



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Aplicación de geosintéticos para mejora de la durabilidad del pavimento flexible en el
Sector 4 - Lince, 2018”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Antonio Oscco Herhuay (ORCID: 0000-0002-9237-1575)

ASESOR:

Mg. Luis Alberto Vargas Chacaltana (ORCID: 0000-0002-4136-7189)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA - PERÚ

2018

PÁGINA DEL JURADO

Dedicatoria

A quienes pusieron un granito de arena para invertir en mi educación, mis familias .A los que no sobrevivieron la universidad y a los que aún sobreviven a ellos..

Agradecimiento

Al Mag Vargas Chacaltana Luis
Alberto, ya que sin su paciencia y guía
Hubiera terminado esta tesis años
Después.

A esos amigos que me apoyaron, sin
Ellos mi vida sería exactamente la
misma, pero igual les agradezco por
Existir.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Antonio Oscco Herhuay, identificado con DNI N° 43246331, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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

Lima, diciembre del 2018



.....
Antonio Oscco Herhuay

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada: “Aplicación de geosintéticos para mejora de la durabilidad del pavimento flexible en el Sector 4 - Lince, 2018”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniera Civil.

Antonio Oscco Herhuay

ÍNDICE

Carátula.....	i
Página del jurado	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento	iv
Declaración de autenticidad.....	v
Presentación.....	vi
Índice	vii
Índice de tablas	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Realidad problemática	17
1.2. Trabajos previos	18
1.2.1. Antecedentes internacionales	18
1.2.2. Antecedentes nacionales.....	20
1.3. Teorías relacionadas al tema	23
1.3.1. Definición de geosintéticos	23
1.3.2. Clasificación de los geosintéticos.....	24
1.3.2.1. Geotextiles.....	24
1.3.2.2. Geomallas.....	24
1.3.2.2.1 Usos y aplicaciones de geomallas para refuerzo y estabilización	25
1.3.2.2.2 Beneficios de las geomallas en un proyecto.....	25
1.3.2.2.3 Instalación de geomallas para el refuerzo de firmes.....	26
1.3.2.2.4 Instalación de geomallas para el refuerzo de muros.....	26
1.3.2.2.5 Tipos	26
1.3.3 Ventajas	31
1.3.4 Desventajas	31
1.3.5 Dimensiones de la variable independiente: Aplicación de geosintéticos	32
1.3.5.1 Propiedades Físicas.....	32
1.3.5.2 Propiedades Mecánicas	32
1.3.5.3 Propiedades Hidráulicas	33

1.3.5.4 Durabilidad del pavimento flexible	34
1.3.5.4.1 Pavimento	34
1.3.5.4.2 Pavimento flexible	35
1.3.5.4.3 Tipos de fallas en pavimentos flexibles.....	38
1.3.5.5 Agregados	39
1.3.5.6 Maquinarias y Equipos	40
1.3.5.7 Mezcla asfáltica en caliente modificada.....	41
1.3.6 Dimensiones de variable dependiente: durabilidad del pavimento flexible	42
1.3.6.1 Adherencia.....	42
1.3.6.2 Comportamiento Mecánico	42
1.3.6.3 Sistema de drenaje	42
1.4. Formulación del problema.....	43
1.4.1. Problema general	43
1.4.2. Problemas específicos.....	44
1.5. Justificación del estudio	44
1.5.1. Justificación teórica	44
1.5.2. Justificación práctica	44
1.5.3. Justificación económica.....	45
1.5.4. Justificación social.....	45
1.5.5. Justificación técnica.....	45
1.5.6. Justificación metodológica	45
1.6. Hipótesis de la investigación	45
1.6.1. Hipótesis general	45
1.6.2. Hipótesis específicas.....	46
1.7. Objetivos.....	46
1.7.1. Objetivo general	46
1.7.2. Objetivos específicos	46
II. MÉTODOLÓGÍA	47
2.1 Diseño de la investigación.....	47
2.1.1 Tipo de investigación	47
2.1.2 Nivel de investigación	47
2.1.3 Diseño de investigación.....	47
2.2 Variables, Operacionalización.....	47

2.2.1 Variables:.....	47
2.2.2 Operacionalización de las variables	48
2.3 Población, muestra y muestreo	49
2.3.1 Población	49
2.3.2 Muestra	49
2.3.3 Muestreo	49
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	49
2.4.1 Técnicas	49
2.4.2 Instrumentos	50
2.4.3 Validez.....	50
2.4.4 Confiabilidad	51
2.5 Método de análisis de datos.....	51
2.6. Ensayos realizados.....	52
2.6.1. Relación de Valor Soporte California (CBR).....	52
2.6.1.1 Objetivo:	52
2.6.1.2. Procedimiento:.....	52
2.6.1.3. Variantes del ensayo de laboratorio	53
2.6.2. Ensayo para determinar la granulometría del agregado	54
2.6.2.1. Objetivo:	54
2.6.2.2. Normas que se aplican: ASTM D-422	54
2.6.2.3. Instrumentos y equipos.....	55
2.6.2.4. Procedimiento.....	55
2.6.3. Límites de Atterberg.....	57
2.6.3.1. Objetivo	57
2.6.3.2. Materiales:	58
2.6.3.3. Procedimiento.....	58
2.6.3.4. Límite de consistencia	59
2.6.3.4.1 Objetivo:	59
2.6.3.4.2. Normas que aplican: ASTM D-4318.....	59
2.6.3.4.3. Procedimiento.....	59
2.6.4.4. Límite líquido	60
2.6.4.5. Límite Plástico.....	61
2.6.4.5.1 Objetivo:	61

2.7 Aspectos éticos	62
III. RESULTADOS	63
3.1. Ubicación del área de investigación	63
3.2 Reconocimiento, trabajo de campo	63
3.3 Ensayos realizados.....	63
3.3.2 Ensayo Próctor modificado	68
3.3.2.1 Para el caso de la Base.....	68
3.3.2.2 Para el caso de la Sub Base	69
3.3.2.3 Para el caso de la Sub Rasante.....	69
3.3.3 Ensayo de Valor Relativo C.B.R. – ASTM D1883	70
3.3.3.1 Para el caso de la Base.....	70
3.3.3.2 Para el caso de la Sub Base	71
3.3.3.3 Para el caso de la Sub Rasante.....	72
3.4. Metodología de diseño AASHTO 93	72
3.5 Análisis de la influencia aplicación de geosintéticos en el espesor del pavimento.....	73
3.5.1 Verificación del tráfico de diseño.....	77
3.5.2 Variación en las características de la subrasante	77
3.5.3 Método AASHTO para pavimentos flexibles reforzados	78
3.5.4. Análisis de influencia de la aplicación de geosintéticos en el mantenimiento y/o reparación de pavimento.	82
3.5.4.1 Verificación del período de diseño.....	82
3.5.4.2 Serviciabilidad	82
3.5.4.3 Fallas.....	82
3.5.5. Análisis de influencia de la aplicación de geosintéticos en el factor económico del pavimento	83
3.5.5.1 Cálculo de materiales a utilizar.	83
3.5.5.2. Variación de costos en el proceso constructivo.....	85
3.5.5.3. Variación del tiempo de ejecución	88
IV. DISCUSIÓN	89
V. CONCLUSIONES	91
VI. RECOMENDACIONES.....	92
VII. Referencias	93
VIII. ANEXOS.....	96

Anexo 01: Tabla No. 24: Matriz de consistencia	97
Anexo 02:	99
Anexo 03: Ficha de Especificaciones Técnicas en el correcto uso de Geosintéticos.....	100
Anexo 4. Resultado del TURNITIN.....	101

Índice de tablas

Tabla N° 1 Propiedades comúnmente reportadas de geomallas (USACE, 2003).....	30
Tabla N° 2 Operacionalización de las variables aplicación de geosintéticos y durabilidad del pavimento flexible	48
Tabla N° 3 Rango y magnitudes de confiabilidad	51
Tabla N° 4 Resultados del ensayo de granulometría (Base)	64
Tabla N° 5 Resultados del ensayo de granulometría (Sub Base)	65
Tabla N° 6 Resultados del ensayo de granulometría (Sub Rasante).	67
Tabla N° 7 Clasificación de suelos. Método AASHTO.	68
Tabla N° 8 Resumen del afirmado según profundidad	72
Tabla N° 9. Módulo resiliente obtenido por correlación con CBR	73
Tabla N° 10 Aplicabilidad o no del uso de geosintéticos.....	74
Tabla N° 11 Especificaciones técnicas de la Geomalla TG BX3030.....	74
Tabla N° 12 Variación de la subrasante con geomalla.....	78
Tabla N° 13 Coeficientes estructurales para diseño de pavimento con geomalla.....	79
Tabla N° 14 Porcentaje de Reducción de espesores aplicando geomallas	81
Tabla N° 15 Material para la capa Base	83
Tabla N° 16 Cantidad material para la capa Base-Diseño con refuerzo de geomallas	84
Tabla N° 17 Cantidad de material de Geomallas para la Capa Base-Diseño con refuerzo.	84
Tabla N° 18 Precio total para capa Base-Diseño con refuerzo	84
Tabla N° 19 Cuadro resumen de precio de material.....	85
Tabla N° 20 Costo total de las partidas implicadas en el diseño tradicional.....	86
Tabla N° 21 Costo total de las partidas implicadas en el diseño con Geomallas	87
Tabla N° 22 Cuadro de resumen total de las partidas implicadas en el diseño con geomallas	87
Tabla N° 23 Tiempo de ejecución de partidas implicadas - Diseño tradicional	88
Tabla N° 24 Tiempo de ejecución de partidas implicadas - Diseño con geomallas.....	88

Índice de figuras

Figura 1. Secado de material en horno.	56
Figura 2. Pesado de muestra de material.	57
Figura 3. Límite líquido.....	60
Figura 4. Zonificación del área de investigación.....	63
Figura 5. Vista en planta de la sección típica de la vía utilizada en el ensayo.	75
Figura 6. CBR vs Número de ciclos en secciones reforzadas y no reforzadas.	76
Figura 7. Incremento del factor de Tráfico vs CBR para 2 profundidades de ahuellamiento.	76
Figura 8. LCR vs CBR de la subrasante.....	77
Figura 9. Resultado del LCR vs CBR de subrasante.....	79
Figura 10. Sección de Diseño con Geomallas	80
Figura 11. Comparación de espesores con aplicación de geomallas.....	81
Figura 12. Partidas implicadas en el presupuesto.....	85
Figura 13. Partidas implicadas en el presupuesto nuevo.	86

Índice de imágenes

Imagen N° 1 Geomalla	25
Imagen N° 2 Geomalla uniaxial.	27
Imagen N° 3 Geomalla biaxial.	29
Imagen N° 4 Estructura típica del pavimento flexible.	35
Imagen N° 5 Curva granulométrica: Base.....	64
Imagen N° 6 Curva granulométrica: Sub Base.....	66
Imagen N° 7. Curva granulométrica: Sub Rasante.....	67
Imagen N° 8. Relación Humedad-Densidad: Base.....	69
Imagen N° 9. Relación Humedad-Densidad: Sub Base.	69
Imagen N° 10. Relación Humedad-Densidad: Sub rasante.....	70
Imagen N° 11. CBR: base.	71
Imagen N° 12. CBR: Sub base.	71
Imagen N° 13. CBR: Sub rasante.	72

RESUMEN

En la presente investigación se tiene como objetivo mejorar la durabilidad del pavimento flexible en el Sector 4 – Lince, mediante la aplicación de geosintéticos, por lo que se procedió hacer las pruebas con reforzado de geomallas TG BX 3030 proporcionado por la empresa CIDELSA, se obtuvo información del MTC del Manual de Carreteras, sección Suelos y Pavimentos (2014), la metodología AASTHO R-50 para pavimentos reforzados, se realizó la inspección y estudio del área de investigación.

Se realizaron los Ensayos de Valor Relativo C.B.R. ASTM D1883, Próctor Modificado, Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D422 y Límites de Atterberg ASTM D431; a fin de tener la medida de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo bajo condiciones de densidad y humedad, además de determinar la densidad seca máxima del terreno en relación con su grado de humedad, así como determinar el tipo de suelo.

Con dicha información, así como el ESAL correspondiente proporcionado por la Municipalidad de Lince, se realizó el pavimento reforzado con geomallas mediante la metodología AASTHO R-50 con el factor LCR. Mediante el análisis de estos dos dimensionamientos de estructuras viendo el factor técnico, económico y sostenible se obtuvo los valores que significaba ejecutar estas dos estructuras. Luego de contrastar los valores obtenidos con los resultados encontrados por otros autores. Como resultados de la investigación de acuerdo a la aplicación de geosintéticos al diseño de pavimentos, se obtuvo una reducción del espesor de base del 33.3%, una misma vida productiva de la estructura, una reducción del costo de ejecución en un 9.50% y el tiempo de ejecución se pudo disminuir en un 7.7%.

Finalmente, se pudo comprobar que los resultados arrojados, CBR mayor a 8 y tener una sección con espesor de 30 cm se debería optar por la geomalla, que en el caso de la presente investigación se empleó la geomalla TG BX3030.

Palabras clave: Pavimento flexible; Geosintético, Geomallas, Atterberg, Granulométrico.

ABSTRACT

The objective of this research is to improve the durability of the flexible pavement in Sector 4 - Lince, by applying geosynthetics, so we proceeded to do the tests with reinforced TG BX 3030 geogrids provided by the company CIDELSA. MTC information from the Road Manual, Soils and Pavements section (2014), the AASTHO R-50 methodology for reinforced pavements, the inspection and study of the research area was carried out. The Relative Value Tests C.B.R. ASTM D1883, Modified Proctor, ASTM D422 Sieved Particle Size Analysis and ASTM D431 Atterberg Limits; In order to have the measure of the shear strength of the soil under conditions of density and humidity, in addition to determining the maximum dry density of the land in relation to its degree of humidity, as well as determining the type of soil. With this information, as well as the corresponding ESAL provided by the Municipality of Lince, the pavement was reinforced with geogrids using the AASTHO R-50 methodology with the LCR factor. By means of the analysis of these two sizing of structures, seeing the technical, economic and sustainable factor, we obtained the values that meant to execute these two structures. After contrasting the values obtained with the results found by other authors. As results of the investigation according to the application of geosynthetics to the design of pavements, a reduction of the base thickness of 33.3% was obtained, the same useful life of the structure, a reduction of the execution cost by 9.50% and the time of execution could be reduced by 7.7%. Finally, it was possible to verify that the results obtained, CBR greater than 8 and having a section with a thickness of 30 cm should be chosen for the geogrid, which in the case of the present investigation was used the TG geogrid BX3030.

Keywords: Flexible pavement; Geosynthetic; Geogrids, Atterberg, Granulometric.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El problema de la infraestructura vial radica en la durabilidad del pavimento. Con el propósito de que sea mucho más resistente, se han realizado estudios para mejorar el pavimento flexible obteniendo mejoras significativas al emplear diversos materiales que van desde aquellos que son productos de reciclaje hasta los que se han creado de manera artificial con la intención de lograr alguna característica especial como por ejemplo la utilización de los geosintéticos.

Muchas zonas pavimentadas, están localizadas en las zonas citadinas y la totalidad de los individuos que las residimos, tenemos poca representación de cuánto influye, a las bondades de las propiedades del agua y el medio ambiente, pues a medida que más tierras aprovechables en la nación se asfaltan, una mayor cantidad de agua de lluvia concluye bajando sobre áreas compactas, en terreno de anegarse en el suelo. Esto crea una variabilidad en el ecosistema natural y transporta a una sucesión de inconvenientes encerrando erosión, inundaciones repentinas, extenuación del agua subterránea, y contagio de ríos y lagos, así como también existen complicaciones de “islas de calor”, fundados por un aumento de temperaturas, dilación de radiación solar y privación de humedad, todo ello se acrecienta cada vez más debido al cambio climático.

Nuestra nación presenta cada ciclo muchas inundaciones durante la estación lluviosa, fundamentalmente en la zona urbana o rural, y toda esa agua de lluvia y su posterior secreción componen escurrimientos superficiales, todo ello tiene un resultado perjudicial hacia la circulación vehicular, peatonal y al progreso urbano.

En los cinturones alto andinos de Ancash recientemente se observan peligros, tanto al instante de expeler las aguas pluviales, como en tratar el escurrimiento de arrastre de varios contaminantes y materiales sólidos aguas abajo, todo ello se debe a varios componentes, entre los cuales encontramos como encabezado el aumento de población que existe, seguido del redundante e imperceptible automatismo de pavimentos impermeables o también llamados convencionales, todo ello provoca que el caudal así como el volumen de escurrimiento superficial se acrecienta, brota la crecida de los eventos de que haya aluviones en sectores bajos de la franja.

Los problemas mencionados no auxilian en mucha medida a la capacidad existente en los terrenos, la cual es de sobrecarga original; así como las circunstancias que éste tiene sobre

escurrimiento del agua de la lluvia (también llamado agua pluvial), esta situación debe perfeccionar y con ese fin, el ofrecimiento es quieta, realizar métodos de drenaje que sean verosímiles, como es el caso del uso de geosintéticos para mejorar la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4-Lince lo cual significa una buena alternativa.

A nivel específico, en el distrito de Lince, es común observar vías con el asfalto completamente deteriorado. En especial en las zonas que se encuentran en inicio de crecimiento y desarrollo económico, demográfico y social. Este distrito limeño es uno de los que mayor expansión a tenido en cuanto a la ampliación del caso urbano y la demanda de pavimentación de pistas y veredas es mayor con el pasar de los años, pero en la actualidad en los sectores cuyas pistas y veredas ya fueron construidas en años anteriores, se puede observar que están deterioradas y que no solo necesitan mantenimiento, sino que se proyecta a la realización de la rehabilitación de estas vías. Este problema se observa esencialmente en el sector 4 de este distrito, lugar en que el pavimento presenta forados, baches y ondulaciones que a todas luces genera cuestionarnos ¿en qué medida la aplicación de geosintéticos logra mejorar la durabilidad del pavimento flexible? Esta pregunta representa el punto de partida de esta investigación, ya que a partir de ella se diseñará las acciones a seguir para poder encontrar la respuesta que nos permita detallar cuales son los materiales, procesos o técnicas que harán posible el mejoramiento de los pavimentos flexibles, a partir de la aplicación de geosintéticos.

1.2. Trabajos previos

1.2.1. Antecedentes internacionales

Rojas, (2018), en la tesis titulada “Suelo reforzado con geosintéticos: influencia del porcentaje de volumen de suelo confinado por el geosintético en la resistencia del conjunto”, tesis para optar el título de Ingeniero Civil, presentada en la Universidad de Cuenca. Ecuador.

Objetivo: el colaborar en la comprensión del comportamiento del suelo reforzado con geosintéticos a través del análisis de la interrelación entre el volumen de suelo confinado y su respuesta frente a esfuerzos.

Conclusiones: fueron, el suelo granular con el que se realizó el trabajo, concierne a una arena bien graduada SW con grava y poco contenido de fino, según el método

SUCS y la norma ASTM D-2487. El suelo resultó no plástico al momento de intentar ejecutar los límites de Atterberg. De acuerdo a la Federal Highway Administration FWHA (Adams et al., 2011), los suelos óptimos para su empleo con refuerzo geosintético en obras civiles deben tener una granulometría bien graduada o abierta, tal y como se observa en la figura 4.2. El suelo usado en este trabajo procedente de la cantera Rookaazul presenta una granulometría sutilmente distinta a la de FWHA (figura 4.2). Considerando que las sugerencias designan a esquemas en escala existente y que el presente trabajo emplea el material para ensayos de laboratorio, se considera que la dispersión granulométrica es proporcionada y la curva utilizada destellaría de cierta forma una disminución en las dimensiones de partículas de real a tamaño de laboratorio. Los ensayos con suelo reforzado manifiestan una predisposición específica al período de acrecentar el volumen de suelo confinado con el geosintético. A pesar de que se visualizan dispersiones, la tendencia es la adecuada y a medida que se desarrolla el porcentaje de suelo confinado mayor es la resistencia del conjunto.

Jordan y Suárez (2017), en la tesis “Diseño de pavimentos flexibles con el uso de geosintéticos como refuerzo aplicado en las vías de acceso a la ciudadela La Milina del Cantón Salinas”, para optar el título de Ingeniero Civil, presentada en la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador.

Principal objetivo de estudio: el análisis referente al diseño de la estructura del pavimento flexible por el método tradicional AASHTO y la estructura del pavimento flexible reforzada con geomallas que se aplica a las vías de acceso.

Conclusión: que son suelos blandos con presencia de nivel freático superficial siendo estas características las más representativas de la zona. Mediante los ensayos de C.B.R. se estableció que los suelos de la ciudadela La Milina presentan baja capacidad portante, por lo tanto el suelo indicado para el estudio con Geosintéticos presentan C.B.R menores al 3%. En la comparación de diseño que se realizó entre la estructura del pavimento tradicional sin reforzar y con refuerzo se consiguió una reducción de espesores de materiales a un orden del 24 % y por consiguiente es una alternativa más viable y económica de diseño de la estructura del pavimento que se aplicó en las vías de acceso a la ciudadela la Milina mediante la asociación de Geosintéticos.

Beltrán, (2013), en su tesis titulada “Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la Carrera 7 Estación Transmilenio Museo Nacional”, para la obtención del título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos, presentada en la Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.

Su objetivo principal: exponer mediante un asunto particular, las preeminencias con el empleo de geosintéticos como medio de refuerzo para retardar la fisuración temprana y extender la vida útil del pavimento.

Conclusión: desde el punto de vista técnico, los Geosintéticos son un producto que ha consentido perfeccionar los métodos de construcción y la vida útil del pavimento, tras optimizar la capacidad portante de la estructura de pavimento; en general, con el empleo de dichos materiales, se han alcanzado conservar en buenas circunstancias las distintas obras de pavimentos, lo cual comprime los tiempos en que las vías se tengan que volver a intervenir. Es esencial el empleo de estos productos como refuerzo de pavimentos sobre estructuras vetustas. Desde el punto de vista económico, los geosintéticos han conseguido comprimir los costos en materiales granulares por la reducción de espesores, conforme a los diseños en que se incorporan dichos productos. Equivalentemente, al perfeccionar las propiedades, no sólo de los materiales que acceden una estructura de pavimento sino también de las carpetas asfálticas para obras exclusivas de refuerzo de las mismas, se comprimen las obras de mantenimiento, extendiendo a su vez, las frecuencias de intervención.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Sicha, (2018), en la tesis titulada “Diseño con geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles”, tesis para optar el título de Ingeniero Civil, presentada en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Su objetivo principal: brindar una representación global acerca del diseño con geotextil como separación y filtración y geomalla como refuerzo.

Conclusiones: El geotextil especificado para la función de separación fue el geotextil GT320P. Este efectuó tanto con el diseño por especificación y con el diseño por función. En caso se desee utilizar un geotextil de otro proveedor, será necesario confirmar que sus pertenencias mecánicas e hidráulicas plasmen con los diseños realizados. Al mismo tiempo, corresponderá evaluarse los diferentes precios de las distintas marcas seleccionadas y el recurso del material para preferir la alternativa más

apropiada. En cuanto al diseño por refuerzo, se hizo uso de la geomalla triaxial TX160 aplicada para la optimización del pavimento. Se observó un impacto técnico positivo respecto al diseño convencional para todas las secciones. Para los tramos 3, 4, 5 y 6, se obtuvo más de 20% de serviciabilidad respecto al diseño convencional. Los tramos 1 y 2 extendieron su grosor de base de 8.00 y 6.00 pulgadas a 8.75 y 6.25 pulgadas proporcionalmente ya que se excluyó la subbase del diseño. De esta forma, se logró que el pavimento despierte la serviciabilidad del diseño convencional, pero no de manera específica. La única elección para este diseño, fue retirar esta capa y encontrar una geomalla con un alto valor de LCR o BCR (como la TX160). La carpeta asfáltica por su parte, no cumplió con el espesor mínimo (3 pulgadas) presentado en la norma AASHTO, debido que se empleó una mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS. Esta, posee un coeficiente estructural 1.3 veces mayor a una mezcla normal comprobando el grosor utilizado.

Mera, (2017), en la tesis titulada “Evaluación técnico- económico del uso de geomalla multiaxial como refuerzo en la subrasante de la carretera Santa Cruz- Bellavista, distrito Bellavista-Jaén-Cajamarca”, tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Objetivo principal: fue evaluar las repercusiones técnico- económico del uso de la geomalla multiaxial como refuerzo de la subrasante en la carretera Santa Cruz- Bellavista, Provincia de Jaén, Región Cajamarca; así mismo mostrar el procedimiento de construcción usando la geomalla en una vía no pavimentada.

Conclusión: La reducción de los espesores en los tramos de diseño reforzados con geomalla multiaxial varían entre 5.4 % y 39.2%, con respecto al tramo no reforzado, lo cual involucra que hay un menor uso de material granular, todo esto sin afectar el aspecto técnico, ni su capacidad de soporte de tránsito de la vía. Se demostró que en los tramos donde el CBR del suelo fue mayor al 6%, el espesor del afirmado reforzado con geomalla multiaxial es menor en un 5.4% con respecto al no reforzado, y que el costo de ejecución utilizando la geomalla multiaxial como refuerzo, resulta definitivamente aumentando en un 16.49% con respecto al costo de ejecución del diseño convencional. El uso de la geomalla multiaxial como refuerzo es económicamente viable, para los tramos en donde el suelo tiene un CBR menor a

2.5%, variando el ahorro de entre 10.09% y 24.48%, con respecto a costo de ejecución del diseño convencional.

Núñez, (2016), en la tesis titulada “Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geo-sintéticos”, tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

Objetivo principal: evaluar el espesor de la base y subbase de una carretera con la aplicación de geosintéticos, conociendo sus propiedades físico-mecánicas, y así mejorar el costo, el tiempo de construcción, analizando la consecuencia positiva y negativa que generará a lo largo del tiempo.

Conclusiones: teniendo en cuenta que se debe hacer una máxima reducción de espesores de capas de pavimentos sobre un terreno de subrasante de CBR del 10%. La teoría estudiada sobre los geosintéticos (clasificación y aplicación) hace que optemos por el uso de la geomalla biaxial MacGrid EGB 40 (material de polipropileno), puesto que este geosintético tiene propiedades físico- mecánicas ideales para mejorar la función estructural de la subbase (trabajan en dos direcciones). Así lo demuestra los ensayos de CBR, a una altura de 2.5cm un CBR promedio = 71.47% y una altura de 10cm un CBR promedio = 114.87%, logrando así un estrato de subbase de mejor calidad y funcionalidad estructuralmente. El estrato base granular no se reduce en lo absoluto ($e = 15\text{cm}$) debido a su función estructural, es decir el no intervienen, no genera variación alguna la optimización (en costo y tiempo). Pero en el nivel subbase granular, se ejecutó los cálculos con aplicación de geomalla biaxial MacGrid EGB 40, y por ello existe una reducción de espesor de 20cm a 5cm (reservando un 75% en material granular de subbase) lo que conlleva a la optimización de costo en 22.15%, respecto al costo inicial y respecto al tiempo de aplicación, en la subbase el tiempo de aplicación es 30 días, lo que genera un tiempo de transporte material de subbase $D \leq 1\text{KM}$ (m3k) igual a 22 días y tiempo de transporte $D > 1\text{KM}$ (m3k) igual a 20 días, formando una optimización de tiempo (5.5% = 30 días) respecto a la programación en obra. La evaluación es positiva, pues lo que causa el uso de las geomallas en la construcción del pavimento (subbase) nos muestra un menor impacto ambiental, es decir, menor explotación de canteras (ahorro 75.7%), es decir un ahorro de 57,656.68 m³ de material subbase y menor consumo de agua para la conformación de la subbase granular (ahorro de 75.7 %, similar a la conformación

de la capa subbase), así mismo concibe el uso de mano no competente (atareando el personal propio de la franja). Respecto a la evaluación a lo largo del tiempo, se hace a través de experiencias de ingenieros, insinuando que las geomallas pueden durar más de 30 años en vías (una vía se delinea colectivamente para 2 décadas).

Orrego, (2014), en su tesis “*Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles*”, para optar el título de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Objetivo: fue el análisis del uso de geosintéticos, en concreto las geomallas, como refuerzo de bases granulares dentro de una distribución de pavimento flexible.

Conclusiones: En el análisis económico ejecutado vemos que hay una gran divergencia cuando confrontamos el costo de los insumos implicados en la colación esbozada y el costo final de la instalación de los mismos. El costo de la unidad no reforzada es menor ya que el precio del material granular considerado no justificaría el uso de algún tipo de refuerzo para reducir el espesor de la base granular. Esto quiere decir que a pesar de que hay una reducción en el espesor de la capa de base granular, el precio del mismo debería ser mayor para que las opciones de refuerzo con geomallas sean factibles. Sin embargo, si consideramos el costo de la disposición de los materiales, vemos que en la mayoría de los casos hay una disminución del costo total a favor de las unidades reforzadas. Una de las razones por las que se encuentra un costo mayor de la construcción de las secciones fortificadas es que el espesor preliminar no reforzado no admite una gran reducción (criterio del espesor mínimo recomendado). Así mismo, se aprecia que en la sección 06 el ahorro es mayor para la sección reforzada con geomallas biaxiales, se puede seguir la misma lógica para deducir este fenómeno.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Definición de geosintéticos

Según Miravete, A. (2002, p. 98) se puntualiza a los Geosintéticos como: “un geosintético es un elemento producido en el cual, como mínimo uno de sus elementos contiene polímetro sintético o natural, además de mostrarse a manera de colador, protector, placa o disposición tridimensional para ser utilizada cuando estos elementos

se pongan en contacto con el suelo u otros insumos intervinientes en la geotecnia o de la ingeniería civil”.

De acuerdo al Manual Pavco (2016) “En este caso, los geosintéticos, vienen a ser los insumos empleados para optimizar las propiedades del suelo, ya que cuentan con componentes mecánicos e hidráulicos, necesarios para algunos tipos de suelos. Por ello, su finalidad es optimizar y posibilitar la realización de proyectos de ingeniería civil y geotécnica en situaciones complicadas. (p. 8)

De acuerdo lo señalado por Miravete, A. (2002) “En cuanto a la manufactura de geosintéticos, ésta se refiere a los pasos a seguir para su adquisición, los cuales pueden ser de afluencia o extrusión, la tecnología textil o ambas tecnologías: textil y plástica. En este sentido, los geosintéticos provienen de fibras sintéticas, compuestos principalmente de instrumentos eléctricos portátiles como el polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno, de los cuales actualmente se emplean en mayor proporción el polipropileno y el poliéster. (p. 147)

1.3.2. Clasificación de los geosintéticos

De acuerdo al Manual Pavco (2016) “Respecto a las clases de geosintéticos, los más conocidos y empleados en el área de ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, geopuestos y mantos para control de desplazamientos del suelo provenientes de la relación entre las peculiaridades y condiciones de cada uno de los tipos mencionados”. (p. 14)

1.3.2.1. Geotextiles.

Son recursos maleables y permeables a los líquidos, por lo general son manufacturados a base de elementos sintéticos como el poliéster o polipropileno los cuales tienen la capacidad para impedir el paso de partículas de suelo más grandes que la de sus orificios. (Manual Pavco, 2016, p. 15)

1.3.2.2. Geomallas.

Estas son las disposiciones tridimensionales mono o biorientadas. Elaboradas a base de polietileno de alta densidad, por lo que se adhieren con mayor facilidad al terreno y duran más tiempo en el medio que los geotextiles. (Manual Pavco, 2016, p. 15).

Las geomallas son materiales geosintéticos que radican en una superficie uniforme formada esencialmente por poliéster, polipropileno y/o polietileno de alta intensidad presentadas en representación de rectángulo en forma de tiras y unidas por un punto llamado nodo.



Imagen N° 1. Geomalla

1.3.2.2.1 Usos y aplicaciones de geomallas para refuerzo y estabilización

Las diferentes aplicaciones de las geomallas son:

- Refuerzo en muros de contención.
- Refuerzo en terraplenes.
- Capa de refuerzo en fracturas de firmes.
- Control y refuerzo en taludes.
- Refuerzo y estabilización de muros verdes.
- Refuerzo suelos de zonas industriales y centros comerciales.
- Refuerzo en obras civiles como vías ferroviarias o aeropuertos.
- Refuerzo y estabilización en urbanizaciones, zonas deportivas de gran magnitud y aparcamientos.

1.3.2.2.2 Beneficios de las geomallas en un proyecto

Las geomallas para refuerzo y estabilización aportan múltiples ventajas sobre los proyectos en los que son empleadas. Algunas de las más relevantes son:

- Aumentan la estabilidad y seguridad del terreno.
- Reducen la presencia de grietas.
- Fácil instalación incluso en terrenos complicados.
- Resistencia a la tracción y roturas del terreno.
- Alarga la vida productiva de las edificaciones o infraestructuras.
- Reducción en el impacto medioambiental.
- Alta resistencia del material frente a agentes externos.
- Mantienen la estética y el aspecto natural del proyecto sobre el que son aplicadas.

1.3.2.2.3 Instalación de geomallas para el refuerzo de firmes

Estas suelen ser de fibra de vidrio. Podemos establecer cuatro fases:

- Limpieza de la superficie y sellado de las fisuras de más de 0,5 mm. Además de la eliminación de las aristas afiladas.
- Aplicación del riego de adherencia. Se trata de una emulsión bituminosa con 60/70 % de betún. También se efectuará una dotación de 1,1 Kg/m² residual de betún.
- Instalación de la geomalla. Una vez hemos esperado a que la emulsión rompa, se procede a la instalación de la geomalla empleando máquinas especializadas que aseguran que su correcta extensión, evitando que queden arrugas.
- Asfaltado y compactado. Finalmente pasamos al asfaltado empleando una extendidora de cadena si es posible y posteriormente, se lleva a cabo el compacto con rodillo para evitar arrollamientos.

1.3.2.2.4 Instalación de geomallas para el refuerzo de muros

En este caso, las geomallas empleadas suelen ser de poliéster. En el refuerzo de muros las geomallas se colocan envolviendo tongadas de terreno. Pero antes, se debe realizar el cálculo teniendo en cuenta aspectos como espesor de la tongada, ángulo de rozamiento del relleno, altura e inclinación del muro, densidad del relleno y sobrecarga.

1.3.2.2.5 Tipos

Dependiendo de su proceso de fabricación.

1.3.2.2.5.1 Geomallas uniaxiales

Las geomallas uniaxiales están confeccionadas a partir de una lámina de geotextil agujereada y sometida a un estiramiento gradual hasta que se consigue la representación así como peculiaridades anheladas.

Las geomallas uniaxiales o monorientadas están fabricadas de tal manera que la resistencia a la tensión va en el sentido de expansión del rollo, o lo que es lo mismo, son delineadas para el refuerzo en una sola dirección de estructuras de suelo inadvertidamente estabilizado y que implican todo tipo de material de relleno. La tensión soportada por estas geomallas es longitudinal tal y como vemos en el esquema.

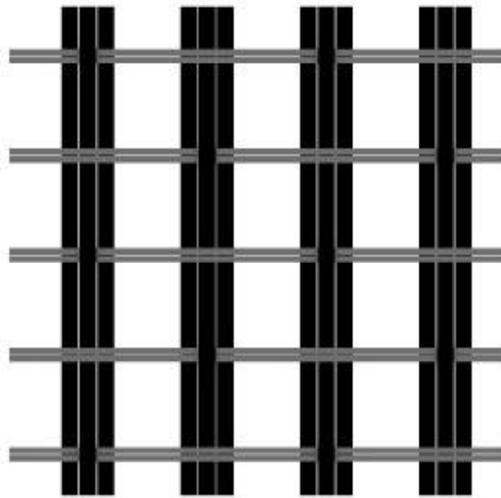


Imagen N° 2. Geomalla uniaxial.

Aplicaciones

- Muros de contención
- Taludes de alta pendiente
- Terraplenes

Ventajas

Las geomallas uniaxiales presentan las siguientes ventajas:

- Reducción del espesor de capa
- Aumento de la vida de servicio logrado
- Aumento de la capacidad portante
- Control del asentamiento diferencial

- Recubrimiento de depósitos blandos
- Punteo de espacios huecos
- Procuran soluciones a problemas de estructuras de suelos reforzados que involucran todo tipo de materiales de relleno.
- Verifica con un sistema de conexión óptimo con el suelo
- Su aplicación se da en terrenos con una orografía muy abrupta
- Sustituyen elementos tradicionales de contención
- Su utilización admite la construcción de muros y taludes verticales inclinados con vegetación
- Genera gran fuerza de tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal.

1.3.2.2.5.2 Geomallas biaxiales

Las geomallas biaxiales están producidas a partir de una lámina de geotextil perforada y sometida a un estiramiento gradual hasta que se alcanza la representación así como particularidades anheladas.

Las geomallas biaxiales o biorientadas están diseñadas para refuerzos en más direcciones, tanto longitudinales como transversales, debido a que sus costillas se fabrican de manera perpendicular formando una grilla con apertura de diverso tamaño que permiten entrar en suelos o material pétreo. Su estructura queda formada por una o más estratos de mallas bi-orientadas de polipropileno (PP), producidas por un proceso de extrusión y estiradas con seguimiento por un método biaxial con el objeto de acrecentar sus peculiaridades a la tracción. Estas geomallas exteriorizan una elevada tolerancia a la tensión así como la inapreciable resistencia a los daños en la construcción durante su instalación. Las geomallas biaxiales interactúan con el agregado confinando la base. El empleo de estos materiales concibe reducciones en tiempos de obra garantizando ahorro en costes gracias a la reducción de agregado solicitado.

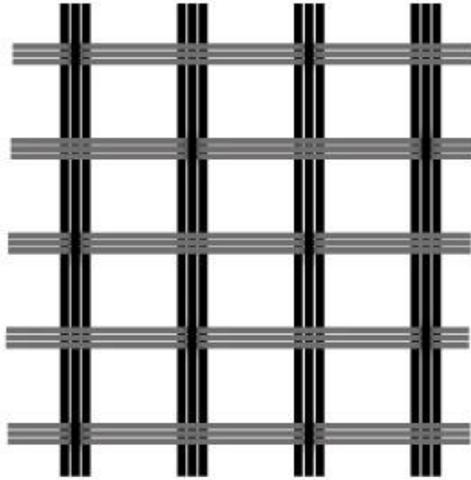


Imagen N° 3. Geomalla biaxial.

Aplicaciones

Estabilización de subrasantes y refuerzo de bases en:

- Vías pavimentadas
- Vías no pavimentadas
- Caminos
- Plataformas aeroportuarias
- Locaciones petrolíferas
- Aparcamientos
- edificaciones
- Diques
- Ferrocarriles

Ventajas

Por su parte, las geomallas biaxiales presentan las siguientes ventajas:

- Absolutamente inerte a condiciones químicas y biológicas del suelo
- Presenta mucha resistencia a esfuerzos de tensión
- Solucionan diversos problemas en relación a todo tipo de material de relleno
- Capacidad para la tensión. Gran capacidad de aporte mecánico que estabiliza los suelos blandos compresibles.
- Propone un alta respuesta elástica inaplazable alcanzando al suelo un gran refuerzo

- Presenta fuertes juntas que avalan entrabamiento y resistencia al arrancamiento
- Controla las deformaciones de la estructura en el largo plazo (también conocido como bajo creep)
- Su establecimiento no presenta daños

Tabla N° 1 Propiedades comúnmente reportadas de geomallas (USACE, 2003)

Propiedades comúnmente reportadas de geomallas		
Propiedades de ingeniería	Método de ensayo	Unidades
Propiedades de refuerzo		
2% o 5 % Modulo secante	ASTM D 6637 ¹	kN / m
Coefficiente de interacción	GRI GG5	*2
Coefficiente decorte directo	ASTM D 5321	Grados
Apertura mm	Medida directa	Mm
Porcentaje de área abierta	COE CW-02215	%
Los valores del índice de supervivencia		
Resistencia ultima a la tracción	ASTM D 6637	kN / m
Resistencia en los nodos	GRI GG2	%
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4356	%
Propiedades experimentales ³		
Rigidez a la flexión	Bajo desarrollo	*
Estabilidad de apertura	Bajo desarrollo	*

(1) Método de ensayo modificado para geomallas en sitio de ASTM D4595

(2) Propiedades adimensionales

(3) Las propiedades de rigidez a la flexión y estabilidad de apertura están siendo evaluadas

Fuente: Elaboración propia

1.3.2.3 Geomembranas: son laminillas elaboradas en base a polímeros impermeables, las cuales a su vez están compuestas por cloruro de polivinilo (PVC), y polietileno de alta o baja densidad. Es decir, son protectores sintéticos compactos que impiden la filtración de líquidos o partículas. (Manual Pavco, 2016, p. 15)

1.3.2.4 Geocompuestos: son elementos creados especialmente para estabilizar los suelos. Estos son empleados en caso se necesite reforzar o separar una base granular o un subsuelo (Manual Pavco, 2016, p. 15)

1.3.2.5 Geoceldas: son sistemas tridimensionales de aislamiento celular, están estructuradas en compartimientos de polietileno o polipropileno. (Manual Pavco, 2016, p. 15)

1.3.3 Ventajas

- La delgadez de los geosintéticos frente a su contraparte de suelo natural es una ventaja ligera sobre la terracería, menos espacio aéreo manejado, y la supresión de materiales del suelo de la cantera de arena, grava y arcilla.
- La disposición de la instalación de geosintéticos es característica en comparación con capas de espesor del suelo (Arenas, gravas o arcillas) que requieren de grandes equipos de movimiento de tierras. Las normas publicadas (métodos de ensayo, guías y especificaciones) están muy avanzadas en organizaciones de establecimiento de normas como ISO, ASTM y GSI.
- Disminución de los costos totales de edificación.
- Son materiales de alta calidad que se confeccionan siguiendo unos procedimientos sistematizados.
- Resistencia a probables daños mecánicos producidos durante su puesta en obra y ulterior compactación.
- Aumenta la vida útil de la construcción proyectada.
- Someter el espesor de las capas estructurales del pavimento o mejorar las especificaciones de las mismas.
- Comprimir la formación de huellas y fallas por esfuerzo cortante y asentamientos diferenciales en el pavimento.
- Conferir mayor durabilidad de la estructura de pavimento.
- Optimizar la capacidad portante, resistencia a movimientos y deformaciones laterales de la estructura de pavimento.
- Impedir la aparición de grietas por reflexión al impregnar esfuerzos cortantes y tensiones causadas por efecto de las cargas actuantes sobre el superficie de influencia de las fisuras del pavimento preliminar.

1.3.4 Desventajas

El rendimiento a largo plazo de la particular resina enunciada que se emplea para hacer los geosintéticos debe avalarse con los aditivos apropiados circunscribiendo antioxidantes, *screeners* ultravioletas y rellenos.

La obstrucción de geotextiles, geomallas, geomembranas o geocompuestos es un desafío de diseño para incuestionables tipos de suelo o situaciones inusuales. Por ejemplo, suelos de *loess*, líquidos soberanamente turbios y líquidos cargados de

micro-organismos (escurrimiento de granja) son problemáticos y colectivamente requieren evaluaciones de pruebas especializadas. La manipulación, el almacenamiento e instalación deben avalarse por un cuidadoso control de calidad y seguridad.

Al comparar diseños de geosintéticos para diseños alternativos de suelo natural allí son por lo general están en detrimento invariablemente de sostenibilidad (menor huella de CO₂).

1.3.5 Dimensiones de la variable independiente: Aplicación de geosintéticos

1.3.5.1 Propiedades Físicas

a. Gravedad Específica.- Por lo general es de acuerdo al polímero en uso. Polipropileno 0.91 Poliester 1.22 a 1.38 Nylon Polietileno 1.05 a 1.14 0.92 a 0.95 notar que algunos valores son menores que 1; Lo cual influye cuando trabajen en agua, ya que pueden flotar.

b. Peso (Masa por unidad de área)- Es una forma usual de exteriorizar el peso de un geotextil, se le conoce más por peso base y se expresa en g/m² ó en onzas/yarda² (1 onzalyarda² = 33.90 g!m²)

c. Espesor.- está medido como la distribución de la parte superior a la inferior del geotextil, medido a una presión prefijada; se expresa en mm. o pulg. (1 pulg=25.4mm)

1.3.5.2 Propiedades Mecánicas

a. Compresibilidad de un Geotextil.- se delimita como la variación del espesor debido a una presión normal. Es importante tenerlo en cuenta cuando son empleados para conducir agua a través de sus planos o secciones, y es el caso de los geotextiles no tejidos.

b. Resistencia Tensional.- es una de las más importantes funciones, y se automatiza estirando la muestra hasta que la elongación de ella cause su rotura.

c. Resistencia a la Fatiga.- es la habilidad del geotextil de soportar una carga antes de sufrir una falla.

d. Resistencia a la Deformación

e. Ensayo a la Rasgadura

- f. Ensayo al Impacto
- g. Ensayo a la Punzadura
- h. Ensayo a la Fricción del Suelo (No Tejido)
- i. Ensayo al Anclaje.

1.3.5.3 Propiedades Hidráulicas

a. Porosidad.- Se puntualiza como la razón del volumen de vacíos al volumen total, está relacionado con la habilidad de fluir el agua a través del tejido. Donde:

$$n = \frac{m}{pT}$$

n = Porosidad

m= Masa por unidad de área

p = Densidad del tejido total

T = Espesor del tejido

b. Porcentaje del Área Abierta (POA).- Es aplicable a los tejidos y es una comparación del total de área abierta al total del área de la muestra.

c. Tamaño de la Abertura Aparente (AOS) o Tamaño Equivalente de Abertura (EOS).- Se define como el número de malla que tiene la abertura más cercana a las aberturas del tejido. A veces se proporciona el tamaño de abertura de la malla en milímetros, es cuando está dado en esta forma como el 95% del tamaño de abertura o 0.95. Entonces AOS y la EOS se dan el número de malla y \bar{U}_s es la abertura en milímetros.

d. Permitividad (Permeabilidad de un plano transversal).- Muy útil en casos de filtración, o sea cuando el agua fluye a través del tejido hacia el material granular, una tubería o cualquier sistema de drenaje.

e. Transmisividad (9).- Flujo del agua dentro del plano del tejido.

f. Ensayos de Retención de Suelos.- Se usa cuando el tejido actúa como una cortina antilimos, arrastrados por el flujo. El objetivo de un geotextil diseñado para filtración es dejar pasar el máximo de agua, por los espacios vacíos que conforman su estructura, lógicamente al planificar esto, se piensa en diseñar los máximos espacios vacíos para permitir el máximo flujo, pero existe un límite, que resultan cuando las partículas finas del suelo comienzan a ser arrastradas por el flujo y pasan por los intersticios del tejido, esto conduce a una situación denominada tubificación del suelo, o sea cuando las partículas más finas de un suelo son arrastradas a través del tejido, dejando grandes vacíos detrás, cuando incrementa el flujo, la velocidad aumenta, acelerando el proceso del suelo, mediante un proceso tipo sumidero, que aumenta con el tiempo. Para reducir este proceso de tubificación del suelo, es necesario los espacios vacíos del geotextil, lo suficientemente, de modo que el suelo sea retenido en el tejido.

Usaremos los mismos criterios que se utilizan para filtros granulares, el cual se apoya en la dimensión de la partícula de suelo, en especial de los más finos y se compara con el AOS o EOS del tejido. El más simple de los métodos analiza el porcentaje del suelo retenido al pasar la malla 200 (0.074mm), se recomienda adoptar el siguiente método del TASK FORCE25.

1.3.5.4 Durabilidad del pavimento flexible

Martínez W. (2013) “Se refiere al periodo de vida que presenta un pavimento cuya organización total se deflacta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él”. (p. 35). La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y habitualmente suele tener una vida útil de 20 años.

1.3.5.4.1 Pavimento

Martínez W. (2013) señala que:

Desde el punto de vista de la ingeniería, el pavimento es un bloque estructural configurado por un sistema de estratos de espesores variados apuntalado en toda su área sobre una superficie de fundación conocido como subrasante, a la que traslada las cargas de tránsito de forma disipada. Su diseño responde a soportar cargas externas durante un lapso de tiempo previamente establecido. Si las cargas que se ejercen sobre la estructura tienen que dilapidar a medida que incrementa la profundidad, entonces los estratos superiores deben trazarse con componentes de mayor capacidad portante. Todo con el propósito de amparar el suelo natural. (p. 42)

Rico y Del Castillo (2011) dice que “un pavimento es la superestructura de la obra vial, que hace posible el tránsito expedito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstos por el proyecto” (p. 44).

El pavimento es definido “como la estructura integral de estratos superpuestos, habitualmente horizontales nombradas subrasante, subbase, base y carpeta, alineadas hasta rematar la rasante y reservada a consentir el tránsito vehicular. Se diseñan y cimentan técnicamente con componentes apropiados y convenientemente petrificados” (Martínez, 2013, p. 11).

1.3.5.4.2 Pavimento flexible

Según señala Rodríguez (2004, p.44) “Es aquel que tiene una carpeta de rodadura constituida por concreto de cemento asfáltico. Con una combinación que conserva un contacto íntimo con las cargas distribuyéndolas a la subrasante; su persistencia reconoce el entrelazamiento de los agregados, del roce de las partículas y de la afinidad. A partir de que un pavimento finiquita su construcción entabla el desperfecto continuo de este. Por lo tanto, las etapas de vida examinados a partir de la conducta del pavimento flexible.

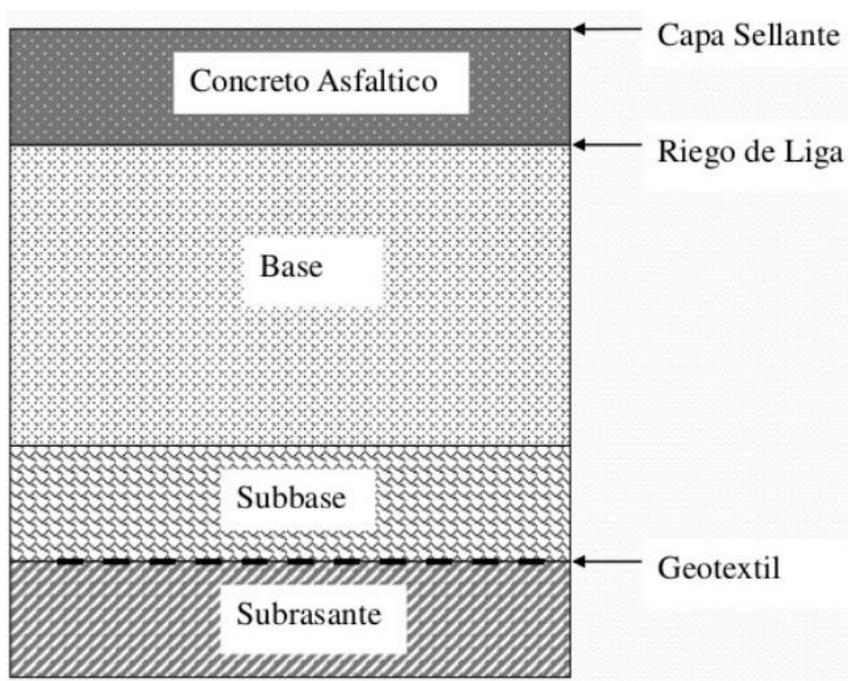


Imagen N° 4. Estructura típica del pavimento flexible.

Partes

- **Concreto asfáltico:** consiste en:

Ligante asfáltico (4% - 6%) y agregados (94% - 96%)

Calentados a 150°C, mezclados y luego compactados.

- **Capa Base:**

Estabilizada (CTB = Base estabilizada con cemento y BTB= Base estabilizada con Betumen/asfalto), No estabilizada (solo agregados). Los agregados en la capa base por lo general no son mayores a 1 pulgada o 2.5 cm.

- **Sub base,** agregados con mejores propiedades que la sub rasante.
- **Sub rasante,** habitualmente se compactan las incipientes estratos (10 cm)

Diseño de pavimentos: se establecen los espesores de los diferentes estratos. Espesores típicos (capa de rodadura: 1" a 12", base: 4" a 12", Sub base: 4" a 20").

Diseño de mezclas: se establecen las proporciones de los materiales a emplear en cada capa, resistencia de la capa de rodadura, resistencia de los agregados de la capa existente (subrasante).

Vida estimada de servicio entre 10 a 20 años, pudiendo añadirse capas en cualquier momento, sin perder sus propiedades antideslizantes

Fase de consolidación: Etapa preliminar en la vida de un pavimento flexible, aquí sus diversas coberturas sufren cierto afianzamiento, habitualmente debido a las cargas transferidas por los neumáticos de los vehículos.

Fase elástica: Se da seguidamente después del ciclo anterior y corresponde a la vida productiva del pavimento. Si ocurre la etapa de afirmación, cada carga ocasiona una deformación de tipo consistente, que luego tiende a transformarse en anomalía transitoria de recuperación instantánea de tipo elástico, es momentáneo, puede ser por segundos esa deformación, que luego de que la rueda pasa, ese punto desnaturalizado transitoriamente (mientras tanto) vuelve a su estado normal induciendo cada rueda un movimiento vertical hacia abajo (deflexión), que se redime después de pasar el vehículo (rebote).

Fase de fatiga: Es la etapa final en la vida de la distribución. Las deflexiones originadas por el constante paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, que vienen acrecentándose desde la fase elástica hasta que el estrato se parte por fatiga después de cierto número de pasadas, momento a partir del cual se inicia un colapso progresivo en toda la vía requiriéndose una total reconstrucción de la misma.

La rotura por fatiga comienza con la aparición de grietas longitudinales las cuales con la marcha repetida del tránsito y la implantación de las aguas superficiales al interior del pavimento suscitan el derrumbe de la distribución llegando al pavimento al final de su vida productiva.

1.3.5.4.2.1 Pavimentos de larga duración

Martínez (2013) expresa:

Es una distribución dispuesta de mezclas asfálticas delineadas cada una para desempeñar una tarea específica. Con una vida productiva superior a un pavimento asfáltico convencional, sin rehabilitación estructural significativa (en particular los estratos intermedia e inferior). Su aplicación es esencialmente apropiada para carreteras con altos volúmenes de tránsito y como un competidor directo de los pavimentos rígidos. Los desperfectos estructurales profundos, tales como el agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba y/o deformación indisoluble en los estratos menores se consideran poco factibles, o si los hay, son imperceptibles. (p. 75)

Según Martínez W. (2013, p. 82) No es del todo desconocido. Dicha constitución de pavimento conocidas como “Full-Depth” o estructuras con todos los estratos asfálticos, han sido edificadas desde 1960. La excelencia de este tipo de pavimento es que suministra de mantos más delgadas, en cotejo con las estructuras con capas granulares, además de comprimir en gran forma el posible agrietamiento por fatiga disminuyendo las deformaciones por tensión en el fondo del estrato de rodamiento.

Martínez W. (2013) manifiesta “que un pavimento de larga duración debe ser esbozado y edificado para certificar la performance con el volumen de tránsito, los escenarios climáticos y la capacidad de soporte del suelo” (p. 86). Este tipo de pavimento se bosqueja para una vida productiva por encima de los 50 años, con un substitución periódica de la zona (25 a 100 mm) alrededor de cada 2 décadas. El diseño de pavimentos de vida fructífera por encima de 5 décadas conlleva la construcción de estructuras de mayor espesor.

1.3.5.4.3 Tipos de fallas en pavimentos flexibles

1.3.5.4.3.1 Fallas por insuficiencia estructural

Señalan Rico y Del Castillo (2011, p.81) las “fallas por insuficiencia estructural se producen cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado”.

Estos pueden tener componentes de buena calidad, pero las capas que los componen son diseñadas con espesores insuficientes.

1.3.5.4.3.2 Fallas por defectos constructivos

Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por componentes adecuadamente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto (Rico y Del Castillo, 2011, p. 21)

1.3.5.4.3.3 Fallas por fatiga

“Este tipo de falla es considerado como fallas que resultan claramente influidas por el tiempo de servicio; son fallas típicas de un pavimento que durante mucho tiempo trabajó sin problemas” (Rico y Del Castillo, 2011, p. 37).

1.3.5.4.4 Evaluación de pavimentos

La evaluación es un juicio cuyo objetivo es establecer, tomando en consideración un conjunto de criterios o normas, el valor, la importancia o el significado de algo. Para el caso de la evaluación de pavimentos, representa establecer un valor de su condición de estado. “Es una de las actividades más importantes del ingeniero de pavimentos. Se requiere observar la condición de los pavimentos para: Admitir los criterios de diseño, Establecer los programas de preservación (Sánchez, 2011, p.7).

1.3.5.4.5 Evaluación funcional de pavimentos

Las particularidades superficiales o funcionales de los pavimentos perjudican claramente a los usuarios de la vía, ya que durante el rodaje condicionan su: protección, confort y economía. (Sánchez, 2011, p.8).

La evaluación superficial, considera las fallas presentes en el pavimento para poder valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así tener un indicativo referencial de su condición. (Sánchez, 2011, p.8).

1.3.5.4.6 Evaluación estructural de pavimentos

Entre las distintas definiciones de este tema, se la define de esta forma, “La evaluación del pavimento existente tiene como propósito la investigación y estimación del valor estructural restante, adicionalmente esta evaluación debe suministrar la data indispensable para la indagación de las causas que originaron la falla del pavimento a rehabilitar”. (Corros, Urbaez y Corredor, 2009, p.6).

1.3.5.5 Agregados

Son materiales pétreos inertes que sirven para elaborar mezclas asfálticas en caliente y/o mezclas asfálticas en frío (fuera del contexto del presente trabajo) dichos componentes no deben reaccionar químicamente con los conformados por la mezcla (cemento asfáltico y con polímero SBS). (Corros, Urbaez y Corredor, 2009, p.7).

Los agregados se pueden clasificar por su tamaño en: finos, gruesos; Así también por su origen: Ígneas, sedimentarias; calizas (tienden a erosionarse con el tiempo y el tráfico) Areniscas (mejor comportamiento durante el servicio del pavimento) Metamórficas. Por su procedencia se clasifican en: naturales, artificiales (procesos industriales) y gravas trituradas

Agregados finos

Habitualmente consisten en piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores que 5 mm, como se mencionó anteriormente se toman como agregados finos aquellos que pasan del tamiz No. 4 hasta pasa tamiz No. 200 en un análisis granulométrico.

Agregados gruesos

Consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas preferentemente mayores que 5 mm (0.2”) y generalmente entre 9.5 mm y 25 mm (3/8” y 1”). El asfalto reciclado o triturado es una fuente viable de agregados y una realidad económica. Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería

se optimice. Deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimientos de arcilla u otros componentes finos en cantidades que puedan afectar la adherencia de los agregados y el cemento asfáltico.

1.3.5.6 Maquinarias y Equipos

La maquinaria empleada en los trabajos está de acuerdo al proceso descrito, de acuerdo a ello se enlistará a continuación.

Perfiladora:

La función de esta máquina es remover un estrato con espesor específico del asfalto existente averiado, en este caso 5cms. La tarea la realiza por medio de un rotor dentado y sensores para verificar el espesor, así mismo una banda que recoge el material perfilado para depositarlo en un vehículo de transporte, en este caso es el mismo para el transporte de mezcla asfáltica, el sistema de corte y carga de perfilado.

Mini cargador con aditamento de perfiladora:

Esta maquinaria dentro del proyecto realiza funciones de limpieza, carga y acarreo de material perfilado y con el aditamento de perfiladora de asfalto, realizará las áreas en donde la perfiladora de mayor tamaño no logre trabajar.

Barredora mecánica:

Esta máquina está provista por un rotor con cepillos metálicos y plásticos, designada para las tareas de limpieza después de realizado el perfilado del asfalto existente y para remover el polvo o la suciedad de la superficie (perfilada) antes de colocar la nueva capa de carpeta asfáltica modificada.

Compresor de aire:

La función de este es realizar tareas de limpieza por medio de la aplicación de aire estrechado concisamente a la faja de colocación de la MACM por medio de una barra metálica, para eliminar el polvo residual que la barredora mecánica no logra eliminar y se encuentra en los surcos dejados por los dientes de la perfiladora.

Terminadora de asfalto

Es la encargada directa de la colocación de la MACM directamente sobre el tramo a

rehabilitar, existen varios tipos y marcas de terminadoras de asfalto, en este caso se utilizará una terminadora de descarga superior, que es un tractor sobre ruedas provista de una plancha rasante del asfalto acumulado por delante de ella por medio de tornillos sin fin motorizados, así también en la parte delantera tiene una tolva de recepción de la mezcla y un sistema de cadenas encargadas de llevarla hasta los tornillos frente a la plancha, la carga de la mezcla se realizará por medio de vehículos de transporte de mezcla de descarga superior.

Tanque distribuidor de ligante

Este depósito es empleado debido a su versatilidad y efectúa la función de la Pipa distribuidora de ligante, consiste en un depósito provisto de una bomba centrifugadora que bombea la emulsión asfáltica a través de una tubería y una manguera con una barra y boquilla en el extremo de salida, con la cual se realiza la aplicación de ligante en las áreas a asfaltar, la barra tiene una llave de paso que el operador puede regular la salida o flujo de la emulsión, así lograr controlar la tasa de riego.

Este tanque puede engancharse a vehículos lo que lo hace bastante versátil en el manejo del proyecto.

Compactadora de rodos lisos:

Está destinada a compactar la MACM a una densidad en la que la relación del contenido de aire en los vacíos no sea mayor del 5% del volumen total de la mezcla, la realizará por medio de los tambores metálicos provistos en su interior de motores que generan vibración, esto ayuda acomodando los diferentes tamaños de agregados dentro de la mezcla, resultando en una carpeta más densa.

El rodo está provisto por barras con aspersores de agua que evitan que la mezcla se adhiera al metal y dejan un mejor acabado.

1.3.5.7 Mezcla asfáltica en caliente modificada

Una mezcla asfáltica en caliente modificada es la combinación principal de un aglomerante, en este caso el cemento asfáltico con el polímero, agregados finos y gruesos para la conformación de una carpeta de rodadura. Está constituida alrededor de por un 90 % de agregados pétreos gruesos y finos, 5 % de vacíos y otro 5 % de cemento asfáltico (AC). Los componentes mencionados anteriormente son de gran jerarquía para el correcto

funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El cemento asfáltico y los agregados son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

1.3.6 Dimensiones de variable dependiente: durabilidad del pavimento flexible

1.3.6.1 Adherencia

Se conceptualiza Adherencia Superficial como “la habilidad de movilizar las fuerzas de fricción del contacto entre neumático y pavimento por efecto de las solicitaciones inducidas por el proceso de conducción, tales como aceleración, frenadas y virajes”. La adherencia permite que el vehículo conserve en todo momento su trayectoria, especialmente en los virajes. Contribuye a reducir las distancias de frenado. Favorece las maniobras de recuperación de la trayectoria.

1.3.6.2 Comportamiento Mecánico

La subrasante es definida como el suelo preparado y petrificado para soportar la estructura de un sistema de pavimento. Estas propiedades de los suelos que constituyen la subrasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento. Las propiedades físicas se mantienen invariables aunque se sometan a tratamientos tales como homogenización, compactación, etc., Sin embargo, ambas propiedades cambiarían cuando se realicen en ellos procedimientos de estabilización, a través de procesos de mezclas con otros materiales (cemento, cal, puzolanas, etc.) o mezclas con químicos. Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo (calicatas), posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades:

- Granulometría
- Límites de Atterberg (líquido e índice plástico)
- Valor Soporte (CBR)
- Densidad (Proctor)
- Humedad

Con los datos obtenidos, se elabora un perfil estratigráfico en el cual se detallan los distintos tipos de suelos y su profundidad.

1.3.6.3 Sistema de drenaje

El agua es el principal factor que afecta a la estructura del pavimento, debemos

preocuparnos de cómo captarla, conducirla y alejarla del camino utilizando obras de drenaje cuya función será desalojar lo más rápido posible el agua.

Un buen drenaje esta entre el 10% al 5% del costo de la obra. El drenaje se clasifica dependiendo como escurra el agua en: Superficial. Subterráneo.

El drenaje superficial se clasifican según la posición que las obras guarden con respecto al eje de la vía en: Transversal, El bombeo o pendiente transversal que pavimentada esta entre el 2%, Las alcantarillas Longitudinal, Cunetas con diferentes secciones dependiendo del diseño que se adopte, hay que buscar la más eficiente y la más segura. La cuneta triangular la conforman la sección triangular más el bordillo. Hay que tener en cuenta que en la construcción de las cunetas, la elaboración de las juntas se hará de una manera interrumpida, Sumideros se construyen en las vías urbanas, conectados hacia un poso de inspección, constituidos por una reja horizontal, vertical o mixta.

El drenaje subterráneo está constituido por:

Drenajes horizontales o sondajes horizontales: Se utilizan para aliviar las presiones hidrostáticas en el suelo; con un procedimiento sencillo como sigue, se perfora el talud, se introduce un tubo cuya función será desalojar el agua y depositarla en la cuneta. Hoy en día se utilizan mangueras para una mayor flexibilidad.

Filtros: Anteriormente se desarrollaba la construcción del dren francés, el cual constituía en abrir una zanja, y buscar materiales de cierta granulometría que tuvieran la capacidad de ser permeable – impermeable. Permeable para que se metiera el agua, y impermeable para que no pasen los finos.

Hoy en día se ha solucionado este problema usando un geotextil con un tubo drenante, y un material de cierta granulometría. El geotextil cumple las veces de material permeable-impermeable. Los finos forman una costa, no dejando pasar el agua, llegará un tiempo en el que se tendrá que hacer mantenimiento. En los dos procesos anteriores la tubería sale hacia la caja de alcantarillado.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿En qué medida la aplicación de geosintéticos mejora de la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018?

1.4.2. Problemas específicos

Problema específico 1

¿En qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el espesor del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018?

Problema específico 2:

¿En qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el refuerzo del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018?

Problema específico 3:

¿En qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el aspecto económico del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018?

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Justificación teórica

Esta investigación aportará de manera teórica, incrementando el nivel de información científica referente a las técnicas, materiales, procedimientos que permiten rehabilitar una carpeta asfáltica, otorgándole mayor durabilidad al pavimento flexible de una vía urbana o de una carretera. Estos conocimientos teóricos podrán ser utilizados de manera práctica en algunas investigaciones de tipo experimental.

1.5.2. Justificación práctica

El fin de la ingeniería civil es poner en práctica los conocimientos teóricos existentes. Desde esta óptica la realización de cada uno de los procedimientos de esta investigación, permitirán que estos profesionales puedan contar con nuevas formas prácticas de mejoramiento de la durabilidad de un pavimento flexible.

Para ellos podrán tomar como referencia el nivel de adherencia que se logre alcanzar con el proceso de rehabilitación, el tipo de comportamiento mecánico del asfalto y los mecanismos de drenaje que se utilicen de manera particular en la vía del sector 4 del distrito de Lince. Estos logros repercutirán de manera práctica en los usuarios de esta vía permitiendo una circulación más eficiente.

1.5.3. Justificación económica

Gallardo (2007), lo especifica como “El método barato y el cual exhorta que los individuos inviertan su tiempo para evadir las pérdidas en una institución” (p. 150). Como justificación económica, los costos representan una singular preocupación para la mejora de la infraestructura vial. En este caso, la metodología empleada permitirá mejorar la productividad reduciendo los costos, existiendo, en definitiva, una gran oportunidad en mejorar la productividad.

1.5.4. Justificación social

En cuanto a esta justificación social ello impactaría dentro del bienestar de la sociedad, en cuanto a la infraestructura de obras viales haciendo de este modo mayor rapidez en el tránsito, siendo los beneficiarios directos la población en general.

1.5.5. Justificación técnica

“En la tecnología la potencia de diseño de los equipos, se usa metódicamente de manera proyectada, computarizada y fiscalizada electrónicamente; y en las corporaciones la fabricación es un sistema que los integra, donde la potencia de las máquinas es sustancial.” (López, 2013, p. 16). El tipo de investigación será aplicada en forma cuantitativa teniendo un diseño pre experimental aplicando el pre y pos test, lo cual beneficiaría el avance y la reducción de los costos, evitando pérdidas.

1.5.6. Justificación metodológica

Esta investigación requiere de la realización de diversos ensayos y pruebas de campo, así como también del diseño de instrumentos que puedan permitir la recolección fidedigna de información. Todos estos aspectos tendrán valor científico debido a que las técnicas e instrumentos que se utilizara, están debidamente sometidos a pruebas de confiabilidad y validez, por lo que, podrán ser utilizados en otros estudios relacionados al tema de la rehabilitación y la mejora de vías y pavimentos.

1.6. Hipótesis de la investigación

1.6.1. Hipótesis general

La aplicación de geosintéticos influye en la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.

1.6.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

La aplicación de geosintéticos influye en el espesor del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.

Hipótesis específica 2

La aplicación de geosintéticos influye el refuerzo del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.

Hipótesis específica 3

La aplicación de geosintéticos interviene positivamente en el aspecto económico del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la aplicación de geosintéticos influye en la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.

1.7.2. Objetivos específicos

Objetivos específicos 1

Determinar en qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el espesor del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.

Objetivos específicos 2

Determinar en qué medida la aplicación de geosintéticos influye el refuerzo del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.

Objetivos específicos 3

Determinar en qué medida la aplicación de geosintéticos influye positivamente en el pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.

II. METODOLOGÍA

2.1 Diseño de la investigación

2.1.1 Tipo de investigación

El tipo de aplicación será aplicado, debido a que el propósito es encontrar de manera práctica la solución a la escasa durabilidad que presenta el pavimento flexible del sector 4 del distrito de Lince, Lima.

Una forma de comprender entendimiento y soluciones en circunstancias complicadas, cuyos tenores son ininteligibles a su vez, es la exploración laboriosa. Por ello, la investigación en orientación debe ubicar a la persona y el suceso en su razón, entender cómo es rectificado, tener en cuenta todos los componentes que forman parte de él y examinar las relaciones entre el escenario puntual y el contexto, de manera que los resultados a los sucesos - complicación se produzcan, bajo el enfoque de concepto complejo (Dugarte, 2006, p. 99).

2.1.2 Nivel de investigación

Consiste en hallar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto (Arias (2009, p.26).

Según su nivel corresponde al explicativo, ya que busca la argumentación de las causas y efectos entre la aplicación de geosintéticos en carpeta asfáltica y el progreso de la durabilidad del pavimento flexible.

2.1.3 Diseño de investigación

La investigación es experimental ya que recurre al experimento como técnica de investigación (Ñaupas, H, Mejía, E., Novoa, E. y Villagómez, A, 2014, p.331).

Según el diseño es de tipo pre experimental, que según los autores citados se caracteriza por tener un único grupo, y por qué requiere de la aplicación de pre y pos test.

2.2 Variables, Operacionalización

2.2.1 Variables:

Variable independiente: Aplicación de geosintéticos

Variable dependiente: Durabilidad del pavimento flexible.

2.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla N° 2 Operacionalización de las variables aplicación de geosintéticos y durabilidad del pavimento flexible

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Variable independiente: Aplicación de Geosintéticos	Según Miravete, A. (2002, p. 98) “es un elemento producido en el cual, como mínimo uno de sus elementos contiene polímetro sintético o natural, además de mostrarse a manera de colador, protector, placa o disposición tridimensional para ser utilizada cuando estos elementos se pongan en contacto con el suelo u otros insumos intervinientes en la geotecnia o de la ingeniería civil”	Los geosintéticos son materiales que presentan ciertas propiedades que otorgan características especiales a las estructuras, estas características o propiedades son: Físicas, Mecánicas e Hidráulicas	Propiedades físicas	- Uniformidad - Adaptabilidad - Flexibilidad	Observación directa.
			Propiedades mecánicas	- Resistencia al desgarro - Resistencia a la perforación - Resistencia a la tensión	Ensayo de estabilidad y flujo.
			Propiedades hidráulicas	- Permeabilidad - Tasa de flujo - Permisividad	Ensayo de Marshall
Variable dependiente: Durabilidad del pavimento flexible.	Martínez W. (2013) “Se refiere al periodo de vida que presenta un pavimento cuya estructura total se deflacta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y habitualmente suele tener una vida productiva de 20 años. (p. 35)	La durabilidad de un pavimento flexible requiere del mejoramiento de muchos factores. Principalmente de tres de ellos: La adherencia, el comportamiento mecánico y el sistema de drenaje.	Adherencia	- Flexión - Resistencia	Ensayo de Ramcodes
			Comportamiento mecánico	- Resistencia de concreto - Esfuerzo de rotura	Ficha de registro.
			Sistema de drenaje	- Drenaje superficial - Drenaje subsuperficial	Equipo para ensayo Marshall. Equipo para ensayo Ramcodes

Fuente: Elaboración propia

2.3 Población, muestra y muestreo

2.3.1 Población

La población es entendida como el cúmulo de elementos, características o seres motivo de un estudio analítico, debido a que éstos evidencian una particularidad o característica en común que concierne estudiar (Hernández et. al, 2010, p. 183).

La población estará conforma por el total de kilómetros que forman la carpeta asfáltica en la vía correspondiente al sector 4 del distrito de Lince en la ciudad de Lima. Este sector tiene una amplitud de 1 Km.

2.3.2 Muestra

Según Hernández et. al (2010, p. 191) se considera como muestra a la fracción o parte del total de una población, la cual que tiene como atributo singular, el propósito de estudio que interesa al investigador.

Se considera como muestra de este estudio a los 5 tramos en los cuales se ha identificado la existencia de un deterioro de la carpeta asfáltica de la vía que comprende el sector 4 del distrito de Lince en la ciudad de Lima.

2.3.3 Muestreo

La muestra será seleccionada según el criterio del investigador, basado en la observación de los defectos que presenta la vía que corresponde al correspondiente al sector 4 del distrito de Lince en la ciudad de Lima. Por ello, la muestra es de tipo no probabilística ya que no se hará uso de la estimación estadística para determinar que tramos son los que se elegirán como unidades de análisis de este estudio.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas

La observación

Albert (2007, p. 232) señala que "Se trata de un procedimiento de recolección de datos que tiene como propósito estudiar y detallar ambientes, involucra penetrar en profundidad, en contextos sociales y amparar un rol activo, pendiente de los elementos, situaciones, acontecimientos, eventos e interacciones".

Albert (2007, p. 236) expresa que es una forma de recolectar información, basado en el recojo de muestras de los cuales se extraerá datos que serán procesados y sometidos a procesos de confiabilidad para determinar el estado o el efecto resultante de un elemento sobre otro.

Se usará el ensayo de estabilidad y flujo, para la evaluación del material en la carpeta asfáltica actual y final. También se usará el método de Marshall, para determinar los valores de estabilidad y deformabilidad en el pavimento asfáltico actual y final. De igual modo se hará uso del ensayo bajo el método Ramcodes, para la determinación de las características técnicas de la mezcla asfáltica utiliza y la que se requiera utilizar.

2.4.2 Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaran en esta investigación son la ficha de registro, que permitirá recolectar información sobre el estado de la vía que forma parte del sector 4 del distrito de Lince en la ciudad de Lima.

Se utilizará instrumentos de laboratorio los cuales están debidamente calibrados y estandarizados, garantizando la optimización de los resultados en el estudio de la aplicación de geosintéticos en carpeta asfáltica y el pavimento flexible que forman parte de la muestra de estudio de esta investigación. Estos instrumentos se usarán durante el pre y el pos test.

2.4.3 Validez

Es la categoría en el que una herramienta en verdad evalúa la variable que se busca medir. Ebel (1977, citado por Fuentes, 1989) señala que validez “designa la correspondencia con que un conjunto de puntajes de una muestra cuantifica aquello que deben medir” (p. 103).

Los instrumentos a utilizar, en cuanto a la ficha de registro ha sido validada por tres expertos en ingeniería civil e investigación científica. Todos ellos indicaron que dicho instrumento es aplicable a la muestra de estudio de esta investigación.

En lo referente a los ensayos ensayo de estabilidad y flujo, método de Marshall y Ramcodes, los instrumentos no requieren ser validados debido a que son instrumentos estandarizados y probados científicamente.

2.4.4 Confiabilidad

Ander- Egg (2007, p.47), señalan que la confiabilidad del cuestionario está representada por la capacidad de conseguir equivalentes resultados cuando se utilizan las mismas preguntas en relación a las mismas evidencias.

El instrumento que será sometido a proceso de confiabilidad será la ficha de registro. Este instrumento se utilizará en el recojo de muestras y, por tanto, se realizará una prueba piloto de recojo de muestras con la finalidad de verificar si esta ficha presenta la estructura adecuada para cumplir dicho fin.

Los datos recolectados en la muestra de estudio serán sometidos a la prueba de confiabilidad de alfa de Cronbach para determinar el nivel de confiabilidad de este instrumento.

Tabla N° 3 Rango y magnitudes de confiabilidad

Rango	Magnitudes
0.53 a menos	Confiabilidad nula
0.54 a 0.59	Confiabilidad baja
0.60 a 0.65	Confiable
0.66 a 0.71	Muy confiable
0.72 a 0.99	Excelente confiabilidad
1.0	Validez perfecta

Fuente: (Herriera, 2013, p.5)

2.5 Método de análisis de datos

El método que se maneja en esta investigación corresponde al método cuantitativo, que las mediciones que se llevarán a cabo están basadas en procedimientos matemáticos y estadísticos.

En el desarrollo del estudio también se hará uso del método de Marshall y el método Ramcodes, los cuales determinarán propiedades específicas en cuanto a la aplicación de geosintéticos en carpeta asfáltica y la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4 del distrito de Lince en Lima.

El método estadístico será otro de los utilizados en esta investigación. Este método cumplirá con el propósito de describir a través de tablas y gráficos los resultados de las diversas mediciones y a su vez permitirá la comprobación de las hipótesis planteadas.

2.6. Ensayos realizados

2.6.1. Relación de Valor Soporte California (CBR)

Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad afinadamente controladas.

2.6.1.1 Objetivo:

Simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, obteniendo las condiciones más críticas a las que va a estar sometido el suelo por acción de cargas particulares.

2.6.1.2. Procedimiento:

Según la norma ASTM D 1883-07, el CBR es un ensayo de carga que usa un pistón metálico, de 0.5 pulgadas cuadradas de área, para penetrar desde la superficie de un suelo compactado en un molde metálico a una velocidad constante de penetración. Se concreta CBR, el parámetro del ensayo, como la relación entre la carga unitaria en el pistón requerida para penetrar 0.1” (2.5 cm) y 0.2” (5 cm) en el suelo ensayado, y la carga unitaria solicitada para penetrar la misma cantidad en una piedra picada bien gradada estándar; esta relación se expresa en porcentaje.

Por cada espécimen de suelo se calculan dos valores de CBR, uno a 0.1” de penetración, y el otro a 0.2” de penetración. La pregunta de siempre es ¿cuál de los dos es el CBR que se reporta? ASTM dice que el que se reporta es el de 0.1” mientras este sea menor que el de 0.2”. En el caso en el que el valor de CBR para 0.1” fuera mayor que el de 0.2” habría que repetir el ensayo para ese espécimen (La norma en inglés dice «rerun», que transcribimos como volver a hacer el ensayo, pero no aclara si hay que volver a fabricar el espécimen o si se puede utilizar la elección de voltearlo y ensayarlo por el otro extremo).

Los valores de CBR cercanos a 0% personifican a suelos de pobre calidad, mientras que los más cercanos a 100% son indicativos de la mejor calidad. Antes de que pregunten les digo que sí, es posible obtener registros de CBR mayores que 100%, típicamente en suelos ensayados en condición «en seco» o «tal como se compactó». Ante las interrogaciones que nos hay llegado prometo escribir un artículo fundamentalmente para resistir este aspecto con resultados reales de pruebas.

Laboratorio: los especímenes de suelo se compactan con el equipamiento del ensayo Proctor, empleando moldes de 6" de diámetro y martillo grande. La velocidad de penetración del pistón durante el ensayo es invariable e igual a 1.27 mm/min.

2.6.1.3. Variantes del ensayo de laboratorio

Según ASTM, para la versión de laboratorio del ensayo CBR existen dos variantes, una llamada «CBR para humedad óptima», y la otra llamada «CBR para un rango de contenidos de agua».

El CBR para humedad óptima es la variante más popular y es conocida también como «CBR de tres puntos». Consiste en confeccionar tres especímenes compactando el suelo con energías de compactación de 12, 25 y 56 golpes por capa. La humedad de mezclado del suelo es la humedad óptima del Proctor modificado. Para obtener el CBR del suelo se prepara una gráfica con los resultados del ensayo de los tres especímenes poniendo en las abscisas al grado de compactación o la densidad y en las ordenadas al valor de CBR, y se unen los puntos a través de una curva. El CBR del suelo se delimita como el intercepto correspondiente al grado mínimo de compactación establecido por la especificación del proyecto o agencia solicitante. Aunque ASTM explica que esta variante está destinada a suelos que no son susceptibles al humedecimiento (por ejemplo, suelos granulares limpios), es práctica común utilizarla para todo tipo de suelos (corriendo el riesgo de no evaluar la influencia de la humedad en un suelo susceptible a la humedad).

El CBR para un rango de humedades conocido también como «CBR de 15 puntos» y ASTM lo recomienda para suelos susceptibles a la humedad (suelos cohesivos o todos los suelos no limpios) o en los que se quiera evaluar el efecto de la humedad en la resistencia. ASTM dice que se preparan varios especímenes de suelo

compactándolos en un rango de contenidos de agua similares a los que se piensa estará sometido en campo, y a varios niveles de energía de compactación, típicamente 12, 25 y 56 golpes por capa. No obstante antes el procedimiento ASTM proponía un método gráfico para concretar el CBR, a partir de la versión 2005 de la norma D 1883 dicho procedimiento fue suprimido luego de la actualización de 2005. Es libre el laboratorista para la interpretación. La variante de CBR para un rango de humedad es propicia para elaborar experimentos factoriales e interpretarlos con mapas de resistencia al estilo RAMCODES.

2.6.2. Ensayo para determinar la granulometría del agregado

2.6.2.1. Objetivo:

- Determinar la granulometría del suelo, con una serie de tamices en fracciones de tamaño decrecientes.
- Determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo.
- Trazar la curva granulométrica
- Clasificar el suelo por el método SUCS y AASHTO

Con el análisis granulométrica, se puede determinar que el suelo del terreno, es un suelo de grano grueso compuesto por grava arcilla un poco de limo, lo cual nos indica que es un suelo de baja capacidad de resistencia.

2.6.2.2. Normas que se aplican: ASTM D-422

Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas en los suelos. La distribución de tamaños de partículas mayores de 75 micrómetros (retenido en el tamiz N° 200) se determina por tamizado, mientras que la distribución de tamaños de partículas menores que 75 micrómetros se determina mediante un proceso de sedimentación mediante un hidrómetro. Los balances, aparato de agitación, hidrómetros, cilindros de sedimentación, termómetro, tamices, baño de agua o sala a temperatura constante, vaso y el dispositivo de temporización utilizados en el método se especifican. Análisis por tamizado, el análisis del hidrómetro y el análisis de humedad ligroscópica se realiza en el suelo de la muestra.

2.6.2.3. Instrumentos y equipos

- Juego de tamices de ensayo (3, 2 ½, 1 ½, 1, ¾, ½, 3/8, 4, 10, 20).
- Balanza 0.1 gr de precisión.
- Horno cap. 110°C ± 5°C.



Imagen No. 5: Juego de tamices utilizados para el análisis granulométrico.

2.6.2.4. Procedimiento

- Cuartear el suelo hasta tener una muestra representativa según el TM de grava.
- Secar al horno a 110°C ± 5°C de 16 a 24 horas.
- Una vez frío el suelo pesar y lavar por el tamiz N° 200.
- Secar el material de 16 a 24 horas a 110°C ± 5°C.
- Tamizar por los respectivos tamices.
- Obtención de los datos y cálculos respectivos.

Continuando con la norma, se efectúa el procedimiento mediante el cual se distancia el material por las mallas, el retenido será agregado grueso que quede en la malla No. 4 y el fino será el que pase aquel tamiz.

La muestra, antes de tamizarse fue lavada y secada en el horno por 24 horas y una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.



Figura 1. Secado de material en horno.

Una vez obtenido el material seco y libre de impurezas se vierte el juego de tamices y se comienza el proceso con ligeros golpes y girando el conjunto hasta obtener peso constante en cada tamiz.

Toda cantidad obtenida fue pesada, así como también el que quedó en la base, se deberá pesar todo el material previamente, para luego compararla con la suma obtenida en los retenidos de las mallas, cuya diferencia no debe superar el 0.3%.



Figura 2. Pesado de muestra de material.

2.6.3. Límites de Atterberg

Son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS).

Para obtener estos límites se requiere remoldear (manipular) la muestra de suelo destruyendo su estructura original y por ello es que una descripción del suelo en sus condiciones naturales es concluyentemente necesaria y complementaria.

Para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor que la malla #40 (0.42 mm). Esto quiere indicar que no solo se trabaja con la parte fina del suelo (< malla #200), sino que se circunscribe equivalentemente la fracción de arena fina.

2.6.3.1. Objetivo

Una vez realizado el análisis granulométrico el cual nos permite estudiar el tamaño de estas partículas y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que simbolizan (gruesos, gravas, arenas, limos y arcillas). Si bien un análisis granulométrico es suficiente para gravas y arenas, cuando se trata de arcillas y limos,

turbas y margas se debe completar el estudio con ensayos que definan la plasticidad del material.

Algunos suelos cambian de consistencia en función al contenido de humedad. En el suelo se definen cuatro estados: solido, semisólido, plástico y líquido. El límite entre esos estados se denominan límites de Consistencia y son: Limite de Contracción (LC, Ws), Limite Plástico (LP, Wp) y Limite Líquido (LL, Wl). Solo determinaremos el L. Plástico, y el L. Líquido, debido a que el L. Contracción, es un ensayo más complejo y puede ser toxico. debido a que comprende mercurio.

2.6.3.2. Materiales:

- Máquina de Casagrande (referencia: norma ASTM N° D-4318-95a)
- Acanalador (misma referencia)
- Balanza de sensibilidad 0.1 g.
- Espátula de acero flexible
- Cápsulas de porcelana
- Placa de vidrio
- Horno regulable a 110°
- Agua destilada

2.6.3.3. Procedimiento

Se emplea exclusivamente la parte del suelo que pasa por la malla # 40 (0.42 mm). Se procede a adicionar o retirar agua según sea necesario y revolver el modelo hasta obtener una pasta semi-líquida homogénea en términos de humedad.

Para los limos y suelos arenosos con poco contenido de arcilla el ensayo se podrá efectuar prontamente después de adicionar agua. Para los limos arcillosos será ineludible almacenar la pasta alrededor de 4 horas en un recipiente cubierto. Para las arcillas este tiempo deberá ampliarse a 15 o más horas para asegurar una humedad constante de la muestra.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se denominan 3 Límites de Atterberg:

1. Límite líquido: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

2. Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.
3. Límite de retracción o contracción: Cuando el suelo pasa de una fase semisólido a un estado sólido y se constriñe al perder humedad.

2.6.3.4. Límite de consistencia

2.6.3.4.1 Objetivo:

- Determinar el contenido de humedad de un suelo para evaluar su consistencia
- Determinar el contenido de humedad en el Límite de Plástico
- Analizar la cantidad de contenido de humedad en el límite líquido.
- Estudiar la relación entre el límite plástico y el límite líquido queda como un resultado el índice de plasticidad.

2.6.3.4.2. Normas que aplican: ASTM D-4318

2.6.3.4.3. Procedimiento

Se suministran dos procedimientos para la gestación de los prototipos para los ensayos y dos procedimientos para efectuar el límite líquido:

- Ensayo multipunto utilizando un procedimiento de preparación húmedo.
- Ensayo multipunto utilizando un procedimiento de preparación seca.
- Ensayo de un punto utilizando un procedimiento de preparación húmedo.
- Ensayo de un punto utilizando un procedimiento de preparación seca.



Figura 3. Límite líquido.

2.6.4.4. Límite líquido

Cuando el suelo transita de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

En este límite el contenido de humedad (PW) en la película de agua se hace tan gruesa que la cohesión decrece y la masa de suelo segrega por acción de la gravedad. Se realiza este proceso en la cazuela y se hace una pasta de suelo: Agua.

- Se tamiza 5000gr. de suelo (seco al aire), por la malla N° 40 al cual se le realizó el cuarteo para tomar una muestra representativa de 500 gr. luego se dejó saturar durante 24 horas con la finalidad de que el agua ocupe todos los espacios vacíos del suelo. Una vez saturado el suelo se procede.
- Se calibra la copa de Casagrande verificando que la altura de la máquina del límite líquido sea exactamente de 1cm de altura. Se coloca un gr. de suelo saturado en el recipiente de porcelana, añadimos una pequeña cantidad de agua, y mezclamos cuidadosamente el suelo hasta obtener una muestra pastosa y de color uniforme puesto que estas características son indicadores de que la muestra está en un estado apropiado para el ensayo.

- Ubicar con la espátula una muestra de la pasta en la copa Casagrande de forma que obtengamos un área de 10mm de espesor.
- Después se realiza la ranura y se viró la manivela registrando el número de golpes necesarios para atrancar en una longitud aproximada de 10mm.
- Se toma una muestra para calcular el contenido de humedad del suelo colapso en una ranura asegurándose que concierna a la franja donde se cerró la ranura y la pasta restante se regresó al plato de evaporación para la siguiente reproducción.
- Se repite la secuencia para tres ensayos adicionales con número de golpes comprendido entre 25 y 30, entre 20 y 25 y entre 15 y 20 correspondientemente.

2.6.4.5. Límite Plástico

Que exterioriza la magnitud del espacio de humedades en el cual el suelo tiene consistencia plástica, y el índice de liquidez, que revela la proximidad del suelo natural al límite líquido, son peculiaridades fundamentalmente útiles del suelo.

- De la pasta preparada para el ensayo anterior se tomó segmentos pequeños estableciendo esferas (aprox. 6) que se situaron sobre la placa de vidrio para preparar la prueba del límite plástico una vez cumplido el ensayo del límite líquido.
- Se tomaron dos esferas y se rolaron sobre la placa de vidrio designándole presión apta para crearlo en forma de una varilla cilíndrica, cuando el diámetro del cilindro de suelo llego a 3mm y aun no se promovió rotura en pequeños segmentos se obtiene reiteradamente de la misma forma hasta que se provoque la rotura. Si el cilindro se desmorona a un diámetro superior a 3mm., esta condición es satisfactoria para delimitar el límite plástico.
- A la muestra que ha sufrido rotura se le determina el contenido de humedad. El valor obtenido se intervendrá con el obtenido en otras repeticiones.

2.6.4.5.1 Objetivo:

- Caracterizar el comportamiento de los suelos finos.
- Calcular la resistencia a la deformación de un suelo de grano fino (arcillas y limos), expresada en su grado de cohesión y adhesión.

2.7 Aspectos éticos

Los resultados que se evidencian en este informe de investigación pertenecen a los testimonios de la muestra sometida a un estudio analítico, los cuales se trabajaron de manera fehaciente sin alteraciones, y su registro es el resultado de la aplicación de instrumentos de recolección de datos como la ficha de registro, las máquinas de ensayo y la prueba de estabilidad y flujo.

Así mismo la realización de cada una de las actividades relacionadas a la aplicación de geosintéticos en carpeta asfáltica estará regulada por las normas de calidad ISO y las normas establecidas por el MTC del Perú.

III. RESULTADOS

3.1. Ubicación del área de investigación

El distrito de Lince, es uno de los 43 distritos que componen la provincia de Lima, ubicada en el departamento de Lima. Limita al norte con los distritos de Jesús María y el Cercado de Lima (urbanización Santa Beatriz), al este con La Victoria y al sur y oeste con San Isidro. Tiene una extensión de 3,03 km² y una altitud de 117 msnm.

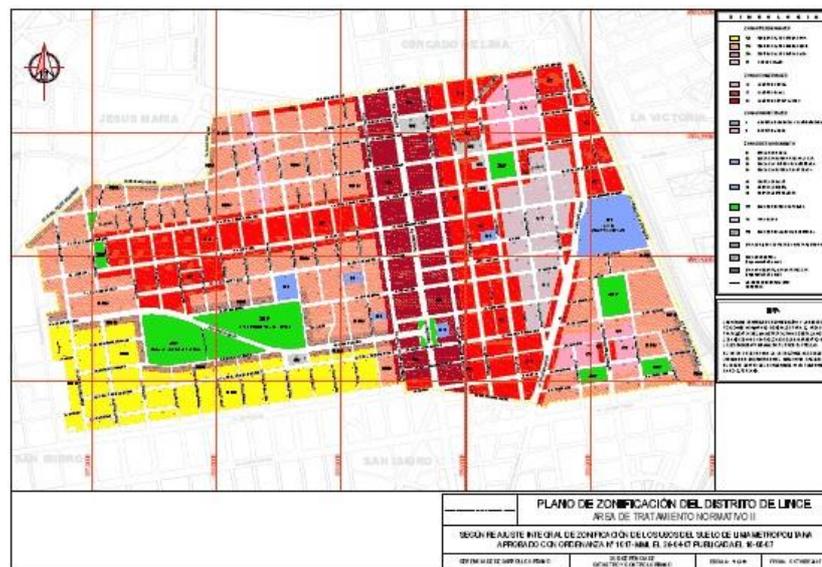


Figura 4. Zonificación del área de investigación.

3.2 Reconocimiento, trabajo de campo

Se fue a la zona de estudio con la ficha de recopilación de datos y se vio un pavimento flexible crecidamente estropeado, los elementos eficientes de ello pueden ser diferentes como lo es el diseño, el proceso constructivo, una mala compactación, tipo de suelo (subrasante) y/o factores externos como lo son las mecánicas que afectan la carpeta por el uso de agentes químicos y agua.

Se analizó la zona de estudio y se vio distintas clases de fallas superficiales y organizados como son: fisuras, ahuellamientos, hundimientos, fisuras.

3.3 Ensayos realizados

Para la presente investigación y el estudio requerido para un diseño de pavimento se efectuaron ensayos de laboratorio de mecánica de suelos en GMIG Ingenieros, con la

finalidad de alcanzar los fundamentos correspondientes a la simbolización de suelos, los ensayos de Proctor Modificado, CBR de la base, sub base y sub rasante y así llegar a su módulo resiliente con el cual poder lograr delinear la estructura del pavimento flexible tradicional y con ello establecer su reforzamiento con el uso de las geomallas.

3.3.1 Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM – D422

Tabla N° 4 Resultados del ensayo de granulometría (Base)

TAMIZ	ABERTUR A (mm)	% ACUMULADO QUE PASA	% PASA HUSO ASTM
3"	76.200	100.0	100,0
2"	50.800	88.6	80 - 100
1 ½"	38.100	86.5	80 - 100
1"	25.400	80.4	80 - 100
¾"	19.050	74.9	50 - 85
3/8"	9.525	55.3	50 - 85
N° 4	4.760	40.2	25 - 60
N° 10	2.000	28.8	25 - 60
N° 20	0.840	21.7	5 - 30
N° 40	0.426	17.5	5 - 30
N° 60	0.250	15.5	5 - 30
N° 100	0.149	13.6	5 - 30
N° 200	0.074	10.7	5 - 30

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N° 5 Curva granulométrica: Base.

Interpretación:

Se logró establecer su categorización SUCS como GP que es un tipo de suelo denominado “Grava mal gradada con arena”, el cual tiene 70.0% de grava, 25.4% de arena, 4.5% de limos y arcillas. Tiene un 1.8% de humedad, presenta un límite líquido de 0%, límite plástico de 0%, y un índice de plasticidad de 0%.

En cuanto a la clasificación AASHTO, el área de estudio está conformada por un suelo granular, formado con grava, teniendo en cuenta que el porcentaje acumulado que pasa en su tamiz No. 200 es menor al 35% (10.7); y para terreno de fundación: Excelente a bueno.

Tabla N° 5 Resultados del ensayo de granulometría (Sub Base)

TAMIZ	ABERTUR A (mm)	% ACUMULADO QUE PASA	% PASA HUSO ASTM
3”	76.200	100.0	100
2”	50.800	100.0	100
1 ½”	38.100	94.3	80 – 100
1”	25.400	88.0	80 – 100
¾”	19.050	80.2	80 – 100
3/8”	9.525	59.9	50 – 85
N° 4	4.760	42.3	25 – 60
N° 10	2.000	28.7	25 – 60
N° 20	0.840	22.4	5 – 30
N° 40	0.426	18.9	5 – 30
N° 60	0.250	16.9	5 – 30
N° 100	0.149	15.7	5 – 30
N° 200	0.074	13.5	5 – 30

Fuente: Elaboración propia.

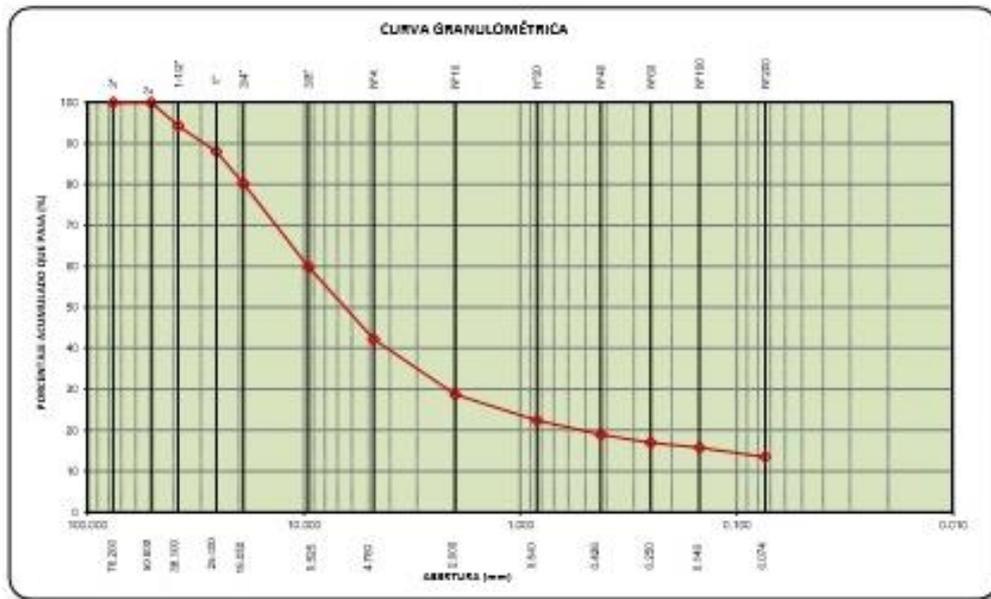


Imagen N° 6 Curva granulométrica: Sub Base.

Interpretación:

Se logró establecer su categorización SUCS como GP GM que es un prototipo de suelo designado “Grava mal gradada con limo con arena”, el cual tiene 59.8% de grava, 29.5% de arena, 10.7% de limos y arcillas. Tiene un 2.3% de humedad, exhibe un límite líquido de 0%, límite plástico de 0%, y un índice de plasticidad de 0%.

En cuanto a la clasificación AASHTO, el área de estudio está conformada por un suelo granular, formado con grava, teniendo en cuenta que el porcentaje acumulado que pasa en su tamiz No. 200 es menor al 50% (13.5) ; y para terreno de fundación: Excelente a bueno.

Tabla N° 6 Resultados del ensayo de granulometría (Sub Rasante).

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA	% PASA HUSO ASTM
3"	76.200	100.0	100
2"	50.800	100.0	100
1 ½"	38.100	100.0	100
1"	25.400	100.0	100
¾"	19.050	100.0	100
3/8"	9.525	100.0	100
N° 4	4.760	99.5	80 – 100
N° 10	2.000	99.1	80 – 100
N° 20	0.840	98.1	80 – 100
N° 40	0.426	93.3	80 – 100
N° 60	0.250	85.6	80 – 100
N° 100	0.149	74.0	50 – 85
N° 200	0.074	57.7	50 – 85

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N° 7. Curva granulométrica: Sub Rasante.

Interpretación:

Se logró establecer su clasificación SUCS como CL que es un tipo de suelo nombrado “Arcilla de baja plasticidad arenosa”, el cual tiene 0.5% de grava, 41.8% de arena, 57.7% de limos y arcillas. Tiene un 10.1% de humedad, presenta un límite líquido de 24.5%, límite plástico de 16.3%, y un índice de plasticidad de 8.2%.

En cuanto a la clasificación AASHTO, el área de estudio está conformada por un suelo fino, teniendo en cuenta que el porcentaje acumulado que pasa en su tamiz No. 200 es mayor al 35% (57.7); y para terreno de fundación: Regular a malo.

Tabla N° 7 Clasificación de suelos. Método AASHTO.

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0.08 mm							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.08 mm				
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Análisis granulométrico												
% que pasa por el tamiz de:												
2 mm	máx. 50	máx. 50	mín. 50									
0.5 mm	máx. 30	máx. 25	máx. 10									
0.08 mm	máx. 15			máx. 35	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35
Límites Atterberg												
límite de líquido				máx. 40	mín. 40	máx. 40	mín. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	mín. 40	mín. 40
índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	mín. 10
											IP<LL-30	IP<LL-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo					

Fuente: AASHTO M 145

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Ensayo Próctor modificado

Mediante este ensayo se determinará la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo compacto.

3.3.2.1 Para el caso de la Base

Se obtuvo como resultados:

Densidad máxima (gr/cm³) : 2.207

Humedad óptima : 7.17

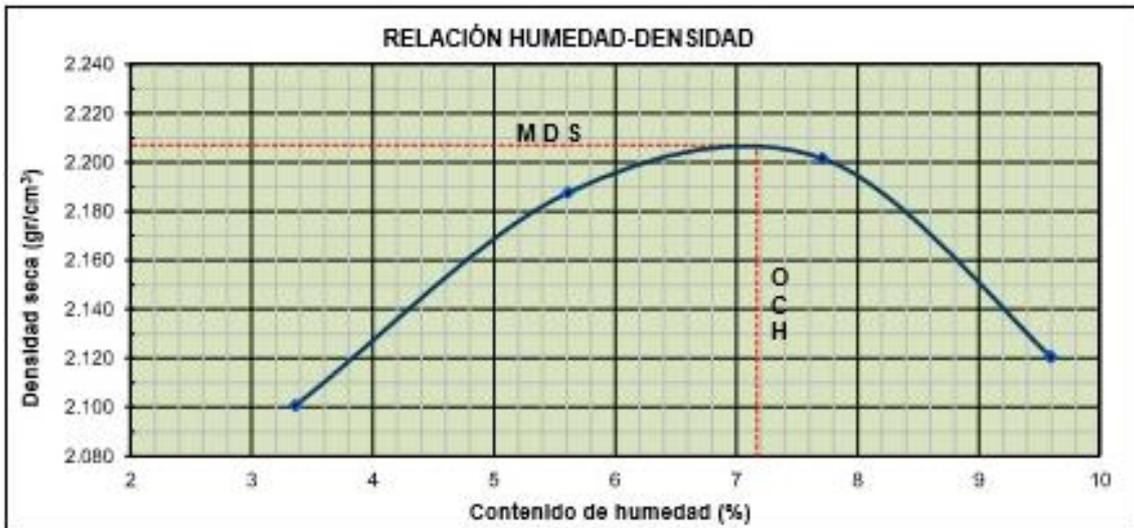


Imagen N° 8. Relación Humedad-Densidad: Base.

3.3.2.2 Para el caso de la Sub Base

Se obtuvo como resultados:

Densidad máxima (gr/cm³) : 2.247

Humedad óptima : 6.90

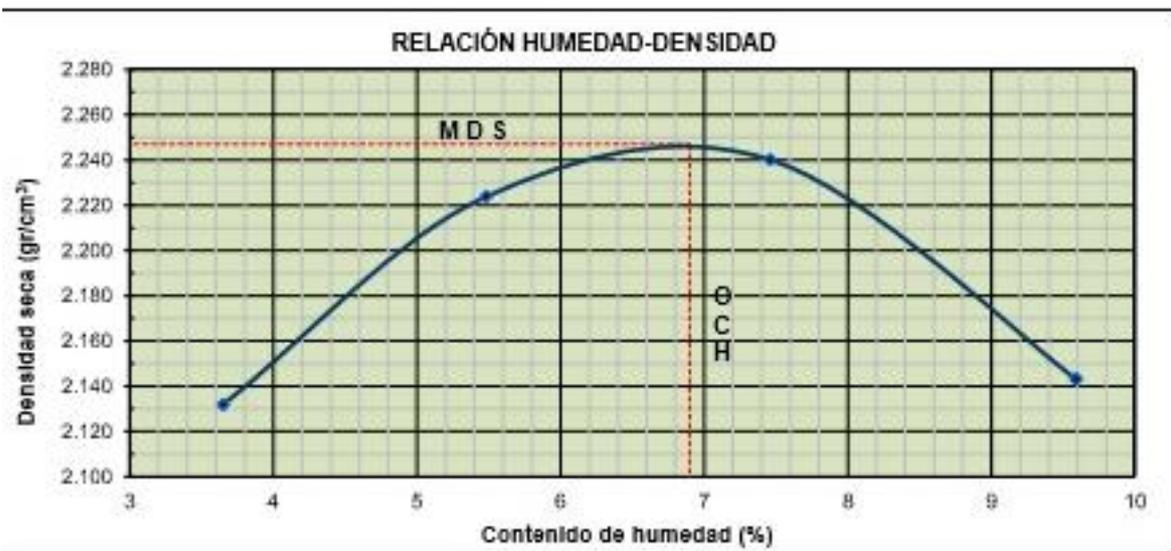


Imagen N° 9. Relación Humedad-Densidad: Sub Base.

3.3.2.3 Para el caso de la Sub Rasante

Se obtuvo como resultados:

Densidad máxima (gr/cm³) : 1.725

Humedad óptima : 12.10

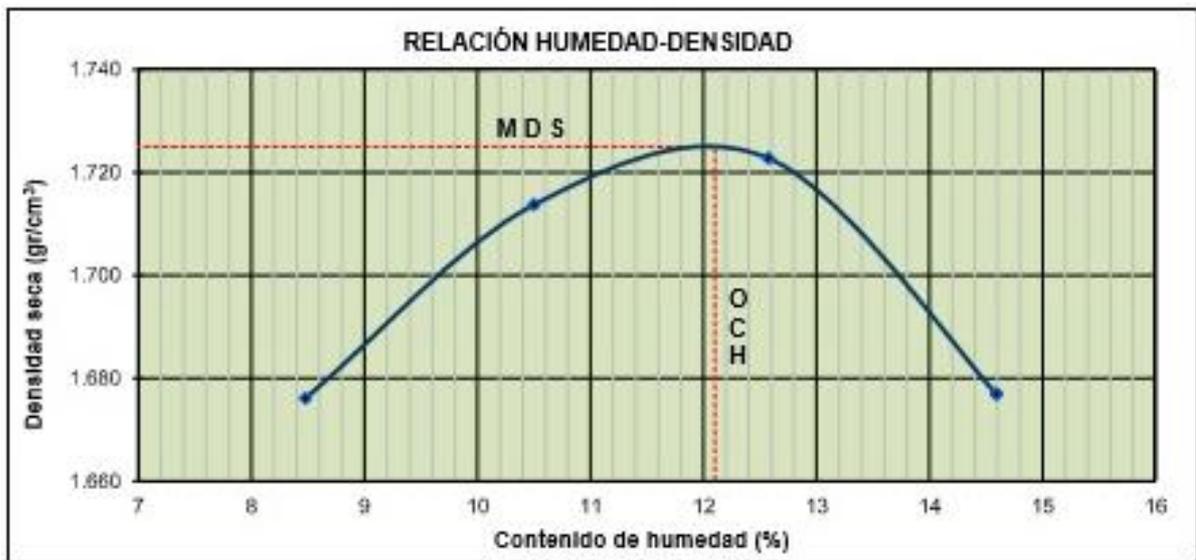


Imagen N° 10. Relación Humedad-Densidad: Sub rasante.

3.3.3 Ensayo de Valor Relativo C.B.R. – ASTM D1883

El objetivo del presente ensayo es determinar la máxima resistencia de un suelo que está sometido a esfuerzos cortantes, conjuntamente evaluar la calidad relativa del suelo para ser empleado como sub-rasante, sub-base y base de pavimentos. Para el caso de la presente investigación de pavimentos flexibles le corresponde una penetración de 0.1 “ya un material compactado y saturado”.

3.3.3.1 Para el caso de la Base

Se obtuvo como resultados:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (Máxima Densidad Seca) % : 55.1

C.B.R. al 100% de M.D.S. (Máxima Densidad Seca) % : 47.3

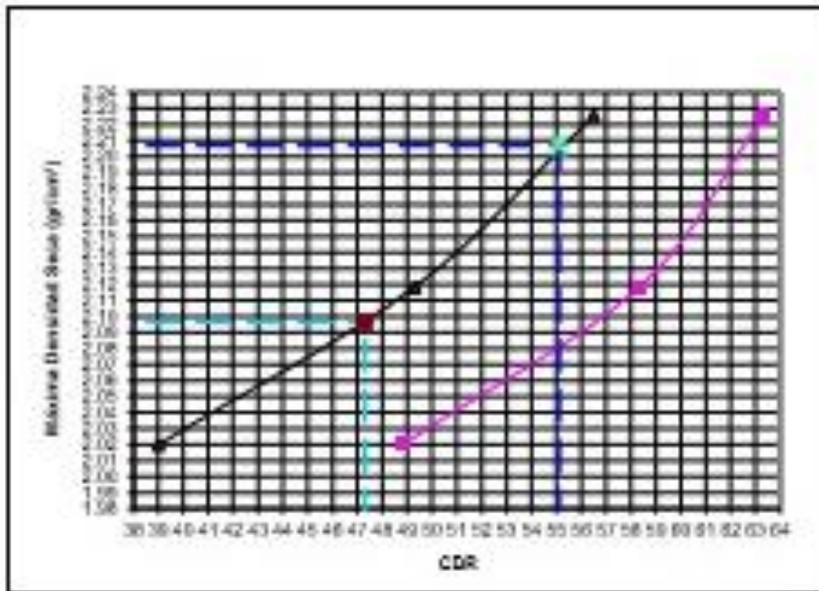


Imagen N° 11. CBR: base.

3.3.3.2 Para el caso de la Sub Base

Se obtuvo como resultados:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (Máxima Densidad Seca) % : 49.1
 C.B.R. al 100% de M.D.S. (Máxima Densidad Seca) % : 41.1

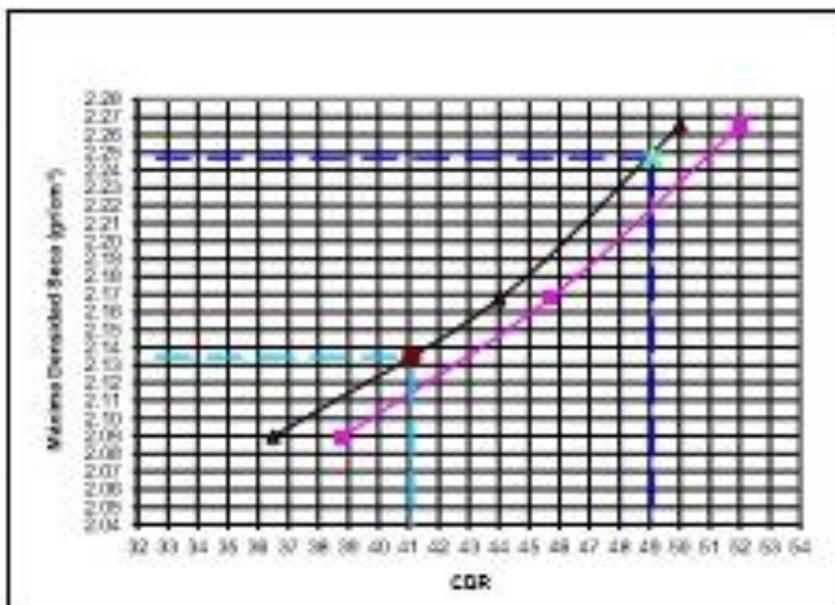


Imagen N° 12. CBR: Sub base.

3.3.3.3 Para el caso de la Sub Rasante

Se obtuvo como resultados:

C.B.R. al 100% de M.D.S. (Máxima Densidad Seca) %: 14.2

C.B.R. al 100% de M.D.S. (Máxima Densidad Seca) %: 11.3

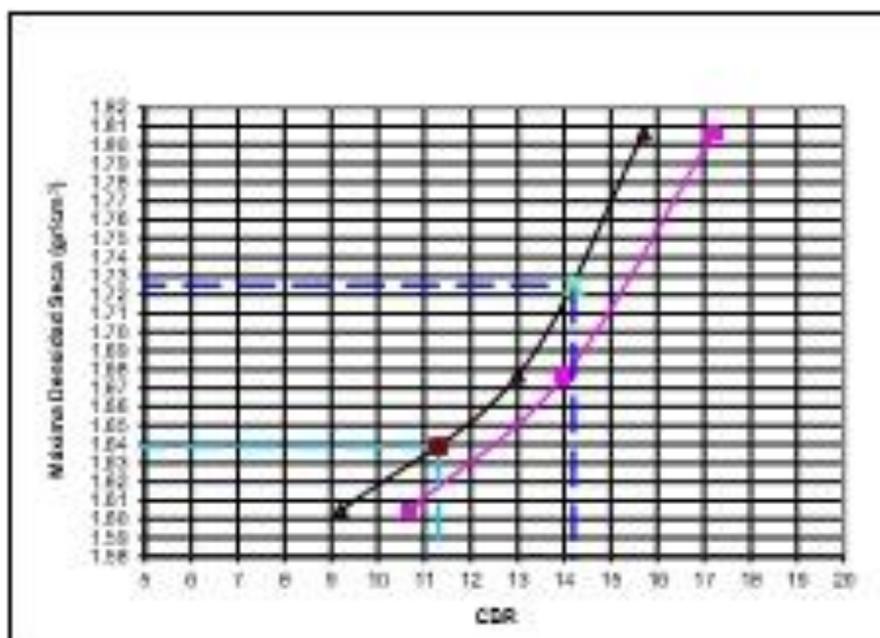


Imagen N° 13. CBR: Sub rasante.

Tabla N° 8 Resumen del afirmado según profundidad

CLASIFICACIÓN	PROFUNDIDAD		
	BASE	SUB BASE	SUB RASANTE
AASHTO	A-1-a	A-1-a	A-4 (2)
SUCS	GP GM	GM	CL
DESCRIPCIÓN	Grava mail griadada con limo con arena	Grava limosa con arena	Arcilla de baja plasticidad arenosa

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Metodología de diseño AASHTO 93

Para este trabajo se ha escogido el Método AASHTO 1993 ya que fue perfeccionado en función del rendimiento del pavimento, las cargas vehiculares y la resistencia de la subrasante para el dimensionamiento de los espesores de la sección del pavimento flexible, para inmediatamente emplear el factor de aporte que nos da la geomalla biaxial.

Es por ello que necesitamos los siguientes parámetros:

ESAL : 3.10E+07 Proporcionado por la Municipalidad Distrital de Lince.

CBR : 11.3 % Realizado en el laboratorio de estudio de suelos GMIG Ingenieros.

Módulo Resiliente Subrasante (Psi) : 21605.43 Este resultado es obtenido de acuerdo

al MTC y AASHTO 1993

$$\text{Ecuación: } M_r = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

Tabla N° 9. Módulo resiliente obtenido por correlación con CBR

CBR% SUB RASANTE	MÓDULO RESILENTE SUB RASANTE (M _r) (PSI)	MÓDULO RESILENTE SUB RASANTE (M _r) (MPA)	CBR% SUB RASANTE	MÓDULO RESILENTE SUB RASANTE (M _r) (PSI)	MÓDULO RESILENTE SUB RASANTE (M _r) (MPA)
6	8,043.00	55.45	19	16,819.00	115.96
7	8,877.00	61.20	20	17,380.00	119.83
8	9,669.00	66.67	21	17,931.00	123.63
9	10,426.00	71.88	22	18,473.00	127.37
10	11,153.00	76.90	23	19,006.00	131.04
11	11,854.00	81.73	24	19,531.00	134.66
12	12,533.00	86.41	25	20,048.00	138.23
13	13,192.00	90.96	26	20,558.00	141.74
14	13,833.00	95.38	27	21,060.00	145.20
15	14,457.00	99.68	28	21,556.00	148.62
16	15,067.00	103.88	29	22,046.00	152.00
17	15,663.00	107.99	30	22,529.00	155.33
18	16,247.00	112.02			

Fuente: Manual de carreteras (MTC, 2014)

3.5 Análisis de la influencia aplicación de geosintéticos en el espesor del pavimento

Siguiendo el Manual AASHTO, 2000 para el uso de geosintéticos.

Tabla N° 10 Aplicabilidad o no del uso de geosintéticos.

Condiciones de Diseño de la vía		Tipo de Geosintético a ser usado					
Subrasante	Espesor de Base/Subbase	Geotextil		Geomalla		Geocompuesto (Geotextil-Geomalla)	
		No Tejido	Tejido	Extruida	Tejida	Base de granulometría abierta	Base bien gradada
Baja (CBR < 3)	150 – 300	NT ⁴	1	1	4	1	NT ⁵
	> 300	NT ⁴	NT ⁴	3	3	3	NT ⁵
Moderada (3 < CBR < 8)	150 – 300	NT ⁶	3	1	4	1	NT ⁵
	> 300	NT ⁶	NT ⁶	NT ⁷	4	4	NT ⁵
Firme (CBR > 8)	150 – 300	2	2	3	4	4	NT ⁵
	> 300	2	2	2	2	2	NT ⁵

Fuente: AASTHO, 2000.

En este ítem, al tener un CBR mayor a 8 y tener una sección con grosor entre 30 cm de base se optaría por la geomalla.

Es por ello que en este trabajo de estudio se utilizará la Geomalla TG BX3030 proporcionado por la Empresa Cidelsa.

Tabla N° 11 Especificaciones técnicas de la Geomalla TG BX3030

PROPIEDADES	NORMA	VALORES MD ¹	VALORES XMD ¹
FÍSICAS			
Polímero	Polipropileno		
Tamaño de Abertura ²	mm	38	39
Espesor mínimo de costillas (resina) ²	mm	2	1
MECÁNICAS			
Resistencia a la tensión al 2% de elongación	kN/m	10.5	10.5
Resistencia a la tensión al 5% de elongación	kN/m	21	21
Resistencia a la tensión última ³	kN/m	30	30
Eficiencia de juntas ⁴	%	95	
Rígidez flexural ⁵	mg-cm	3,930,000	
Estabilidad de abertura ⁶	m-N/deg	1.43	
DURABILIDAD			
Resistencia a la degradación a largo plazo ⁷	%	100	
Resistencia a la degradación UV ⁵	%	100	
PRESENTACIÓN			
Rollos: Ancho x Largo	mm	3.95	50
Área: 197.50 m ²	m ²	197.5	

Fuente: Cidelsa.

Estas tipologías del material están administradas con respecto a resistencia real de elongación ASTM D6637-01, resistencia a la fuerza de flexión ASTM D7748 y con la metodología del U.S. Army Corps of Engineers para la medición de la rigidez torsional. En adelante se trabajará para la estimación del Numero Estructural por medio del método AASTHO y la preludeo del Layer Coefficient Ratio (LCR) de la geomalla biaxial TENAX, el cual cuantifica la contribución estructural de la geomalla a la estructura del pavimento.

Este factor LCR se halló por medio de un ensayo a escala real de una estructura reforzada con geomalla biaxial, las conclusiones y resultados de esta fueron obtenidos mediante el análisis de una estructura de pavimento con secciones fortificadas y no reforzadas, las variables que se estudiaron fueron: Resistencia de la subrasante (CBR), espesor de la capa, tipo de geosintético y numero de ejes equivalentes (ESAL). Este ensayo de laboratorio se hizo en una vía análoga a un semi-ovalado como se muestra en la Figura No.2.

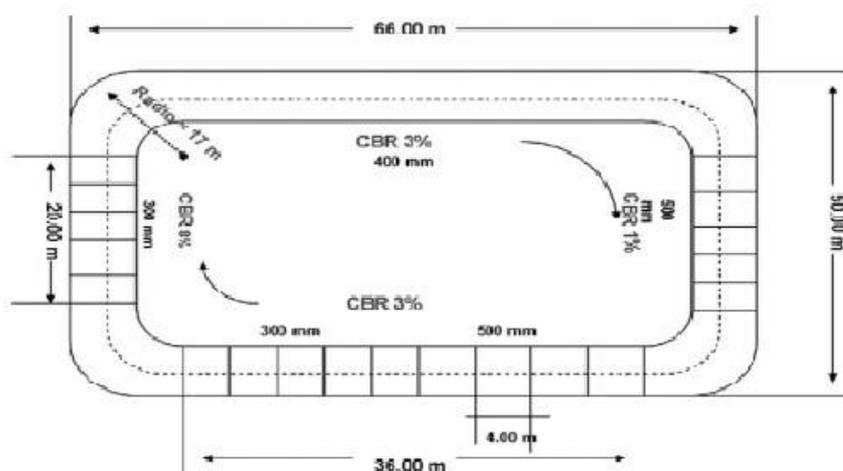


Figura 5. Vista en planta de la sección típica de la vía utilizada en el ensayo.

Fuente: Cidelsa

Para estudiar diversas condiciones se trabajó con diferentes valores de CBR en la subrasante (1%, 3%, 8%), el vehículo utilizado en el ensayo seguía un camino definido pasando por más de 56 secciones diferentes entre fortalecidas y no reforzadas.

En la Figura No. 3 se exponen las iso-deformaciones las cuales muestran un incremento en la vida productiva (en términos del incremento del número de pasadas) de la vía con una estructura fortalecida al instalarse una geomalla.

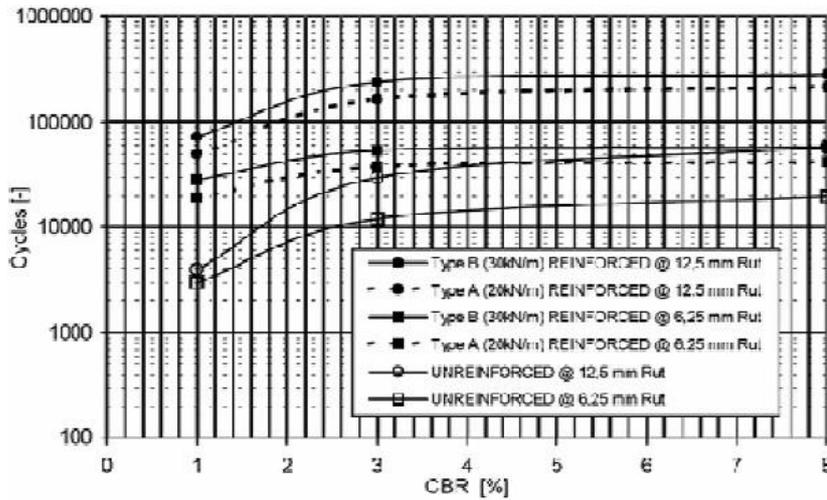


Figura 6. CBR vs Número de ciclos en secciones reforzadas y no reforzadas.

Fuente: Cidelsa

En la Figura No. 4 se valora las curvas de Traffic Improvement Ratio (mejoramiento del índice de tráfico) resultantes de las geomallas TENAX definidas principalmente en la Figura No. 2 el TIF (Traffic Improvement Ratio) es la proporción de números de ciclos de carga, en secciones fortalecidas y no reforzadas fijadas en el fondo de la vía. El TIF para periodo de diseños largos aumenta de forma considerable los valores del CBR y números estructurales bajos.

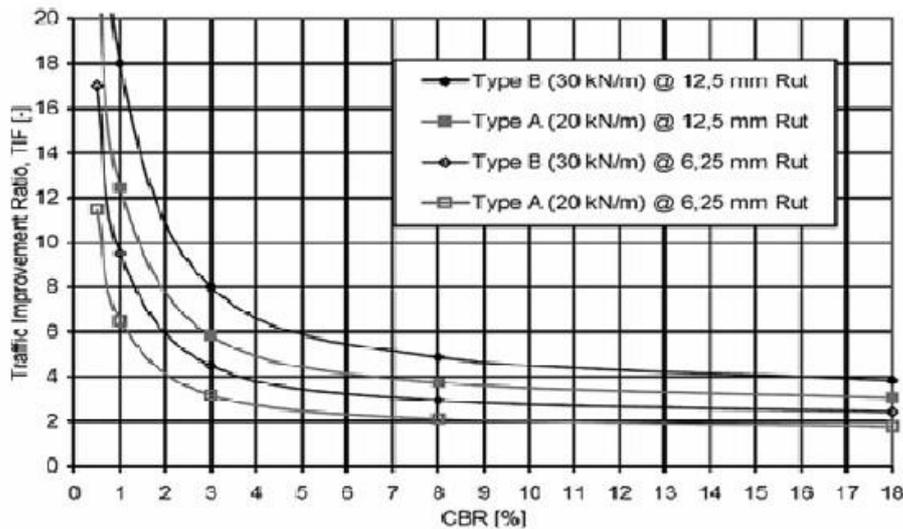


Figura 7. Incremento del factor de Tráfico vs CBR para 2 profundidades de ahuellamiento.

Fuente: Cidelsa.

A partir de ello nos da el factor LCR el cual pondera lo que contribuye la geomalla a la estructura del pavimento de acuerdo al CBR de la subrasante como se exhibe en la Figura No. 5 tomando dos tipos de geomalla.

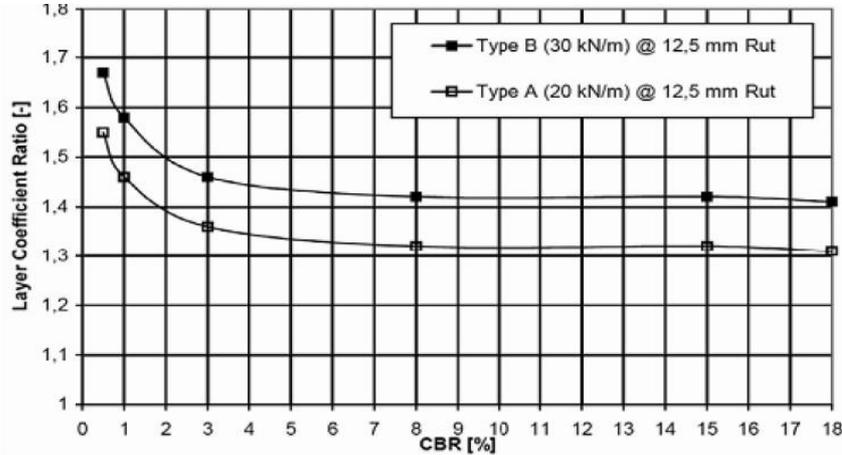


Figura 8. LCR vs CBR de la subrasante.

Fuente: Cidelsa

3.5.1 Verificación del tráfico de diseño

De acuerdo a un estudio que se hizo en la Municipalidad distrital de Lince respecto al tráfico de diseño se obtuvo: ESAL: $3.10E+07$

Debido a que estamos trabajando con el factor LCR y con una geomalla TENAX el tráfico de diseño ESAL al utilizar será el mismo ya que nos centraremos en la disminución del espesor para que soporte la misma cantidad de ESAL del diseño tradicional.

3.5.2 Variación en las características de la subrasante

Siguiendo el Método AASHTO para diseño de pavimentos con geosintéticos se usará como dato de entrada el CBR de 28.1% del pavimento no reforzado.

Mediante el cual el CBR de la subrasante mejorada se obtiene el Layer Coefficient Ratio (LCR) el cual cuantifica lo que contribuye la geomalla a la estructura del pavimento.

El incremento en el módulo de la base significa que esta también ayudará a una mejor distribución de carga sobre la subrasante.

Las tensiones de corte que por lo general transmite el material de la base a la subrasante serán ahora absorbidas por la geomalla. Además, se reducen las tensiones verticales, entonces el estado tensional de la subrasante es reducido.

Tabla N° 12 Variación de la subrasante con geomalla

Variación de las características de la subrasante
Mediante el LCR cuantifica lo que contribuye la geomalla a la estructura
Mejor distribución de carga
Mejor estado tensional de la subrasante es reducido

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.3 Método AASHTO para pavimentos flexibles reforzados

Aquí la metodología de diseño paso a paso para valoración del número estructural requerido y el diseño de la estructura manejando las ecuaciones del método AASHTO para pavimento flexibles y la introducción del LCR de la geomalla biaxial.

La contribución estructural de una geomalla TENAX en un sistema de pavimento flexible puede cuantificarse, incrementando el esfuerzo del coeficiente de la capa base de la vía. Haciendo una modificación de la ecuación tradicional del numero estructural (SN).

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \dots\dots\dots (1)$$

Se convierte en:

$$SN = a_1D_1 + a_2LCRD_2m_2 + a_3D_3m_3 \dots\dots\dots (2)$$

Donde LCR tiene un valor superior a uno. Este valor es determinado basándose en los resultados de laboratorio y en pruebas de campo con y sin utilización de geomallas.

SNr (número estructural de la sección reforzada) y SNu (número estructural de la sección no reforzada)

$$LCR = \frac{SNr - SNu}{a_2D_2} + 1 \dots\dots\dots (3)$$

Basándonos en la ecuación podemos alcanzar el valor de LCR, observándose el valor del LCR y la contribución estructural de la geomalla.

La reducción del espesor de la base con el uso de una geomalla se puede obtener con la siguiente ecuación, asumiendo que no existe una capa sub-base.

$$D2 = \frac{SNr - a1D1m2}{LCRa2m2} \dots\dots\dots (4)$$

Tabla N° 13 Coeficientes estructurales para diseño de pavimento con geomalla

Capa	CBR (%)	Modulo elástico (psi)	Coefficiente Estructural
Carpeta asfáltica	-	400 000	0.44
Base granular	100 %	30000	0.14
Sub Base Granular	40%	17000	0.12

Fuente: AASTHO

A la vez insertamos los grosores de la carpeta y sub-base las cuales no serán rectificadas y el CBR % de la subrasante mejorada se obtiene el LCR el cual es el responsable de cuantificar la contribución estructural de la geomalla a la estructura del pavimento.

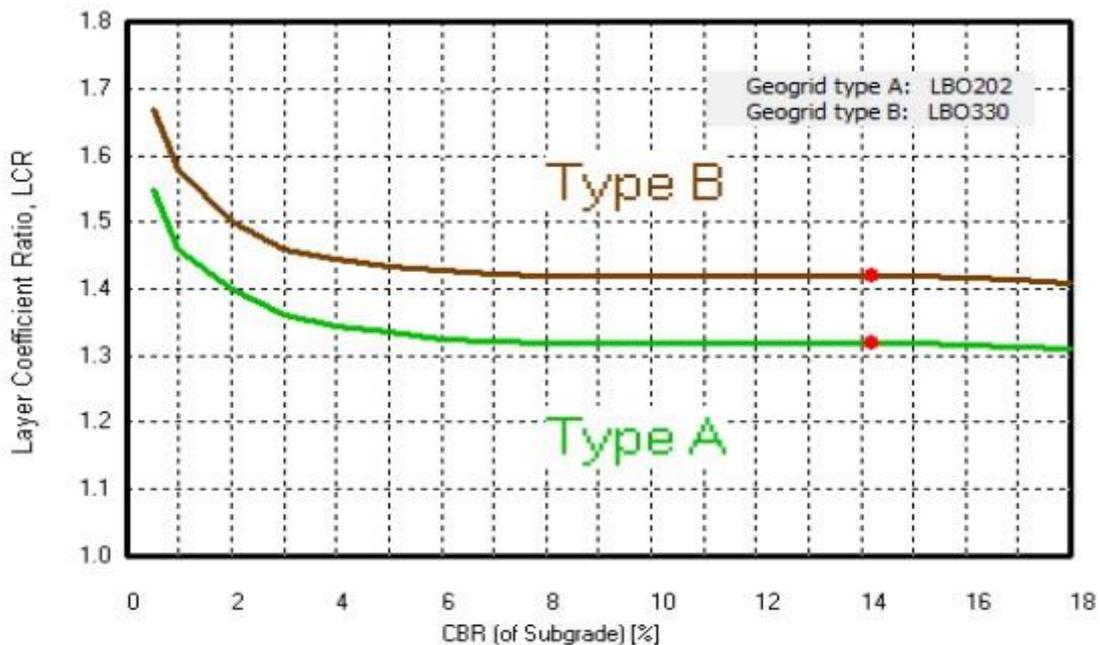


Figura 9. Resultado del LCR vs CBR de subrasante

Fuente: Elaboración propia.

Con nuestro CBR % de nuestra subrasante mejorada tenemos un LCR de 1.42 para una geomalla biaxial de 30 KN/m y un LCR de 1.32 para una de 20KN/m.

Con el cálculo realizado, se consigue un grosor de base granular de 29 cm (constructivamente 30 cm) mientras que utilizando una geomalla biaxial de 30 KN/m reducimos a 20.4 cm (constructivamente 20 cm).

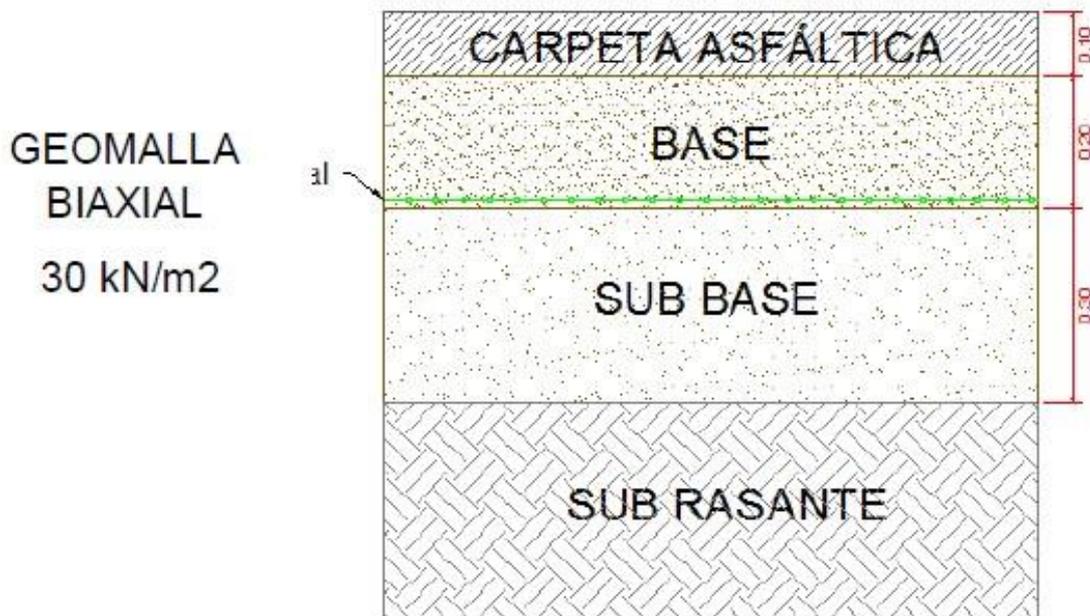


Figura 10. Sección de Diseño con Geomallas

Fuente: Elaboración propia.

Aquí hay una tabla donde se puede apreciar el porcentaje de reducción del espesor de base con refuerzo de una geomalla de 30KN/m respecto a una estructura sin refuerzo.

Tabla N° 14 Porcentaje de Reducción de espesores aplicando geomallas

CBR (%)	Espesor Base sin reforzar (cm)	Espesor Base con Geomalla BX30 (cm)	Reducción (%)
2	90.6	61.5	32.1
4	72.7	50.3	30.8
6	62.9	43.9	30.2
8	56.2	39.4	29.9
10	51.1	36	29.5
12	47.1	35.7	24.2
14	43.7	30.8	29.5
16	40.8	28.7	29.7
18	38.3	27	29.5
20	36	25.4	29.4
22	34	24	29.4
24	32.2	22.7	29.5
26	30.5	21.5	29.5
28	29	20.4	29.7
30	27.6	19.4	29.7

Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Comparación de espesores con aplicación de geomallas

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Análisis de influencia de la aplicación de geosintéticos en el mantenimiento y/o reparación de pavimento.

3.5.4.1 Verificación del período de diseño

Siguiendo el Método AASHTO para pavimentos flexibles fortificados AASHTO R-50 (2010) – GMA White Paper II (2000), es el mismo periodo de diseño que se aprovecha ya que se busca que el pavimento reforzado disminuya el grosor de la base más no las características de proyección.

3.5.4.2 Serviciabilidad

Siguiendo el Método AASHTO para pavimentos flexibles reforzados AASHTO R-50 (2010) – GMA White Paper II (2000), es la misma serviciabilidad que se emplea ya que se busca que el pavimento reforzado disminuya el espesor de la base mas no las tipologías de proyección, aunque se ha visto que los pavimentos reforzados tienen una mejor serviciabilidad, esto es debido a la interacción (trabazón) que existe entre el agregado y la geomalla lo que da lugar a mecanismos de refuerzo:

- Confinamiento lateral
- Mejoramiento de la capacidad portante
- Membrana tensionada

3.5.4.3 Fallas

En la edición interina, de fecha Abril 2001, AASTHO PP 46-01 titulado “Práctica sugerida para el refuerzo con geosintéticos de la capa de Base de la estructura del pavimento flexible”, este documento muestra que los diseñadores que deseen proveer soporte estructural a las cargas de tráfico a lo largo de la vida productiva de la estructura de su pavimento, el geosintético proporciona uno o dos de los consiguientes beneficios:

- Mejorar o amplificar la vida productiva o de servicio de un pavimento.
- Reducción del espesor del pavimento para una vida específica.

Es por eso que se ha visto que al haber un sobresaliente procedimiento del estrato Base si existiera fallas en algunos casos solo se tendría que remozar la carpeta asfáltica.

3.5.5. Análisis de influencia de la aplicación de geosintéticos en el factor económico del pavimento

3.5.5.1 Cálculo de materiales a utilizar.

Para determinar la variación de cantidad de material que se empleó en esta investigación (capa Base de la estructura de pavimento) se comparó entre un diseño tradicional de la AASHTO 93 y otro que es un diseño con refuerzo de geomallas AASTHO R 50 y GMA White Paper.

Diseño tradicional

Según el Método AASHTO 93, se logró el espesor de la capa base 0.30m, por ello es inevitable este volumen de material mencionado en la siguiente tabla.

Tabla N° 15 Material para la capa Base

BASE GRANULAR	
ESPESOR	0.3 m
AREA	4800 m ²
VOLUMEN	1440 m ³
VOLUMEN + FACTOR COIMP.	1872 m³
PRECIO POR M ³	S/. 40.67
PRECIO TOTAL	S/. 76,134.24

Fuente: Elaboración propia.

Diseño con refuerzo de geomallas

Según el Método AASTHO R 50 y GMA White paper, se obtuvo el espesor de la capa base 0.20m, por ello es necesario este volumen de material granular y la Geomallas BX 30 mencionado en la siguiente tabla.

Tabla N° 16 Cantidad material para la capa Base-Diseño con refuerzo de geomallas

BASE GRANULAR	
ESPESOR	0.2 m
AREA	4800 m2
VOLUMEN	960 m3
VOLUMEN + FACTOR COMP.	1248 m3
PRECIO POR M3	S/. 40.67
PRECIO TOTAL	S/. 50,756.16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 17 Cantidad de material de Geomallas para la Capa Base-Diseño con refuerzo

GEOMALLA TG BX3030	
AREA	4800 m2
DESPERDICIOS (5%)	240 m2
AREA + DESPERDICIO	5040 m2
PRECIO POR M2	S/. 4.34
PRECIO TOTAL	S/. 21,873.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 18 Precio total para capa Base-Diseño con refuerzo

PRECIO PARA DISEÑO REFORZADO	
BASE GRANULAR	S/. 50,756.16
(AFIRMADO)	
GEOMALLA TG BX3030	S/. 21,873.60
TOTAL	S/. 72,629.76

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 19 Cuadro resumen de precio de material

PRECIO DE MATERIALES PARA LA CAPA BASE		
MATERIAL	DISEÑO TRADICIONAL	DISEÑO CON GEOMALLA
BASE GRANULAR	S/. 76,134.24	S/. 50,756.16
GEOMALLA	-	S/. 21,873.60
TGBX3030		
TOTAL	S/. 76,134.24	S/. 72,629.76
DISMINUCIÓN DE COSTO		S/. 3,504.48
PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN (%)		4.60%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados evidencian que la rebaja en costo de material a utilizar son S/.3,504.48 lo corresponde a un 4.60%, esto es debido a que la aplicación de los geosintéticos dio un componente de reforzamiento a la capa base y este pudo disminuir su espesor.

3.5.5.2. Variación de costos en el proceso constructivo

Debido a la mengua del espesor del pavimento, nos damos cuenta que habría una variación en las partidas de movimiento de tierras y la puesta del material granular, como lo es:

- Excavación de terreno a nivel de subrasante
- Base Granular
- Eliminación del material excedente

Diseño tradicional Método AASTHO 93

Según el Método AASHTO 93, se obtuvo el espesor de la capa base 0.30m, por ello va a haber una variación en las siguientes partidas especificadas en la Fig. 9.

03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				153,515.52
03.01	EXCAVACION HASTA SUBRASANTE MAT. SUELTO C/ TRACTOR 140-160HP	m3	2,880.00	8.31	23,932.80
03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE EN PISTAS	m2	4,800.00	3.30	15,840.00
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE C/ VOLQ. 15 M3 D=10 KM.	m3	3,744.00	30.38	113,742.72
04	PAVIMENTO FLEXIBLE				456,096.00
04.01	SUB BASE GRANULAR E=0.30 C/MAQUINARIA	m2	4,800.00	23.67	113,616.00
04.02	BASE GRANULAR E=0.30m C/MAQUINARIA	m2	4,800.00	25.55	122,640.00
04.03	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	4,800.00	3.39	16,272.00
04.04	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 4"	m2	4,800.00	42.41	203,568.00

Figura 12. Partidas implicadas en el presupuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 20 Costo total de las partidas implicadas en el diseño tradicional

PARTIDAS IMPLICADAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL DISEÑO TRADICIONAL				
DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PRECIO	PARCIAL
EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	2880		23,932.80
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	3744	30.38	113,742.72
BASE GRANULAR E=0.30m	m2	4800	25.55	122,640.00
SUB TOTAL				260,315.52
IGV (18%)				46856.79
TOTAL				S/. 307,172.31

Fuente: Elaboración propia.

Diseño con refuerzo de geomallas

Según el Método AASTHO R 50 y GMA White paper, se obtuvo el espesor de la capa base 0.20m, por ello va a haber una variación en las siguientes partidas especificadas donde se adiciona la partida de suministro e instalación de Geomallas TG BX 3030 como se especifica en la Fig. 20.

03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				130,569.60
03.01	EXCAVACION HASTA SUBRASANTE MAT. SUELTO C/ TRACTOR 140-160HP	m3	2,400.00	8.31	19,944.00
03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE EN PISTAS	m2	4,800.00	3.30	15,840.00
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE C/ VOLQ. 15 M3 D=10 KM.	m3	3,120.00	30.38	94,785.60
04	PAVIMENTO FLEXIBLE				454,320.00
04.01	SUB BASE GRANULAR E=0.30 C/MAQUINARIA	m2	4,800.00	23.67	113,616.00
04.02	BASE GRANULAR E=0.20m C/MAQUINARIA	m2	4,800.00	19.71	94,608.00
04.03	SUM. E INST. DE GEOMALLAS	m2	4,800.00	5.47	26,256.00
04.04	IMPRIMACIÓN ASFALTICA	m2	4,800.00	3.39	16,272.00
04.05	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 4"	m2	4,800.00	42.41	203,568.00

Figura 13. Partidas implicadas en el presupuesto nuevo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 21 Costo total de las partidas implicadas en el diseño con Geomallas

PARTIDAS IMPLICADAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL DISEÑO CON GEOMALLA TG BX3030				
DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PRECIO	PARCIAL
EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	m3	2400	8.31	19,944.00
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	3120	30.38	94,785.60
SUME INST. DE GEOMALLAS	m2	4800	5.47	26,256.00
BASE GRANULAR E=0.30m	m2	4800	19.71	94,608.00
SUB TOTAL				235,593.60
IGV (18%)				42,406.85
TOTAL				S/. 278,000.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 22 Cuadro de resumen total de las partidas implicadas en el diseño con geomallas

PARTIDAS IMPLICADAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL DISEÑO CON GEOMALLA TG BX3030		
	DISEÑO TRADICIONAL	DISEÑO CON GEOMALLA
EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO HASTA NIVEL DE SUBRASANTE	23,932.80	19,944.00
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	113,742.72	94,785.60
SUM. E INST. DE GEOMALLAS	-	26,256.00
BASE GRANULAR	122,640.00	94,608.00
SUB TOTAL	260,315.52	235,593.60
IGV (18%)	46,856.79	42,406.85
TOTAL	S/. 307,172.31	S/. 278,000.45
VARIACION DE COSTO		S/. 29,171.87
PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)		9.50%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados exponen que hay una disminución en la sumatoria de costos en algunas partidas del proceso constructivo lo que da un total de S/. 29,171.87 equivalente a un 9.50% del costo total de las partidas implicadas del diseño de un pavimento tradicional según AASHTO 93, esto es debido a la disminución del espesor de la capa Base gracias al reforzamiento con las Geomallas TG BX 3030.

3.5.5.3. Variación del tiempo de ejecución

Diseño tradicional Método AASTHO 93

Tabla N° 23 Tiempo de ejecución de partidas implicadas - Diseño tradicional

TIEMPO DE EJECUCIÓN EN LAS PARTIDAS IMPLICADAS - DISEÑO				
TRADICIONAL				
DESCRIPCIÓN	UND	RENDIMIENTO	METRADO	Cantidad
Excavación de material suelto hasta nivel de subrasante	m3/DI	180	2880	16 DIAS
Eliminación de material excedente	A			
	m3/DI	450	3744	8. 32 DIAS
	A			
Base granular E=0.30m	m2/DI	500	4800	9. 6 DIAS
	A			
TOTAL DIAS				34 DIAS
DIAS DE EJECUCIÓN CONTINUA				26 DIAS

Fuente: Elaboración propia.

Diseño con refuerzo de geomallas

Tabla N° 24 Tiempo de ejecución de partidas implicadas - Diseño con geomallas

TIEMPO DE EJECUCIÓN EN LAS PARTIDAS IMPLICADAS - DISEÑO				
CON GEOMALLAS				
Descripción	Und.	Rendimiento	Metrado	Cantidad (Días)
Excavación de material suelto hasta nivel de subrasante	m3/DIA	180	2400	13.33333333
Eliminación de material excedente	m3/DIA	450	3120	6.933333333
Sum. E inst. de geomallas	m2/DIA	600	4800	8 DIAS
Base granular E=0.30m	m2/DIA	530	4800	9.056603774
TOTAL DIAS				38 DIAS
DIAS DE EJECUCIÓN CONTINUA				24 DIAS

Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

H1: “La aplicación de geosintéticos influye en el espesor del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018”

En la investigación de Jordan y Suárez “Diseño de pavimentos flexibles con el uso de geosintéticos como refuerzo aplicado en las vías de acceso a la ciudadela La Milina del Cantón Salinas” (2017). El estudio determinó la utilización de esta tecnología se expresa una reducción característica de los espesores de las capas de la estructura del pavimento flexible. En la presente investigación se verificó la influencia de la aplicación de geosintéticos en el diseño de pavimentos del sector 4 Lince, al ser un suelo tener un CBR de la subrasante de 28.1% (bueno) y un ESAL de $3.10E+07$ que se obtuvo, es ajustable el uso de las geomallas en este caso se utilizó Geomallas TG B X 3030 en la cual su función fue la de reducir el espesor de la base y mantener las propiedades físicas y mecánicas de esta ya que se solicita resistir el mismo tráfico de diseño. Para obtener los resultados requeridos se utilizó la metodología AASTHO R-50 aplicando el Factor LCR (Layer Coefficient Ratio) con respecto a ello se consiguió en el aspecto constructivo una reducción del grosor de base del 33.3%, comparado con el diseño tradicional AASTHO 93.

H2: “La aplicación de geosintéticos influye en el refuerzo del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018”

Beltrán, “Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la Carrera 7 Estación Transmilenio Museo Nacional” (2013). En esta investigación se logró apreciar desde el punto de vista técnico, que los geosintéticos son un producto que ha permitido optimar los procesos de construcción y la vida útil del pavimento, tras perfeccionar la capacidad portante de la estructura de pavimento; en general, con el uso de dichos materiales, se han conseguido mantener en buenas condiciones las diversas obras de pavimentos, lo cual somete los tiempos en que las vías se tengan que volver a intervenir. Es primordial el uso de estos productos como refuerzo de pavimentos sobre estructuras antiguas. Para el caso de la presente investigación, con los resultados de los ensayos realizados utilizando la metodología AASTHO R-50 aplicando el Factor LCR (Layer Coefficient Ratio) consiguiéndose en el aspecto constructivo una reducción del espesor de base del 33.3%, además de conferir mayor durabilidad de la estructura del pavimento,

reduciendo la formación de huellas y fallas por esfuerzo cortante y asentamientos diferenciales en el pavimento.

H3: “La aplicación de geosintéticos influye positivamente en el aspecto económico del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.”

Orrego, (2014), efectuó la comparación del costo de material entre el diseño tradicional y el reforzado obteniendo, un aumento del 6.51% en la Av. auxiliar de la Panamericana sur y un 6.96% en la Av. Pedro Miotta esto es debido a que el estudio se hizo en el 2014 donde los precios de las geomallas estaban más elevados. A la vez, también hizo un análisis de costo de insumos y el de su colocación lo que generó una disminución del costo en 5.35% en la Av. Auxiliar de la Panamericana sur y un 5.70% en la Av. Pedro Miotta en comparación con el diseño tradicional de pavimento no reforzado. Esta información se pudo comprobar en la presente investigación, se observó que hubo una depreciación en el costo de los materiales a utilizar lo que es la base granular y la geomalla en 4.60% con respecto al diseño tradicional. Así como reducción en algunas partidas lo que ocasionó un menor costo del proceso constructivo en un 9.50% en comparación con el tradicional. Como un factor adicional el tiempo de ejecución se pudo disminuir en un 7.7%. Siendo así que los valores encontrados en la presente investigación en cuanto al costo de los materiales fueron mucho más insuperables a comparación de la investigación de Orrego.

V. CONCLUSIONES

- Respecto a la aplicabilidad de geomallas en el pavimento flexible del sector 4-Lince según AASTHO R-50 (2010) dio como resultado fortalecer la capa Base más no la subrasante ya que tiene un CBR firme. Por ello es adaptable el empleo de geomallas pues la estructura está proyectada a un tráfico de diseño alto, en cambio si fuese para un tráfico de diseño bajo no sería rentable ya que el costo a comparación del diseño tradicional sería más alto.
- La aplicación de geomallas en el flexible del sector 4-Lince interviene positivamente en la reducción del espesor del pavimento en un 33.3% conservando la resistencia del tráfico de diseño.
- Siguiendo la metodología AASTHO R-50, el pavimento reforzado con geomallas en el sector 4-Lince está diseñada para un mismo periodo de diseño y serviciabilidad que la de un diseño tradicional AASTHO 93, no obstante se sabe que con el uso de geomallas hay un mejor comportamiento de la estructura por lo cual las fallas que hay son de menor gravedad en muchos casos solo superficiales. Por ello el mantenimiento y/o reparación será menor al de los pavimentos tradicionales.
- Se determinó que la aplicación de geomallas para el refuerzo de la base de pavimentos favorece en el factor económico ya que se logró reducir en un 9.50% y se redujo el tiempo de ejecución de dichas partidas en un 7.7%.
- Definitivamente viendo el aspecto ambiental resulta beneficioso ya que hay un menor impacto ambiental al reducir las excavaciones y en general el movimiento de tierras puesto que, al utilizar el uso de geomallas genera una menor emisión de CO₂ de las maquinarias, el cual difiere aproximadamente en 0.5 toneladas.

VI. RECOMENDACIONES

- Ampliar la investigación realizando comparaciones entre el diseño de pavimento flexible tradicional y el nuevo diseño de pavimento flexible con geomallas entre la base y sub base.
- Se recomienda utilizar otros tipos de geomallas para reforzar el pavimento flexible.
- El análisis de las geomallas deben darse en los estratos de la sub rasante y la sub base, en suelos con baja capacidad portante para reducir los espesores las capas y aumentar las capacidades portantes de dicho suelo
- Se debe implementar por intermedio del Ministerio de Transportes y Comunicaciones al Manual de Carreteras, sección Suelos y Pavimentos (2014) la aplicación de geosintéticos en el diseño de pavimentos puesto que no se localiza mucha información, por lo que los proyectos se hacen con el diseño tradicional.
- Mayor capacitación del personal técnico en proyectos de diseño de pavimentos reforzados, para emplear esta tecnología, debido al beneficio que generaría por menor movimiento de tierras al tener un diseño con menor espesor de las capas.
- Por los beneficios que generan los geosintéticos, como una mayor vida productiva de la distribución lo que conlleva a un menor mantenimiento de la vía relacionado con el factor económico que resulta menor en todo el proceso constructivo; las empresas del rubro deben recomendar su uso.

VII. Referencias

- Angulo, R. & Duarte, J. (2005) *Modificación de un Asfalto con caucho reciclado de llanta para su Aplicación en Pavimentos*. Tesis (Titulo en Ingenia Química), Colombia: Universidad industrial de Santander.
- Camposano, J. & García, K.(2012) *Diagnóstico del estado situacional de la vía: Av. Argentina–Av. 24 de junio por el método: índice de condición de pavimentos-2012*.
- Castro, D., et al. (2012) *Propuesta de gestión de pavimentos para la ciudad de Piura*. 2012.
- Eggen, E. (2007) *Técnicas de investigación social*. Buenos Aires, Editorial Humanitats.
- Duque, C.(2015) *Instrumentación para el control de estabilidad y asentamientos como consecuencia del diseño de la estación Marly de la primera línea del metro de Bogotá*. Bogotá, 120 pp.
- Escobar, J., Gómez, H. & Santana, L.(2010) *Manual para el mantenimiento de carreteras*. Tesis (Ingeniero de pavimentos). Bogotá: Universidad militar Nueva Granada, 130 pp.
- Ferreyra, J.(2012) *Actividades de mantenimiento rutinario y periódico en una carretera del Perú*. Tesis (Maestría en Ingeniería Civil). Piura: Universidad de Piura. 66 pp.
- Fuentes, R. & Sánchez, E. (1989) *Algunas condiciones para la investigación científica de la comunicación en México*. ITESO,
- García, E. (2009) *Manual práctico de mejoramiento de caminos vecinales* [en línea]. Perú: Fondo Perú Alemania, [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2018].48 pp.
- Grahn, M.(2012) *Structural alalysis and design of concrete*.EE.UU:Chalmer University of Technology.77 pp. Disponible en <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/179657/179657.pdf>
- Health technical memorandum 61: Flooring [en línea]. EE.UU: Department of Health [Fecha de consulta: 14 de junio 2018],29 pp. Disponible en: <https://www.gov.uk/government/collections/health-technical-memorandum-disinfection-and-sterilization> ISBN: 971132269950
- Hernández, R, Fernández, C, Baptista, M. (2010) *Metodología de la investigación*. 5ª ed. México: McGraw- Hill Interamericana. 2010,565 pp. Disponible en https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
- Manual de carreteras de mantenimiento y conservación vial [en línea]. Lima: MTC, 2014 [Fecha de consulta: 7 de junio de 2018]. 660 pp. Disponible en:

[http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manual es/Manual%20de%20Carreteras%20Conservacion%20Vial%20a%20marzo%202014_digit_original_def.pdf](http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manual%20de%20Carreteras%20Conservacion%20Vial%20a%20marzo%202014_digit_original_def.pdf)

- Martínez, W.(2013) Red Vial de Nicaragua (Optimización y Mantenimiento). Nexo Revista Científica, 2013, vol. 26, no 1, p. 02-14.
- Mejía, I. et al. (2005). Factores que determinan el uso de geosintéticos en proyectos de pavimentación en Colombia. E-mail Educativo; Vol. 1 (2005): Tecnología y procesos de enseñanza aprendizaje 0123-4897.
- Mineros, C. & Rodríguez, J.(2004) *Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje*. 2004. Tesis Doctoral. Universidad de El Salvador
- Montejo, A.(2018) *Ingeniería de pavimentos T. 1: Fundamentos, estudios básicos y diseño*.
- Muir,D.(2018) Civil Engineering. [En línea]. EE.UU:Oxford,2012[Fecha de consulta: 24 de mayo de 2018] 137 pp. Disponible en: [https://global.oup.com/academic/product/civil-engineering-a-very-short-introduction-9780199578634?cc=pe&lang=en& ISBN: 978199578634](https://global.oup.com/academic/product/civil-engineering-a-very-short-introduction-9780199578634?cc=pe&lang=en&ISBN:978199578634)
- Rico, A. & Del Castillo, H. (2011) La Ingeniería de los suelos en las vías terrestres. México: LIMUSA.
- Rodríguez, E.(2009) *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla. Piura*. Tesis (Título de Ingeniero Civil), Perú: Universidad Nacional de Piura, 2009
- Rodríguez. R.(2011) *Modelo de Gestión de Conservación Vial para reducir los Costos de Mantenimiento Vial y Operación Vehicular en los Caminos Rurales de las Poblaciones de Riobamba, San Luis, Punín, Flores, Cebadas de la Provincia de Chimborazo*. Tesis (Maestría en Ingeniería Civil: Mención en vías terrestres). Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 165 pp.
- Sánchez, F. (2014) *Las cargas del tránsito automotor y su efecto sobre el comportamiento de los pavimentos flexibles*. Análisis de la situación existente en las carreteras colombianas a fines del siglo XX.
- Tafur, D. (2014) *Evaluación de la influencia de la granulometría en el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente*. Tesis (Título de Ingeniero Civil), Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2014.

- Trujillo, M.(2015). *Evaluación de la energía de fractura en mezclas asfálticas con caucho*. Tesis (Maestría en ingeniería), México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.
- Valeriano, W. & Catacora, A.(2014) *Comportamiento del diseño de mezcla asfáltica tibia, con adición de zeolita para la pavimentación de la ciudad de Juliaca*. Tesis (Título de Ingeniero Civil), Puno: Universidad Nacional del Altiplano,2014.
- Miravete, A. (2002) *Nuevos materiales y compuestos de la construcción*. Barcelona: Publicaciones digitales S.A. 2002. 284 pp. ISBN 8460508234.
- Manual Pavco. (2016) *Introducción a los geosintéticos*. 2da. Edición. México: Mexichem, . 22 pp

VIII. ANEXOS

Anexo 01: Tabla No. 24: Matriz de consistencia

Aplicación de geosintéticos para mejora de la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	TÉCNICAS INSTRUMENTOS ^E	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿En qué medida la aplicación de geosintéticos influye en la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar en qué medida la aplicación de geosintéticos influye en la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>La rehabilitación de la aplicación de geosintéticos influye en la durabilidad del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.</p>	<p>Aplicación de geosintéticos</p>	<p>Propiedades físicas</p>	<p>Observación directa.</p> <p>Ensayo de estabilidad y flujo.</p> <p>Ensayo de Marshall</p> <p>Ensayo de Ramcodes</p>	<p>Tipo de investigación Aplicado</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Nivel Explicativo</p> <p>Diseño Experimental: Pre Experimental con un solo grupo de pre y pos test.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>¿En qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el espesor del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018?</p> <p>¿En qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el refuerzo del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Determinar en qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el espesor del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.</p> <p>Determinar en qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el refuerzo del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>La aplicación de geosintéticos en influye en el espesor del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018</p> <p>La aplicación de geosintéticos influye en el refuerzo del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.</p>		<p>Propiedades mecánicas</p>		
				<p>Propiedades hidráulica</p>		

<p>¿En qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el aspecto económico del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018?</p>	<p>Determinar en qué medida la aplicación de geosintéticos influye en el aspecto económico del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.</p>	<p>La aplicación de geosintéticos influye positivamente en el aspecto económico del pavimento flexible en el sector 4 - Lince, 2018.</p>				
---	---	--	--	--	--	--

Anexo 02:

FICHA DE RECOPIACION DE DATOS				
PROYECTO				
AUTOR				
I INFORMACION GENERAL				P U N T A J E
UBICACIÓN:				
DISTRITO		ALTITUD		
PROVINCIA		LATITUD		
REGION		LONGITUD		
II SEPARACION				
Daño por instalacion		Tipo de geosintético		
Contaminacion de capas		Espesor de base/subbase		
Aumento de trafico pesado		Tipo de suelo		
III REFUERZO				
Capacidad portante		Tipo de geosintetico		
Confinamiento lateral		LCR		
AASHTO R-50				
IV DRENAJE				
Pendiente		Tipo de geosintetico		
Permeabilidad		Humedad		
Nivel Freatico		Tipo de suelo		
V ESPESOR DEL PAVIMENTO				
Trafico de diseño (EE)		AASHTO 93		
Características de la subrasante (CBR)		AASHTO R-50		
AASHTO 93 / AASHTO R-50		SN		
VI MANTENIMIENTO Y/O REPARACION				
Periodo de diseño		Deflectometría		
Serviciabilidad		IRI		
Fallas		Medida propuesta		
VII ECONOMICO				
Materiales		Valor referencial		
Proceso Constructivo				
Tiempo de ejecución		Personal técnico		
PROFESIONAL				
APELLIDOS Y NOMBRES				
PROFESION				
REGISTRO N°CIP				

Anexo 03:

Ficha de Especificaciones Técnicas en el correcto uso de Geosintéticos

Campos de Aplicación	Función				Geotextil PAVCO Sugerido
	Separación	Filtración	Drenaje en el Plano	Refuerzo	
Vías	✓	✓	✓	✓	NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000, T 1050, T 1400, T 1700, T 2400, TR 3000, TR 4000
Repavimentación					REPAV 400, REPAV 450
Ferrovías	✓	✓	✓	✓	NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000, T 2100, T 2400, TR 3000, TR 4000
Subdrenes	✓	✓	✓		NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000
Muros de Contención				✓	T 1400, T 1700, T 2100, T 2400, TR 3000, TR 4000
Terraplenes	✓			✓	NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000, T 1700, T 2100, T 2400, TR 3000, TR 4000
Gaviones	✓	✓			NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000
Muelles y Puentes	✓	✓			NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000
Presas, Diques y Canales	✓	✓			NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Túneles		✓	✓		NT 2000, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Rellenos Sanitarios y Embalses	✓		✓		NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Filtro para Bolsacretos	✓	✓			NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000

Fuente: Mexichem Soluciones Integrales

ENSAYO DE VALOR RELATIVO C.B.R. - ASTM D 1883

PROYECTO: APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LÍNCOS 2018
UBICACIÓN: LÍNCOS - LIMA
SOLICITANTE: ANTONIO OSCOR HERRERA
PROYECTIVA: SECTOR 4
CALICATA: SUBRASANTE MUESTRA: S-1 SUCC: CL FECHA: OCTUBRE-2018

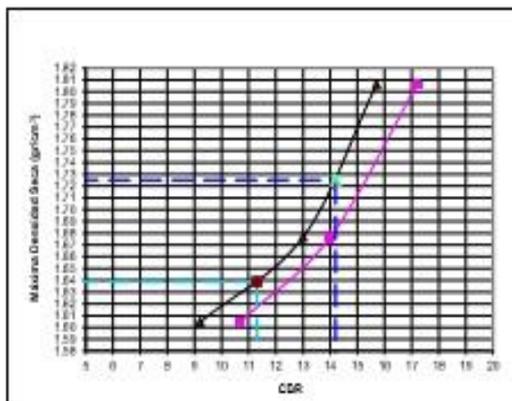
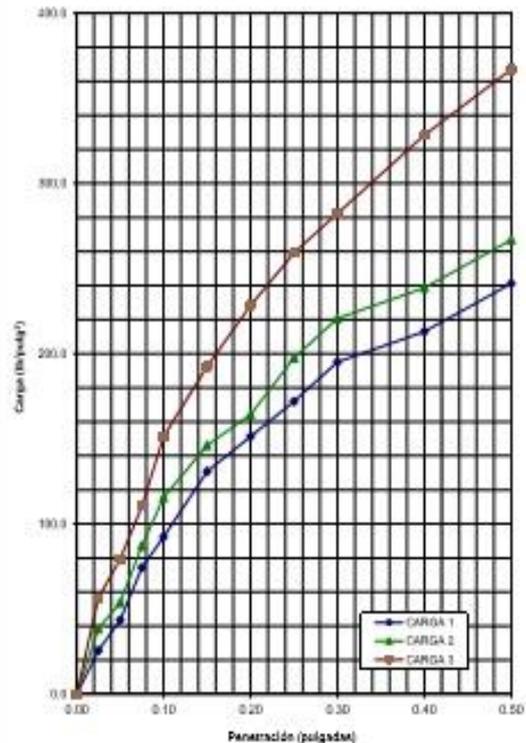
COMPACTACIÓN - C.B.R.

Número de Capas: 5						
ASTM D - 1557						
Wetación (moj) (gr)	2270.34	2235.95	2573.98			
N° Golpes	10	26	56			
Módulo	11	12	13			
Peso Suelo Hum+Módulo (gr)	898	879	929			
Peso Módulo (gr)	494	499	499			
Peso Suelo Humedo (gr)	404	429	429			
N° recipientes	3	3	3	3	3	3
P. suelo hum + recp (gr)	135.24	149.83	122.31	126.48	102.68	103.76
P. suelo seco + recp (gr)	97.23	99.20	109.05	113.21	92.81	93.18
Peso de agua (gr)	3.84	5.32	5.34	5.83	5.85	6.87
Peso de agua (%)	11.01	10.43	12.48	15.21	10.95	18.82
Peso Suelo seco	101.28	101.28	104.31	107.33	86.78	87.21
Humedad (%)	12.08	11.99	11.82	12.36	11.59	12.14
Humedad promedio (%)	11.82	12.14	11.98			
Dens. Humedad (gr/cc)	1.701	1.880	2.020			
Dens. seca (gr/cc)	1.684	1.877	1.900			

CAR. DEL ANILLO:			TAC. DEL ANILLO: 7.7			
N° Golpes	13	20	56			
N° MOLDE	11	T2	T5			
PENET	LECT. DIAL	CARGA 1	LECT. DIAL	CARGA 2	LECT. DIAL	CARGA 3
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	10	20	15	30	22	50
0.050	17	44	25	54	31	80
0.075	25	74	34	87	43	110
0.100	30	92	43	118	50	151
0.150	51	131	57	145	75	183
0.200	59	151	64	164	89	228
0.250	67	172	77	188	101	259
0.300	74	198	86	221	110	292
0.400	83	213	93	238	120	328
0.500	94	241	104	267	143	367

RESULTADOS

RESULTADOS		1.9309	
MAX. DENS. SECA (gr/cc)	1.725	HUMED. NATURAL (%)	10.10
OPT. CONT. DE HUM (%)	12.13	LÍQUIDO (%)	24.80
CDR. al 100% de la MDG (%)	14.2	L PLÁSTICO (%)	18.30
CDR. al 90% de la MDG (%)	11.3	L PLÁSTICO (%)	8.20
CLAS. BUCS	CL	GRANOS (%)	0.90
CLAS. AASTHO		ARENAS (%)	41.80
		FINOS (%)	87.70

GRÁFICA DE CARGA vs PENETRACION


ENSAYO DE VALOR RELATIVO C.B.R. - ASTM D 1883

PROYECTO: APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARRETA ASPÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LIMA, 2018.
UBICACIÓN: LIMA - LIMA
SOLUCIÓN: ANTONIO OSOCCO HERLUY **PROGRESIVA:** SECTOR 4
CALICATA: SUB BASE **MUESTRA:** M-1 **SUCS:** GM **FECHA:** OCTUBRE 2018

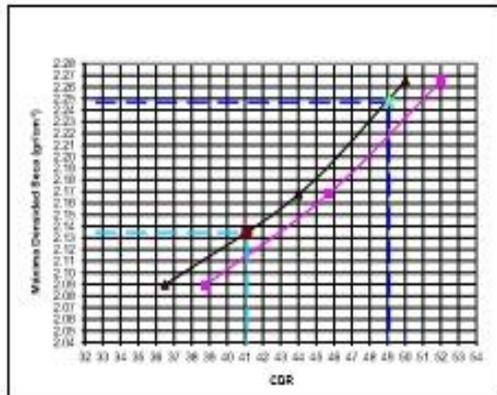
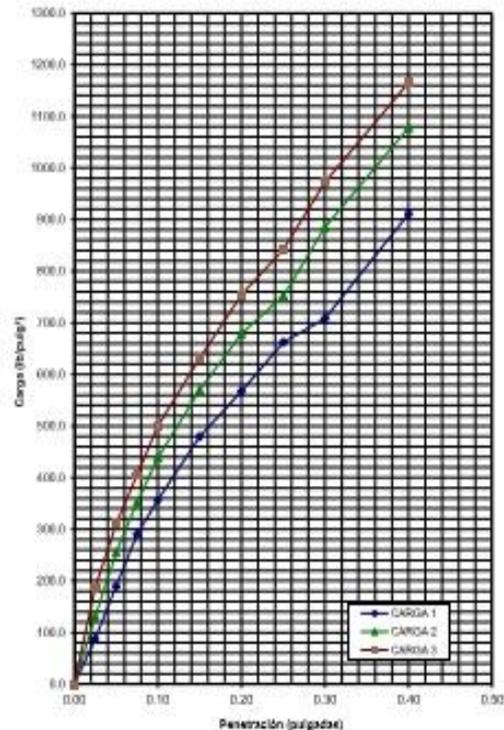
COMPACTACION - C.B.R.

Número de Capas: 5			
ASTM D-1557			
	2579.06	2540.89	2380.90
N° Golpes	13	20	50
Módulo	20	21	22
Peso Suelo Hum/Húmedo (gr)	9398	11190	9526
Peso Molde (gr)	6790	6240	3748
Peso Suelo húmedo (gr)	6790	8940	8798
N° rodillos	3	7	33
N° de rodillos	34	34	30
N° 3	3	3	3
P. suelo hum + resp (gr)	105.00	106.00	177.00
P. suelo seco + resp (gr)	105.44	107.38	168.82
P. suelo seco + resp (gr)	105.44	107.38	168.82
P. suelo seco + resp (gr)	105.44	107.38	168.82
Peso de agua (gr)	91.90	91.73	11.21
Peso de agua (gr)	91.90	91.73	11.21
Peso de agua (gr)	91.90	91.73	11.21
Peso suelo seco	153.08	151.70	158.59
Peso suelo seco	153.08	151.70	158.59
Peso suelo seco	153.08	151.70	158.59
Humedad (%)	6.76	7.97	7.12
Humedad promedio (%)	6.92	7.90	7.21
Dens. Humedat (gr/cc)	2.234	2.308	2.429
Dens. Seca (gr/cc)	2.990	2.107	2.285

CAP. DEL ANILLO:				TAC. DEL ANILLO: 7.7			
N° Golpes	13	20	50	LECT. DIAL	CARGA 1	LECT. DIAL	CARGA 2
N° BOLDE	20	21	22	LECT. DIAL	CARGA 3	LECT. DIAL	CARGA 3
0.000	0	0	0	0	0	0	0
0.025	34	67	51	131	73	167	167
0.050	74	190	100	295	321	311	311
0.075	113	290	137	352	398	408	408
0.100	133	327	171	430	505	501	501
0.150	187	480	222	570	648	651	651
0.200	221	567	269	676	764	768	768
0.250	259	662	305	752	828	842	842
0.300	278	738	345	806	879	973	973
0.400	355	917	420	1079	1105	1105	1105
0.500							

RESULTADOS

RESULTADOS	
MAX. DENS. SECA (gr/cc)	2.99
DENS. CONT. DE HUM (%)	6.90
CDR. al 100% de la MDS (%)	49.1
CDR. al 85% de la MDS (%)	41.1
CLAS. SUCS	GM
CLAS. ASTHO	A-1-B
HUMED. NATURAL	4.10
LÍQUIDO	34.70
L. PLÁSTICO	19.90
L. PLÁSTICO	8.68
GRAVAS (%)	57.70
ARENAS (%)	36.90
FINES (%)	3.38

GRAFICA DE CARGA vs PENETRACION


ENSAYO DE VALOR RELATIVO C.B.R. - ASTM D 1883

PROYECTO: APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LIMA 2018
UBICACIÓN: LIMA - LIMA
SOLICITANTE: ANTONIO OSORO HERLUY
PROYECTISTA: SECTOR 4
CALICATA: BASE MUESTRA: M-1 SUCC: GP-GM FECHA: OCTUBRE-2018

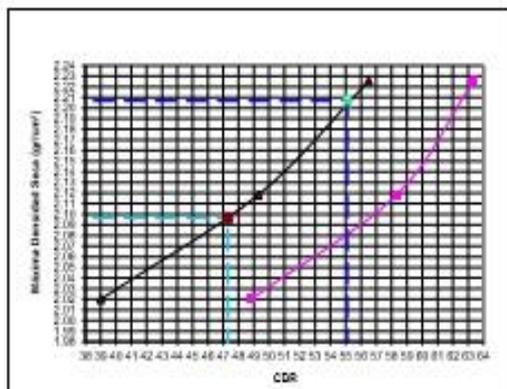
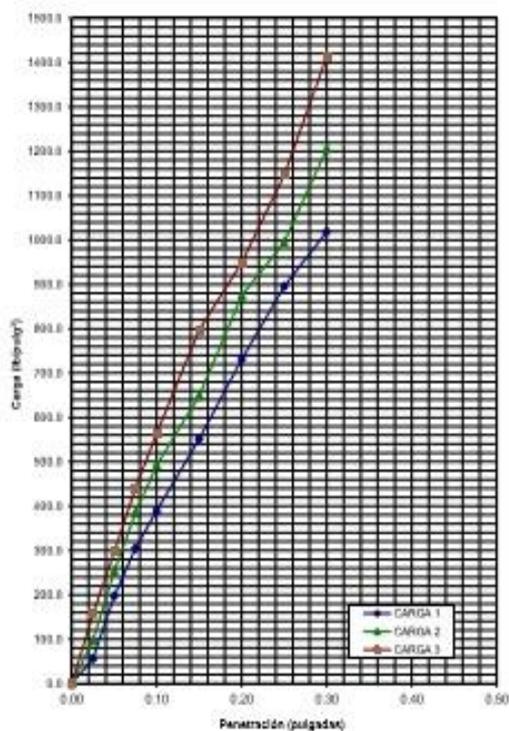
COMPACTACIÓN - C.B.R.

Número de Capas: 5					
ASTM D - 1562					
Volumen molde (cc)	257.54	253.51	237.75		
N° golpes	13	20	26		
Módulo	17	10	10		
Peso Suelto Humido (gr)	3090	1120	1408		
Peso Suelto (gr)	2985	828	2751		
Peso Suelto húmedo (gr)	3585	878	2928		
N° vibraciones	74	28	37	128	26
M. Suelto seco + agua (gr)	133.50	352.38	120.27	128.75	122.84
P. Suelto seco + H ₂ O (gr)	125.83	322.78	113.52	113.81	116.80
Peso de agua (gr)	8.67	29.60	8.75	5.33	8.04
Peso de agua (gr)	8.75	8.57	7.35	7.34	7.77
Peso suelto seco	120.43	118.13	100.20	107.88	105.85
Humedad (%)	7.27	7.20	8.88	7.19	7.21
Humedad promedio (%)	7.23		7.03		
Dens. Humedad (gr/cc)	2.107		2.267		
Dens. Seco (gr/cc)	2.026		2.118		

C.P.R. DEL ANILLO:			F.A.C. DEL ANILLO: 7.7			
N° Golpes	13	20	26	30	30	
N° MOLDES	17	15	10	8	8	
PLNUT	LECT. DIAL	CARGA 1	LECT. DIAL	CARGA 2	LECT. DIAL	CARGA 3
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	22	88	38	88	61	187
0.050	37	198	80	204	118	288
0.075	110	307	150	305	172	441
0.100	152	391	210	410	228	585
0.150	278	502	283	488	311	758
0.200	385	732	341	673	373	953
0.250	440	895	398	856	447	1147
0.300	527	1019	478	1200	551	1474
0.400						
0.500						

RESULTADOS

RESULTADOS		HUMED. NATURAL	
MAX. DENS. SECA (gr/cc)	2.307	HUMED. NATURAL	2.38
OPT. CONT. DE HUMEDAD	7.17	LÍQUIDO	N.P.
CDR. al 100% de la MDS (%)	55.1	LÍQUIDO	N.P.
CDR. al 85% de la MDS (%)	47.3	LÍQUIDO	N.P.
CLAS. SUCC	GP-GM	GRANOS (%)	89.89
CLAS. AASTHO	A-1-a	ARENAS (%)	25.56
		FINOS (%)	16.76

GRÁFICA DE CARGA vs PENETRACION


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

Proyecto : APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.
Solicitante : Antonio Oscco Herhuay
Ubicación : Lince - Lima
Sector : Sector 4 - Lince
Sondeo : --
Muestra : Afirmado
Profundidad (mts.) : Base
Fecha : Octubre - 2018
Coordenadas : --

Partículas >3" (%) :

Grava (%) :

59.8

Arena (%) :

29.5

Limos y Arcillas (%) :

10.7

Límites de Atterberg:

LL (%) : NP
 LP (%) : NP
 IP (%) : NP

Humedad (%) :

2.3

Clasificación SUCS :

GP GM

Grava mal gradada con limo con arena

Clasificación AASHTO : A-1-a

D10 :

D30 : 2.19

D60 :

11.25

Cu :

Cc :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	88.6
1 1/2"	38.100	86.5
1"	25.400	80.4
3/4"	19.050	74.9
3/8"	9.525	55.3
Nº4	4.760	40.2
Nº10	2.000	28.8
Nº20	0.840	21.7
Nº40	0.425	17.5
Nº60	0.250	15.5
Nº100	0.149	13.6
Nº200	0.074	10.7



Nota: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

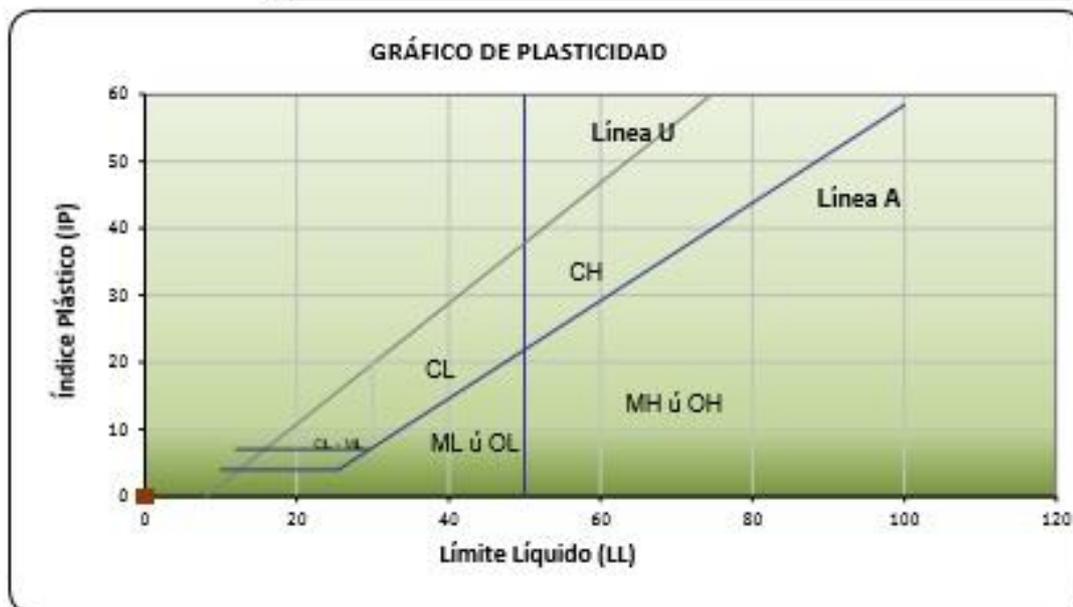
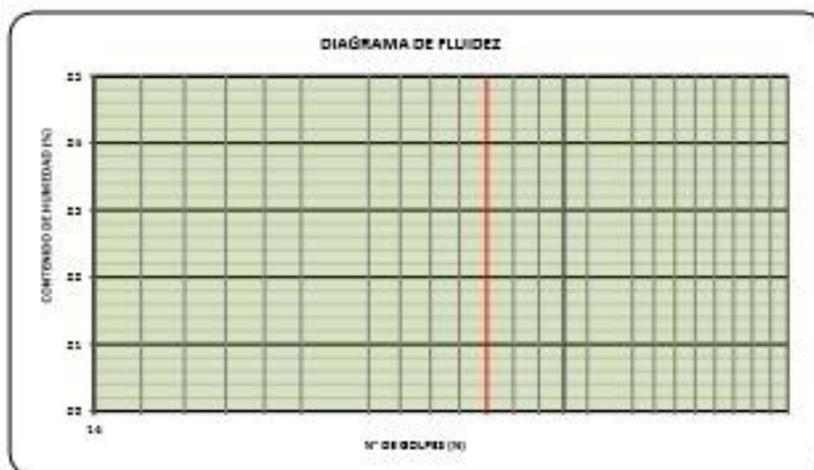
Proyecto : APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.
Solicitante : Antonio Oscco Herhuay
Ubicación : Lince - Lima
Sector : Sector 4 - Lince
Sondeo : --- **Fecha** : Octubre - 2018
Muestra : Afirmado
Profundidad (mts.) : Base **Coordenadas** : ---

Límites de Atterberg

LL (%): NP

LP (%): NP

IP (%): NP



Nota: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

Proyecto : APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.
Solicitante : Antonio Oscco Herhuay
Ubicación : Lince - Lima
Sector : Sector 4 - Lince
Sondeo : --- **Fecha** : Octubre - 2018
Muestra : Afirmado
Profundidad (mts.) : Sub - Base **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) :

Grava (%) :

Arena (%) :

Limos y Arcillas (%) :

D10 :

D30 :

D60 :

Cu :

Cc :

Límites de Atterberg :

 LL (%) :

 LP (%) :

 IP (%) :

Humedad (%) :

Clasificación SUCS :

Grava limosa con arena

Clasificación AASHTO :

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	94.3
1"	25.400	88.0
3/4"	19.050	80.2
3/8"	9.525	59.9
Nº4	4.760	42.3
Nº10	2.000	28.7
Nº20	0.840	22.4
Nº40	0.425	18.9
Nº60	0.250	16.9
Nº100	0.149	15.7
Nº200	0.074	13.5



Nota: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

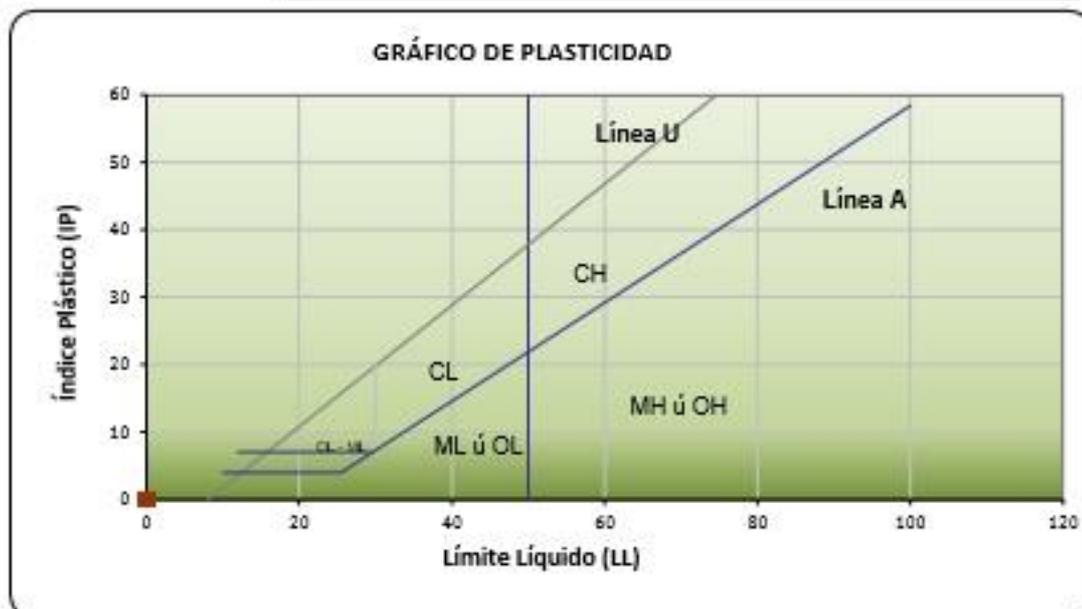
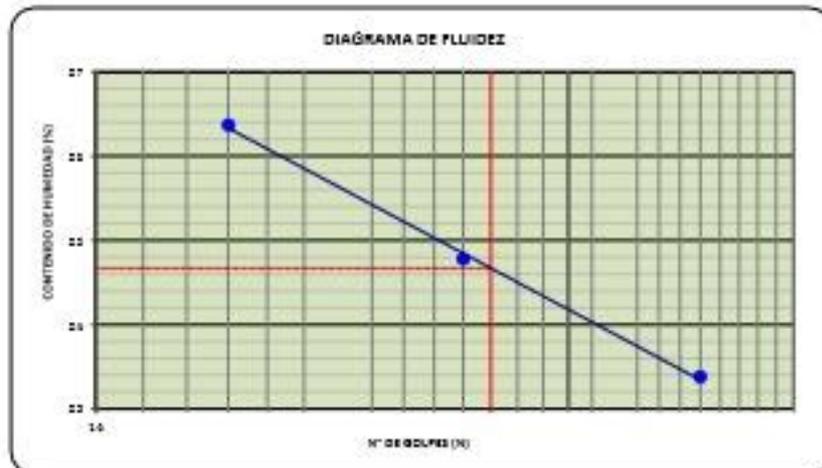
Proyecto	: APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.	
Solicitante	: Antonio Oscco Herhuay	
Ubicación	: Lince - Lima	
Sector	: Sector 4 - Lince	
Sondeo	: ---	
Muestra	: Afirmado	
Profundidad (mts.)	: Sub - Base	Coordenadas : ---
		Fecha : Octubre - 2018

Límites de Atterberg

LL (%): 24.7

LP (%): 15.9

IP (%): 8.8



Nota: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

Proyecto : APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.
Solicitante : Antonio Oscco Herhuay
Ubicación : Lince - Lima
Sector : Sector 4 - Lince
Sondeo : --- **Fecha** : Octubre - 2018
Muestra : Afirmado
Profundidad (mts.) : Sub Rasante **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) :

Grava (%) :

0.5

Arena (%) :

41.8

Limos y Arcillas (%) :

57.7

D10 :

D30 :

D60 :

0.08

Cu :

Cc :

Límites de Atterberg:

LL (%) : 24.5

LP (%) : 16.3

IP (%) : 8.2

Humedad (%) :

10.1

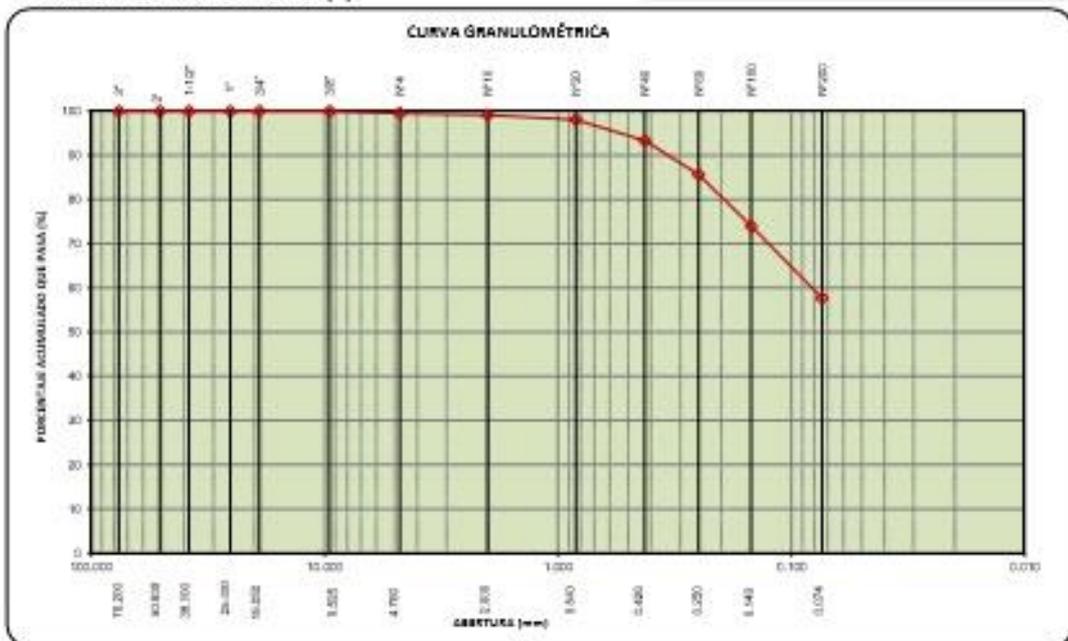
Clasificación SUCS :

CL

Arcilla de baja plasticidad arenosa

Clasificación AASHTO : A-4 (2)

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº4	4.750	99.5
Nº10	2.000	99.1
Nº20	0.840	98.1
Nº40	0.425	93.3
Nº60	0.250	85.6
Nº100	0.149	74.0
Nº200	0.074	57.7



Nota: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

Proyecto	: APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.
Solicitante	: Antonio Oscco Herhuay
Ubicación	: Lince - Lima
Sector	: Sector 4 - Lince
Sondeo	: ---
Muestra	: Afirmado
Profundidad (mts.)	: Sub Rasante
	Fecha : Octubre - 2018
	Coordenadas : ---

Límites de Atterberg

LL (%): 24.5

LP (%): 16.3

IP (%): 8.2

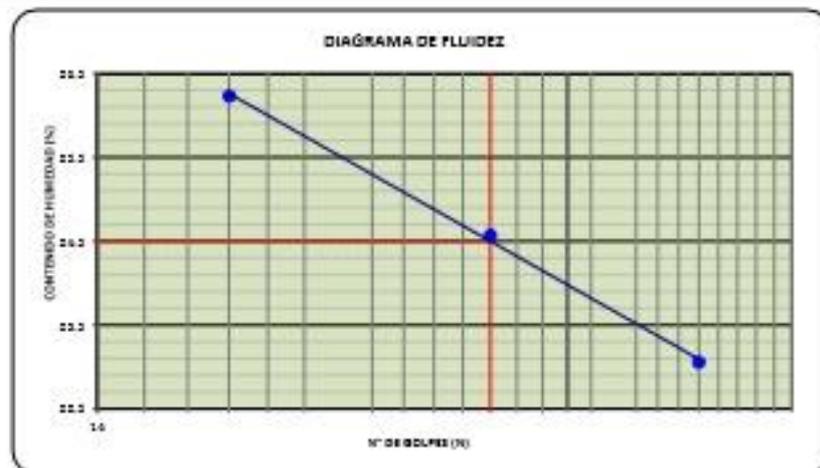
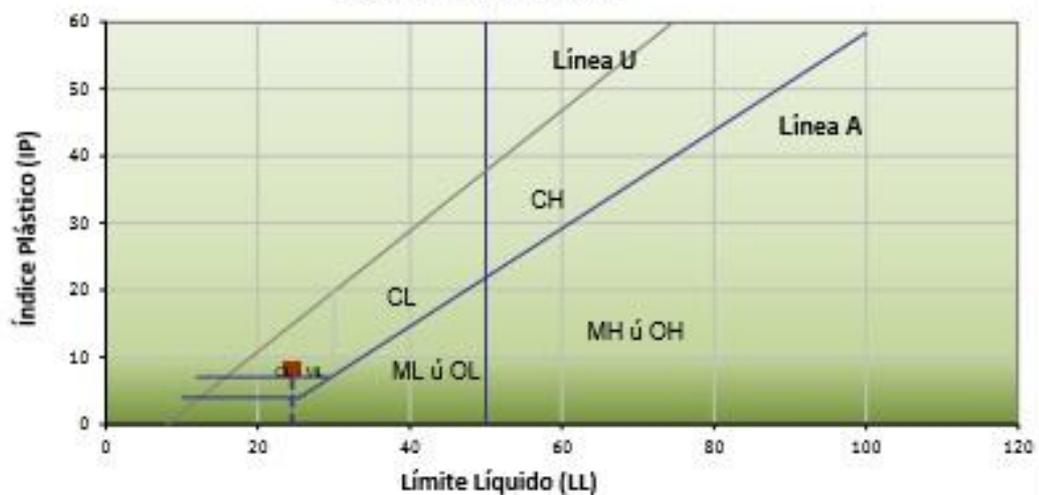


GRÁFICO DE PLASTICIDAD



Nota: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

PRÓCTOR MODIFICADO

PROYECTO : APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.

SOLICITANTE : Antonio Oscco Herhuay
UBICACIÓN : Lince - Lima

Fecha : Octubre - 2018

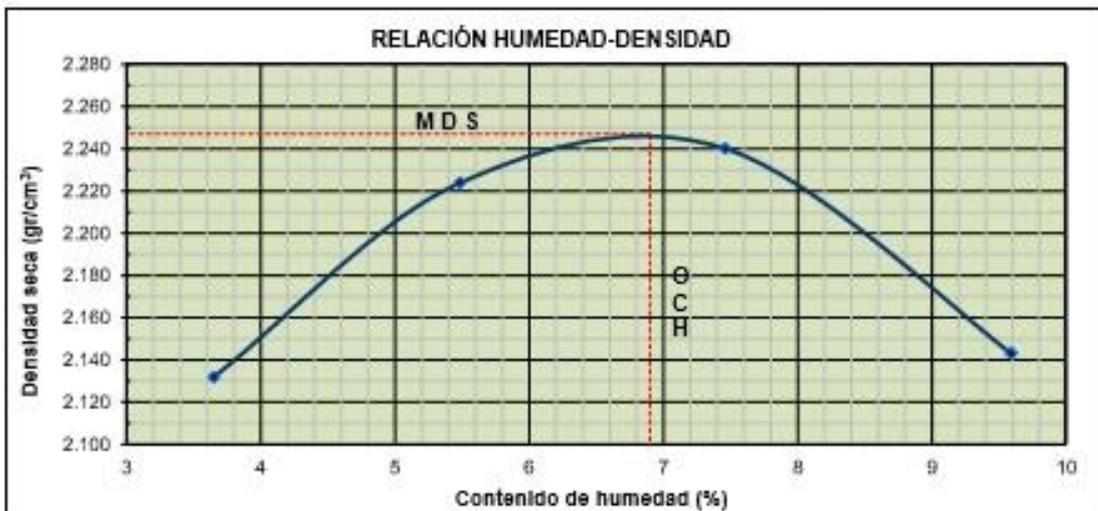
Calicaza : —
Muestra : AFIRMADO
Profundidad : SUB-BASE
Sector : Sector 4 - Lince

Clasificación SUCS : GM
Clasificación AASHTO : A-1-a
Método de compactación : "C"

Método de preparación : Húmeda
Contenido de Humedad recibido (%) : 2%
Descripción del pisón : Manual
Gravedad específica : —

Retenidos **3/4** : 19.5
 3/8 : 20.3
 Nº4 : 17.0

Peso suelo compactado + molde	(g)	11338.00	11626.00	11756.00	11632.00	
Peso molde	(g)	6667.00	6667.00	6667.00	6667.00	
Peso suelo húmedo compactado	(g)	4671.00	4959.00	5089.00	4965.00	
Volumen del molde	(cm ³)	2114.00	2114.00	2114.00	2114.00	
Densidad húmeda	(g/cm ³)	2.21	2.35	2.41	2.35	
Recipiente N°		AX	P2	A16	A9	
Peso muestra húmeda + tara	(g)	650.30	468.90	528.40	612.30	
Peso muestra seca + tara	(g)	632.80	452.80	502.30	572.60	
Peso de tara	(g)	153.20	155.30	152.40	158.60	
Peso de agua	(g)	17.50	16.30	26.10	39.70	
Peso de la muestra seca	(g)	479.60	297.30	349.90	414.00	
Contenido de humedad	(%)	3.6	5.5	7.5	9.6	
Densidad seca	(g/cm ³)	2.132	2.224	2.240	2.143	
Densidad máxima (g/cm³)					2.247	
Humedad óptima (%)					6.90	



Observaciones:

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

PRÓCTOR MODIFICADO

PROYECTO : APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.

SOLICITANTE : Antonio Oscco Herhuay

UBICACIÓN : Lince - Lima

Fecha : Octubre - 2018

Calicara : --

Clasificación SUCS : CL

Muestra : AFIRMADO

Clasificación AASHTO : A-4 (2)

Profundidad : SUB - RASANTE

Método de compactación : "A"

Sector : Sector 4 - Lince

Método de preparación : Húmeda

Retenidos 3/4 : --

Contenido de Humedad recibido (%) : 2%

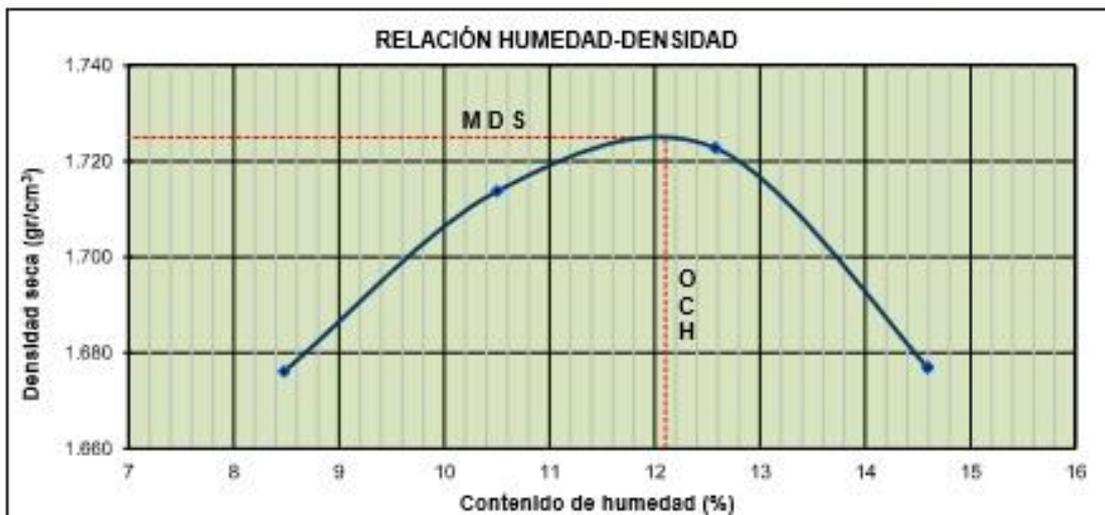
3/8 : --

Descripción del pisón : Manual

Nº4 : --

Gravedad específica : --

Peso suelo compactado + molde (g)	5915.00	5987.30	6031.00	6014.00	
Peso molde (g)	4175.00	4175.00	4175.00	4175.00	
Peso suelo húmedo compactado (g)	1740.00	1812.30	1856.00	1839.00	
Volumen del molde (cm ³)	957.00	957.00	957.00	957.00	
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.82	1.89	1.94	1.92	
Recipiente N°	P5	A12	ST	R1	
Peso muestra húmeda + tara (g)	456.20	426.30	501.70	444.80	
Peso muestra seca + tara (g)	427.30	394.30	456.10	399.20	
Peso de tara (g)	86.40	89.60	93.40	86.70	
Peso de agua (g)	28.90	32.00	45.60	45.60	
Peso de la muestra seca (g)	340.90	304.70	362.70	312.50	
Contenido de humedad (%)	8.5	10.5	12.6	14.6	
Densidad seca (g/cm ³)	1.676	1.714	1.723	1.677	
Densidad máxima (g/cm³)				1.725	
Humedad óptima (%)				12.10	



Observaciones:

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

PRÓCTOR MODIFICADO

PROYECTO : APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN CARPETA ASFÁLTICA PARA MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL SECTOR 4 - LINCE, 2018.

SOLICITANTE : Antonio Oscco Herhuay

UBICACIÓN : Lince - Lima

Fecha : Octubre - 2018

Calicara : —

Clasificación SUCS : GP - GM

Muestra : AFIRMADO

Clasificación AASHTO : A-1-a

Profundidad : BASE

Método de compactación : " C "

Sector : Sector 4 - Lince

Método de preparación : Húmeda

Retenidos 3/4 : 25.1

Contenido de Humedad recibido (%) : 2%

3/8 : 12.6

Descripción del pisón : Manual

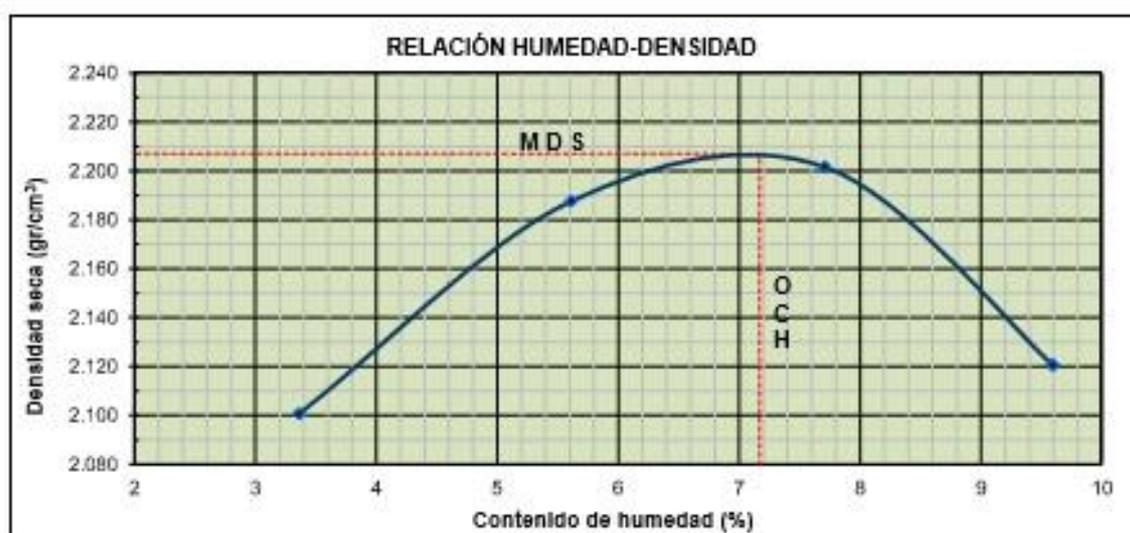
Nº4 : 15.1

Gravedad específica : —

Peso suelo compactado + molde	(g)	11257.00	11551.00	11680.00	11580.00
Peso molde	(g)	6667.00	6667.00	6667.00	6667.00
Peso suelo húmedo compactado	(g)	4590.00	4884.00	5013.00	4913.00
Volumen del molde	(cm ³)	2114.00	2114.00	2114.00	2114.00
Densidad húmeda	(g/cm ³)	2.17	2.31	2.37	2.32
Recipiente Nº		A2	A16	A11	A5
Peso muestra húmeda + tara	(g)	647.30	526.80	618.20	726.30
Peso muestra seca + tara	(g)	631.20	506.40	586.00	677.80
Peso de tara	(g)	152.20	142.80	168.30	172.30
Peso de agua	(g)	16.10	20.40	32.20	48.50
Peso de la muestra seca	(g)	479.00	363.60	417.70	505.50
Contenido de humedad	(%)	3.4	5.6	7.7	9.6
Densidad seca	(g/cm ³)	2.101	2.188	2.202	2.121

Densidad máxima (g/cm³) : 2.207

Humedad óptima (%) : 7.17



Observaciones:

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.