

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TEÓRICA DE UN GEOTEXTIL UNIAXIAL Y
BIAXIAL, PARTIENDO DE RESULTADOS PREVIAMENTE OBTENIDOS**

AUTORES:

SERGIO DAVID SALCEDO VARGAS 000294326

DIEGO NICOLAS JAIMES VELANDIA 000299227

**ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

2021

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TEÓRICA DE UN GEOTEXTIL UNIAxIAL Y
BIAXIAL, PARTIENDO DE RESULTADOS PREVIAMENTE OBTENIDOS**

DIRECTOR:

JULIAN ANDRÉ GALVIS FLOREZ

AUTORES:

SERGIO DAVID SALCEDO VARGAS 000294326

DIEGO NICOLAS JAIMES VELANDIA 000299227

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

**ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

2021

DEDICATORIA

Este gran logro se lo dedicamos principalmente a nuestros padres, quienes fueron el motor emocional y espiritual durante esta etapa educativa, quienes incondicionalmente nos brindaron todo lo necesario para llegar a lo mas alto, a nuestros familiares y profesores que nos llenaron de sabiduría y entendimiento para afrontar los problemas que surgían durante nuestro progreso y también a todas esas personas que confiaron en nuestra capacidad como personas y estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

En este proyecto de grado gozamos de un gran apoyo y colaboración de muchas personas que hicieron parte de este arduo proceso de elaboración, que de innumerables maneras manifestaron su ayuda para hacer esto posible.

A cada uno de nuestros familiares, así como amigos por su total apoyo y colaboración, con esto se fue más fácil llevar a cabo este proyecto.

Al ingeniero JULIAN ANDRÉ GALVIS FLOREZ, quien dirigió este proyecto por brindarnos su confianza y ser el soporte emocional y profesional durante este trabajo de grado.

Al ingeniero GERARDO BAUTISTA GARCIA, calificador, por sus recomendaciones y consejos para una mejor elaboración de este proyecto.

A la ingeniera NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGA, calificadora, de igual manera por sus conocimientos y recomendaciones, fue de gran ayuda para culminar este proyecto.

Al personal de la universidad que con su trabajo hacen de estos procesos más fáciles brindando un excelente servicio y ayuda.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1. OBJETIVOS..... | 10 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL..... | 10 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 10 |
| 2. MARCO TEORICO | 11 |
| 2.1 REFUERZO CON GEOSINTÉTICO [1]..... | 11 |
| 2.2 BENEFICIOS DEL GEOSINTÉTICO..... | 12 |
| 2.2.1 GEOTÉXTIL [1]..... | 13 |
| 2.2.2 GEOMALLA [2] | 14 |
| 2.3 SUELOS..... | 15 |
| 2.3.1 CLASIFICACIÓN DEL SUELO..... | 16 |
| 2.3.1.1 MÉTODO AASHTO [4] | 16 |
| 2.3.1.2 MÉTODO SUCS [4]..... | 16 |
| 2.4 CONSISTENCIA DEL SUELO [4] | 17 |
| 3. METODOLOGÍA | 17 |
| 3.1 INFORMACIÓN TRABAJOS | 18 |
| 3.1.1 Listado de bases de datos | 21 |
| 4. COMPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN | 23 |
| 4.1 RESULTADOS DE LABORATORIOS | 23 |
| 4.1.1 INFORMACIÓN OBTENIDA POR TRABAJO..... | 23 |
| 4.1.2 TIPO DE GEOSINTÉTICO UTILIZADO POR TRABAJO | 25 |
| 4.1.3 INFORMACIÓN RESULTADOS DE LABORATORIO | 26 |
| 4.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO | 29 |
| 5. ANÁLISIS VIABILIDAD ECONÓMICA DE LOS GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZOS..... | 30 |
| 6. ANÁLISIS DE APORTE A RESISTENCIA..... | 36 |
| 6.1 TABLA RESULTADOS CBR | 37 |
| 7. CONCLUSIONES | 41 |
| 8. BIBLIOGRAFIA..... | 43 |
| Referencias..... | 43 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Numerales trabajos de grado..... | 19 |
| Tabla 2. Numerales Posgrados. | 20 |
| Tabla 3. Numerales Maestrías..... | 20 |
| Tabla 4. Numerales Tesis Doctoral..... | 21 |
| Tabla 5 Listado bases de datos. | 21 |
| Tabla 6 Clasificación de trabajos. | 22 |
| Tabla 7. Trabajos por país..... | 22 |
| Tabla 8 Ensayos de laboratorio. | 23 |
| Tabla 9. Información trabajos de grado (Desglosada). | 24 |
| Tabla 10. Tipo de geosintético..... | 25 |
| Tabla 11. Tipos de geosintético. | 26 |
| Tabla 12. Resultados Granulometría. | 27 |
| Tabla 13. Resultados ensayo de límite de consistencia y humedad optima..... | 28 |
| Tabla 14. Alternativa geosintéticos pavimento flexible, Carlos Beltrán. | 32 |
| Tabla 15. Alternativa acero y pilotes, pavimento rígido. Carlos Beltrán. | 33 |
| Tabla 16. Costo Subbase granular con y sin geosintético, Anselmo Núñez..... | 35 |
| Tabla 17. Resultados CBR Geotextiles..... | 38 |
| Tabla 18. Reducción de espesores Jeans Mera. | 40 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1</i> Limites, extraída y adaptada de Braja Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica. | 17 |
|---|----|

LISTADO DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| <i>Imagen 1</i> Utilización de geosintético. Imagen extraída de PAVCO. (Geotextil Biaxial). 12 | |
| <i>Imagen 2</i> Geotextil tejido, imagen extraída de TEXDELTA.COM..... | 14 |
| <i>Imagen 3</i> Geomalla, imagen extraída de GEOACEPERU.COM. | 15 |

RESUMEN

TITULO: Evaluación de la eficiencia teórica de un geotextil uniaxial y biaxial, partiendo de resultados previamente obtenidos

AUTOR(ES): Sergio David Salcedo Vargas
Diego Nicolas Jaimes Velandia

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Julian André Galvis Florez

RESUMEN

El trabajo de investigación que tiene como título: “Evaluación de la eficiencia teórica de un geotextil uniaxial y biaxial, partiendo de resultados previamente obtenidos” es una propuesta de trabajo innovadora a raíz de la construcción vial. Que ha venido creciendo en procesos de mejoramiento a nivel de todo lo que constituye una estructura de pavimentos, por tanto, todos esos procesos y metodologías están expuestas dando un discernimiento del desarrollo y utilización de estos geo sistemas, analizando los beneficios que estos pueden producir mejorando la vida útil de las vías. Para esto, se llevó a cabo una investigación de trabajos de grado, que han contribuido con este estudio del progreso de los geosintéticos en la elaboración de proyectos viales. Teniendo en cuenta las características de los materiales con los que se van a mejorar sus capacidades mecánicas, para esto fue importante identificar las diferentes particularidades que tiene cada geosintético y así poder escoger el más idóneo para la necesidad a suplir. La razón de la búsqueda de diferentes trabajos de grado, trabajos de posgrado, trabajos de maestría, fue contribuir con información teórica y práctica de varios parámetros, principalmente con el mejoramiento de sus capacidades, así como las variables económicas que estos conllevan a la hora de presupuestar un proyecto.

PALABRAS CLAVE:

Geotextil Reforzamiento Geosintético Biaxial Uniaxial

ABSTRACT

TITLE: Evaluation of the theoretical efficiency of a uniaxial and biaxial geotextile, based on previously obtained results

AUTHOR(S): Sergio David Salcedo Vargas
Diego Nicolas Jaimes Velandia

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Julian André Galvis Florez

ABSTRACT

The research work entitled: "Evaluation of the theoretical efficiency of a uniaxial and biaxial geotextile, based on previously obtained results" is an innovative work proposal because of road construction. That has been growing in improvement processes at the level of everything that constitutes a pavement structure, therefore, all these processes and methodologies are exposed giving a discernment of the development and use of these geo systems, analyzing the benefits that these can produce improving the useful life of the roads. For this, a research of degree works was carried out, which have contributed with this study of the progress of geosynthetics in the elaboration of road projects. Considering the characteristics of the materials with which their mechanical capacities are going to be improved, it was important to identify the different particularities of each geosynthetic to choose the most suitable for the need to be met. The reason for the search of different degree works, postgraduate works, master works, was to contribute with theoretical and practical information of several parameters, mainly with the improvement of their capacities, as well as the economic variables that these entail at the time of budgeting a project.

KEYWORDS: Uniaxial Biaxial Geotextile Geosynthetic Efficiency Projects

INTRODUCCIÓN

Los procesos de la ingeniería civil en el campo vial han venido evolucionando con el pasar de los años, trayendo consigo nuevas necesidades y diferentes objetivos a cumplir debido a los diversos parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de llevar a cabo una obra vial. Dichos procesos han abierto grandes posibilidades a avances tecnológicos y mejoras a la hora de llevar a cabo una actividad en la obra, avances tanto en el proceso como en la utilización de nuevos materiales o componentes que nos brinden un beneficio notorio. El fin último en una obra vial, es brindar un espacio con las debidas medidas de seguridad, estética y comodidad a los usuarios, que les permita desplazarse por la misma con total agrado, pero no basta con asegurar todos estos aspectos en una vía, si a la hora de la verdad esta no tendrá una vida útil prolongada; y es allí donde entra en juego la tecnología, generando nuevas opciones al momento de desarrollar un proyecto, opciones como los geotextiles y geosintéticos.

La utilización de estos geosintéticos ha creado una amplia demanda en el comercio y en los múltiples modos de mejorar las estructuras viales, este proyecto se enfatiza en las diferentes formas utilizadas a lo largo de los últimos años en estudios de estos procesos realizados de carácter global. Así mismo, analizando y concluyendo los resultados que producen dichos geosintéticos en los proyectos de grado y maestrías y tesis doctoral en los cuales fueron utilizados. En conclusión, una investigación exhaustiva en las características positivas y negativas sobre la utilización que se han hecho de estos geosintéticos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Recopilar diferentes trabajos de grado, trabajos de posgrado, maestrías y tesis doctoral, realizados previamente, que contengan información práctica y teórica de la efectividad de los geotextiles uniaxiales y biaxiales, que permitan generar un análisis teórico efectivo de los resultados y a su vez de la funcionalidad y viabilidad de estos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar datos obtenidos previamente por medio de proyectos de grado, maestrías y doctorados, que permitan generar una idea de la calidad de la subrasante al ser estudiada con y sin el reforzamiento empleando geotextil uniaxial y biaxial.
- Efectuar una comparación efectiva, de los ensayos de granulometría, plasticidad, humedad y CBR de cada una de las practicas investigadas.
- Comparar los datos obtenidos del número total de prácticas investigadas, para generar un análisis a fondo de la viabilidad económica de estos geotextiles como refuerzos.
- Interpretar los resultados de ensayos en cada una de las practicas obtenidas de los proyectos de grado, maestrías y doctorados, dando así un análisis a fondo de los aportes en resistencia de cada geotextil.

2. MARCO TEORICO

El reforzamiento de estructuras viales empleando geosistemas se ha vuelto un procedimiento común, donde se mejoran las capacidades mecánicas de los suelos y así poder tener importantes beneficios a la hora de la construcción. Esta utilización de geotextiles ha transformado los diferentes procedimientos de análisis, de diseños y técnicas constructivas.

2.1 REFUERZO CON GEOSINTÉTICO [1]

Los geosintéticos son materiales con una gran capacidad de resistencias a esfuerzos a tensión y ayuda indirectamente complementando la funcionalidad de otros materiales en la estructura que trabajan a compresión, haciendo un énfasis en el mejoramiento de las capacidades de tensión como presenciamos en suelos finos y granulares.

Es de suma importancia que las capacidades mecánicas de los suelos sean óptimas para el diseño y construcción de una vía, teniendo en cuenta las numerosas formas de mejorar dichas propiedades de la subrasante los geosintéticos aportan muy buenas características así facilitando el diseño de dichas estructuras viales. Hay diferentes factores los que influyen en el deterioramiento de una vía, cuando se trata de las fuerzas perturbadoras de cargas externas causadas por el tránsito vehicular el refuerzo de la subrasante con el geosintético permite una mayor aplicación de cargas y mejora en el nivel de servicio aumentando la vida útil de la estructura en cuestión de pavimento.

Con relación a que el suelo obtiene una deformación de ruptura en una superficie está con lleva a que se produzcan de igual manera deformaciones a compresión y

tensión, el refuerzo actúa cuando la inclinación ha tomado la misma dirección en la que se desarrolló dichas deformaciones a tracción, por tanto, las posibles deformaciones por corte al suelo causan una tensión en el geotextil reforzante.



Imagen 1 Utilización de geosintético. Imagen extraída de PAVCO. (Geotextil Biaxial)

El reforzamiento con geosintético genera una mejora en su capacidad portante, cuando se inician a aplicar cargas en la superficie de la estructura, las fuerzas de tensión de la membrana del geo sistema son aquellas las que soportan los esfuerzos normales ocasionados en la fibra inferior. Este tipo de membrana tiene un desarrollo cuando las cargas son localizadas y estas ocasionan considerables deformaciones, en el caso de las vías la funcionalidad de la membrana la cual es fundamental para así tener un control del ahuellamiento y prevenir que el relleno colapse debido a un posible hueco que se pueda presentar.

2.2 BENEFICIOS DEL GEOSINTÉTICO

Para un buen funcionamiento y un idóneo nivel de servicio en una estructura vial de cualquier tipo es necesario que una de las propiedades más importantes del suelo y

que con frecuencia es baja como lo es la capacidad portante sea competente para un apropiado diseño y construcción.

Estas bajas propiedades mecánicas del suelo influyen en la degradación de las capas granulares así mismo en el propio comportamiento de la estructura, haciendo que la vida útil no cumpla con lo previsto en el diseño. En relación con lo anterior el geotextil cumple unas funciones permitiendo incrementar la capacidad portante, generando una utilidad económica y de diseño como es la reducción de espesores en la capa granular, un mejoramiento de las propiedades de aquellos materiales presentes. [1]

Finalmente, al mejorar dicha propiedad se puede obtener un aumento en el tránsito al previo realizado para el diseño, evaluado con la cantidad de ejes equivalentes que llegaría a tener en el periodo de operación de la vía. Así mismo, la utilización de geosintéticos para el mejoramiento de una subrasante genera un buen número de beneficios. [1]

2.2.1 GEOTÉXTIL [1]

Es una estructura que está compuesta por polietileno con una alta densidad y resistencia a la tensión. Tienen una característica inerte a las condiciones químicas y biológicas del suelo y del agua, contiene un nivel alto de resistencia a los rayos UV ya que poseen un $\geq 2\%$ de negro de humo de disperso en la matriz polimérica haciendo a esta estructura resistente a la intemperie para estar adecuado a las condiciones expuestas.

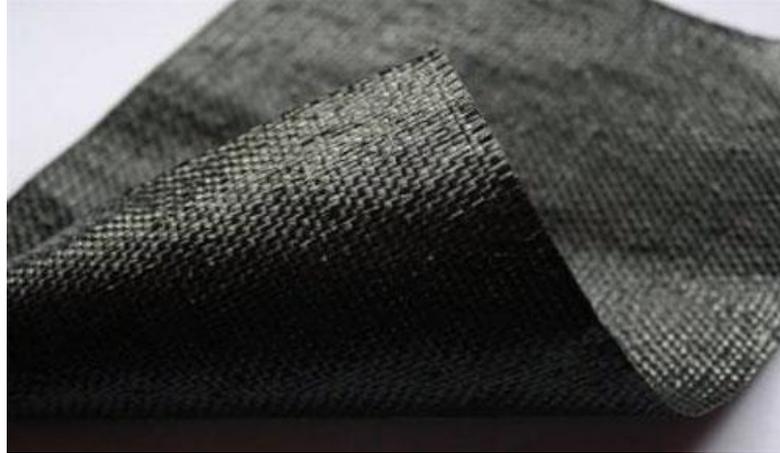


Imagen 2 Geotextil tejido, imagen extraída de TEXDELTA.COM

Este tipo de estructura son recomendadas para situaciones donde el esfuerzo estará localizado en un solo sentido. Gracias a su alta resistencia a los nudos ejerce un sistema de trabazón eficaz en el suelo. Por otra parte, posee una resistencia a la fluencia en cargas sostenidas.

Beneficios

- Prolonga la vida útil de la estructura al utilizarla en suelos granulares
- Reducción de espesores de capas granulares al reemplazar parte de estos por el aporte que genera la Geotextil
- Aminorar el impacto ambiental gracias a la reducción de espesores granulares ya que éste es un recurso natural no renovable

2.2.2 GEOMALLA [2]

Es una compuesta de polipropileno, en su totalidad inertes químicamente. Estas son elaboradas por medio de un proceso de extrusión generando que en este geotextil unas buenas resistencias a la tensión con un alto módulo de elasticidad.



Imagen 3 Geomalla, imagen extraída de GEOACEPERU.COM.

Además, esta estructura está compuesta por materiales granulares confinados de trabazón de agregados, teniendo una abertura que posibilita que entre en las capas que conforman la estructura de pavimento haya una buena adherencia. Cabe resaltar que dicho geotextil posee una buena resistencia a la tensión en diferentes tipos de vías ya sean pavimentos flexibles y rígidos como en vías no pavimentadas, lo que hace que sea una idónea opción de refuerzo de una subrasante.

2.3 SUELOS

En palabras claras y sencillas, el suelo se conoce como una capa o superficie, que se encuentra de manera continua en la corteza terrestre, siendo esta una definición un poco general del término en cuestión. Cabe aclarar que en la ingeniería este término no difiere de la definición original, pero si va un poco más allá en lo que este puede significar. [3]

El suelo en una percepción objetiva se define como una composición de agregados que en su totalidad se encuentran no cementados, divididos en granos minerales y partículas sólidas de material orgánico, teniendo estos, diferentes vacíos los cuales se encuentran ocupados por la parte líquida y gaseosa que los suelos poseen. [4]

2.3.1 CLASIFICACIÓN DEL SUELO

En la actualidad, contamos con la facilidad de dos herramientas o sistemas, que nos permiten clasificar el suelo basándose en el tamaño de sus granos y a su vez la plasticidad. Estos dos métodos son el AASHTO y el SUCS. Es algo normal y común que un ingeniero emplee o haga uso del método SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos). [4]

2.3.1.1 MÉTODO AASHTO [4]

A lo largo de los años este sistema se ha visto afectado por diferentes modificaciones o mejoras que el comité del consejo de investigación de carreteras ha optado por añadirle. Actualmente este sistema cuenta con un método de clasificación ubicándolos suelos en grupos, en total son 7 y van desde la A-1 a la A-7. Dependiendo del grupo en el que se encuentren serán sus características.

2.3.1.2 MÉTODO SUCS [4]

Es un método antiguo, pero no tanto como el AASHTO. Inicialmente fue diseñado por cuerpos militares en la segunda guerra mundial con el fin de la realización y construcción de aeropuertos que les facilitaran el acceso a diferentes zonas. Mientras el

AASHTO clasifica los suelos en 7 grupos, el SUCS únicamente lo hace en 2, Suelos gruesos y suelos finos.

2.4 CONSISTENCIA DEL SUELO [4]

En los suelos finos cabe la posibilidad de que existan minerales arcillosos, este tipo de suelo a pesar de su humedad puede ser remodelado sin desmoronarse. Esta característica cohesiva se debe a la absorción del agua que rodea las partículas de arcilla. Con el pasar de los años se desarrollaron metodologías para manejar la consistencia de este tipo de suelos con contenidos de agua muy variables.

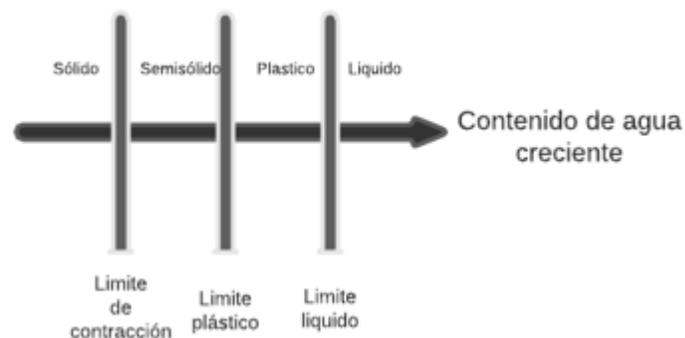


Figura 1 Límites, extraída y adaptada de Braja Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica.

3. METODOLOGÍA

Este trabajo de grado se llevo a cabo con una metodología de investigación, en la cual se desarrollo una búsqueda de trabajos e información útil con el fin de completar con éxito la misma.

La búsqueda de los datos se llevo a cabo con una serie de filtros, los cuales fueron estipulados inicialmente junto con el director, esto con el fin de encontrar información

certera, confiable, reciente y sobre todo que hayan sido desarrollados en su totalidad en el país.

Los filtros fueron los siguientes:

- El trabajo debía ser estrictamente académico, incluyendo pregrados, posgrados, maestrías y doctorados.
- Era fundamental obtener información actualizada a la fecha, por lo que se buscaron trabajos de los años 2000 a 2020.
- La información podía ser extraída únicamente de bases de datos virtuales.
- Todos los trabajos encontrados, podía contener información de los geosintéticos a trabajar, información que podía variar entre prácticas de laboratorio, análisis de la subrasante y de resultados, así como de su respectivo análisis económico.

En total se encontraron 18 trabajos de grado. Estos fueron la base fundamental de el desarrollo de este proyecto, donde cada uno de ellos aportaba conocimiento para resolver los objetivos planteados inicialmente.

3.1 INFORMACIÓN TRABAJOS

Como fue mencionado anteriormente, un total de 18 trabajos fueron investigados y seleccionados, los cuales serán nombrados en las siguientes tablas con su respectivo numeral, que será empleado durante este trabajo de grado este numeral no será alterado y siempre se utilizará para referencia el mismo trabajo de grado, trabajo de posgrado, maestría o tesis doctoral.

La primera tabla contiene los numerales y nombres de los trabajos de grado encontrados, los cuales provienen en su totalidad de bases de dato virtuales y académicas como fue estipulado previamente.

Tabla 1. *Numerales trabajos de grado.*

| TRABAJO DE GRADO | |
|------------------|--|
| Número | Nombre |
| 1 | Evaluación del comportamiento mecanicista de los geosintéticos en pavimentos flexibles [5] |
| 2 | Factores condicionantes del uso de geosintéticos en pavimentación en Colombia [6] |
| 3 | Adición de geotextil tejido T 2400 a la estructura intrínseca de diferentes tipos de materiales para relleno [7] |
| 8 | Evaluación técnico económico del uso de geomalla multiaxial como refuerzo de la carretera Santa cruz [8] |
| 9 | Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales aplicado a un tramo de la calle Alemania. [9] |
| 10 | Utilización de la geomalla biaxial en diseño de pavimento flexible de la carreta Pedro Carbo [10] |
| 11 | Mejora de la subrasante del suelo arcilloso aplicando el sistema de confinamiento celular para reducir la capa de pavimento [11] |
| 13 | Aplicación de geosintéticos en la construcción de carreteras [12] |
| 14 | Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a la carreta Zumbahua [13] |
| 15 | Diseño con geosintético para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimento flexible [14] |
| 16 | Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geosintéticos [15] |
| 18 | Análisis técnico y de costos en carretera de doble carril de pavimento flexible con o sin geotextil en subrasante débiles [16] |

Fuente: Elaboración propia.

La segunda tabla hace referencia a los trabajos finales de posgrados o especializaciones que contribuyen con información útil. Los cuales fueron dos en su

totalidad y comparándolos con los trabajos de maestría se encuentran en menor cantidad.

Tabla 2. Numerales Posgrados.

| POSGRADOS | |
|-----------|--|
| Numero | Nombre |
| 4 | Evaluación del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica usando geosintéticos [17] |
| 5 | Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la carreta séptima [18] |

Fuente: Elaboración propia.

La tercera tabla representa los trabajos de grado de maestrías, con su respectivo nombre y numeral para este trabajo de grado.

Tabla 3. Numerales Maestrías.

| MAESTRÍA | |
|----------|---|
| Número | Nombre |
| 6 | Aplicación de geosintéticos a terraplenes [19] |
| 7 | Evaluación en el nivel de resistencia en una subrasante con el uso combinado de geomalla y geotextil [20] |
| 12 | evaluación del comportamiento mecánico de una estructura, reforzada con geomalla sobre subrasante blanda [21] |

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente la ultima tabla expone la tesis doctoral obtenida y su respectivo numeral, numeral que será empleado a lo largo de este trabajo de grado. La cual es única en su categoría.

Tabla 4. *Numerales Tesis Doctoral.*

| TESIS DOCTORAL | |
|----------------|---|
| Número | Nombre |
| 17 | Comportamiento resistente al deslizamiento de geosintéticos |

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Listado de bases de datos

Se anexa información de la base de datos consultada, así como de la cantidad de trabajos que se obtuvo de la misma.

Tabla 5 *Listado bases de datos.*

| BASE DE DATOS | CANTIDAD |
|--|----------|
| Repositorio Universidad Nacional de Altiplano (Perú) | 1 |
| Repositorio Universidad de los Andes (Colombia) | 2 |
| Repositorio institucional Universidad de Cantabria (España) | 1 |
| Repositorio Universidad de Cartagena (Colombia) | 1 |
| Repositorio Universidad Católica (Colombia) | 1 |
| Repositorio Universidad Católica (Ecuador) | 1 |
| Repositorio Universidad Católica (Perú) | 1 |
| Repositorio Institucional Universidad de Cuenca (Ecuador) | 1 |
| Repositorio Institucional Universidad de Guayaquil (Ecuador) | 1 |
| Repositorio Pontificia Universidad Javeriana (Colombia) | 1 |
| Repositorio Universidad Militar Nueva Granada (Colombia) | 1 |
| Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca (Perú) | 1 |
| Repositorio Universidad Nacional Autónoma de México (México) | 1 |
| Repositorio Universidad Privada del norte (Perú) | 1 |
| Repositorio Universidad Ricardo Palma (Perú) | 1 |
| Repositorio Universidad San Carlos de Guatemala (Guatemala) | 1 |
| Repositorio Instituto tecnológico de Costa Rica (Costa Rica) | 1 |
| TOTAL | 18 |

Fuente: Elaboración propia.

En este trabajo de grado se siguieron a cabalidad los parámetros establecidos, encontrando así información satisfactoria proveniente de diferentes trabajos o tesis. A continuación, se expresará por medio de una tabla, la cantidad de trabajos encontrada de cada tipo.

Tabla 6 Clasificación de trabajos.

| TIPO DE TRABAJO | CANTIDAD |
|------------------|----------|
| Trabajo de grado | 12 |
| Posgrado | 2 |
| Maestría | 3 |
| Tesis Doctoral | 1 |
| TOTAL | 18 |

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla expresa la cantidad de trabajos obtenidos por país, con el fin de mostrar de donde se obtuvo más información.

Tabla 7. Trabajos por país.

| PAIS | CANTIDAD |
|------------|----------|
| COLOMBIA | 6 |
| PERU | 5 |
| ECUADOR | 3 |
| GUATEMALA | 1 |
| COSTA RICA | 1 |
| MEXICO | 1 |
| ESPAÑA | 1 |
| TOTAL | 18 |

Fuente: Elaboración propia.

Ya catalogada la información se procedió con el respectivo análisis por objetivos tomando lo necesario de cada uno de los trabajos para así completar lo propuesto.

4. COMPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Posterior a la recopilación, se seleccionaron los trabajos de grado que contaban con información práctica, es decir, laboratorios con sus respectivos análisis y resultados. Esto con el fin de compararlos y analizarlos cumpliendo así a cabalidad el objetivo propuesto y brindando información importante que nos pudiera generar un análisis teórico y práctico de los mismos.

4.1 RESULTADOS DE LABORATORIOS

A continuación, se expresará por medio de una tabla, las practicas de laboratorio que serán analizadas en esta parte del proyecto, siendo estas buscadas y extraídas en los respectivos trabajos obtenidos.

Tabla 8 Ensayos de laboratorio.

| PRACTICAS DE LABORATORIO |
|--------------------------|
| Granulometría |
| Plasticidad |
| Humedad |
| CBR |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 INFORMACIÓN OBTENIDA POR TRABAJO

A continuación, se desglosará de manera clara, la información que contiene cada uno de los trabajos consultados, así como su respectivo aporte a este trabajo de grado. Expresando de qué manera suministra datos tanto teóricos como prácticos.

Tabla 9. Información trabajos de grado (Desglosada).

| INFORMACIÓN DE LOS TRABAJOS DE GRADO (DESGLOSADA) | | | | | | |
|---|---------------|-------------|---------|---------|--------------------|--------|
| No. | Granulometría | Plasticidad | Humedad | CBR | Análisis económico | |
| 1 | NP | NP | NP | NP | | ✓ |
| 2 | NP | NP | NP | NP | | ✓ (T) |
| 3 | ✓ | ✓ | ✓ | NP | | ✓ |
| 4 | ✓ | NP | ✓ | ✓ | | ✓ |
| 5 | NP | NP | NP | NP | | ✓ |
| 6 | NP (T) | NP (T) | NP (T) | NP (T) | | NP (T) |
| 7 | ✓ (P/A) | ✓ (P/A) | ✓ (P/A) | ✓ (P/A) | | NP |
| 8 | NP | NP | NP | ✓ | | NP |
| 9 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | NP |
| 10 | NP | NP | NP | ✓ (T) | | ✓ |
| 11 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| 12 | ✓ (T) | ✓ | ✓ | ✓ (T) | | NP |
| 13 | NP | NP | NP | ✓ (A/T) | | NP |
| 14 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | NP |
| 15 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| 16 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| 17 | NP (T) | NP (T) | NP (T) | NP (T) | | ✓ (T) |
| 18 | NP | NP | NP | NP | | ✓ |

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

(T)=Teórico (Np)= No presenta (A/T)=Asumido y teórico (P/A)= Programa y asumido (✓)= Cuenta con eso

4.1.2 TIPO DE GEOSINTÉTICO UTILIZADO POR TRABAJO

Cada trabajo analizado, expone o trabaja con información de cierto tipo de geosintético, el cual puede variar dependiendo de el trabajo. A continuación, se lista el tipo trabajado por numeral.

Tabla 10. Tipo de geosintético.

| GEOSINTETICOS UTILIZADO | | |
|-------------------------|----------|-----------|
| No. | Geomalla | Geotextil |
| 1 | ✓ | ✓ |
| 2 | ✓ | ✓ |
| 3 | NP | ✓ |
| 4 | ✓ | NP |
| 5 | ✓ | ✓ |
| 6 | ✓ | ✓ |
| 7 | ✓ | ✓ |
| 8 | ✓ | NP |
| 9 | ✓ | NP |
| 10 | ✓ | NP |
| 11 | ✓ | ✓ |
| 12 | ✓ | NP |
| 13 | ✓ | ✓ |
| 14 | ✓ | ✓ |
| 15 | ✓ | ✓ |
| 16 | ✓ | ✓ |
| 17 | NP | ✓ |
| 18 | NP | ✓ |

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario aclarar que los tipos de geosintéticos trabajados en estos diferentes trabajos de grado, trabajos de maestría, trabajos de posgrado y tesis doctorales, son geomallas y geotextiles en su totalidad y cada uno de estos se subdivide en diferentes tipos o categorías que presentan diferentes características tanto en su funcionamiento como en su utilidad, estos son los siguientes:

Tabla 11. Tipos de geosintético.

| TIPO DE GEOSINTETICO |
|----------------------|
| Geotextil tejido |
| Geotextil No tejido |
| Geomalla Uniaxial |
| Geomalla Biaxial |
| Geomalla Multiaxial |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 INFORMACIÓN RESULTADOS DE LABORATORIO

Como fue planteado inicialmente en los objetivos es necesario comparar los resultados de laboratorio de aquellos trabajos que contengan o mencionen valores con respecto a estos, para así llegar a la respuesta requerida.

Como se menciona anteriormente se recopilaron los datos de las practicas mencionadas en la tabla 8 (Ver tabla 8), realizando con ellos la matriz que será expuesta a continuación.

Se debe tener en cuenta que cada trabajo presenta una particularidad especial, ya sea en la obtención de los resultados o en sus metodologías. Sobre todo, sus suelos, ya que se hace referencia a prácticas realizadas en diferentes países del mundo, con diferentes factores y razonamientos.

Iniciamos con los resultados de granulometría y clasificación el material ya que estos laboratorios son primordiales en el estudio de las propiedades mecánicas de dichos suelos y tienden a ser los primeros.

Tabla 12. Resultados Granulometría.

| ANÁLISIS DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA | | | | | | |
|---|---------------|---|-------|----------|----|--|
| No. | MATERIAL | ASSTHO | | SUCS | | CLASIFICACIÓN |
| 3 | Arcilla | A-7-6 | | CH | | Arcilla de alta plasticidad |
| | Zahorra | A-2-7 | | SC | | Arena arcillosa |
| | Arena | S-3 | | SP | | Arena probablemente graduada |
| 4 | Base granular | A-1-b | | GW-GM | | Grava bien graduada, grava limosa |
| 7 | Grava | A-2-4 | | GC-GM | | Grava arcillosa, grava arcillosa |
| 9 | Arena | A-7-6 | | NP | | Limoso arenoso, pobre a mal graduado |
| 11 | Arcilla | 0+010 km | A-7-5 | 0+010 km | CL | Arcilla limosa |
| | Arcilla | 0+100 km | A-7-5 | 0+100 km | CL | Arcilla limosa |
| | Arcilla | 0+200 km | A-7-5 | 0+200 km | CL | Arcilla limosa |
| | Arcilla | 0+300 km | A-7-5 | 0+300 km | CL | Arcilla limosa |
| 12 | Arcilla | Análisis realizado por medio de un hidrómetro | | | | Limo 55 (%) |
| | | | | | | Arcilla 45(%) |
| 14 | Limo | 0+190 km | A-4 | 0+190 km | ML | Limo |
| | | 0+220 km | A-4 | 0+220 km | ML | Limo |
| | | 0+250 km | A-4 | 0+250 km | ML | Limo |
| 15 | Limos | 256+ 500 | NP | 256+ 500 | CL | Limos arcillosos, con densificación baja |
| | Arcillas | 261 500 | NP | 261 500 | CH | Limos y arcillas de alta plasticidad |
| | Limos | 268+ 500 | NP | 268+ 500 | MH | Limos y arcillas de alta plasticidad |
| | Arcillas | 277+ 500 | NP | 277+ 500 | CH | Arcillas de media a alta plasticidad |
| | Arenas | 295+ 500 | NP | 295+ 500 | SW | Arenas y gravas limosas |
| | Limo | 303+ 500 | NP | 303+ 500 | ML | Limos de baja plasticidad |
| 16 | Sub base | A-1-8 | | GW-GM | | Grava bien graduada, grava limosa |

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla expresa los resultados de la practica de limites de consistencia junto con su respectiva humedad optima.

Tabla 13. Resultados ensayo de límite de consistencia y humedad optima.

| ANALISIS DE RESULTADOS DE LIMITES Y HUMEDAD | | | | | | | |
|---|------------|-----------|------------|-----------|------------|--------|------------|
| No. | LP (%) | | LQ (%) | | IP (%) | | W (%) |
| 3 | Material 1 | 29.6 | Material 1 | 63.5 | Material 1 | 33.9 | 18.37 |
| | Material 2 | 20.6 | Material 2 | 29.7 | Material 2 | 20.6 | 7.8 |
| | Material 3 | NP | Material 3 | NP | Material 3 | NP | 5.39 |
| 4 | NP | | 0 | | NP | | 8.1 |
| 7 | 19.62 | | 25.98 | | 6.35 | | 9.71 |
| 9 | 14.76 | | 21.67 | | 6.92 | | 15.56 |
| 11 | 0+010 km | 16.22 | 0+010 km | 24.42 | 0+010 km | 8.2 | 12.46 |
| | 0+100 km | 16.75 | 0+100 km | 25.42 | 0+100 km | 8.66 | 10.14 |
| | 0+200 km | 16.94 | 0+200 km | 24.81 | 0+200 km | 7.87 | 12.42 |
| | 0+300 km | 16.64 | 0+300 km | 25.59 | 0+300 km | 8.95 | 12.10 |
| 12 | 11.4 | | 18.6 | | 7.2 | | 8.2 |
| 14 | 0+190 km | 31.24 | 0+190 km | 35.37 | 4.14 | | 18.6 |
| | 0+220 km | 33.64 | 0+220 km | 37.66 | 4.02 | | 17.8 |
| | 0+250 km | 32.15 | 0+250 km | 36.15 | 4 | | 18 |
| 15 | 256+ 500 | 9 a 20 | 256+ 500 | 10 a 50 | 256+ 500 | 1 a 30 | 2 a 27.5 |
| | 261 500 | 18 a 28 | 261 500 | 19 a 66 | 261 500 | 1 a 38 | 5.4 a 53.9 |
| | 268+ 500 | 17 a 26 | 268+ 500 | 18 a 50 | 268+ 500 | 1 a 24 | 3.6 a 48.5 |
| | 277+ 500 | 17 a 26 | 277+ 500 | 18 a 50 | 277+ 500 | 1 a 24 | 3.6 a 48.5 |
| | 295+ 500 | 16 a 38.8 | 295+ 500 | 18 a 50.8 | 295+ 500 | 2 a 12 | 5 a 41.1 |
| | 303+ 500 | 21 a 29 | 303+ 500 | 22 a 45 | 303+ 500 | 1 a 16 | 2 a 35 |
| 16 | 16.32 | | 20 | | 3.68 | | 8.3 |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Es importante tener en cuenta según la clasificación de estos tipos de suelos, que para efectuar un notorio e idóneo mejoramiento se realizaron a suelos con un alto porcentaje de finos, los cuales sus propiedades mecánicas eran de muy baja competencias.

A pesar de que internacionalmente se utilizan generalmente dos tipos de metodologías para la clasificación de los suelos (ASSTHO Y SUCS), en el proyecto con numeral doce (12), el cual tiene un distintivo ya que realizaron este procedimiento median el hidrómetro. Método no habitual para obtener estos resultados. A pesar de no ser el convencional, se obtuvieron resultados comunes.

Teniendo en cuenta que cada proyecto se llevó a cabo con diferentes procedimientos y metodología para obtener mejoramientos y resultados propios. Encontramos proyectos que realizaron su análisis en un tramo extenso de carretera, por ende, realizaron un abcisado a los cuales se los produjo cada práctica de laboratorio y en diferentes métodos, obteniendo una particularidad de suelos, donde encontramos similitud en las dos formas de clasificación empleada.

Estos proyectos mencionados anteriormente, que realizan un tramo de vía con su respectivo reforzamiento, son los de numerales once (11), catorce (14) y quince (15). Siendo un sector de vía completo el analizado, es fácil poder identificar las pequeñas diferencias entre cada una de las abscisas evaluadas, de manera que podemos evidenciar en que difiere cada una. En el numeral quince (15) notamos un cambio alto

en la humedad optima, con valores extremos en la primera y la ultima abscisa, abscisas en las cuales encontramos limos abundantes.

Independientemente de los resultados obtenidos, es pertinente mencionar que los trabajos analizados o bien empleaban las practicas de laboratorio, o en casos extremos asumían los valores basándose en normas o investigaciones previas tanto en la zona exacta o el propio país.

Se debe recalcar que la mayoría de estos trabajos son de orden académico, por lo que fue notable una presencia de material de baja calidad, esto para arrojar resultados un poco mas visibles. Por otro parte se evidenciaron resultados mas altos en los trabajos cuyo ámbito fue más laboral y contractual.

5. ANÁLISIS VIABILIDAD ECONÓMICA DE LOS GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZOS

El factor costo y su respectivo análisis se ve afectado por una gran cantidad de variables, así como de factores que pueden modificar la manera en que este trabaja. Esto debido a que no todas las vías del mundo son iguales y los presupuestos que cada una de ellas presentan puede variar dependiendo del país o del propio contratista.

Dentro de todos los trabajos analizados se evidenciaron factores en común, factores que se tenían en cuenta en la mayoría de estos y que sin lugar a duda afectaban el costo final de la obra. Estos son durabilidad y espesores.

La utilización de geosintéticos más allá de aportar a la resistencia y a las propiedades mecánicas de la subrasante o del terreno en particular, buscaba reducir los espesores de las capas lo cual disminuye a su vez el costo de obra. Es necesario aclarar

que esta reducción de espesores en muchos casos de los analizados no fue eficiente, esto se debe principalmente al tipo de material tratado, es decir, a la calidad de la subrasante que generalmente presentaba $CBR < 2-3$, siendo estos, valores extremadamente malos y con propiedades mecánicas limitantes. En el caso de contar con un $CBR > 12$, el cual sería teóricamente y por norma uno significativamente bueno, los resultados en la reducción de espesores serían evidentemente superiores, generando así un ahorro elevado para la obra.

Por parte de la durabilidad, evidenciamos en estos trabajos que el geosintético prolonga la vida útil de la vía como evidenciamos en el trabajo con numeral doce (12), en el cual evidenciamos un aumento de vida útil del 20%. De este mismo modo podemos detallar como reduce los mantenimientos que se le debe realizar a la misma. Al contar con una vía más duradera es claro un ahorro a futuro, que probablemente no se note mucho a corto plazo.

En el trabajo número dieciocho (18), siendo este el último analizado, se evidencia un análisis teórico con respecto al porqué de los precios de construcción. Es evidente que los precios no fueron los esperados debido a los resultados del CBR, los cuales fueron bajos, catalogados en pésimos no permitiendo que el geosintético reforzara adecuadamente o bien a un porcentaje elevado. Debido a todo esto los espesores no se vieron reducidos en su totalidad, o a una gran magnitud, ocasionando así que el precio no disminuyera mucho a diferencia de los métodos de construcción convencionales.

A continuación, evidenciaremos una comparación encontrada en el trabajo del señor Carlos Beltrán, el cual expresa de manera sencilla los costos de obra así como las dos opciones presentadas. La primera tabla es con la adición de geosintéticos.

Tabla 14. Alternativa geosintéticos pavimento flexible, Carlos Beltrán.

| ANALISIS DE COSTO POR METRO CUADRADO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO | | | | | |
|--|---|---------------|-----------------|------------------------|----------------|
| ALTERNATIVA PAVIMENTO FLEXIBLE | | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | COSTO |
| 1 | SUBBASE GRANULAR SBG-A | M3 | 0.20 | \$ 98,144.00 | \$ 19,628.80 |
| 2 | BASE GRANULAR BG-A | M3 | 0.20 | \$ 101,529.00 | \$ 20,305.80 |
| 3 | IMPRIMACION CON EMULSION ASFALTICA CRL | M2 | 1.00 | \$ 1,030.00 | \$ 1,030.00 |
| 4 | RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRR | M2 | 1.00 | \$ 900.00 | \$ 900.00 |
| 5 | MEZCLA DENSA EN CALIENTE BASE ASFALTICA | M3 | 0.08 | \$ 389,977.00 | \$ 31,198.16 |
| 6 | MEZCLA DENSA EN CALIENTE CAPA INTERMEDIA | M3 | 0.08 | \$ 389,977.00 | \$ 31,198.16 |
| 7 | MEZCLA DENSA EN CALIENTE CAPA DE RODADURA | M3 | 0.05 | \$ 404,131.00 | \$ 20,206.55 |
| 8 | GEOMALLA BIAXIAL PARA REFUERZO EN MATERIAL GRANULAR | M2 | 1.00 | \$ 12,000.00 | \$ 12,000.00 |
| 9 | GEOMALLA BIAXIAL EN FIBRA DE VIDRIO PARA REFUERZO EN CAPA ASFALTICA | M2 | 1.00 | \$ 12,000.00 | \$ 12,000.00 |
| COSTO POR METRO CUADRADO | | | | \$ | 148,467.47 |
| TOTAL, COSTO DIRECTO AREA AFECTADA (3645 M2) | | | | \$ | 541,163,928.15 |

Fuente: Trabajo de especialización, Carlos Beltrán. [22]

La segunda tabla expresa el segundo método analizado por parte del autor, el cual fue rechazado. Dicho método no emplea geosintéticos, por el contrario, realiza algo más tradicional contando con acero y pilotes sobre pavimento rígido.

Tabla 15. Alternativa acero y pilotes, pavimento rígido. Carlos Beltrán.

| ANALISIS DE COSTO POR METRO CUADRADO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO | | | | | |
|--|---|---------------|-----------------|------------------------|------------------|
| ALTERNATIVA PAVIMENTO RIGIDO CON PILOTES | | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | COSTO |
| 1 | CONCRETO 4000 P.S.I | M3 | 0.25 | \$ 456,383.00 | \$ 114,095.75 |
| 2 | ACERO DE REFUERZO | KG | 20.00 | \$ 2,725.00 | \$ 54,500.00 |
| 3 | MICROPILOTES HINCADOS DE DIAMETRO 20CM Y LONGITUD 12M | ML | 6.67 | \$ 140,000.00 | \$ 933,800.00 |
| COSTO POR METRO CUADRADO | | | | \$ | 1,102,395.75 |
| TOTAL, COSTO DIRECTO AREA AFECTADA (3645 M2) | | | | \$ | 4,018,232,508.75 |

Fuente: Trabajo de especialización, Carlos Beltrán. [22]

En las tablas anteriores evidenciamos las dos propuestas generadas en el trabajo de especialización, para solucionar una problemática de reforzamiento en una vía de Transmilenio, una de ellas empleaba geosintéticos y el otro acero de refuerzo con micropilotes.

La propuesta ganadora fue la de los geosintéticos y no únicamente por su precio relativamente bajo en comparación con el otro método, sino por su viabilidad y durabilidad.

Teniendo en cuenta los precios establecidos en este trabajo de grado donde emplean geotextiles biaxiales tejidos y en fibra de vidrio, podemos hacer una comparación teórica con los geotextiles empleados o citados en los demás proyectos. Por ejemplo, el geotextil tejido T-2400 con un valor en el mercado que oscila entre los \$14.200 y los \$15.400 pesos. Dicho geotextil representa un valor más elevado comparado con el anterior pero igual sigue siendo más barato que con los métodos convencionales de reforzamiento.

En el trabajo numero quince (15) evidenciamos una comparación económica entre un tramo de vía construido con y sin reforzamiento de geotextil, generando así una idea clara sobre la manera de construir el tramo de vía mas económica. La respuesta fue similar a la de otros trabajos analizados y fue que la subbase granular, al ser la estructura intervenida con geotextil, se pudo reducir de tal manera que hubo un balance positivo entre las dos comparaciones de 2.25%. Ahora, ese 2.25% se vería insignificante en obras con trayectos cortos, pero generalmente son las obras grandes las que deciden reforzar con geotextil, así que un 2.25% es un ahorro elevado en términos de capacidad del contratista o de la entidad gestora de la obra.

En la siguiente tabla evidenciaremos lo mencionado anteriormente, con una de una magnitud un poco mas elevada y significativa, magnitud que permite evidenciar el porcentaje de ahorro de una forma mas notoria debido a su presupuesto inicial. Fue desarrollado en Perú y realiza una comparación de los métodos convencional y con refuerzo de geotextil, el autor refleja los datos en la tabla con su respectivo costo y cantidad.

Tabla 16. Costo Subbase granular con y sin geosintético, Anselmo Núñez.

| CAPA | Subbase espesor 20cm sin Geomalla | | | Subbase de espesor 5cm con Geomalla Biaxial | | |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| CAPA DE SUBBASE | Vol. material Subbase granular M3 | Trans material Subbase D<=1KM | Trans material Subbase D>=1KM | Vol. material Subbase granular M3 | Trans material Subbase D<=1KM | Trans material Subbase D>=1KM |
| METRADO | S/ 60,955.98 | S/ 76,194.98 | S/ 1,747,962.30 | S/ 14,830.64 | S/ 18,538.30 | S/ 425,454.24 |
| PRECIO UNITARIO | 26.13 | 3.78 | 0.66 | 135.62 | 3.78 | 0.66 |
| PARCIAL | S/ 1,592,779.76 | S/ 288,017.02 | S/ 1,153,655.12 | S/ 2,011,331.40 | S/ 70,074.77 | S/ 280,799.80 |
| TOTAL, S/ | | S/ 3,034,451.90 | | | S/ 2,362,205.97 | |
| AHORRO | | | S/ 672,245.93 | | | |
| AHORRO % | | | 22.15% | | | |

Fuente: Trabajo de grado, Anselmo Núñez. [15]

En esta tabla del trabajo número dieciséis (16), evidenciamos la comparación que el autor hace con respecto a el costo de la subrasante granular con y sin geosintético, donde evidenciamos un aumento considerable con respecto a el análisis anterior, siendo un 22,15% el ahorro. El análisis se encuentra en Soles Peruanos y convirtiéndolo a Peso Colombiano serian \$666.346.825.89 pesos.

Es importante de igual manera resaltar el dato de los espesores de la subbase, que al estar reforzados con geosintéticos se reducen un 75%, generando un valor a favor para la obra.

6. ANÁLISIS DE APOORTE A RESISTENCIA

A lo largo de este proyecto de grado, se evaluó una serie de trabajos y cada uno de ellos contaba con uno o varios geosintéticos que emplearon para dar solución a una incógnita “¿Que tanto aporte o beneficio da el geosintético a la subrasante o a la estructura de pavimento?”.

En todos y cada uno de ellos evidenciamos un aumento significativo en el aporte a la resistencia, siendo este aún mejor, dependiendo del tipo de geosintético utilizado y de las características presentes en el suelo. El geosintético biaxial fue claramente superior al uniaxial, no solamente porque fue el más utilizado y el de mejores resultados, sino también porque es el más accesible de conseguir al por mayor, cosa que es fundamental en una obra vial ya que ahorra tiempo de búsqueda de material y a su vez tiempo de ejecución de obra, todo esto sin mencionar la baja probabilidad de alterar el presupuesto inicial de la misma, cosa que es muy común en una construcción.

Evidenciamos una mejora significativa a los valores de aporte a resistencia por parte de los geosintéticos, en los proyectos cuyos laboratorios arrojaron valores positivos o adecuados en sus ensayos, sobre todo en CBR, ensayos que se vieron afectados positiva o negativamente por cuestiones de localización y/o materiales de subrasante.

Los geosintéticos mostraron un aporte indirecto a la resistencia, debido a que beneficiaban fuertemente los valores de cohesión interna en la subrasante o materiales

tratados. Siendo la cohesión un valor directamente proporcional a la resistencia, evidenciamos un beneficio gratificante y notorio por parte de los estos.

En otras palabras, el beneficio del geo sintético ya sea uniaxial, biaxial, fibra de vidrio, o de altos módulos, va ligado a la calidad de los materiales empleados tanto para la práctica de CBR como para los laboratorios previamente realizados, ya que, si tenemos un material con factores positivos en granulometría, límites de consistencia y su humedad, los valores de aporte a resistencia por parte del geosintético serán aún mayores a si estuvieran usando un material malo.

6.1 TABLA RESULTADOS CBR

El CBR es una practica fundamental a la hora de identificar la resistencia o capacidad portante de una subrasante o estructura de pavimento. Dicho laboratorio genera resultados satisfactorios dependiendo del material en cuestión con respecto a su calidad.

A lo largo de este trabajo y su investigación previa, se encontraron diferentes proyectos que contaban con este tipo de ensayo, realizado ya sea a un solo material o a varios, e incluso, realizado a tramos completos de vía para su reforzamiento.

De esta manera podemos identificar y analizar, un CBR pre y post reforzamiento, con el fin de comparar que tanto reforzo el geosintetico y si fue un resultado esperado y gratificante para el contratista o la entidad constructora.

La siguiente tabla expresa los resultados obtenidos de los trabajos estudiados, en cuanto a la práctica de CBR. Resultados que se verán reflejados sin reforzamiento y con reforzamiento respectivamente.

Tabla 17. Resultados CBR Geotextiles.

| RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO CBR | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------------|------------|----------------------------|
| No. | GEOSINTÉTICO | No. MUESTRAS | CBR SR (%) | CBR CR (%) |
| 4 | Geomalla biaxial | 1 | 98 | 100 |
| 7 | Geotextil | 3 | 4 | 6.16 |
| | Geomalla biaxial | | | 6.32 |
| | Con los dos | | | 6.92 |
| 8 | Geomalla Multiaxial | Tramo 1 | 2.55 | reducción de espesores |
| | | Tramo 2 | 6.45 | reducción de espesores |
| | | Tramo 3 | 6.50 | reducción de espesores |
| | | Tramo 4 | 2.20 | reducción de espesores |
| 9 | Geomalla Multiaxial | 1 | 2.5 | 4,075 |
| 10 | Geomalla biaxial | 1 | 1% Teórico | 3% Teórico |
| 11 | Geotextil | 1 | 2.67 | 27.76 |
| 12 | Geomalla biaxial | 2 geomallas | 3 | reducción de espesores |
| 13 | Geotextil | 1 | 3.5 | Aumentó entre 4.025 - 4.34 |
| 14 | Geotextil | Tramo 1 | 6.25 | Aumento teórico |
| | | Tramo 2 | 5.20 | |
| | | Tramo 3 | 5.38 | |
| 15 | Geotextil | Tramo 1 | 5.6 | 6.9 |
| | | Tramo 2 | 3.4 | 11.1 |
| | | Tramo 3 | 10.1 | 10.1 |
| | | Tramo 4 | 3.8 | 12.8 |
| | | Tramo 5 | 10.2 | 10.2 |
| 16 | Geotextil | 1 | 45.26 | 18 |
| | | | | 51 |

Fuente: Elaboración propia. Extrayendo resultados de diferentes trabajos.

El uso de la geomalla como reforzamiento fue mas evidente en la capa de subbase, ya que en esta se generaban cambios mas altos y coherentes al reforzamiento. En este tipo de geosintetico se evidencio en todos los trabajos que funcionaba mejor con CBR por debajo de 3%, ya que en estos era donde todo su potencial se evidenciaba claramente.

Por parte de los geotextiles, se emplearon altamente en la subrasante, donde generaban aumentos en el CBR dependiendo de la calidad de los materiales, siendo mas grande entre mejor sean las propiedades mecánicas del suelo.

En los numerales ocho (8) y dieciséis (16), Emplearon geomallas multiaxiales, las cuales son superiores en cuanto a propiedades mecánicas con respecto a las demás. El inconveniente radica en que únicamente eran rentables tanto económica como en el ámbito de refuerzo, para CBR de baja calidad, es decir menores al 3% o en otros casos entre el 3% y 6% como máximo.

Muchos de estos trabajos expresaban las mejoras por parte del reforzamiento en los espesores, ya que si el geosintetico mejoraba la estructura los espesores de las capas de esta podían reducirse, donde evidenciábamos reducciones entre el 30% y 50% de espesores, lo cual es algo rentable y se encuentra dentro de un rango óptimo.

También presenciamos un caso en el trabajo con numeral siete (7), donde aplican la geomalla para reforzar la subbase, arrojando un CBR de 6.32, teniendo un CBR base de 4. Posteriormente aplicaron un reforzamiento a la subrasante por medio de un geotextil, arrojando un CBR final de 6.16. A ojo es posible decir que la geomalla sería mejor, pero es una deducción apresuradamente errónea, esto se debe a que se

realizaron a capas de la estructura diferentes. Finalmente se realizó el análisis empleando geomallas y geotextiles, lo que arrojó un CBR a la subrasante final de 6.92 valor que económicamente no es rentable, pero por parte de reforzamiento si lo es.

Como mencionado anteriormente, algunos trabajos expresaban su reforzamiento en reducción de espesores, como es el caso del numeral ocho (8). En la siguiente tabla podemos ver los resultados arrojados por parte del autor.

Tabla 18. Reducción de espesores Jeans Mera.

| Tramo en estudio | Diseño convencional | Diseño con refuerzo de geomalla | Diferencia de espesores (cm) |
|------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | Espesor (cm) | Espesor (cm) | |
| Tramo 1 | 53.00 | 30.48 | 22.52 |
| Tramo 2 | 30.00 | 25.40 | 4.60 |
| Tramo 3 | 30.00 | 25.40 | 4.60 |
| Tramo 4 | 53.00 | 38.10 | 14.90 |

Fuente: Extraída del trabajo de grado de Jeans Mera. [8]

Como mencionado anterior mente, el autor define su mejoramiento mostrando que tanto pudo reducir los espesores de las capas, entre mas reducidas estén, mejor habrá sido su refuerzo.

7. CONCLUSIONES

Las geomallas tanto en su aspecto uniaxial como el biaxial, e incluso las multiaxiales que fueron empleadas en Perú, presentaban mejoras a las propiedades mecánicas de la subbase más elevadamente que a la subrasante. Los geotextiles por el contrario reforzaban adecuada y visiblemente la subrasante. Debido a esto es posible mejorar la subrasante haciendo uso de ambos geosintéticos, sin importar que la geomalla este ubicada en una capa superior, arrojando resultados satisfactorios donde la subrasante puede generar hasta un 35.19% de reforzamiento más.

En caso de optar por la utilización de uno o más geosintéticos para el reforzamiento, donde sus precios oscilan entre los \$12.000 y \$16.000 pesos respectivamente, evidenciamos un 742.52% de diferencia entre los métodos convencionales y los métodos de reforzamiento con geosintético, independientemente de la cantidad de estos, o incluso un 22.15% de ahorro siendo este el más bajo.

Para el diseño estructural del pavimento a la hora de la construcción de algún corredor vial, o su reforzamiento hay que tener en cuenta estos tipos de geosistemas, no solo por sus incontables beneficios a la hora de su utilización sino también al mismo tiempo hay que considerar la variabilidad de geosintéticos, su particularidad mejoramiento y sobre todo su amplia facilidad comercial. Siendo el geotextil tejido el más empleado actualmente en nuestro país, con el T-2400 como referencia principal, evidenciado en muchos de los trabajos analizados.

Independientemente del trabajo encontrado y de su respectivo país, fue evidente que en Colombia, Ecuador y Perú el uso de geosintéticos se encuentra en una etapa mas

avanzada y estudiada, donde hay claridad de cual geosintetico es mas conveniente para la construcción y en que momento o etapa debe ser usado.

Comparando las practicas de laboratorio pertinentes, y previamente especificadas notamos una similitud en los métodos de obtención de los resultados por parte de granulometría, plasticidad y humedad optima teniendo un 11.2% de variación únicamente en la granulometría, debido a que no emplearon el ensayo tradicional en uno de sus ensayos.

8. BIBLIOGRAFIA

Referencias

- [1] PAVCO, GEOSISTEMAS MANUAL DE DISEÑO, SANTA FE DE BOGOTA D.C.: BQVI, 2000.
- [2] PAVCO, «PAVCO wanin,» [En línea]. Available: <https://pavcowavin.com.co/>.
- [3] A. Regal, «La Ingenieria del suelo,» *Universidad Catolica del Peru*, p. 1.
- [4] B. M. Das, Fundamentos de ingenieria geotécnica, California Sacramento: Miguel Angel Toledo Castellanos, 2001.
- [5] G. Villareal, «Evaluacion del comportamiento mecanisista de los geosinteticos en pavimentos flexibles,» Universidad de los Andes, Bogota, Np.
- [6] L. Mejia, «Factores condicionantes del uso de geosinteticos en pavimentacion en colombia,» Universidad de los Andes, Bogota, 2002.
- [7] A. M. Alcides Hueto, «Adición de geotextil tejido T-2400 a la estructura intrinseca de diferentes tipos de rellenos,» Universidad de Cartagena, Cartagena, 2017.
- [8] J. Mera, «Evaluación tecnico-economico del uso de geomalla multiaxial como refuerzo en la subrasante de la carretera Santa Cruz-Bellavista, distrito Bellavista-Jaén-Cajamarca,» Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Peru, 2017.
- [9] S. Mayra, «Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo Tx-140 y Tx-160, aplicado a un tramo de la calle Alemania-La Molina-Cajamarca,» Universidad Privada del norte, Cajamarca, Peru, 2016.
- [10] F. Arevalo, «Utilización de geomalla biaxial en diseño de pavimento flexible de la carretera Pedro Carbo-La Estacada,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2016.

- [11] D. V. Jesus Mattos, «Mejora de la subrasante de suelo arcilloso aplicando el sistema de confinamiento celular para reducir las capas de pavimento,» Universidad Ricardo Palma, Lima, Peru, 2019.
- [12] A. Fiorini, «Aplicación de geosintéticos en la construcción de carreteras,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2007.
- [13] N. Gavilanes, «Diseño de estructuras del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua-La Maná,» Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2012.
- [14] G. Sicha, «Diseño de geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru, 2018.
- [15] A. Nuñez, «Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geosintéticos,» Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Peru, 2016.
- [16] J. Ruiz, «Análisis técnico y de costos en carretera de doble carril en pavimento flexible con o sin geotextil sobre subrasantes débiles,» Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2011.
- [17] J. O. Yeison Alayon, «Evaluación Del Comportamiento Mecánico De Una Mezcla Asfáltica Tipo MD-12 Usando Geosintéticos,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2019.
- [18] C. Beltrán, «Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la carrera 7 estación Trasmilenio Museo Nacional,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2013.
- [19] H. Soto, «La aplicación de geosintéticos a terraplenes,» Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2009.
- [20] A. Bustamante, «Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante, con el uso combinado de una geomalla y un geotextil,» Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2016.
- [21] D. O. Freddy Montejó, «Evaluación del comportamiento mecánico de una estructura bicapa, reforzada con geomalla biaxial compuesta for afirmado INVIAS sobre subrasante blanda, aplicable a vías no pavimentadas,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2016.
- [22] C. Beltrán, «Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la Carrera 7 estación Trasmilenio Museo Nacional,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2013.

- [23] N. Hannah-Jones, «ProPublica,» 4 March 2015. [En línea]. Available: <https://www.propublica.org/article/yes-black-america-fears-the-police-heres-why>.
- [24] A. Martinez, «Comportamiento Resistente al Deslizamiento de Geosintéticos,» Universidad de Cantabria, Santander, España, 2009.