:59	5	5	5	0	5	4	3	1	0	28
08:00 - 08:59	6	9	4	2	6	4	3	2	0	36
09:00 - 09:59	3	5	1	1	6	3	3	1	1	24
10:00 - 10:59	4	4	1	0	5	2	2	1	0	19
11:00 - 11:59	2	6	2	1	6	4	3	3	1	28
12:00 - 12:59	3	3	1	2	4	4	4	1	0	22
13:00 - 13:59	5	2	3	1	5	4	4	1	1	26
14:00 - 14:59	5	3	4	2	5	4	3	2	0	28
15:00 - 15:59	1	5	5	2	4	3	2	3	1	26
16:00 - 16:59	4	6	4	2	5	6	3	1	0	31
17:00 - 17:59	2	7	7	1	5	7	4	1	0	34
TOTAL	41	58	38	15	59	47	36	21	5	320
%	13%	18%	12%	5%	18%	15%	11%	7%	2%	100%
IMD´s	258						62			320

Conteo del tráfico en rangos de horas

Día: Jueves | Tiempo de conteo: 12 horas | Rango: 06:00 a.m. a 18:00 p.m.

CLASE	Moto	Auto	Camionetas			Minivan	BUS 3E	CAMIÓN		TOTAL VEH./DÍA
			Pick up	Rural	Panel			2E	3E	
DIAGRAMA VEHICULAR										
06:00 - 06:59	2	2	3	0	1	3	1	3	0	15
07:00 - 07:59	6	7	7	2	4	4	4	3	1	38
08:00 - 08:59	4	11	9	3	8	4	3	1	0	43
09:00 - 09:59	4	4	1	1	7	3	3	1	0	24
10:00 - 10:59	3	5	3	2	6	3	2	1	1	26
11:00 - 11:59	3	4	2	0	5	3	3	2	1	23
12:00 - 12:59	3	4	3	1	5	3	3	0	2	24
13:00 - 13:59	5	5	3	2	6	4	4	3	1	33
14:00 - 14:59	5	9	4	3	5	5	3	3	0	37
15:00 - 15:59	1	5	5	1	7	3	3	3	2	30
16:00 - 16:59	5	9	4	3	4	7	3	3	0	38
17:00 - 17:59	6	7	7	1	3	6	3	2	0	35
TOTAL	47	72	51	19	61	48	35	25	8	366
%	13%	20%	14%	5%	17%	13%	10%	7%	2%	100%
IMD´s	298						68			366

Conteo del tráfico en rangos de horas

Día: Viernes Tiempo de conteo: 12 horas Rango: 06:00 a.m. a 18:00 p.m.

CLASE	Moto	Auto	Camionetas			Minivan	BUS 3E	CAMIÓN		TOTAL VEH./DÍA
			Pick up	Rural	Panel			2E	3E	
DIAGRAMA VEHICULAR										
06:00 - 06:59	3	2	2	1	0	2	1	3	1	15
07:00 - 07:59	6	8	5	3	3	6	3	4	1	39
08:00 - 08:59	4	10	7	1	6	5	4	2	0	39
09:00 - 09:59	5	4	2	2	8	3	3	0	2	29
10:00 - 10:59	2	3	3	1	5	3	3	1	0	21
11:00 - 11:59	3	3	2	1	6	3	3	1	2	24
12:00 - 12:59	2	4	3	0	7	3	3	2	1	25
13:00 - 13:59	5	5	3	3	5	3	3	1	2	30
14:00 - 14:59	4	7	4	4	5	5	3	2	0	34
15:00 - 15:59	3	6	5	2	6	4	3	1	1	31
16:00 - 16:59	5	9	6	2	4	6	3	2	1	38
17:00 - 17:59	6	7	7	2	3	5	3	3	0	36
TOTAL	48	68	49	22	58	48	35	22	11	361
%	13%	19%	14%	6%	16%	13%	10%	6%	3%	100%
IMD´s	293						68			361

Conteo del tráfico en rangos de horas

Día: Sabado Tiempo de conteo: 12 horas Rango: 06:00 a.m. a 18:00 p.m.

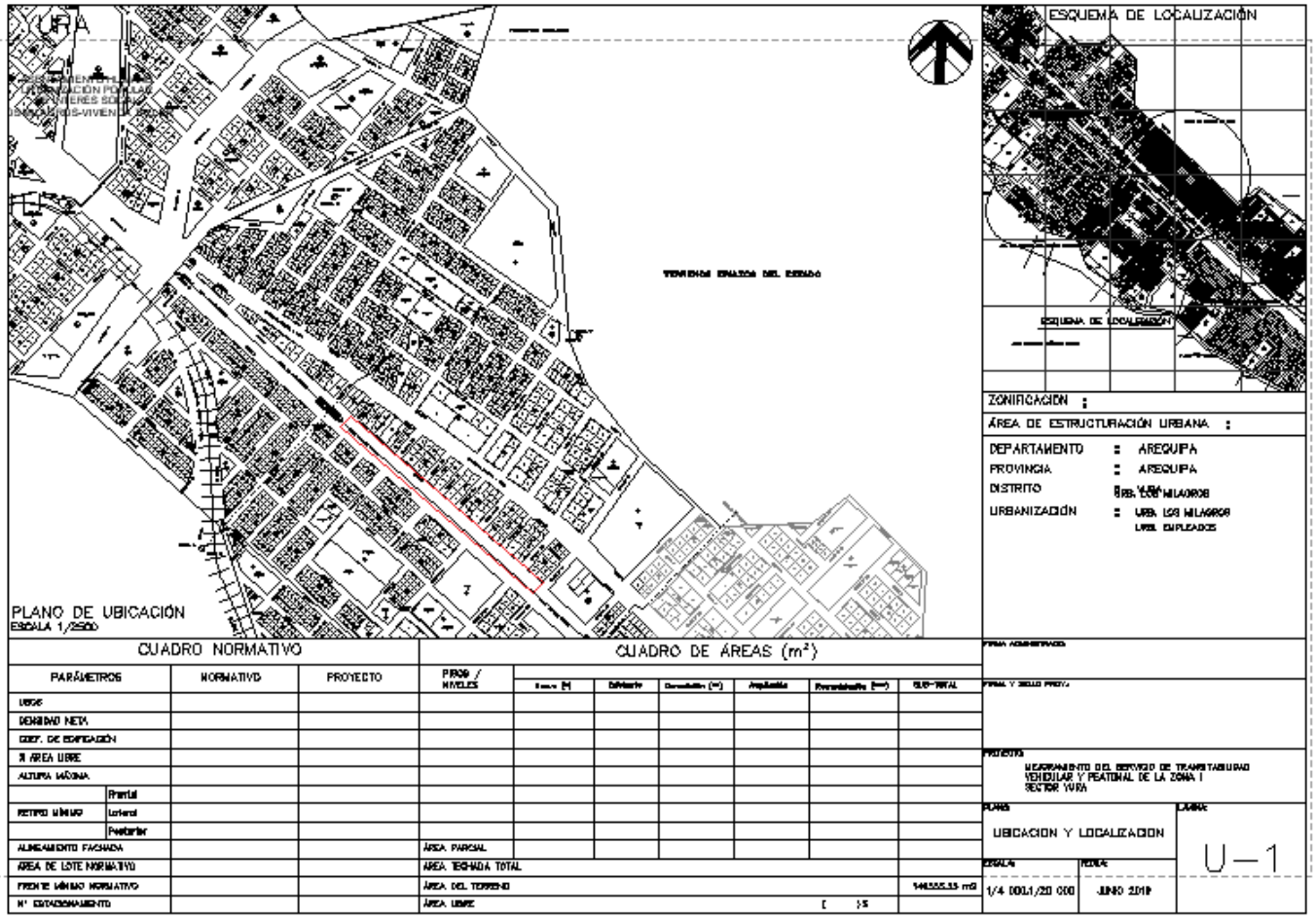
CLASE	Moto	Auto	Camionetas			Minivan	BUS 3E	CAMIÓN		TOTAL VEH./DÍA
			Pick up	Rural	Panel			2E	3E	
DIAGRAMA VEHICULAR										
06:00 - 06:59	4	1	2	0	1	3	2	3	1	17
07:00 - 07:59	4	3	5	1	2	5	4	3	1	28
08:00 - 08:59	3	7	5	5	8	4	3	1	0	36
09:00 - 09:59	6	6	6	3	10	3	3	0	0	37
10:00 - 10:59	3	6	8	2	9	4	3	1	0	36
11:00 - 11:59	3	5	9	2	6	3	3	0	0	31
12:00 - 12:59	2	5	7	1	7	3	3	2	1	31
13:00 - 13:59	4	7	6	2	4	4	3	1	1	32
14:00 - 14:59	3	6	6	3	5	5	3	2	0	33
15:00 - 15:59	3	8	5	1	4	4	2	2	0	29
16:00 - 16:59	4	10	6	3	3	4	3	2	1	36
17:00 - 17:59	4	7	8	2	3	5	4	1	2	36
TOTAL	43	71	73	25	62	47	36	18	7	382
%	11%	19%	19%	7%	16%	12%	9%	5%	2%	100%
IMD´s	321						61			382

Conteo del tráfico en rangos de horas

Día: Domingo Tiempo de conteo: 12 horas Rango: 06:00 a.m. a 18:00 p.m.

CLASE	Moto	Auto	Camionetas			Minivan	BUS 3E	CAMIÓN		TOTAL VEH./DÍA
			Pick up	Rural	Panel			2E	3E	
DIAGRAMA VEHICULAR										
06:00 - 06:59	3	0	1	1	0	4	2	4	1	16
07:00 - 07:59	4	1	3	0	1	4	3	2	1	19
08:00 - 08:59	5	8	5	4	2	4	3	0	0	31
09:00 - 09:59	3	8	4	2	2	3	3	0	0	25
10:00 - 10:59	2	7	2	4	2	3	3	0	0	23
11:00 - 11:59	1	6	2	1	4	3	2	0	0	19
12:00 - 12:59	2	5	2	1	3	3	2	2	0	20
13:00 - 13:59	2	6	5	2	4	2	2	0	0	23
14:00 - 14:59	2	6	2	1	2	2	2	2	0	19
15:00 - 15:59	2	7	1	1	1	4	2	2	0	20
16:00 - 16:59	3	11	4	1	1	4	3	3	1	31
17:00 - 17:59	3	6	6	2	3	4	3	4	1	32
TOTAL	32	71	37	20	25	40	30	19	4	278
%	12%	26%	13%	7%	9%	14%	11%	7%	1%	100%
IMD´s	225						53			278

Anexo 02. Plano de ubicación

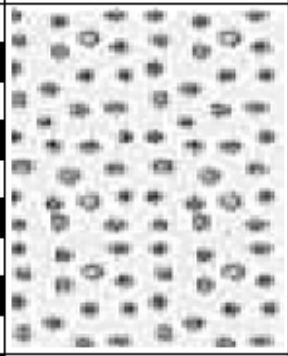
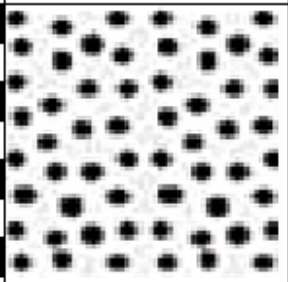


Anexo 03. Vista 3D de vía diseñada

Anexo 04: Análisis granulométrico: Calicatas de la vía en estudio

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS - MDY			
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACION DE GEOMALLA BIAXIAL SECTOR EMPLEADOS MILAGROS, YURA - AREQUIPA.		
CALICATA:	C-1		
PROGRESIVA:	00+000	**PROF. (m):**	1.60

PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE CALICATAS DE EXPLORACIÓN

PROF.	M.	GRÁFICO SUCS	ESTRATO Espesor (cm)	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN SUCS	LÍMITES L.P	HUM. NAT.
0.5 1.0			90	Arena con trazas de limo, coloración marrón claro, compacidad media, presenta grava sub angular en menor proporción.	A-1-a	SM	N.P.	4.18%
1.5 2.0			70	Arena con incidencia de grava compacidad media. No hay nivel freático hasta el punto máximo de excavación.	A-1-b	SM	N.P.	1.82%

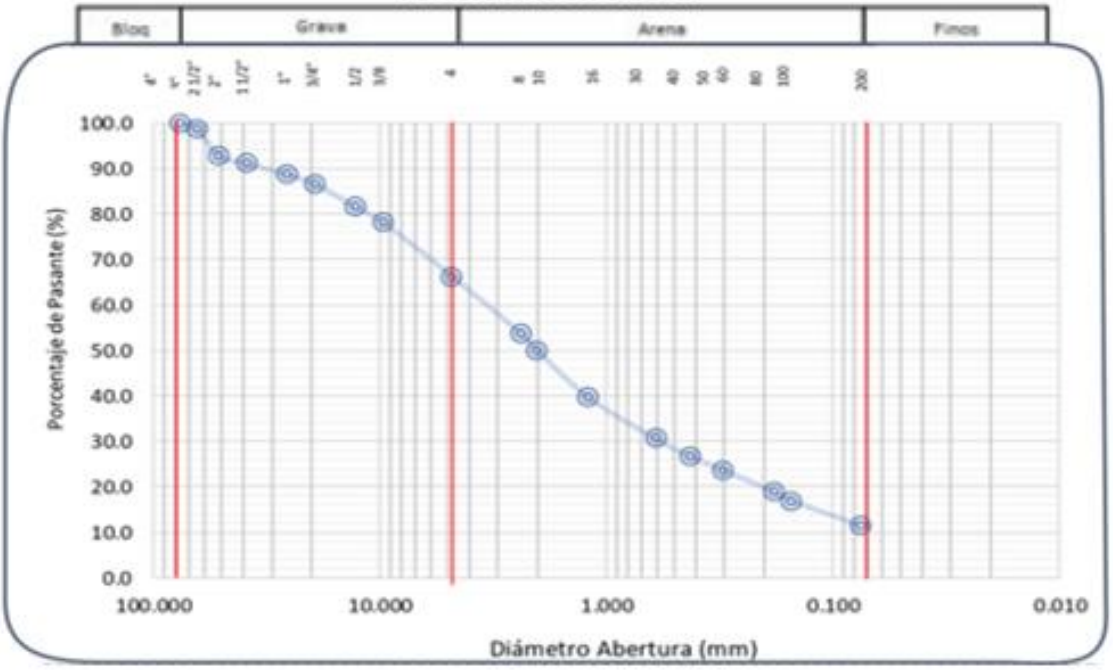
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107-2000, AASHTO T-27, ASTM D422)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACION DE GEOMALLA BIAXIAL SECTOR EMPLEADOS MILAGROS, YURA A-REQUIPA
MATERIAL: Subrasante
MUESTRA: C-1. Km 00+000

Tamiz		Material retenido			Material Pasante (%)	Descripción	
ø		Peso	Retenido	Acumulado			
Pulg.	mm	(gf)	(%)	(%)			
4"	100.000						
3"	75.000				100.0	Tamaño Máximo Nominal :	2 1/2"
2 1/2"	63.500	337	1.37	1.37	98.6	%Humedad :	4.22
2"	50.800	1429	5.83	7.20	92.8	% de Grava :	33.78
1 1/2"	38.100	410	1.67	8.87	91.1	% de Arena :	54.82
1"	25.400	593.00	2.42	11.29	88.7	% Pasante de Nº 200 :	11.40
3/4"	19.050	538.00	2.19	13.48	86.5	Peso Inicial :	24529.0
1/2"	12.700	1214.00	4.95	18.43	81.6	Peso pasante de Nº 4 :	16244.0
3/8"	9.530	860.00	3.51	21.94	78.1	Peso muestra inicial finos :	768.4
Nº4	4.750	2904.00	11.84	33.78	66.2	Porcion finos lavada	636.1
Nº8	2.360	146.20	12.60	46.38	53.6	Color :	Gris claro
Nº10	2.000	43.20	3.72	50.10	49.9	LL. :	NP
Nº16	1.190	119.80	10.32	60.42	39.6	LP. :	NP
Nº30	0.600	104.70	9.02	69.45	30.6	I.P. :	NP
Nº40	0.420	46.00	3.96	73.41	26.6	CLASIFC. SUCS :	SW-SM
Nº50	0.300	35.10	3.03	76.44	23.6	Arena con limo y grava	
Nº80	0.180	55.80	4.81	81.25	18.8	CLASIFIC. AASHTO :	A-1-a
Nº100	0.150	22.80	1.96	83.21	16.8	Observaciones:	
Nº200	0.074	62.50	5.39	88.60	11.4		
Bandeja		132.30	11.40	100.00	0.0		

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



Calicata C-2. Km 00+250

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS - MDY			
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACION DE GEOMALLA BIAXIAL SECTOR EMPLEADOS MILAGROS, YURA - AREQUIPA.		
CALICATA:	C-2		
PROGRESIVA:	00+250	**PROF. (m):**	1.60

PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE CALICATAS DE EXPLORACIÓN

PROF.	M.	GRÁFICO SUCS	ESTRATO Espesor (cm)	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	CLASIFICACIÓN AASHTO	CLASIFICACIÓN SUCS	LÍMITES L.P	HUM. NAT.
0.5 – 1.0			100	Arena con trazas de limo, coloración marrón claro, compacidad media, presenta grava sub angular en menor porporción.	A-1-a	SM	N.P.	4.20%
1.5 – 2.0			60	Arena con incidencia de grava compacidad media. No hay nivel freático hasta el punto máximo de excavación.	A-1-b	SM	N.P.	1.78%

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107-2000, AASHTO T-27, ASTM D422)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

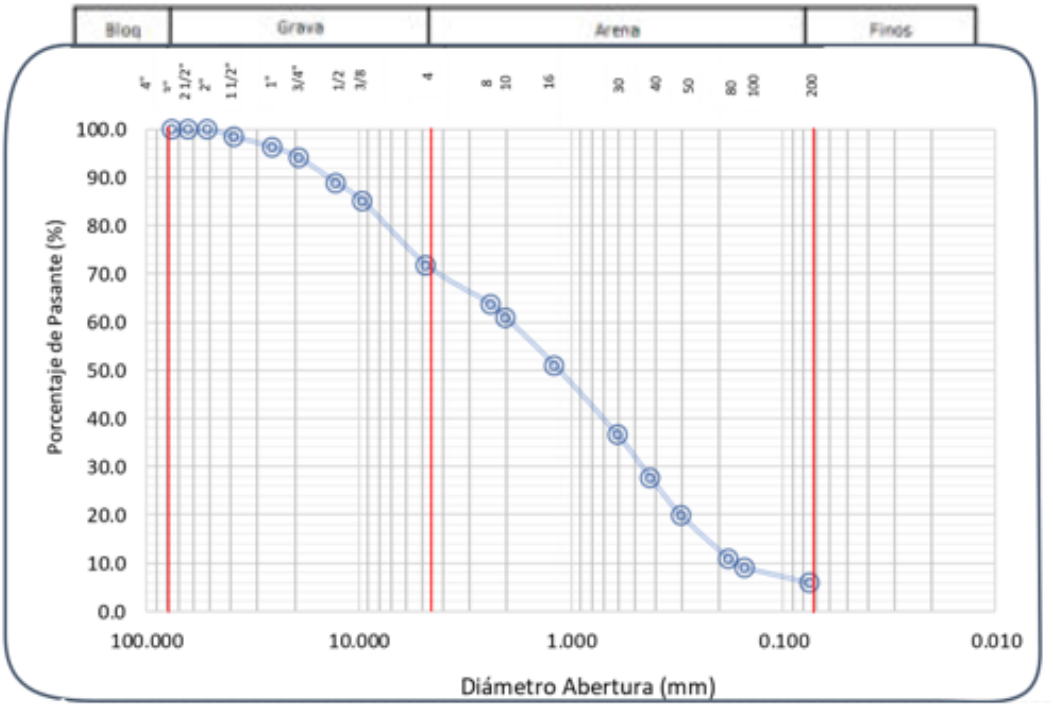
PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACION DE GEOMALLA BIAXIAL SECTOR EMPLEADOS MILAGROS, YURA A-REQUIPA

MATERIAL: Subrasante

MUESTRA: C-2. Km 00+250

Tamiz Ø Pulg.	Tamiz Ø mm	Material retenido Peso (gf)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Material Pasante (%)	Descripción	
4"	100.000						
3"	75.000	815	2.88		100.0	Tamaño Maximo Nominal :	3"
2 1/2"	63.500		0.00	0.00	100.0	%Humedad :	1.77
2"	50.800		0.00	0.00	100.0	% de Grava :	28.23
1 1/2"	38.100	449	1.59	1.59	98.4	% de Arena :	68.87
1"	25.400	589.00	2.08	3.67	96.3	% Pasante de Nº 200 :	2.90
3/4"	19.050	636.00	2.25	5.92	94.1	Peso Inicial :	28293.0
1/2"	12.700	1468.00	5.19	11.11	88.9	Peso pasante de Nº 4 :	19492.0
3/8"	9.530	1082.00	3.82	14.93	85.1	Peso muestra inicial finos :	832.5
Nº4	4.750	3762.00	13.30	28.23	71.8	Porcion finos lavada :	798.1
Nº8	2.360	98.20	8.13	36.35	63.6	Color :	Gris
Nº10	2.000	35.00	2.90	39.25	60.8	L.L. :	**NP**
Nº16	1.190	117.80	9.75	49.00	51.0	L.P. :	**NP**
Nº30	0.600	175.40	14.52	63.51	36.5	I.P. :	**NP**
Nº40	0.420	106.90	8.85	72.36	27.6	CLASIFC. SUCS :	**SP-SM**
Nº50	0.300	95.90	7.94	80.30	19.7	Arena mal graduada con limo	
Nº80	0.180	106.00	8.77	89.07	10.9	CLASIFIC. AASHTO :	**A-1-b**
Nº100	0.150	24.20	2.00	91.07	8.9	**Observaciones:**	
Nº200	0.074	38.70	3.20	94.27	5.7		
Bandeja		34.40	2.85	97.12	2.9		

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



Calicata C-3. Km 00+500

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS - MDY			
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACION DE GEOMALLA BIAXIAL SECTOR EMPLEADOS MILAGROS, YURA - AREQUIPA.		
CALICATA:	C-3		
PROGRESIVA:	00+500	**PROF. (m):**	1.60

PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE CALICATAS DE EXPLORACIÓN

PROF.	M.	GRÁFICO		ESTRATO	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	CLASIFICACIÓN		LÍMITES	HUM.
		AASHTO	SUCS	Espesor (cm)		AASHTO	SUCS	L.P	NAT.
0.5				100	Areno limoso, coloración marrón claro, compacidad media, contenido de grava sub-angular en menor proporción. No hay nivel freático hasta el punto máximo de excavación.	A-1-b	SM	N.P.	1.77%
1.0									
1.5				60					
2.0									

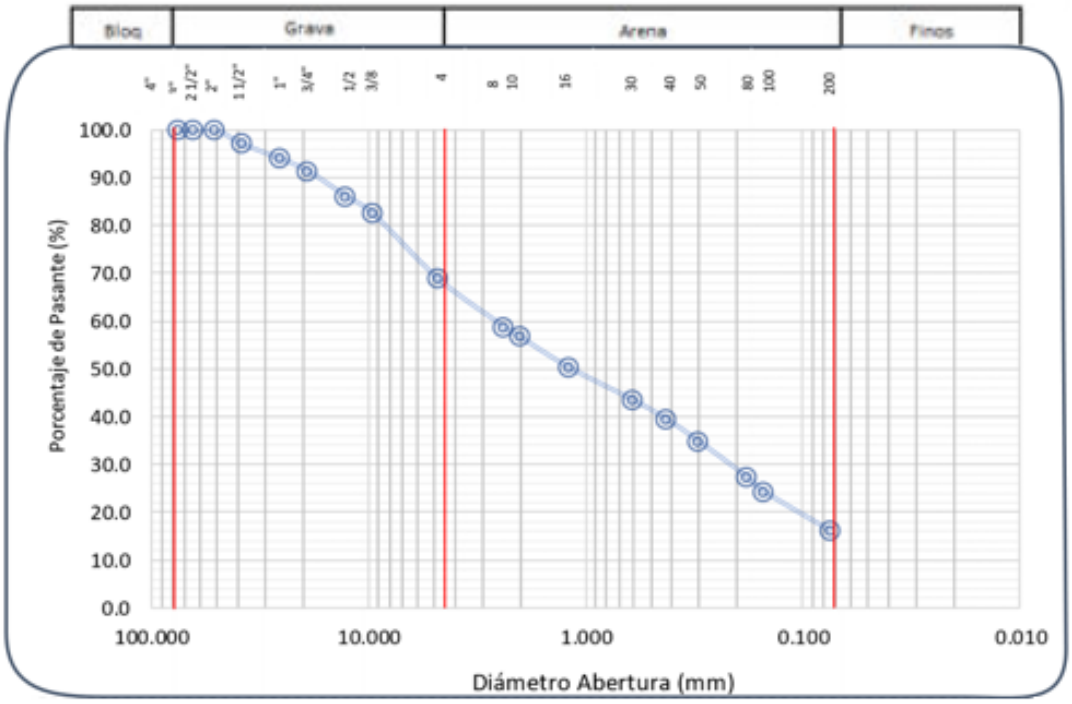
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107-2000, AASHTO T-27, ASTM D422)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACION DE GEOMALLA BIAXIAL SECTOR EMPLEADOS MILAGROS, YURA A-REQUIPA
MATERIAL: Subrasante
MUESTRA: C-3. Km 00+500

Tamiz Ø Pulg.	Tamiz Ø mm	Material retenido: Peso (gf)	Material retenido: Retenido (%)	Material retenido: Acumulado (%)	Material Pasante (%)	Descripción	
4"	100.000						
3"	75.000		0.00		100.00	Tamaño Máximo Nominal :	1 1/2"
2 1/2"	63.500		0.00	0.00	100.00	%Humedad :	7.10
2"	50.800		0.00	0.00	100.00	% de Grava :	31.25
1 1/2"	38.100	485	3.00	3.00	97.00	% de Arena :	52.70
1"	25.400	498.00	3.08	6.08	93.92	% Pasante de Nº 200 :	16.04
3/4"	19.050	411.00	2.54	8.62	91.38	Peso Inicial :	16168.0
1/2"	12.700	852.00	5.27	13.89	86.11	Peso pasante de Nº 4 :	11115.0
3/8"	9.530	591.00	3.66	17.55	82.45	Peso muestra inicial finos :	1000.0
Nº4	4.750	2216.00	13.71	31.25	68.75	Porcion finos lavada	766.6
Nº8	2.360	145.59	10.01	41.26	58.74	Color :	Grisacea oscura
Nº10	2.000	30.42	2.09	43.35	56.65	L.L. :	20.36
Nº16	1.190	92.90	6.39	49.74	50.26	L.P. :	16.34
Nº30	0.600	99.87	6.87	56.61	43.39	I.P. :	4.02
Nº40	0.420	58.85	4.05	60.65	39.35	CLASIFC. SUCS :	**SC-SM**
Nº50	0.300	66.05	4.54	65.19	34.81	Arena Limo Arcillosa con grava	
Nº80	0.180	108.78	7.48	72.67	27.33	CLASIFIC. AASHTO :	**A-1-b**
Nº100	0.150	44.56	3.06	75.73	24.27	**Observaciones:**	
Nº200	0.074	119.59	8.22	83.96	16.04		
Bandeja		233.39	16.04	100.00	0.00		

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



Calicata C-4. Km 00+750

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS - MDY			
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACION DE GEOMALLA BIAXIAL SECTOR EMPLEADOS MILAGROS, YURA - AREQUIPA.		
CALICATA:	C-4		
PROGRESIVA:	00+500	**PROF. (m):**	1.60

PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE CALICATAS DE EXPLORACIÓN

PROF.	M.	GRÁFICO		ESTRATO	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	CLASIFICACIÓN		LÍMITES	HUM.
		AASHTO	SUCS	Espesor (cm)		AASHTO	SUCS	L.P	NAT.
0.5 1.0 1.5 2.0				160	Areno limoso, coloración marrón claro, compacidad media, contenido de grava sub-angular. No hay nivel freático hasta el punto máximo de excavación.	A-1-b	SP-SM	N.P.	2.01%

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107-2000, AASHTO T-27, ASTM D422)

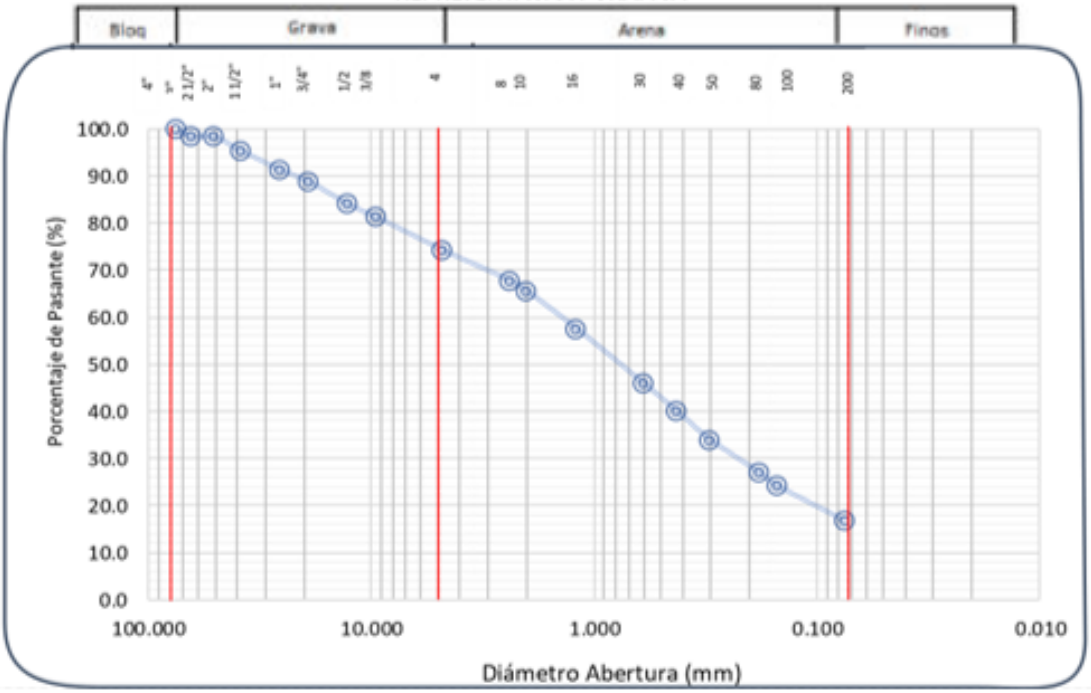
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACION DE GEOMALLA BIAXIAL SECTOR EMPLEADOS MILAGROS, YURA A-REQUIPA
MATERIAL: Subrasante
MUESTRA: C-4. Km 00+750

Tamiz Ø Pulg.	Tamiz Ø mm	Material retenido: Peso (gf)	Material retenido: Retenido (%)	Material retenido: Acumulado (%)	Material Pasante (%)
4"	100.000				
3"	75.000		0.00		100.0
2 1/2"	63.500	301	1.56	1.56	98.4
2"	50.800		0.00	1.56	98.4
1 1/2"	38.100	602	3.12	4.68	95.3
1"	25.400	772.00	4.00	8.69	91.3
3/4"	19.050	478.00	2.48	11.16	88.8
1/2"	12.700	923.00	4.79	15.95	84.0
3/8"	9.530	521.00	2.70	18.65	81.3
Nº4	4.750	1368.00	7.09	25.75	74.3
Nº8	2.360	69.20	6.51	32.26	67.7
Nº10	2.000	22.90	2.16	34.41	65.6
Nº16	1.190	85.90	8.08	42.50	57.5
Nº30	0.600	122.30	11.51	54.01	46.0
Nº40	0.420	65.20	6.14	60.14	39.9
Nº50	0.300	62.90	5.92	66.06	33.9
Nº80	0.180	74.80	7.04	73.10	26.9
Nº100	0.150	29.50	2.78	75.88	24.1
Nº200	0.074	80.30	7.56	83.44	16.6
Bandeja		176.00	16.56	100.00	0.0

Descripción	
Tamaño Máximo Nominal :	2 1/2"
%Humedad :	1.73
% de Grava :	25.75
% de Arena :	57.69
% Pasante de Nº 200 :	16.56
Peso Inicial :	19285.0
Peso pasante de Nº 4 :	14320.0
Peso muestra inicial finos :	789.0
Porcion finos lavada	613.0
Color :	Beige
LL. :	**NP**
LP. :	**NP**
I.P. :	**NP**
CLASIFC. SUCS :	**SM**
Arena limosa con grava	
CLASIFIC. AASHTO :	**A-1-b**
Observaciones:	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



Anexo 05. Ensayos de Laboratorio

CONSORCIO AMERICA IC&C	PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LOS COMITÉS 4, 18, 19 Y 31 A.P.A.U. ESTUDIO: "REFORZAMIENTO DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL CON LA IMPLEMENTACIÓN DE GEOMEMBRANA BIAXIAL TRAMO SECTOR EMPLEADOS -MILAGROS, CIUDAD DE DIOS, DISTRITO DE YURA – AREQUIPA - AREQUIPA"		
	VIENA INGENIEROS S.A.C	NOMBRE DOCUMENTO:	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES

Tabla 1. Clasificación de suelos

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACION		GRANULOMETRIA					CONSISTENCIA		
			SUCS	AASHTO	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	Cu %	Cc %	LL	LP	IP
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	SM	A-1-b (0)	33.78%	54.82%	11.40%	49.80%	0.90%	NP	NP	NP
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	SM	A-1-b (0)	28.23%	68.87%	2.90%	38.80%	0.60%	NP	NP	NP
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	SM	A-1-b (0)	31.25%	52.70%	16.04%	49.80%	0.90%	NP	NP	NP
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	SP-SM	A-1-b (0)	25.75%	57.69%	16.56%	24.30%	0.80%	NP	NP	NP

Tabla 2. Propiedades densimétricas

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	PESO ESPECÍFICO				G.E.	PESOS UNITARIOS		BOLONERIA
			γ_n	γ_d	γ_{sat}	γ_b	Gs	$\gamma_{d,min}$	$\gamma_{d,máx}$	
			(g/cm³)	(g/cm³)	(g/cm³)	(g/cm³)		(g/cm³)	(g/cm³)	(%)
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	1.824	1.824	2.126	1.126	2.614	1.745	2.049	15.0%
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	1.853	1.796	2.107	1.07	2.606	1.715	1.978	10.0%
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	1.950	1.855	2.149	1.149	2.628	1.526	1.966	10.0%
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	1.599	1.543	1.942	0.942	2.567	1.433	1.728	0.0%

Tabla 3. Propiedades de fase

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	ÍNDICE DE POROS			POROSIDAD			D. RELATIVA	C. AGUA	
			e	e_{min}	$e_{máx}$	n	n_{min}	$n_{máx}$	D_r	W	S
						(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	0.433	0.276	0.498	30.2%	21.6%	33.3%	29.2%	3.8%	22.9%
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	0.451	0.318	0.519	31.1%	24.1%	34.2%	33.8%	3.2%	18.5%
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	0.417	0.337	0.44	29.4%	25.2%	30.5%	22.2%	5.1%	32.2%
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	0.663	0.485	0.791	39.9%	32.7%	44.2%	41.7%	3.6%	13.9%

Tabla 4. Propiedades mecánicas como suelo de fundación

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	ϕ (°)	ϕ (rad)	c (Kg/cm2)	K_0	K_a	K_p	μ
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	26.78	0.47		0.549	0.379	2.640	0.322
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	28.12	0.49		0.529	0.359	2.783	0.339
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	29.03	0.51		0.515	0.346	2.886	0.351
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	29.78	0.52		0.503	0.336	2.974	0.361

Profesional responsable:	Código de documento:	Revisión:
Ing. July Tejada Cornejo	EMS-DS	01

Tabla 5. Propiedades del suelo como subrasante

CALICATA	PROF. (m)	MUESTRA	CHO (%)	DS al 100% (g/cm^3)	DS al 95% (g/cm^3)	DS natural (g/cm^3)	$CBR_{0.1"}$ al 100% (%)	$CBR_{0.1"}$ al 95% (%)	$CBR_{0.1"}$ natural (%)
C1	0.00 - -1.60	C1-M1	10.041%	1.955	1.858	1.824	88.60%	39.20%	27.70%
C2	0.00 - -1.60	C2-M1	9.935%	1.974	1.875	1.796	62.20%	32.70%	17.70%
C3	0.00 - -1.60	C3-M1	10.854%	1.923	1.827	1.855	67.90%	16.40%	27.30%
C4	0.00 - -1.60	C4-M1	10.04%	1.955	1.858	1.824	88.60%	39.20%	27.70%

Anexo 06: Análisis de costos unitarios

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

CONCEPTO: SUMINSITRO E INSTALACIÓN DE AFIRMADO

PARTIDA: PUESTA DE AFIRMADO

UNIDAD: Metros cúbicos

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL
INSUMOS				
Provisión de agregados de afirmado	m^3	1.20	35.00	42.00
SUB PARTIDA				
Distribución, riego y compactación de vía	m^3	1	34.12	34.12
TOTAL				**76.12**

SUB PARTIDA	**Distribución, riego y compactación de vía**			
m^3 /día			Precio Unit. /m^3	**27.61**

Costos incurridos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unit.	Costo Total
Mano de Obra					
Capataz	H/H	0.500	0.025	21.00	0.53
Peón	H/H	4.000	0.200	15.20	3.04
Sub total					**3.57**
Materiales					
Agua	m^3		0.022	1.72	0.04
Sub total					**0.04**
Equipos					
Herramientas de mano	% M.O.		3.00	3.42	0.10
Camión cisterna (agua)	H/M	1.000	0.050	128.00	6.40
Rodillo liso vibrador	H/M	1.000	0.050	152.00	7.60
Motoniveladora (125 H.P.)	H/M	1.000	0.050	198.00	9.90
Sub total					**24.00**

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

CONCEPTO: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAXIAL

PARTIDA: INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAXIAL

UNIDAD: Metros cuadrados

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL
PARTIDA	**Suministro e instalación de Geomalla Biaxial**			
m^2 /día			Precio Unit. /m^2	**6.55**

Costos incurridos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unit.	Costo Total
Mano de Obra					
Capataz	H/H	0.500	0.0008	21.00	0.02
Oficial	H/H	1.000	0.0016	16.00	0.03
Peón	H/H	2.000	0.003	15.20	0.05
Sub total					**0.09**
Materiales					
Geomalla Biaxial TriAx TX130S	m^2		1.100	5.87	6.46
Sub total					**6.46**
Equipos					
Herramientas de mano	% M.O.		3.00	0.06	0.002
Sub total					**0.002**

Anexo 07: Costos de ejecución por partidas

COSTO DE EJECUCIÓN POR PARTIDAS

ACTIVIDAD	COSTO (S/.)
SUMINSITRO E INSTALACIÓN DE AFIRMADO/m^3	76.12
INSTALACIÓN DE GEOMALLA BIAXIAL	6.55

ANCHO DE LA VÍA (m)	8

TRAMO DE DISEÑO: Km. 0+00 al Km 0+780

TRAMO NO REFORZADO				TRAMO REFORZADO				
GROSOR (cm)	VOLÚMEN DE AFIRMADO (m^3)	COSTO DEL MATERIAL/ m^3)	COSTO TOTAL (s/.)	GROSOR (cm)	VOLÚMEN DE AFIRMADO (m^3)	COSTO DEL MATERIAL/m^3)	COSTO GEOMALLA (s/.)	COSTO TOTAL (s/.)
32.00	1440	76.12	109,612.80	17.78	812.90	61,878.07	40,871.00	102,749.07

Ancho de la vía: 8 metros

Longitud de la vía: 780 metros

Metros cuadrados de geomalla: 6,240 metros cuadrados

Anexo 08: Ficha Técnica geomalla Biaxial

AMANCO wavin

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	P-BX 2020		P-BX 3030	
			SL[1]	ST[1]	SL[1]	ST[1]
Rigidez radial[5]	ISO 10319	kN/m	380		600	
Resistencia última a la tensión	ASTM D6637	kN/m	20	20	30	30
Eficiencia de los nodos[2]	ASTM D7737 / D6637	%	95		95	
Rigidez flexural	ASTM D7748	mg - cm	700.000		2.000.000	
Rigidez torsional (J)[3]	GRI GG9	cm - kg/deg	3.3		5.5	

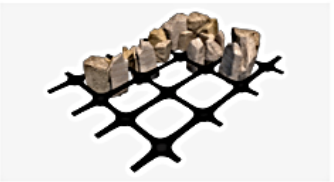
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	P-BX 2020		P-BX 3030	
			SL[1]	ST[1]	SL[1]	ST[1]
Tamaño de abertura	Medido	mm	40	40	40	40
Espesor de las costillas	Medido	mm	1.3	0.7	2.4	1.0
Ancho de la costilla	Medido	mm	2.3	3.1	2.4	3.7
Resistencia a la degradación UV[4]	ASTM D4355 / D6637	%	90		90	
Resistencia a los daños químicos	EPA 9090 A	%	100		100	

PRESENTACIÓN DEL ROLLO	NORMA	UNIDAD	P-BX 2020	P-BX 3030
Ancho del rollo	Medido	m	3.90	3.90
Largo del rollo	Medido	m	51.3	51.3
Área del rollo	Medido	m^2	200	200

Nota:

Todos los valores mostrados son VMPR (Valores mínimos promedio por rollo).

1. SL = Sentido Longitudinal
   ST = Sentido Transversal
2. Expresada como comparación entre las resistencias de la ASTM D7737 y ASTM D6637 de la misma muestra.
3. Resistencia en el plano rotacional de movimiento medida mediante la aplicación de un momento de 20kg-cm en la junta central de una muestra de 9" x 9" restringida en su perímetro de acuerdo con la Metodología del Cuerpo de Ingenieros de USA para medida de Rigidez Torsional.
4. Expresado como porcentaje de la resistencia última a la tensión.
5. Al 2% de deformación bajo carga radial de 360°. Determinado de las pruebas de acuerdo con la norma ISO 10319



CONVENCIONES:

ASTM: American Society for Testing and Materials. • **N. A.:** No aplica.

Operamos bajo sistemas internacionales de control de calidad; Contamos con la acreditación **GAI LAP (The Geosynthetic Institute).**

La presente ficha técnica está vigente a partir de mayo de 2021. Nos reservamos el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis, es cierta y exacta a nuestro leal saber y entender; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control y es responsabilidad exclusiva del usuario. Por favor verificar los datos de esta especificación con el Departamento de Ingeniería para confirmar que la información esta vigente.

MÉXICO: • Tel.: (52 55) 5831 - 7527 • geosinteticos@wavin.com • www.wavin.com/es-mx **GUATEMALA:** • Tel.: (502) 2410 - 1301 / (502) 2410 - 1300 • www.wavin.com/es-gt **EL SALVADOR:** • Tel.: (503) 2500 - 9200/(504) 2202 - 7520/ (504) 2545 - 2400 • www.wavin.com/es-sv **NICARAGUA:** • Tel.: (505) 2266 - 1551 • Info.nicaragua@wavin.com • www.wavin.com/es-ni **COSTA RICA:** • Tel.: (506) 2209 - 3400 • Info.costarica@wavin.com • www.wavin.com/es-cr **PANAMÁ:** • Tel.: (507) 3059 - 600 • Info.panama@wavin.com • www.wavin.com/es-pa **ARGENTINA:** • Tel.: (54 11) 4848-8484 • geosinteticos@wavin.com • www.wavin.com/es-ar