

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**USO DE GEOSINTÉTICOS COMO ELEMENTO DE REFUERZO EN VÍAS  
TERCIARIAS NO PAVIMENTADAS**

**VIVIAN ANDREA GALINDO SANDOVAL**

**MARIA CAMILA GALVIS OSSA**

**DIRECTOR:**

**JAIME RAFAEL OBANDO ANTE, D.SC.**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**OCTUBRE DE 2018**

**POPAYÁN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**  
**MAESTRÍA EM INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**VIVIAN ANDREA GALINDO SANDOVAL**

**MARIA CAMILA GALVIS OSSA**

TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA SOMETIDO AL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA ADSCRITO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA COMO PARTE DE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS.

APROBADO POR:

---

JAIME RAFAEL OBANDO ANTE, D.Sc.  
(DIRECTOR)

---

NOMBRE:  
(JURADO INTERNO)

---

NOMBRE:  
(JURADO EXTERNO)

FECHA: POPAYÁN, Octubre de 2018.

## FICHA CATALOGRÁFICA

GALINDO, VIVIAN ANDREA; GALVIS, MARIA CAMILA

Uso de geosintéticos como elemento de refuerzo en vías terciarias no pavimentadas, 2018.  
XIV, 75 p., 279 mm

Trabajo de grado de Maestría – Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil.  
Departamento de Geotecnia. Maestría en Ingeniería de Pavimentos.

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. Geosintéticos        | 2. Vías no pavimentadas  |
| 3. Deformación vertical | 4. Load Wheel Tester LWT |

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Galindo, V. A. & Galvis, M. C. (2018). *Uso de geosintéticos como elemento de refuerzo en vías terciarias no pavimentadas*. Trabajo de grado de Maestría, Universidad del Cauca, Popayán.

## **CESIÓN DE DERECHOS**

NOMBRES DE LOS AUTORES: Vivian Andrea Galindo Sandoval, María Camila Galvis Ossa.

TÍTULO: Uso de geosintéticos como elemento de refuerzo en vías terciarias no pavimentadas.

GRADO / AÑO: Magíster / 2018.

Se concede a la Universidad del Cauca el permiso para reproducir copias de este trabajo de grado de Maestría y para prestar o vender tales copias solamente para propósitos académicos y científicos. Los autores se reservan otros derechos de publicación y ninguna copia de este trabajo puede ser reproducida sin la autorización por escrito de los autores.

---

Vivian Andrea Galindo Sandoval  
C.C. 1.059.601.098  
Email: [ingvivanandrea@gmail.com](mailto:ingvivanandrea@gmail.com)

---

María Camila Galvis Ossa  
C.C. 1.061.763.116  
Email: [mica0347@hotmail.com](mailto:mica0347@hotmail.com)

*Dedicatoria:*

*A Dios, por darnos la vida, sabiduría, fortaleza y ser nuestro guía permanente para que cada meta propuesta sea alcanzada con éxito y satisfacción. Tu amor incondicional nos permite avanzar día a día en la construcción de todo lo que soñamos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros padres por siempre incentivarlos a continuar superándonos como personas y profesionales, por todo su amor, comprensión y apoyo durante el desarrollo de nuestra formación.

A nuestra Alma Máter por darnos la oportunidad de continuar formándonos como profesionales y a todo el cuerpo de profesionales que con su experiencia y recomendaciones contribuyeron a la culminación de nuestro proyecto. Al Doctor Jaime Rafael Obando Ante por su confianza, apoyo y acompañamiento durante este proceso tan importante, cada una de sus orientaciones aportaron al cumplimiento de los objetivos propuestos.

A la empresa Humberto Quintero, quien nos abrió las puertas de su laboratorio para llevar a cabo el desarrollo de la investigación.

## RESUMEN

En Colombia 142.284 Km de vía que se encuentran construidos corresponden a la red vial terciaria Nacional, las cuales en su mayoría son vías no pavimentadas que tienen como superficie de rodadura material granular y se estima que sólo un 18.7 % de estas se encuentran en buen estado (Ministerio del Transporte, 2014). Estas son vías de gran importancia pues garantizan la movilidad de las personas, de productos y de los insumos del sector agrícola desde las zonas más alejadas a los centros urbanos; sin embargo, no se le ha prestado mucha atención a la búsqueda de alternativas para evitar la aparición de deterioros que se presentan al poco tiempo de su puesta en servicio. Actualmente, se han desarrollado varios estudios experimentales para evaluar los efectos de los geosintéticos como elemento de refuerzo en estructuras de pavimento, que van desde tramos de prueba hasta ensayos de laboratorio a pequeña escala. La mayoría de los resultados indicaron que la incorporación de geosintéticos como elemento de refuerzo puede mejorar el desempeño general de la estructura de pavimento, logrando proporcionar una vida útil más larga (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015). En la investigación realizada por (Giroud & Han, 2004) se determinó que la interacción de la geomalla y el agregado, minimiza el movimiento lateral de las partículas de agregado e incrementa la capacidad de carga del material, lo que conlleva a una mejor distribución de las tensiones verticales reduciendo consecuentemente las deformaciones verticales en la subrasante. Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento mecánico del material granular usado en vías no pavimentadas con y sin la presencia de geomallas, a partir del desarrollo de pruebas de laboratorio mediante el ensayo de pista (LWT); para efectos de comparación fueron simuladas las condiciones reforzada y no reforzada sometidas a la acción de carga cíclica. En total cuatro tipos de geomallas, fueron probadas con material granular; es decir que se evaluaron cinco conjuntos de prueba, la del material reforzado y la de la muestra de control sin refuerzo. Los resultados del número de ciclos de carga y profundidad de ahuellamiento soportados por cada cuerpo de prueba, mostraron la influencia de las propiedades del refuerzo en el comportamiento mecánico del conjunto y los significativos incrementos del número de ciclos de carga de los especímenes reforzados en relación a aquellos sin refuerzo.

**Palabras claves:** Geosintéticos, Ensayo de pista LWT, vías terciarias, vías no pavimentadas, deformación vertical.

## ABSTRACT

In Colombia, 142,284 km of built roads belong to the National Tertiary Road Network, most of which are unpaved roads that have granular material as their road surface. It is estimated that only 18.7% of these roads are in good condition (Ministry of Transport, 2014). These are very important routes because they guarantee the mobility of people, goods and supplies from the agricultural sector located in the most remote areas of the country; however, the quest for alternatives to avoid the occurrence of early distresses after these roads are in service has not drawn a lot of attention. Currently, several experimental studies have been developed to evaluate the effects of geosynthetics as a reinforcement element in pavement structures, ranging from test sections to small-scale laboratory tests. Most of the results indicated that the incorporation of geosynthetics as a reinforcement element can improve the overall performance of the pavement structure, achieving a longer lifespan (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015). In the research conducted by (Giroud & Han, 2004) It was determined that the interaction of the geogrid and the aggregate, minimizes the lateral movement of the aggregate particles and increases the load capacity of the material, which leads to a better distribution of the vertical tensions, reducing the vertical deformations in the subgrade. Taking into consideration the information presented above, this effort aimed to evaluate the mechanical behavior of the granular material used in unpaved roads with and without the presence of geogrids, by means of the development of laboratory tests through the loaded wheel test (LWT). For the sake of comparison, the reinforced and non-reinforced conditions subjected to the cyclic loading action were simulated. In total four types of geogrids were tested with granular material; meaning that five test sections were evaluated in total, including the reinforced material and the control sample without reinforcement. The results of the number of load cycles and rutting depth supported by each specimen, showed the influence of the reinforcement properties on the mechanical behavior of the assembly and the significant increments in the number of load cycles when comparing the reinforced specimens with those without reinforcement

Keywords: Geosynthetics, load wheel tester LWT, tertiary roads, unpaved road, vertical deformation.

## ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Descripción del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Objetivos .....</b>	<b>6</b>
4.1. Objetivo general .....	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
<b>5. Marco teórico .....</b>	<b>7</b>
<b>6. Metodología .....</b>	<b>25</b>
6.1. Materiales utilizados.....	25
6.1.1. Material Granular .....	25
6.1.2. Geosintéticos .....	27
6.2. Descripción del equipo y ejecución del ensayo de deformación .....	30
6.2.1. Compactador de rodillo de acero hidráulico .....	30
6.2.2. LWT (Load Wheel Tester).....	31
6.2.3. Elaboración de cuerpos de prueba.....	32
6.2.4. Ensayo LWT .....	35
6.2.5. Ensayo determinación del índice de quiebre de las partículas .....	37
<b>7. Análisis de Resultados .....</b>	<b>38</b>
7.1. Comportamiento mecánico del material granular reforzado y no reforzado con geomallas cuando se somete a la acción de carga cíclica .....	38
7.2. Influencia de las características de las geomallas en el comportamiento mecánico del material granular.....	45
7.3. Beneficios de la geomalla como elemento de refuerzo en material granular .....	48
<b>8. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>55</b>
8.1. Conclusiones.....	55
8.2. Recomendaciones para futuras investigaciones.....	58
<b>9. Bibliografía .....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría del material granular.....	25
Tabla 2. Resultados de caracterización de material granular.....	27
Tabla 3. Resultados de caracterización de geosintéticos proporcionados por fabricante. ....	28
Tabla 4. Índices de quiebre de partículas.....	44
Tabla 5. Eficiencia para los diferentes tipos de geomalla.....	48
Tabla 6. Tasa de incremento de la profundidad de ahueamiento .....	53
Tabla 7. Velocidad de deformación para los diferentes cuerpos de prueba.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Retención lateral.....	12
Figura 2. Aumento de la capacidad de carga. ....	13
Figura 3. Efecto Membrana. ....	13
Figura 4. Deformación promedio vs Número de Ciclos. ....	15
Figura 5. Deformación Vs número de ciclos en una arena de densidad media (Porosidad de la partícula $n=0.16$ ). ....	16
Figura 6. Diagrama de interacción para correlacionar la profundidad de ahueamiento y el número de ciclos de carga para agrupar valores de CBR.....	17
Figura 7. Comparación del CBR con o sin refuerzo.....	18
Figura 8. Análisis de la deformación en todas las secciones de prueba. ....	19
Figura 9. Simulación sección evaluada.....	20
Figura 10. Deformaciones verticales vs Número de ciclos de carga para geosintéticos comerciales. ....	20
Figura 11. Valores de tasa de beneficio de tráfico.....	21
Figura 12. Diagrama esquemático de ensayo LWT.....	22
Figura 13. Resultados prueba LWT. ....	22
Figura 14. Comparativo de ahueamiento para diferentes estructuras de material afirmado..	23
Figura 15. Deformaciones permanentes Vs Número de ciclos de carga .....	24
Figura 16. Curva granulométrica material granular.....	26

Figura 17. Esquema conformación de cuerpo de prueba.....	34
Figura 18. Profundidad de ahuellamiento versus Número de ciclos .....	39
Figura 19. Relación entre Rigidez a tracción de las geomallas y e índice de quiebre de las partículas .....	45
Figura 20. Relación entre la apertura equivalente y el diámetro medio de los agregados y la máxima profundidad de ahuellamiento.....	46
Figura 21. Relación entre la rigidez al 2% de la deformación y la máxima profundidad de ahuellamiento.....	47
Figura 22. Relación entre la Rigidez al 5% de la deformación y profundidad máxima de ahuellamiento.....	47
Figura 23. Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla.....	49
Figura 24. Rigidez al 5% de la deformación Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla.....	50
Figura 25. Rigidez al 5% de la deformación Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla según Coelho et al. (2014). .....	51
Figura 26. Apertura equivalente/D50 Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla.....	52

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Pérdida de Grava. ....	8
Fotografía 2. Ondulaciones.....	8
Fotografía 3. Ahuellamientos.....	9
Fotografía 4. Pérdida de pendiente transversal .....	9
Fotografía 5. Baches .....	10
Fotografía 6. Surcos de erosión .....	10
Fotografía 7. Cabezas duras.....	11
Fotografía 8. Geosintéticos utilizados.....	29
Fotografía 9. Compactador de rodillo de acero hidráulico. ....	30
Fotografía 10. Equipo de ensayo LWT.....	31
Fotografía 11. Peso material granular.....	32

Fotografía 12. Peso agua para humedad óptima .....	32
Fotografía 13. Muestra para un cuerpo de prueba .....	33
Fotografía 14. Conformación primera capa de material granular.....	33
Fotografía 15. Colocación Geomalla .....	33
Fotografía 16. Conformación segunda capa de material granular. ....	33
Fotografía 17. Corte Geomalla. ....	34
Fotografía 18. Compactación de la muestra .....	35
Fotografía 19. Muestra compactada.....	35
Fotografía 20. Ensayo LWT .....	36
Fotografía 21. Muestras después del ensayo.....	36
Fotografía 22. Perfil de deformación .....	36
Fotografía 23. Material no reforzado después de ensayo .....	37
Fotografía 24. Material reforzado después de ensayo. ....	37
Fotografía 25. Profundidades de deformacion de especimenes una vez ensayados en el equipo LWT .....	41
Fotografía 26. Estado final geomalla G1-Polipropileno.....	42
Fotografía 27. Estado final geomalla G2-Polipropileno.....	42
Fotografía 28. Estado final geomalla G3-Poliéster.....	43
Fotografía 29. Estado final geomalla G4-Poliéster.....	43

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
$B_g$	Índice de quiebre de partículas	%
$D_t$	Profundidad de ahuellamiento en el tiempo t	mm
$D_{t+1}$	Profundidad de ahuellamiento en el tiempo t+1	mm
$D_{ref}$	Profundidad de Ahuellamiento material reforzado	mm
$D_{sref}$	Profundidad de Ahuellamiento material no reforzado	mm

<b>Símbolo</b>	<b>Término</b>	<b>Unidad SI</b>
$D_{50}$	Diámetro medio de las partículas de material granular	mm
<b>E</b>	Factor de eficiencia	%
<b>Hz</b>	Hertz	–
<b>Km</b>	Kilómetros	–
$N_t$	Número de ciclos soportados en el tiempo t	–
$N_{t+1}$	Número de ciclos soportados en el tiempo t+1	–
$N_{ref}$	Número máximo ciclos soportados por material reforzado	–
$N_{sref}$	Número máximo de repeticiones de carga soportados por el material no reforzado	–
$\Delta w_i$	Peso retenido entre los tamices antes del ensayo	%
$\Delta w_f$	Peso retenido entre los tamices después del ensayo	%

## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<b>ASTM</b>	American Society of Testing Materials
<b>CBR</b>	California Bearing Ratio
<b>DEM</b>	Método de elementos discretos
<b>G1</b>	Geomalla tipo 1
<b>G2</b>	Geomalla tipo 2
<b>G3</b>	Geomalla tipo 3
<b>G4</b>	Geomalla tipo 4
<b>HMI</b>	Interfaz Hombre Maquina
<b>INV</b>	Instituto Nacional de Vías
<b>J5</b>	Rigidez al 5% de deformación
<b>LVDT</b>	Transductor de desplazamiento lineal
<b>LWT</b>	Load Wheel Tester
<b>NT1</b>	Nivel de tránsito 1
<b>NP</b>	No plástico
<b>PET</b>	Poliéster
<b>PLC</b>	Controlador lógico Programable
<b>PP</b>	Polipropileno

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>RD</b>	Tasa incremento de la deformación
<b>SBG</b>	Subbase granular
<b>SL</b>	Sentido Longitudinal
<b>ST</b>	Sentido transversal
<b>VD</b>	Velocidad de deformación

## 1. Introducción

Según (Ministerio del Transporte, 2014) en Colombia 142.284 Km de vía que se encuentran construidos corresponden a la red vial terciaria Nacional, los cuales en su mayoría son vías no pavimentadas que tienen como superficie de rodadura material granular. Se estima que sólo un 25 % de estas se encuentran en buen estado. Dichas vías son de gran importancia pues garantizan la movilidad de las personas, de productos y de los insumos del sector agrícola desde las zonas más alejadas a los centros urbanos; sin embargo, no se le ha prestado mucha atención a la búsqueda de alternativas para evitar la aparición de deterioros que se presentan al poco tiempo de su puesta en servicio.

Entre las diferentes alternativas que usualmente son usadas para el mantenimiento y rehabilitación de las superficies de rodadura de vías pertenecientes a la red terciaria podemos citar: compactación de capas de suelos y materiales granulares, estabilización de materiales estabilizantes y/o aglomerantes, refuerzo de capas granulares con materiales geosintéticos, entre otros.

En las últimas décadas, se han desarrollado varios estudios experimentales para evaluar los efectos de los geosintéticos como elemento de refuerzo en estructuras de pavimento, que van desde tramos de prueba hasta ensayos de laboratorio a pequeña escala (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015). Los estudios han demostrado que la interacción de la geomalla y el agregado, minimiza el movimiento lateral de las partículas de agregado e incrementa la capacidad de carga del material, lo que conlleva a una mejor distribución de los esfuerzos normales reduciendo consecuentemente las deformaciones verticales en la subrasante (Giroud & Han, 2004).

Teniendo en cuenta lo anterior, en la presente investigación se evaluó el uso de las geomallas como elemento de refuerzo en materiales granulares usados en vías terciarias no pavimentadas; mediante ensayos de pista a nivel de laboratorio (*Load Wheel Tester - LWT*) que permitieron simular condiciones de tráfico por medio de la aplicación de carga cíclica.

Para el desarrollo de esta investigación se hizo uso de cuatro geomallas biaxiales disponibles en el mercado, con cada una de ellas se elaboraron especímenes reforzados y al tiempo fue elaborado un espécimen con material granular sin la presencia de geomalla. Todos los cuerpos de prueba

fueron sometidos a la acción de carga cíclica por medio del ensayo LWT, a partir del cual se obtuvieron el número de repeticiones de carga soportadas y las profundidades de ahuellamiento presentadas, de esta manera se logró comparar el comportamiento mecánico del material granular reforzado con respecto al material no reforzado.

A partir de los resultados obtenidos, fue evaluado el efecto de las propiedades de cada una de las geomallas en el comportamiento mecánico del material granular; y con el fin de cuantificar la contribución de cada tipo de refuerzo, el aporte se evaluó en términos del aumento en las repeticiones de carga soportadas, por medio del cálculo de tres índices recomendados por (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015), beneficios que en la vida real se verían representados en la durabilidad de una vía no pavimentada.

## 2. Descripción del problema

La red vial terciaria de Colombia tiene como función esencial mejorar las condiciones de movilidad tanto de las personas como de los productos y de los insumos del sector agrícola (DANE, 2014); sin embargo, debido a la falta de recursos económicos para inversión en la red vial terciaria y a los altos costos de pavimentación, es común usar material granular para suministrar una superficie de rodadura que mejore las condiciones de acceso a las zonas que comunican este tipo de vías; a pesar de ello cuando estas se construyen sobre suelos de subrasante de baja capacidad portante y por el constante tránsito, la acción del clima, la falta de obras de drenaje, generan algunos deterioros que al poco tiempo de su puesta en servicio incrementan los costos de operación y mantenimiento.

En Colombia, el Instituto Nacional de Vías recomienda actividades de mantenimiento rutinario y periódico de la red vial terciaria, tales como: Bacheo, perfilado ligero, control de polvo con cloruro de calcio, tratamiento con rastras, perfilado pesado, recarga de grava, reciclado de afirmado; las actividades anteriores se ejecutan con el fin de conservarla libre de baches, erosiones, ondulaciones y otros deterioros (Instituto Nacional de Vías, 2016); sin embargo, existen otro tipo de alternativas que pueden ser implementadas y que son recomendadas en el Artículo 233 de la especificación general de construcción de carreteras (Instituto Nacional de Vías, 2013) con la estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de materiales granulares mediante el uso de geosintéticos, que por su buen desempeño a la tracción y adecuada interacción con el suelo constituye una solución favorable para minimizar la falla temprana de la estructura. En Colombia el uso de esta técnica no es una de las más comunes, la escasez de registros de las experiencias obtenidas en campo, le dan a la misma poca confianza; por lo que es necesario estudiar la influencia de las propiedades del geosintético en el desempeño de la estructura de pavimento en las vías terciarias conformadas en material de granular.

### 3. Justificación

Un gran porcentaje de vías en Colombia corresponden a la red vial terciaria, y aunque constituyen un elemento fundamental para el desarrollo económico y social del país, por muchos años ha sido un tema al cual se le ha restado importancia dentro del contexto nacional, tanto así que no se llevan a cabo estrategias de mantenimiento y/o preservación vial que garanticen buenas condiciones de movilidad a los usuarios. Además de eso, es común considerar que la única solución para los deterioros presentados en estas vías es la colocación de una capa de rodadura en asfalto o concreto hidráulico, ignorando el elevado costo a los que conllevan. Especialistas del banco Mundial, han concluido que los costos de una reconstrucción serían el triple de lo que hubiera costado la toma de medidas preventivas y oportunas (Instituto Nacional de Vías, 2016); por lo tanto, las actividades de mantenimiento, en especial el periódico, deben complementarse con lineamientos claros que permitan realizar una intervención coherente y articulada que permitan que los recursos invertidos se vean optimizados garantizando la transitabilidad.

En el contexto nacional el 70% de la red vial terciaria se encuentra conformada con material granular, y sólo el 11.9 % se encuentra en buen estado (Ministerio del Transporte, 2014), hecho que es atribuido a las condiciones de tránsito, la acción del clima, la falta de obras de drenaje hace que se presenten deterioros al poco tiempo de su puesta en servicio; por ello es necesario introducir técnicas que proporcionen soluciones económicas y durables que garanticen buen funcionamiento y comodidad a los usuarios de las vías quienes finalmente son los que se benefician con este servicio. Las geomallas como elemento de refuerzo en vías no pavimentadas han tenido gran aceptación alrededor del mundo; sin embargo, en Colombia su uso ha estado limitado por el desconocimiento de su comportamiento ante las cargas y procesos constructivos.

El uso de geosintéticos como elemento de refuerzo en vías terciarias no pavimentadas, busca tener un impacto social y económico significativo para las entidades territoriales y consecuentemente a las comunidades que hacen uso de la red terciaria, con el principal objetivo de contribuir a la solución de una de las principales problemáticas del entorno rural del país, la cual es la dificultad de movilidad de la comunidad para llevar a cabo el desarrollo de sus actividades económicas y sociales; aunado a ello si se tiene en cuenta que actualmente el Gobierno Nacional plantea políticas públicas con el fin de reducir los costos de producción, la pobreza, el conflicto armado y aumentar

la accesibilidad a los servicios básicos que contribuyan a la construcción de la paz estable y duradera ha fijado lineamientos para la asignación de recursos para intervención en la red vial terciaria a cargo de las entidades territoriales; con inversiones en alternativas técnicas que respondan adecuadamente a las necesidades de las poblaciones (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016); es así como se establecen además de técnicas convencionales, otras más innovadoras como es el uso de geosintéticos como materiales de refuerzo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario aplicar nuevas técnicas de mantenimiento en Colombia, que permitan mejorar las condiciones de tránsito a un costo razonable, tomando como referencia otras investigaciones internacionales, que arrojaron reportes de mejora en el desempeño y prolongación de la vida útil de la estructura de una vía no pavimentada cuando son reforzadas con geosintéticos. Por lo anterior es presentado en este documento una propuesta para el estudio de materiales granulares reforzados con geosintéticos, que permitirá evaluar el comportamiento mecánico del material y la influencia de propiedades del refuerzo tales como: dimensiones de las Aberturas de la geomalla, rigidez e interacción con los materiales granulares. Así mismo, los resultados servirán de base para la realización de nuevas investigaciones a nivel de campo que permitan establecer lineamientos específicos para la implementación de esta técnica como una alternativa sostenible para el mantenimiento de las vías terciarias, fortaleciendo la cooperación interinstitucional y la producción científica con nuevos proyectos de investigación desarrollados en la línea de Pavimentos reforzados con geosintéticos.

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento mecánico del material granular usado en vías no pavimentadas con y sin la presencia de geomallas mediante el uso de un simulador de tráfico de laboratorio (LWT).

### 4.2. Objetivos específicos

- Estudiar el uso de geomallas como elementos de refuerzos en vías terciarias no pavimentadas.
- Comparar el comportamiento mecánico del material granular reforzado con geomallas y no reforzado cuando se somete a la acción de carga cíclica mediante el ensayo LWT.
- Determinar la influencia de las características como abertura, tipo de polímero y rigidez a tracción de las geomallas utilizadas como refuerzo en el comportamiento mecánico del material granular.
- Comparar el desempeño de las diferentes geomallas utilizadas en el comportamiento mecánico del material granular.

## 5. Marco teórico

Las vías terciarias conformadas con material de granular deben garantizar una superficie de rodadura estable de tal manera que los esfuerzos transmitidos por las cargas vehiculares repetidas, sean distribuidos uniformemente, al mismo tiempo que sirven como capa de transición para disminuir las deformaciones a nivel de la subrasante, mejorando la capacidad de soporte del suelo con control de los cambios volumétricos (Ministerio del Transporte & Pontificia Universidad Javeriana, 2008).

El hallazgo de suelos inestables de mala calidad, aguas subterráneas y superficiales de difícil manejo, sumados a las condiciones climáticas extremas y la escasez de materiales en la zona que cumplan con los requerimientos exigidos por la normativa vigente, constituyen un factor determinante al momento de elegir la solución ingenieril más adecuada para garantizar las características de funcionalidad y transitabilidad de este tipo de vías (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016).

En este tipo de vías se pueden presentar una serie de deterioros que afectan la superficie de rodadura impidiendo el tránsito normal de los vehículos, disminuyendo la comodidad y seguridad de cada uno de los usuarios. Según (Sanchez, 2009) los siguientes son algunos tipos de deterioros en vías con afirmados:

- **Pérdida de grava:** (Sanchez, 2009) lo define como la desaparición del material superficial por las agresiones sufridas por el afirmado, incluyendo algunas acciones de conservación, su desarrollo es variable de acuerdo al clima, los materiales de construcción, el tránsito y la topografía; ocurre en cualquier época del año, pero se acentúa con la lluvia, mientras que en épocas secas se forman nubes de polvo que reducen la visibilidad y afectan a los vecinos de la vía (Fotografía 1).



Fotografía 1. Pérdida de Grava.

- **Ondulaciones:** (Sanchez, 2009) establece que corresponde a la reordenación de la superficie en ondas paralelas orientadas perpendicularmente al sentido del tránsito, ocupan todo el ancho de la vía y su longitud de onda varía desde 300 mm en calzadas arenosas, hasta 1,000 mm en calzadas con alto contenido de grava. El deterioro se desarrolla en la estación seca, cuando los materiales presentan cohesión débil (Fotografía 2).



Fotografía 2. Ondulaciones

- **Ahuellamientos:** (Sanchez, 2009) menciona que son aquellas deformaciones que provienen de las fuerzas ejercidas por los neumáticos de los vehículos y altera la pendiente transversal, por lo que cuanto más pesado y canalizado sea el tránsito más marcado será este

tipo de deterioro. Este deterioro dificulta los desplazamientos laterales de los vehículos y afecta notoriamente la seguridad de los usuarios (Fotografía 3).



Fotografía 3. Ahuellamientos

- **Pérdida de pendiente transversal:** Deterioro causado por el desgaste superficial producido por el tránsito, así como por pérdidas irregulares de grava o asentamientos desiguales del suelo de fundación. Se traduce en estancamientos de agua y en la disminución de la capacidad estructural de la calzada (Sanchez, 2009) (Fotografía 4).



Fotografía 4. Pérdida de pendiente transversal

- **Baches:** Depresiones localizadas de forma más o menos circular que tienen su origen en defectos del perfil de la subrasante o en otros deterioros preexistentes. Se desarrollan principalmente en épocas de lluvia, debido a que el agua acumulada satura el material superficial y lo hace más vulnerable a la acción del tránsito (Sanchez, 2009) (Fotografía 5).



Fotografía 5. Baches

- **Surcos de erosión:** Se producen por deficiencias en el drenaje superficial y pueden ser paralelos o perpendiculares al eje de la calzada. Afectan la calzada principalmente en zonas con fuertes pendiente y baja compactación. El fenómeno se intensifica en los periodos largos de lluvia (Sanchez, 2009) (Fotografía 6).



Fotografía 6. Surcos de erosión

- **Cabezas duras:** Se refiere a aquellas partículas gruesas sobresalen en la superficie del afirmado, por pérdida del material fino alrededor de ellas. Según (Sanchez, 2009) el fenómeno se puede producir por la presencia de sobretamaños, por discontinuidades en la granulometría de la grava o por diferencias de dureza entre las partículas del agregado grueso. Dan lugar a una pésima calidad de la superficie y obligan a una drástica disminución en la velocidad de circulación (Fotografía 7).



Fotografía 7. Cabezas duras

Con el fin de mantener en condiciones adecuadas la estructura y evitar que estos deterioros se presenten en la superficie de rodadura de forma prematura, es importante que se consideren nuevas estrategias de mantenimiento como la propuesta por (Koerner,2005) que considera que el uso de geosintéticos constituye una alternativa económica y durable que proporciona una reducción en los costos de mantenimiento.

Además, establece que las geomallas biaxiales, han constituido una buena solución para reforzar carreteras no pavimentadas, ya que permiten una mejor disipación de los esfuerzos en el material granular, considerando por ello que la propiedad más importante es la rigidez a la tracción al 1% y 2% de la deformación máxima del geosintético; pues la elongación del refuerzo aumenta con la disminución de la capacidad de carga de la subrasante.

Según experiencias obtenidas por (Mekkawy, White, Suleiman, & Jahren, 2011) las funciones de los geosintéticos en estructuras de pavimentos son:

- Mejorar la capacidad de carga del material que se refuerza.

- Reducir el bombeo de los finos.
- Evitar la contaminación de los materiales de base.
- Reducir volúmenes de excavación, minimizando el grado de alteración de la subrasante durante la construcción.
- Reducir el mantenimiento y prolongar la vida del pavimento.

Las estructuras de pavimentos con geosintéticos instalados en la interfase base-subrasante, soportarán mayores repeticiones de carga, debido a que estos restringen el movimiento lateral del agregado; y por ende distribuyen las cargas sobre una mayor área de la subrasante (U.S Army Corps of Engineers, 2003).

Es importante conocer los mecanismos de refuerzo que soportan el uso de las geomallas cuando son usadas como elemento de refuerzo en carreteras no pavimentadas, (Giroud & Han, 2004) y (U.S Army Corps of Engineers, 2003) establecen los siguientes:

- **Mecanismo de retención lateral:** Debido a la fricción que se presenta entre el material granular y el geosintético, se restringe el movimiento lateral de las partículas de agregado, así, el refuerzo absorbe parte de las tensiones horizontales y se mejora la distribución de las cargas sobre la subrasante (Figura 1).

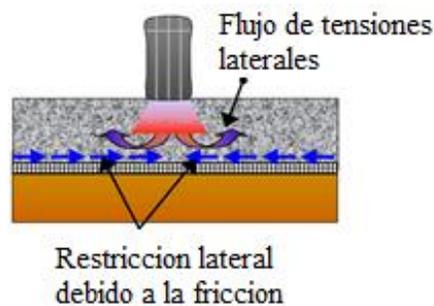


Figura 1. Retención lateral.

Fuente: Modificado de (U.S Army Corps of Engineers, 2003)

- **Aumento de la capacidad de carga:** El mecanismo de aumento de la capacidad de carga causada por el refuerzo ocurre debido a que el geosintético facilita el desarrollo de una nueva

superficie de falla que proporciona una mayor capacidad de soporte. El refuerzo que aporta el geosintético disminuye los esfuerzos cortantes transmitidos al material subyacente y es así como cambia el modo de falla de la subrasante de punzonamiento a falla general (Figura 2).

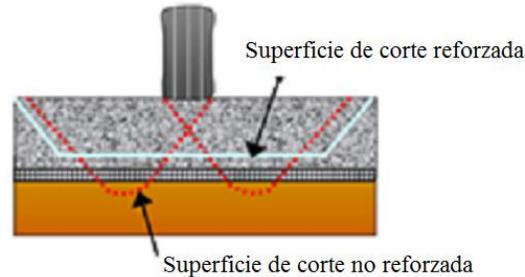


Figura 2. Aumento de la capacidad de carga.

Fuente: Modificado de (U.S Army Corps of Engineers, 2003)

- **Efecto membrana:** Se refiere a la deformación que experimenta el geosintético, que actúa como una membrana tensionada debido a las fuerzas generadas por las llantas de los vehículos, mejorando la distribución de tensiones verticales. (Perkins & Ismeik, 1997) establecieron que el refuerzo mientras este en tensión, disipa las cargas en un área mayor generando una reducción en la deformación de la subrasante; mecanismo que desarrolla solamente en suelos de capacidad de soporte baja (Figura 3).

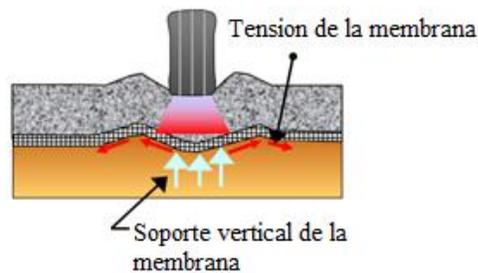


Figura 3. Efecto Membrana.

Fuente: Modificado de (U.S Army Corps of Engineers, 2003)

Durante los últimos años el uso de geosintéticos para reforzar estructuras sin pavimentar ha ido incrementando; sin embargo, en Colombia el uso de esta técnica no es una de las más comunes,

debido a que no existe un registro de desempeños satisfactorios que permita convalidar la efectividad de la técnica.

Entre las diversas aplicaciones de los geosintéticos en obras de infraestructura vial, se destaca el refuerzo de estructuras de pavimento con geomallas, alternativa que es cada vez más común; pues se han reportado beneficios de las geomallas respecto al control de las deformaciones plásticas en la superficie y el mejoramiento de la vida en fatiga del pavimento (Austin & Gilchirts, 1996).

(Hufenus, y otros, 2006) llevaron a cabo una prueba de campo a gran escala en una carretera sin pavimentar reforzada con geosintéticos, para investigar la capacidad de carga y su desempeño en un suelo blando. La pista de prueba se construyó con tres capas de material de relleno reciclado y triturado. La primera capa se compactó de forma estática, mientras que la segunda y la tercera se compactaban dinámicamente; por otro lado, las deformaciones en los geosintéticos y el ahuellamiento del relleno fueron medidas a corto y largo plazo. A partir de esta simulación encontraron que los diversos geosintéticos utilizados para el tramo no pavimentado, sólo tenían un efecto de refuerzo relevante cuando se usaba en espesores pequeños de material granular y sobre una subrasante blanda, pues determinaron que bajo tales condiciones, la subrasante podría deformarse, y por lo tanto las fuerzas de tensión en el geosintético aumentarían; además concluyeron que el grado alcanzable de refuerzo depende de la rigidez del geosintético y está limitado por la fuerza de anclaje lateral.

(Tensar, 2009) desarrolló un equipo a pequeña escala para investigar el desempeño de diferentes tipos de geomallas y la forma en que funcionan en la estabilización del pavimento ante la acción del tráfico. El equipo consistía en una rueda de caucho cargada con 2 kN, con una presión de 600 kPa equivalentes a la presión convencional de un camión completamente cargado para un determinado número de pasadas (3,000 para la sección de control y 10,040 para las reforzadas), la deformación se midió continuamente utilizando sensores para cada una de las estructuras compuestas por 150 mm de agregado y 75 mm de arcilla. Se determinó que el dispositivo de prueba y los procedimientos fueron adecuados para cuantificar los niveles de desempeño de las geomallas, pues permitieron comprender cómo pequeñas variaciones en las propiedades del producto; tales como, geometría de la apertura, resistencia a la tracción y rigidez influyen en el desempeño de las mismas (Figura 4).

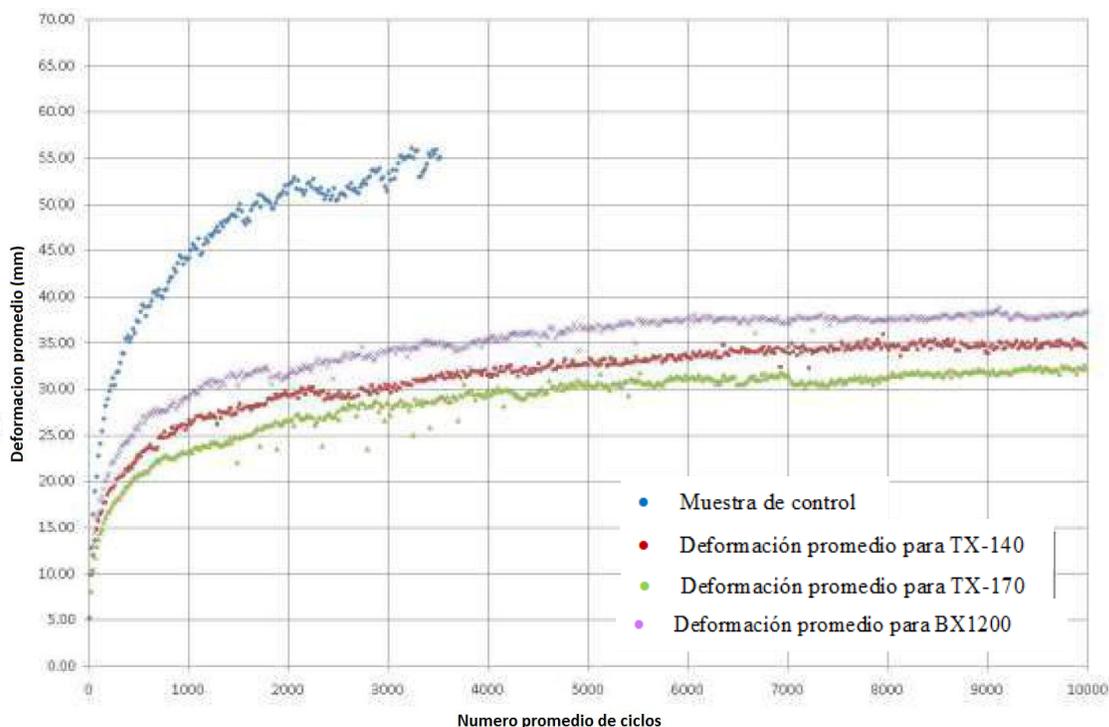


Figura 4. Deformación promedio vs Número de Ciclos.

Fuente: Modificado (Tensar, 2009).

(Palmeira, 2009) presenta y discute algunos métodos experimentales, teóricos y numéricos para el estudio y la evaluación de la interacción entre suelos y geosintéticos, con particular referencia a las aplicaciones de estos materiales en el refuerzo del suelo, presentando las principales ventajas y limitaciones de algunas prácticas tradicionales tanto experimentales como de métodos teóricos para el estudio de la interacción suelo-geosintético y nuevas aplicaciones de estos métodos.

(Bhandari & Han, 2010) investigaron la interacción geotextil-suelo bajo una carga de rueda cíclica usando el Método de los Elementos Discretos (DEM). Como resultado de este estudio se determinó la influencia de la profundidad de colocación y la rigidez del geotextil sobre el desempeño de la base reforzada. Los resultados del análisis realizado con DEM demostraron que la profundidad del geotextil afectó significativamente el grado de interacción entre el geotextil y el suelo. El efecto de la rigidez del geotextil sobre la deformación fue más significativo cuando se colocó en una ubicación más superficial que cuando se colocó en una ubicación más profunda (Figura 5).

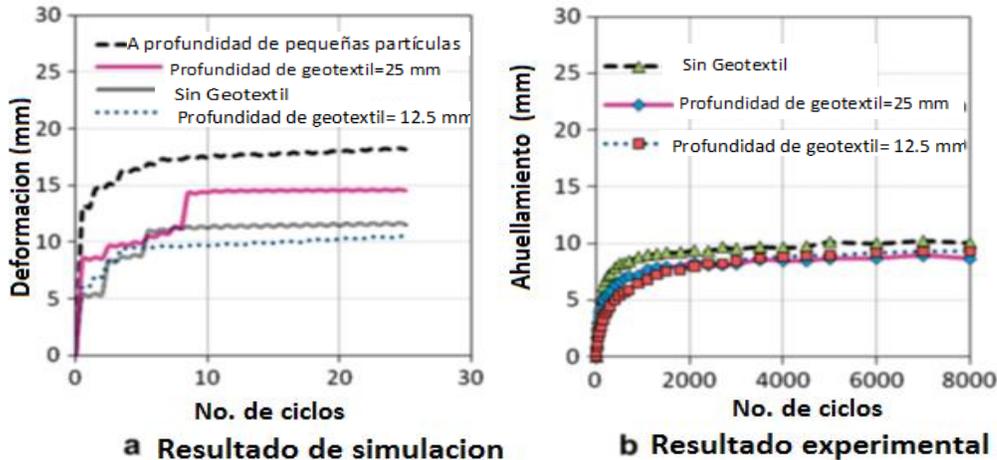


Figura 5. Deformación Vs número de ciclos en una arena de densidad media (Porosidad de la partícula  $n=0.16$ ).

Fuente: Modificado de (Bhandari & Han, 2010)

(Mekawy, White, Suleiman, & Jahren, 2011) realizaron un estudio de campo en la Universidad Estatal de Iowa, donde se mostró que muchas capas granulares conformadas sobre subrasantes arcillosas con valores de CBR de 10 o menos y sometidas a cargas de tráfico repetidas, desarrollaban un ahuellamiento considerable. En la experiencia se evaluaron el uso de geomallas biaxiales para estabilizar capas granulares sobre secciones de subrasantes blandas, lo anterior mediante una sección de prueba de aproximadamente 310 m de largo, 2.40 m de ancho. La sección fue dividida en tres tramos de prueba, el de control y dos tramos reforzados, cada uno con un tipo de geomalla. Las geomallas se colocaron en la interfase subrasante y capa granular (espesor de 200 mm) y se llevó a cabo un seguimiento detallado de las secciones de prueba durante un año. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la geomalla con mayor resistencia a la tracción y menor apertura redujeron el ahuellamiento del suelo en un 75% en comparación con la prueba de control, mientras que los otros dos tipos de geomallas (con menor resistencia a la tracción y menores aperturas) lo redujeron en un 70%.

(Mekawy, White, Suleiman, & Jahren, 2011) complementaron el estudio de campo anteriormente realizados por ellos mismos con un programa de pruebas de laboratorio, en el cual se utilizó la carga cíclica para estudiar el desempeño de nueve modelos de terraplenes granulares. Cada modelo de laboratorio simuló un terraplén granular soportado en la subrasante blanda con refuerzo de

geomalla en la interfase. Basados en los resultados de la investigación, se desarrolló un diagrama de interacción para correlacionar la profundidad de ahuellamiento y el número de ciclos de carga para agrupar valores de CBR. Lo anterior se verificó mediante medidas de campo y de laboratorio que se utilizó para optimizar los parámetros de diseño que permitieron predecir mejor el desempeño de las capas granulares (Figura 6).

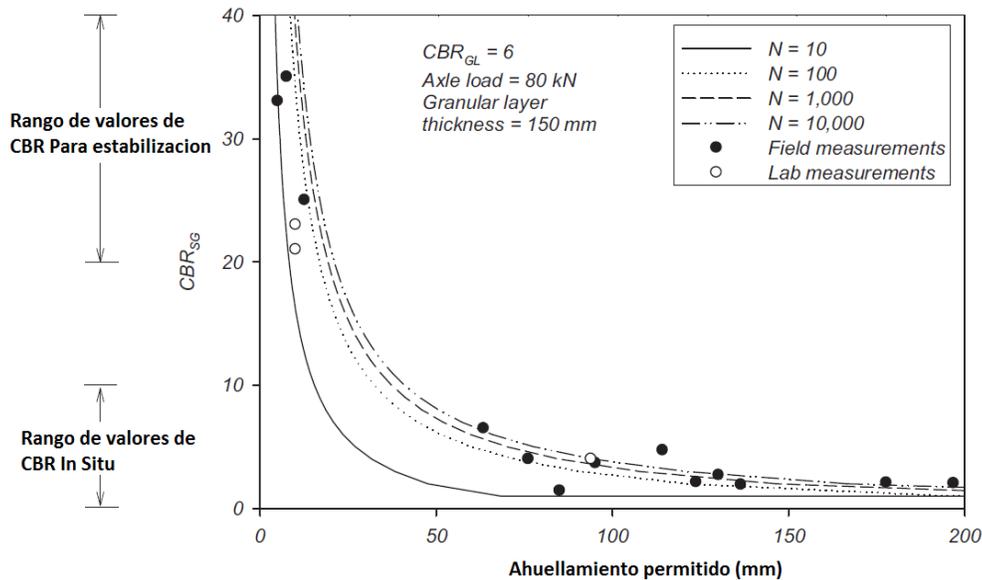


Figura 6. Diagrama de interacción para correlacionar la profundidad de ahuellamiento y el número de ciclos de carga para agrupar valores de CBR.

Fuente: Modificado de (Mekawy, White, Suleiman, & Jhren, 2011)

(Ahmet, Mustafa, Abdulazim, & Murat Ornek, 2013) desarrollaron 16 pruebas de campo a gran escala para evaluar cambios en la capacidad de carga al considerar tres alternativas de estabilización con y sin la presencia de geosintéticos. En una de las alternativas realizaron la sustitución del suelo natural por capa granular y en las otras se conformaron capas granulares reforzadas con una y dos capas de geomalla respectivamente. A partir de las evaluaciones determinaron que cuando se sustituye suelo de subrasante solamente por material granular, la capacidad de carga aumenta aproximadamente un 40%; mientras que cuando se sustituyeron los suelos de subrasante blandos por un material granular reforzado con una y dos capas de geomalla se mejoró la capacidad de carga en aproximadamente 70% y 130%; respectivamente (Figura 7).

En todas las pruebas evaluadas el refuerzo de geomalla proporcionó una ventaja económica que se vió representada en la reducción del espesor de la capa de material granular y en la disminución de la cantidad de suelo natural a eliminar.

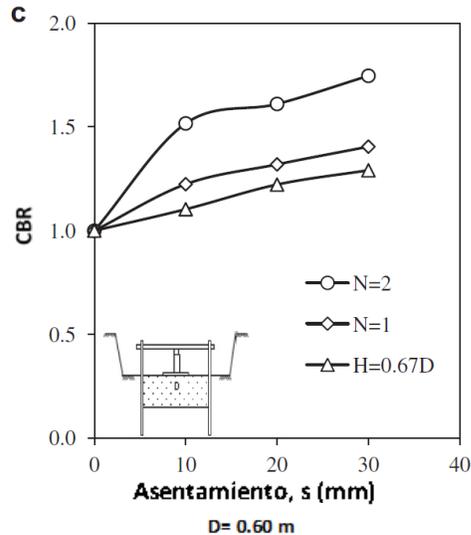


Figura 7. Comparación del CBR con o sin refuerzo.

Fuente: Modificado de (Ahmet, Mustafa, Abdulazim, & Murat Ormek, 2013)

(Cuelho, Perkins, & Morris, 2014) realizaron un programa completo de evaluaciones de laboratorio que incluyó la construcción, monitoreo y análisis a gran escala de diecisiete tramos de prueba en campo durante el verano de 2012 en Lewiston – Montana, para evaluar diferentes geosintéticos.

Los resultados de este estudio indicaron que la rigidez de la geomalla contribuía a mejorar el desempeño de las capas granulares reforzadas con geosintéticos, y que la contribución dependía del espesor de la capa de material granular. Además, determinaron que se debían considerar valores mínimos para las propiedades de los materiales, estos valores podían ser categorizados por la severidad de las condiciones del sitio, que iban desde de moderado a severo.

Se concluye que la mayor disminución en el espesor del material granular era aproximadamente 26.9% correspondiente a una diferencia de 4 pulgadas de grava (TenCate Geotextil Mirafi

RS580i); y lo mínimo fue 10.2% correspondiente a 1.2 pulgadas de grava (HueskerFornit 30). Estas comparaciones fueron válidas para situaciones donde el espesor de grava fue suficiente para permitir la operación de equipo pesado de construcción sin generar deformaciones excesivas u otro daño. Se mostró también que la mayor tasa de incremento del tráfico TBR se logró mediante el uso de TenCate Geotextil Mirafi RS580i, lo que resultó en una mejora de casi 11 veces el nivel de tráfico en comparación con la sección de prueba no reforzada (Control 1). El TBR más pequeño resultó de la sección de prueba reforzada con el HueskerFornit 30 (TBR = 2.3).

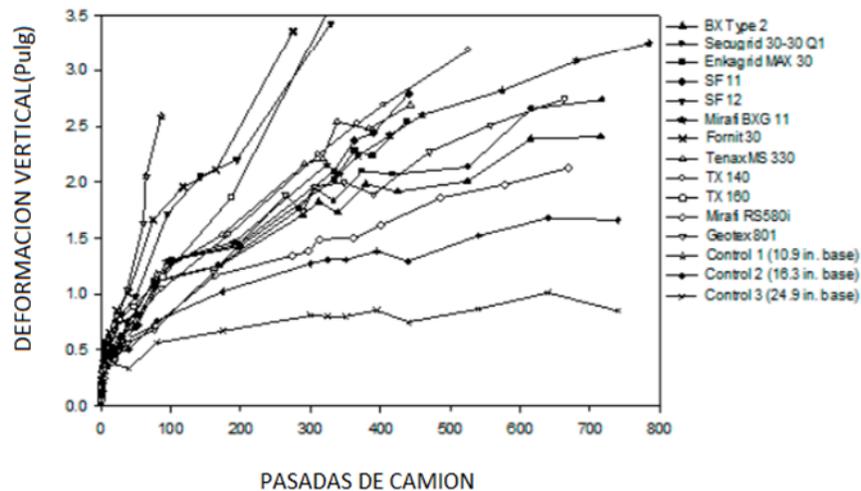


Figura 8. Analisis de la deformacion en todas las secciones de prueba.

Fuente: Modificado de (Cuelho, Perkins, & Morris, 2014).

(Góngora I. A., 2015) desarrolló un equipo a nivel de escala de laboratorio para simular el paso de vehículos a través de la aplicación de carga cíclica y así evaluar la influencia de las propiedades de diferentes tipos de geosintéticos (comerciales y de fabricación propia) en el comportamiento mecánico de capas granulares. Se simuló la estructura mostrada en la Figura 9; encontrando que el uso de geosintéticos contribuyó en el aumento del número de repeticiones de carga soportadas y además que el módulo de estabilidad a la abertura no debe ser un parámetro relevante en los métodos de diseño de este tipo de vías debido a que no se encontró relación alguna con respecto al mayor o menor número de repeticiones de carga (Figura 9 y 10).

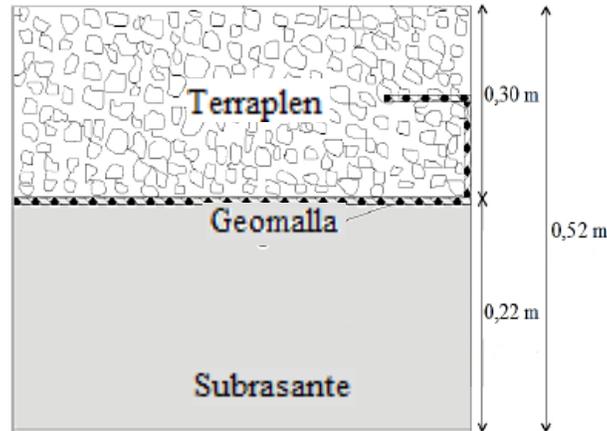


Figura 9. Simulación sección evaluada.

Fuente: Modificado de (Góngora I. A., 2015).

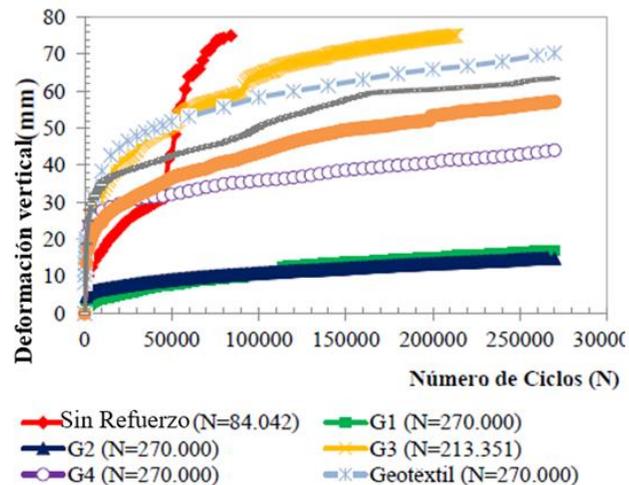


Figura 10. Deformaciones verticales vs Número de ciclos de carga para geosintéticos comerciales.

Fuente: Modificado de (Góngora I. A., 2015).

Teniendo como base la investigación realizada por (Góngora I. A., 2015), por medio de ensayos a gran escala en laboratorio, (Gongora & Palmeira, 2016) evaluaron la influencia de algunas propiedades del refuerzo sobre el desempeño de un suelo de baja capacidad portante. Para ello fueron utilizadas doce geomallas y un geotextil tejido. Seis geomallas (códigos G1-6) y el geotextil (código GT) eran productos disponibles comercialmente en el mercado, mientras que las otras geomallas (códigos G7-12) se fabricaron en el laboratorio con tiras de polipropileno, con aberturas que variaron entre 11 y 40 mm. Es importante destacar que todos los refuerzos tenían sus extremidades dobladas en el material de relleno para mejorar las condiciones de anclaje. Los

resultados obtenidos permitieron concluir que la geomalla a utilizarse como refuerzo en una vía no pavimentada debía especificarse no sólo en función de su rigidez y resistencia, sino también teniendo en cuenta la influencia de otras propiedades. La interacción entre la geomalla y el suelo jugó un papel muy importante en el desempeño del refuerzo, y los resultados obtenidos mostraron la relevancia de factores como el espesor de la geomalla y relación de diámetro de partícula de material granular. Adicionalmente se mostró una correlación satisfactoria entre TBR y las propiedades físicas y mecánicas de la geomalla para las condiciones de prueba utilizadas en este estudio.

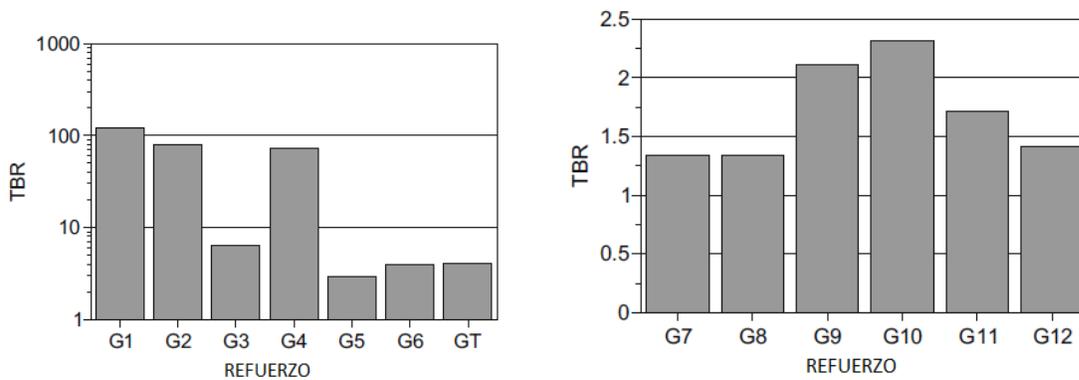


Figura 11. Valores de tasa de beneficio de tráfico.

Fuente: Modificado de (Gongora & Palmeira, 2016).

(Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015) llevaron a cabo pruebas de LWT; a partir de las cuales determinaron que la profundidad de instalación de las geomallas influye en el desempeño mecánico del material granular, por lo que colocaron las geomallas a 25 mm por debajo de la superficie de la base granular. La prueba LWT se llevó a cabo durante 16.000 ciclos a una frecuencia de 2 Hz (2 ciclos / seg.). Se probaron dos tipos de materiales, arena de río y grava, y para cada uno se aplicaron diferentes magnitudes de carga y presiones de contacto.

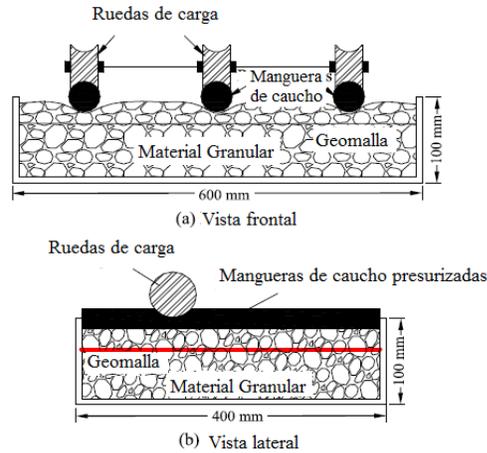


Figura 12. Diagrama esquemático de ensayo LWT.

Fuente: Modificado de (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015).

Los resultados tanto de LWT como de pruebas de carga cíclica desarrolladas por (Wu et al., 2015) indicaron que todos los especímenes de material granular reforzados con geomallas exhibieron menos ahuellamiento que las muestras de control (sin refuerzo) (Figura 13).

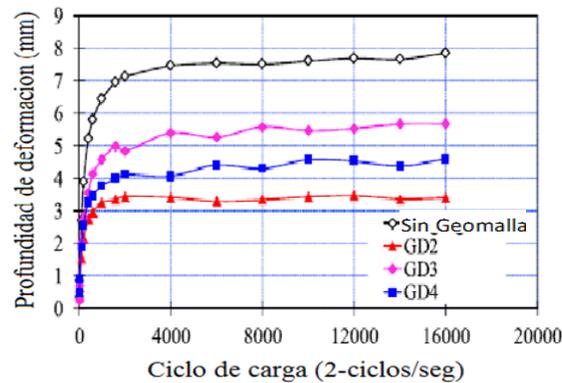


Figura 13. Resultados prueba LWT.

Fuente: Modificado de (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015).

Así mismo determinaron que el ensayo LWT con una caja de muestras modificada era efectivo para evaluar los efectos de las geomallas en el material granular sometido a carga cíclica. El método de prueba LWT presentó buena repetitividad y permitió demostrar que el ensayo era capaz

de identificar la influencia de las aberturas de la geomalla, tamaño de grano y gradación de los agregados en el comportamiento mecánico del material granular.

(Montejo & Otero , 2016) evaluaron diferentes configuraciones de estructuras bicapa, conformadas por una subrasante de características blandas y un material clasificado como Afirmado en el manual del Instituto Nacional de Vías (INVIAS 2013), donde se variaron los espesores de material granular y tipos de geomalla biaxial. Estas configuraciones se sometieron a la aplicación de carga cíclica, para simular el efecto del paso de vehículos, y poder establecer las condiciones de funcionamiento e interacción de los diferentes elementos utilizados en la estructura. Se realizaron mediciones de las deformaciones acumuladas, y se determinó la disminución de las deformaciones plásticas de la estructura. La inclusión de geomallas de refuerzo, en todos los espesores analizados, presentaron un mejoramiento de las condiciones mecánicas de la estructura (entre el 30% y 50% para Geomalla tipo 1 y entre el 30% y 80% para la Geomalla tipo 2), disminuyendo los ahuellamientos en superficie e incrementando los módulos resilientes de las estructuras, con lo cual se aumentó el número de aplicaciones de carga que soportaba cada estructura, en comparación con los modelos no reforzados.

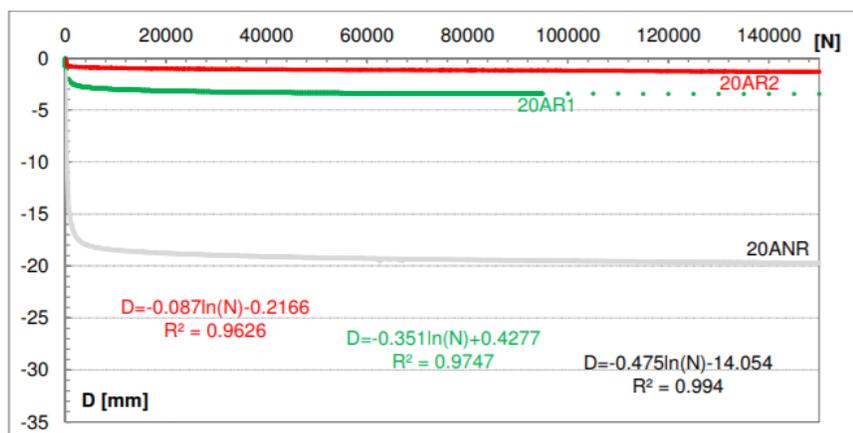


Figura 14. Comparativo de ahuellamiento para diferentes estructuras de material de afirmado.

Fuente (Montejo & Otero , 2016).

En el estudio realizado por ( Han, Sun, Schrock, Parsons, & Guo, 2018), fueron analizadas cuatro secciones de prueba con 0.15 m de espesor de material granular sobre una subrasante con CBR de 3%. Las secciones de prueba incluían un agregado no estabilizado, una subrasante no estabilizada, un agregado estabilizado con geomalla y una subrasante estabilizada con geomalla; todas fueron

conformadas en una caja geotécnica (2.2 m de largo, 2 m de ancho y 2 m de alto) y sometidas a la acción de una carga cíclica de 40 kN a través de una placa circular (0,305 m de diámetro). Los resultados mostraron que la presencia de geomallas reducía las tensiones verticales y deformaciones permanentes, y generaban una mayor resistencia a las deformaciones. Con el aumento de los ciclos de carga, se acumularon deformaciones permanentes drásticamente al principio, pero la tasa de acumulación disminuyó gradualmente. Dichas deformaciones fueron atribuidas a la subrasante, pues con la inclusión de las geomallas, se evidenció que las deformaciones permanentes de la superficie y la subrasante se redujeron significativamente. Como se muestra en la Figura 15, el comportamiento de la sección de prueba estabilizada con la geomalla fue mucho mejor que la del agregado no estabilizado.

El estudio lo profundizaron con la determinación de un factor de mejora que fue definido como la relación entre número de ciclos de carga para la sección estabilizada con la geomalla y el número de ciclos de la sección no estabilizada a un mismo nivel de deformación. Con lo anterior se concluyó que los factores variaban entre 1.8 y 3.2 para deformaciones permanentes de 40 y 70 mm; respectivamente. Dicho factor permitió cuantificar el aporte que presentaron las geomallas en cada una de las secciones evaluadas.

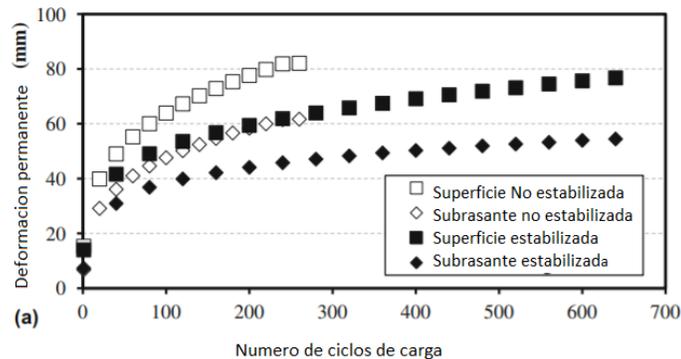


Figura 15. Deformaciones permanentes Vs Numero de ciclos de carga

Fuente: Modificado de ( Han, Sun, Schrock, Parsons, & Guo, 2018)

## 6. Metodología

### 6.1. Materiales utilizados

En este capítulo se presentarán las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los materiales que fueron utilizados para el desarrollo de esta investigación, intentando simular a nivel de laboratorio el probable comportamiento que tendría una vía no pavimentada sometida a la acción del tráfico. De esta manera, se describirán todos los ensayos realizados y procedimientos adoptados para caracterizar cada uno de ellos, las características de los materiales y su concordancia con lo exigido por las especificaciones actuales del Instituto Nacional de Vías.

#### 6.1.1. Material Granular

El agregado utilizado en la presente investigación fue conformado por material de trituración de la fuente Río Chicamocha-Pescadero, Departamento de Santander. En la Tabla 1 se muestra el comportamiento de la combinación propuesta frente al uso granulométrico determinado por la especificación INVIAS en el artículo 320-13 tabla 320-3 para material tipo **SBG-38**.

Tabla 1. Granulometría del material granular.

PROPORCIÓN→	% PASA		
	100%	ESPECIFICACIÓN SBG-38	
TAMIZ ↓	Material Granular	MIN	MAX
1 ½"	100.0	100	100
1"	85.0	75	95
1/2"	70.0	55	85
3/8"	60.0	45	75
#4	45.0	30	60
#10	32.5	20	45
#40	19.0	8	30
#200	8.5	2	15

La a curva granulométrica presentada en la Tabla 1 se logró ajustando el material de cada tamiz, tamizando y dividiendo el material por fracciones para luego dosificarlo manualmente en la proporción que se buscaba; logrando la mayor homogeneidad granulometrica posible.

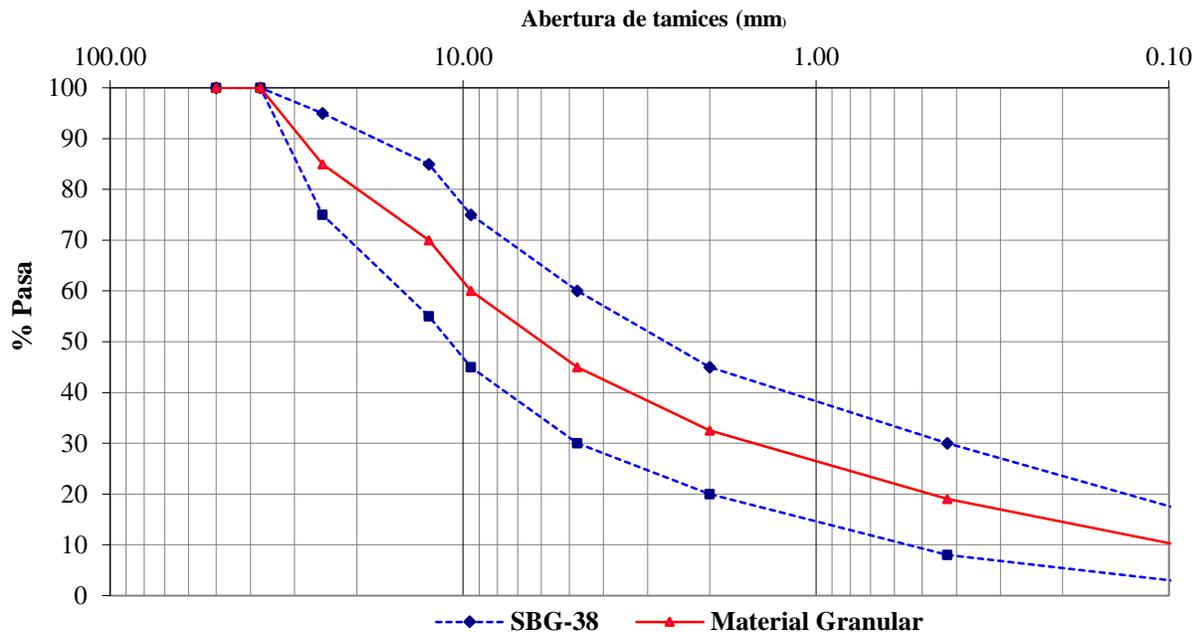


Figura 16. Curva granulometrica material granular

Esta combinación granulométrica (Figura 16) se logró tamizando el material granular y luego combinándolo manualmente, constituido por un 55% de gravas, 36.5% de arenas y 8.5% de llenante mineral; obteniendo una granulometría que se encuentra dentro de la franja de control permitida por las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías para material de Subbase granular ( SBG-38).

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la caracterización de los materiales junto con el requisito correspondiente de la Especificación del Instituto Nacional de Vías Artículo 320 (Instituto Nacional de Vías, 2013). El material presentó un coeficiente de uniformidad  $c_u = 76$  y un coeficiente de curvatura  $c_c = 2.46$ , clasificándose como una Grava Bien gradada limosa GW–GM.

Tabla 2. Resultados de caracterización de material granular.

<b>Propiedad</b>	<b>Norma INVIAS</b>	<b>Especificación INVIAS (NT1)</b>	<b>Resultado</b>
Desgaste en la Máquina de los Ángeles (%) 100 ciclos	INV E-218	-	4.20
Desgaste en la Máquina de los Ángeles (%) 500 ciclos	INV E-218	< 50	20.99
Degradación por abrasión en el aparato Micro-Deval (%)	INV E-238	< 30	7.7
Solidez Frente a la Acción de Sulfatos (%)	INV E-220	< 12	8.8
Impurezas en agregado grueso (%)	INV E-237	< 0,5	0.38
Límite líquido	INV E-125	< 25	N.P.
Índice de Plasticidad	INV E-125/126	< 6	N.P.
Equivalente de Arena (%)	INV E-133	> 25	65.6
Valor de Azul de Metileno	INV E-235	< 10	2.3
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales	INV E-211	< 2	0.11
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión	INV E-148	> 30	45.8
Partículas Planas y Alargadas, Relación 5:1 (%)	INV E-240	< 10	0% / 0,1%
Caras Fracturadas Agregados Gruesos (%) 1 Cara	INV E-227	> 85	97
Caras Fracturadas Agregados Gruesos (%) 2 Caras	INV E-227	> 70	97
Angularidad de los Agregados Finos (%)	INV E-239	> 45	47.0
Peso Unitario Llenante en Kerosene (g/cm <sup>3</sup> )	INV E-225	0,5 – 0,8	0.788

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla anterior se puede notar que el material granular utilizado para el desarrollo de esta investigación cumplió con todas las características especificadas para Subbase granular del Artículo 320 – INVIAS.

### 6.1.2. Geosintéticos

Para el desarrollo de esta investigación se estableció el uso de 4 geomallas biaxiales disponibles comercialmente, las dimensiones de abertura equivalente de estas geomallas variaron entre 24.7 y 40 mm.

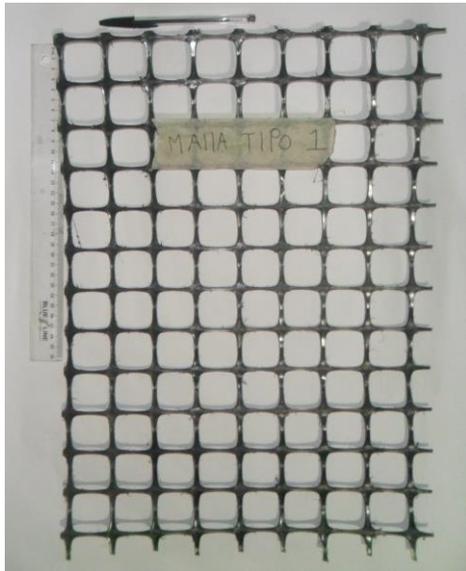
Las geomallas G1 y G2 utilizadas fueron estructuras bidimensionales de polipropileno, químicamente inertes, producidas mediante un proceso de extrusión; mientras que las fibras de las geomallas biaxiales G3 y G4 fueron elaboradas con multifilamento de poliéster de alta tenacidad (PET) y recubiertas con un copolímero.

En la Tabla 3 se presentan las principales características de los elementos de refuerzo utilizados en esta investigación y suministradas por cada uno de los fabricantes.

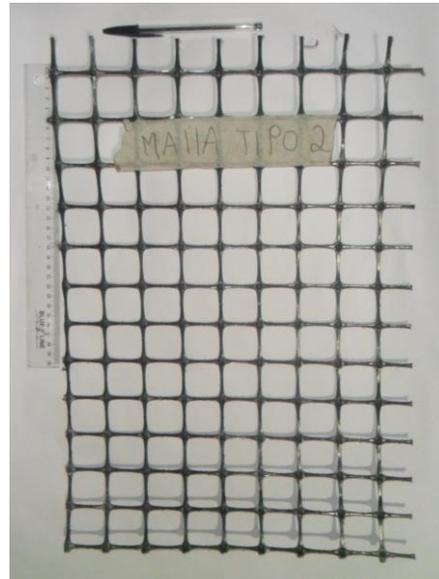
Tabla 3. Resultados de caracterización de geosintéticos proporcionadas por fabricante.

PROPIEDAD	NORMA	UND.	GEOMALLA			
			G1	G2	G3	G4
Material de fabricación	-	-	PP	PP	PET	PET
Resistencia ultima a la tensión (SL/ST)	ASTM D 6637	kN/m	(30.0/30.0)	(20.4/20.5)	(59.1/58.2)	(32.8/37.2)
Resistencia a la Tensión 2% Deformación (SL/ST)	ASTM D 6637	kN/m	(10.5/10.5)	(7.7/7.6)	(13.1/14.9)	(7.9/8.7)
Resistencia a la Tensión 5% Deformación (SL/ST)	ASTM D 6637	kN/m	(21.0/21.0)	(14.6/14.6)	(23.7/27.6)	(15.1/16.4)
Rigidez secante J2% (SL/ST)	Calculada	kN/m	(525/525)	(385/380)	(655/745)	(395/435)
Rigidez secante J5% (SL/ST)	Calculada	kN/m	(420/420)	(292/292)	(474/552)	(302/330)
Tamaño de Apertura (SL/ST)	Medido	mm	(38/36)	(40/40)	(24.7/28.4)	(29.2/27.3)
Espesor de las costillas (SL/ST)	Medido	mm	(1.3/1.0)	(2.4/1.0)	-	-

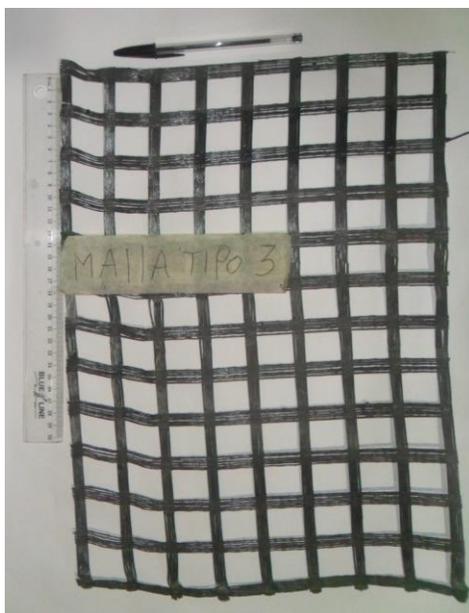
En la Fotografía 8 se muestran los cuatro tipos de geomalla utilizados, en la parte superior las geomallas G1 y G2 fabricadas en Polipropileno y en la parte inferior las geomallas G3 y G4 fabricadas en Poliéster.



a)



b)



c)



d)

Fotografía 8. Geosintéticos utilizados. a) Geomalla 1, b) Geomalla 2, c) Geomalla 3, d) Geomalla 4

## 6.2. Descripción del equipo y ejecución del ensayo de deformación

### 6.2.1. Compactador de rodillo de acero hidráulico

El compactador de rodillo de acero hidráulico es un equipo de compactación de muestras de laboratorio que permite dar a los materiales condiciones de compactación similares a las que se obtienen en condiciones de campo. El equipo permite compactar a las densidades requeridas con cargas que son equivalentes a las de los equipos de compactación a gran escala. Este compactador está controlado hidráulicamente por un Controlador Lógico Programable (PLC) conectado a un HMI (Interfaz hombre-máquina), donde el operario del equipo puede ajustar el número de pasadas (Fotografía 9). Un control de presión manual se ajusta para establecer la carga requerida. La principal función del rodillo de acero es conformar especímenes para pruebas de deformación permanente.



a)



b)

Fotografía 9. Compactador de rodillo de acero hidráulico. a) Vista frontal interna del equipo b) Vista lateral externa del equipo

### 6.2.2. LWT (Load Wheel Tester)

El equipo permite que dos muestras sean probadas simultáneamente, gracias a la presencia de los dos brazos de carga (Fotografía 10). La carga es aplicada a la muestra por medio de una rueda de acero de 46.99 mm de espesor y 203.2 mm (8") de diámetro durante un periodo de ciclos establecido, que para esta investigación se fijó en 2500. La carga aplicada al espécimen fue de 700 N equivalente a 70 Kg y con una velocidad de ensayo de 20.8 RPM.

El equipo está conectado a una unidad de cómputo, que dispone de un software de control, desde donde se realiza la configuración de la máquina con las condiciones del ensayo. Los datos son almacenados de tal manera que se permite observar el comportamiento que presenta el material a lo largo de la prueba bajo la acción de la carga cíclica.



Fotografía 10. Equipo de ensayo LWT

### 6.2.3. Elaboración de cuerpos de prueba.

Dentro de la caracterización del material de Sub Base Granular tipo SBG-38, se determinó mediante el ensayo de proctor modificado, una densidad máxima de  $2353.93 \text{ Kg/m}^3$  y una humedad óptima de 3.69 %. Con ello y sabiendo que los cuerpos de prueba serian conformados en moldes de 300 x 300 milímetros, con un espesor de 100 milímetros, se estableció que la masa total a depositar en el molde debía ser aproximadamente de 21.000 gramos (21 Kilogramos) (Fotografía 11) y la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima debía ser de 753.9 gramos ( 753.9 mililitros) (Fotografía 12); teniendo en cuenta que la humedad natural del material era de 0.1%.



Fotografía 11. Peso material granular



Fotografía 12. Peso agua para humedad óptima

Los cuerpos de prueba estaban constituidos por dos capas de material granular cuyos espesores compactos fueron de 50 milímetros cada uno, en su superficie de contacto fue colocada la geomalla de refuerzo. Como las capas tendrían el mismo espesor se dividió el total en dos partes para la colocación del refuerzo.

La conformación de la primera capa se hizo con 10.59 kg de material suelto, seguido de la colocación del material de refuerzo; posteriormente la segunda capa de material fue conformada

colocando el material restante que sobresalía del molde utilizado (condición suelta) ( Fotografía 13 a Fotografía 16).



Fotografía 13. Muestra para un cuerpo de prueba



Fotografía 14. Conformación primera capa de material granular.



Fotografía 15. Colocación Geomalla



Fotografía 16. Conformación segunda capa de material granular.

La colocación del refuerzo se realizó doblando 7 cm en las extremidades paralelas al sentido de aplicación de la carga cíclica (Fotografía 15) , de tal manera que mejorará las condiciones de anclaje del refuerzo tal como lo recomienda (Góngora I. A., 2015). Además se estableció la colocación de la geomalla a los 50 mm, luego de observar que al realizar la prueba con la geomalla colocada a 75 mm se generaba un acolchonamiento del material granular, y se dejaba a la vista la geomalla. En la siguiente figura se muestra un esquema general de la forma y posición en la que se colocó el refuerzo (Figura 17).

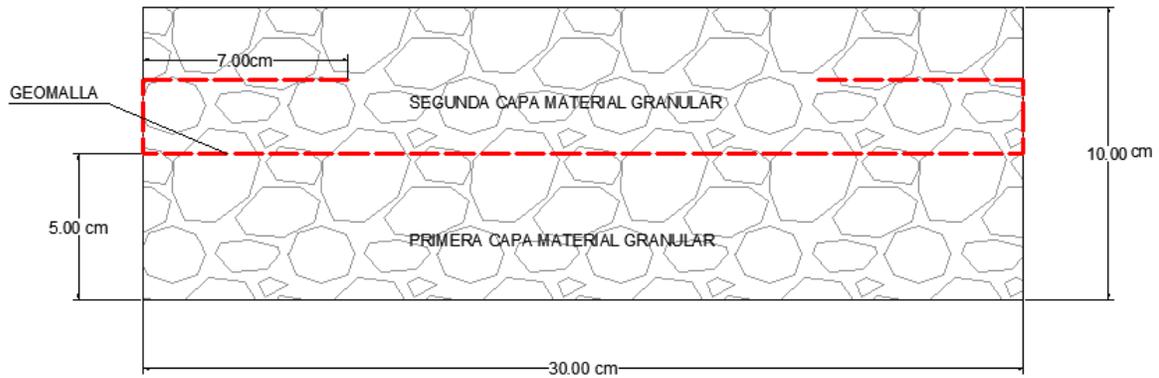


Figura 17. Esquema conformación de cuerpo de prueba.

Por lo anterior, el corte del refuerzo se realizó teniendo en cuenta el ancho del molde y la longitud de desarrollo a considerar para garantizar buenas condiciones de anclaje (Fotografía 17).



Fotografía 17. Corte Geomalla.

Una vez conformado el espécimen, fue compactado a un espesor total de 100 milímetros en el compactador de rodillo hidráulico, según especificaciones del equipo con una carga máxima de 30 kN, una velocidad de 10 ciclos/min y una presión máxima de 55 bar (550 psi) todo esto hasta que la presión que ejerciera el rodillo sobre el espécimen se estabilizará en cero, indicativo de que la

muestra había llegado a su altura total compacta y al nivel de compactación estimado ( Fotografía 18 y Fotografía 19).



Fotografía 18. Compactación de la muestra



Fotografía 19. Muestra compactada.

#### **6.2.4. Ensayo LWT (*Load Wheel Tester*)**

Las muestras compactadas fueron llevadas al equipo LWT, que esta diseñado para ensayar muestras de cemento asfáltico en condiciones sumergidas; pero para esta investigación y teniendo en cuenta que se ensayaría material granular, se inactivaron los sensores para que el nivel de agua no tocara las muestras dispuestas en los moldes. Antes de dar inicio al ensayo se realizó la programación en el equipo de cómputo; donde se introdujeron las condiciones de carga, velocidad y criterio de parada del ensayo. De esta manera las muestras fueron sometidas a una condición de carga de 700 N, velocidad de aplicación de carga de 20.8 RPM y se determinó que la parada del ensayo se daría cuando se presentara una profundidad de ahuellamiento de 30 mm o se llegara a los 2500 ciclos. En las Fotografías 20 y 21 se muestran las condiciones bajo las cuales se ensayaron las muestras y el estado de las mismas después del ensayo; respectivamente.

De cada una de las condiciones de ensayo se realizaron cuatro (4) montajes, para comparar los resultados obtenidos y determinar la repetitividad de las pruebas. Cada uno de los montajes, al ser

probados según las condiciones y características de la prueba, mostraron comportamientos similares, lo que permitió inferir que los resultados obtenidos presentaban una adecuada repetitividad.

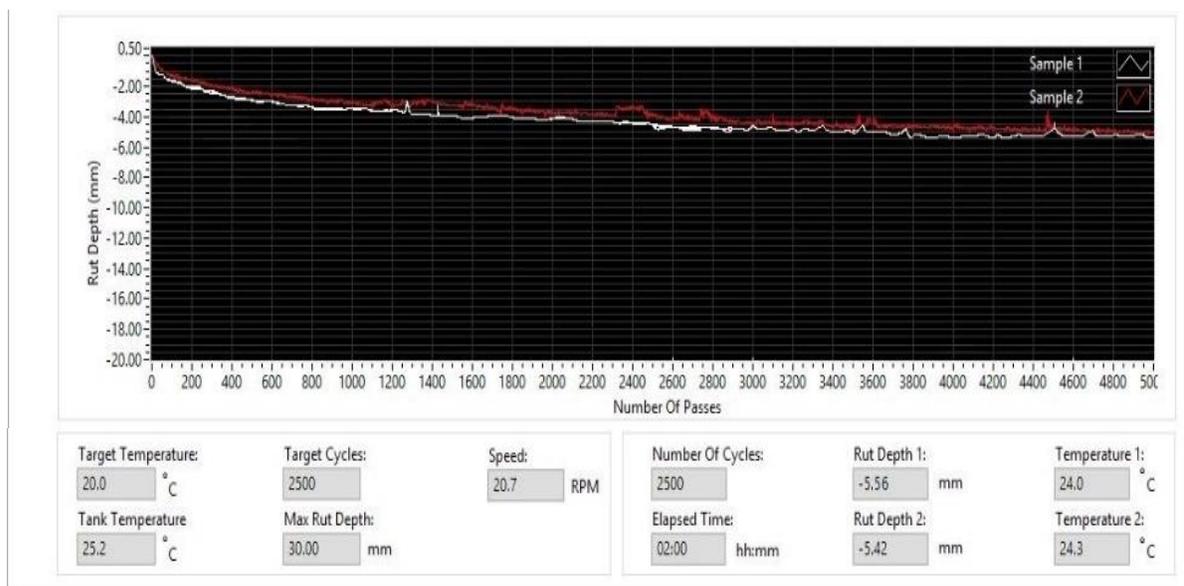


Fotografía 20. Ensayo LWT



Fotografía 21. Muestras después del ensayo.

Durante el ensayo el software registró las deformaciones acumuladas que se presentan en cada cuerpo de prueba, reportando resultados en diferentes ciclos de carga. Adicionalmente arrojó el perfil de deformación del material (Fotografía 22).



Fotografía 22. Perfil de deformación

### 6.2.5. Ensayo determinación del índice de quiebre de las partículas

Una vez finalizada la totalidad de los ensayos se consideró importante realizar la evaluación del índice de quiebre del material granular.

Para esta evaluación, se tomaron muestras del material ensayado tanto no reforzado como reforzado, dichas muestras se recogieron de la zona donde se llevó a cabo la aplicación de carga (huella) (Fotografía 23 a Fotografía 24) , y se realizaron ensayos de granulometría al material recogido para compararlos con la curva granulometrica del material antes de ser sometido al ensayo.



Fotografía 23. Material no reforzado después de ensayo



Fotografía 24. Material reforzado después de ensayo.

## **7. Análisis de Resultados**

En el presente capítulo son presentados los resultados obtenidos para las diferentes configuraciones de ensayos realizados en esta investigación con sus respectivos análisis. De esta manera será expuesto el comportamiento que presentó el material granular bajo las diferentes condiciones de refuerzo, a través de gráficos comparativos de los cuerpos de prueba reforzados y no reforzados. Así mismo, serán mostrados los resultados obtenidos por otros investigadores con el fin de ampliar la discusión con respecto a la influencia y relevancia de las propiedades de la geomalla que mejoran el comportamiento del material granular.

### **7.1. Comportamiento mecánico del material granular reforzado y no reforzado con geomallas cuando se somete a la acción de carga cíclica**

En esta investigación por cada geomalla fueron ensayados 4 especímenes que permitieron evidenciar la repetitividad del ensayo. Los resultados obtenidos para las diferentes muestras ensayadas sometidas a carga cíclica con los diferentes tipos de refuerzo utilizados se muestran en la Figura 18, las series de datos fueron resultado de un análisis estadístico (método de diferencias acumuladas) que permitió determinar la curva característica para cada condición de ensayo, dichos resultados se muestran en los anexos.

Para cada configuración de ensayo fueron evaluadas las profundidades de ahuellamiento en función del número de repeticiones de carga soportadas; es así como, en la se realiza un comparativo del comportamiento mecánico de los cuerpos de prueba ensayados, con material reforzado y no reforzado, donde se muestra que la presencia de la geomalla disminuye considerablemente la profundidad de ahuellamiento en el material granular.

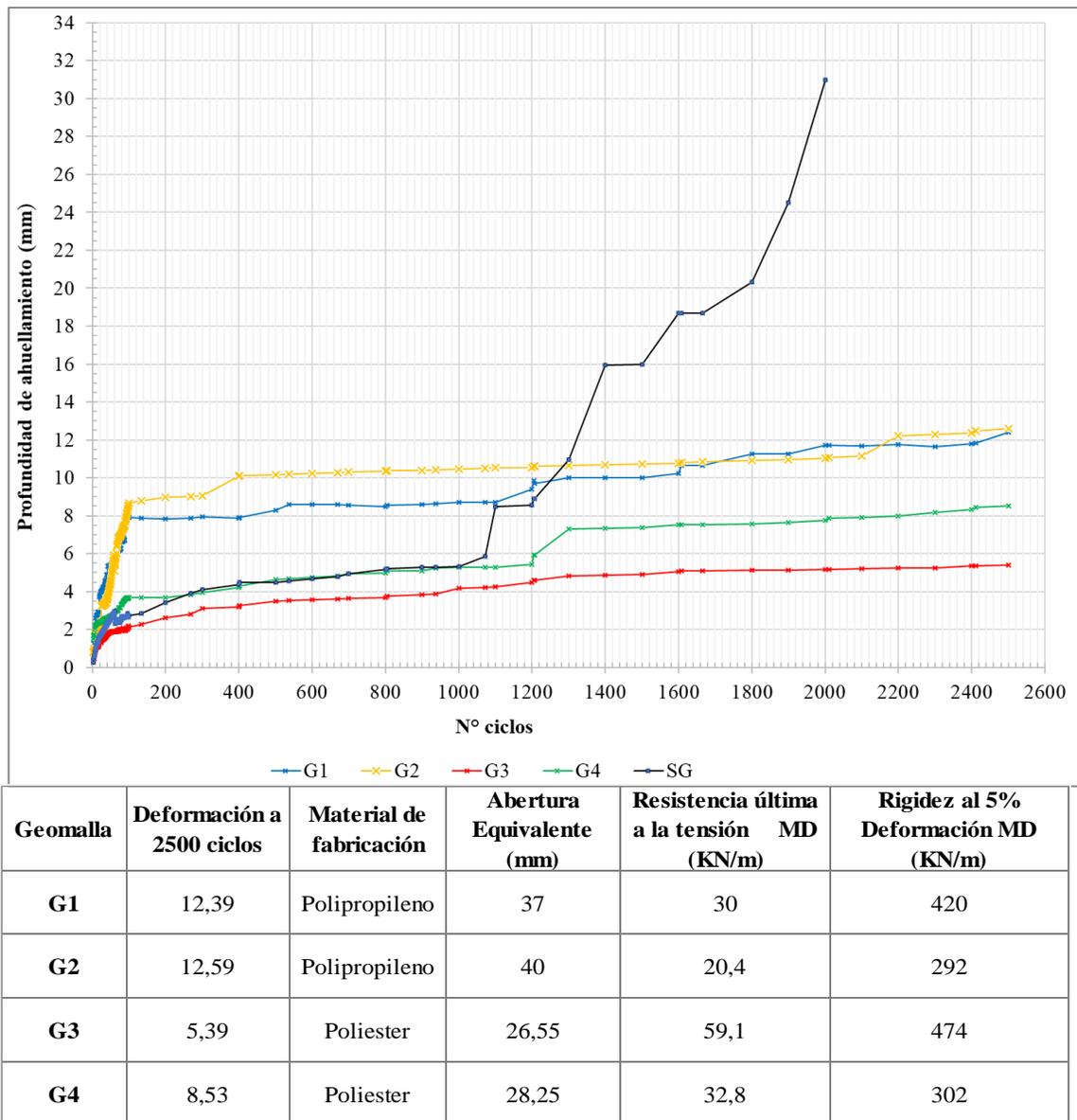


Figura 18. Profundidad de ahuellamiento versus Número de ciclos

En la figura anterior se nota que la muestra sin refuerzo presentó una deformación máxima de 31 mm; sin embargo, sólo hasta el ciclo 1000 se presenta un incremento acelerado de la deformación del material, esto puede ser debido a que en los primeros ciclos de carga el esqueleto mineral es el directo responsable de soportar las cargas, y a medida que transcurre el ensayo el material se va triturando y finalmente se produce una deformación acelerada y permanente.

En la Figura 18 es posible observar que las geomallas G1 y G2, fabricadas con polipropileno, con mayores aberturas y menores resistencias sólo presentan un aporte a partir de los 1300 ciclos de

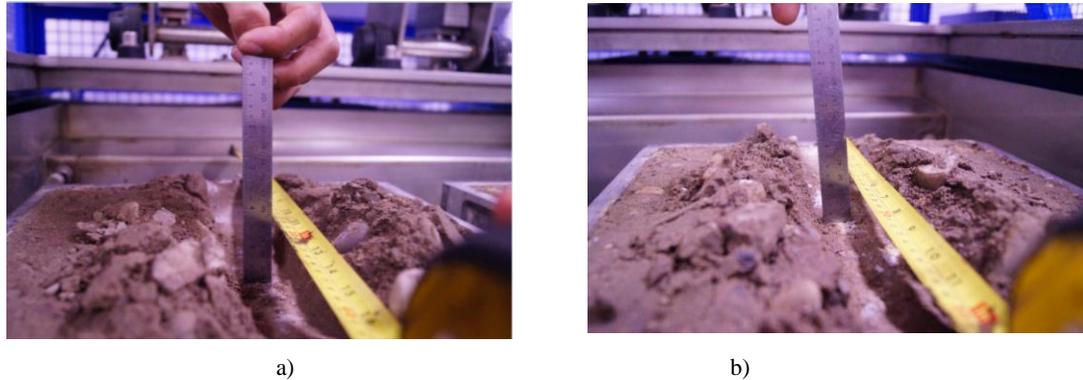
carga, con profundidades máximas de ahuellamiento de 12,38 mm y 12,59 mm; respectivamente. Los cuerpos de prueba reforzados con estas geomallas presentan deformaciones iniciales mayores a las de la muestra sin refuerzo, esto puede ser atribuido al tipo de polímero con las que están fabricadas, pues durante la realización de los ensayos se notó que el espesor de las costillas dificultaba el proceso de compactación requiriéndose un mayor tiempo en el compactador de rodillo hidráulico para que la presión del equipo se estabilizara, e indicará que el nivel de compactación se había alcanzado, generando un quiebre de partículas previo a la realización del ensayo por el exceso de compactación inicial del espécimen.

Entre tanto las geomallas G3 y G4, fabricadas con Poliéster, menores aberturas y mayores resistencias inician su aporte a partir del ciclo 1 y 1000; con profundidades de ahuellamiento máximas de 5,38 mm y 8,53 mm; respectivamente. Lo anterior puede denotar que el material granular es quien soporta la totalidad de las cargas hasta que la geomalla empieza a absorber parte de las tensiones con una mejor distribución de cargas sobre el material, traduciéndose en la reducción de la profundidad de ahuellamiento que se presentan. Así, no todas las geomallas generan aporte a partir del primer ciclo.

Las geomallas G2 y G4 aun cuando tienen valores cercanos de rigidez secante al 5% de deformación iguales a 292 kN/m y 302 kN/m respectivamente, presentan comportamientos totalmente diferentes, lo que permite afirmar que dicha propiedad no es un factor completamente determinante para seleccionar la geomalla; es decir, que es necesario evaluar en conjunto todas las propiedades.

Todo lo anterior, evidencia que la colocación de la geomalla como elemento de refuerzo genera una disminución de la profundidad de ahuellamiento, y se traduce en un incremento de los ciclos de carga soportados. Es así como, las geomallas G1 y G2 presentan una disminución en la profundidad de ahuellamiento con respecto a la muestra sin refuerzo del 60.04% y del 58.38%; respectivamente. Entre tanto, las geomallas G3 y G4 contribuyen a una mayor diferencia de estos ahuellamientos del 82,62% y 72,48% respectivamente. Más adelante se evalúan los parámetros que justifican estas disminuciones.

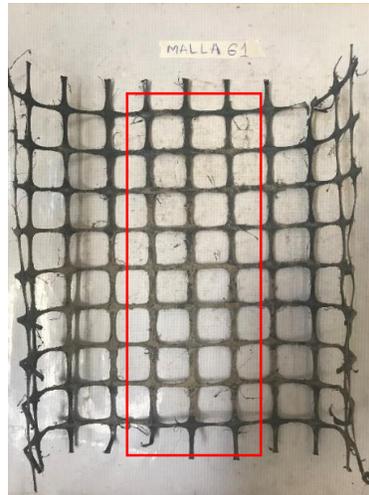
En la Fotografía 25 se puede evidenciar la reducción significativa de ahuellamiento del espécimen reforzado con la geomalla G3 con respecto a la muestra sin refuerzo.



Fotografía 25. Profundidades de deformación de especímenes una vez ensayados en el equipo LWT . a) muestra sin refuerzo b) muestra reforzada

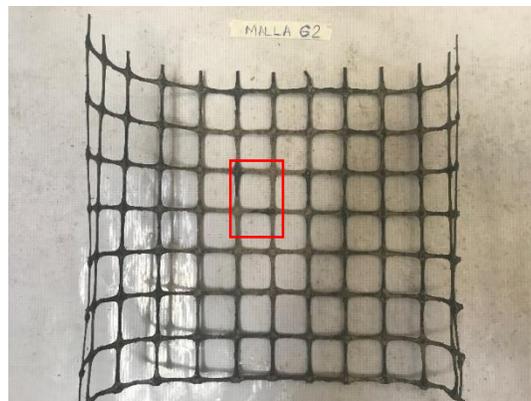
Por otro lado, y con el fin de estudiar mejor la eficiencia que presentaron cada una de las geomallas utilizadas se evaluaron visualmente los daños presentados en cada una de ellas, y de forma general se puede notar que estos dan respuesta al comportamiento que tuvieron en el conjunto; es así como las geomallas que presentaron mayores daños fueron las fabricadas en polipropileno (G1 y G2) que además fueron aquellas que tuvieron peor comportamiento.

Para el caso de la geomalla G1, que presenta mayores espesores de costilla, se evidencia desintegración de los miembros de las geomallas con presencia de fisuras en las mismas sobre todo en áreas que se encontraban en el sentido de aplicación de carga; además de ello se presenta un desgaste general atribuido a la fricción que genera el material granular sobre ella (Fotografía 26).



Fotografía 26. Estado final geomalla G1-Polipropileno.

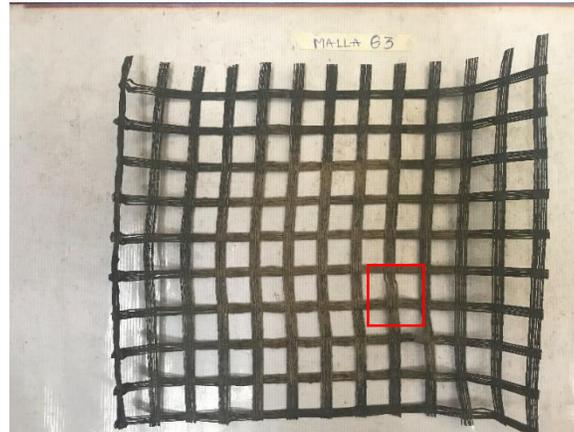
Un grado de daño menor se presenta en la geomalla G2, fabricada con el mismo tipo de material que la anterior, que puede ser debido al menor espesor que presentan las costillas, por lo que el daño se ve reflejado sólo en el desgaste general de la geomalla, más no en la presencia de fisuras sobre sus miembros (Fotografía 27).



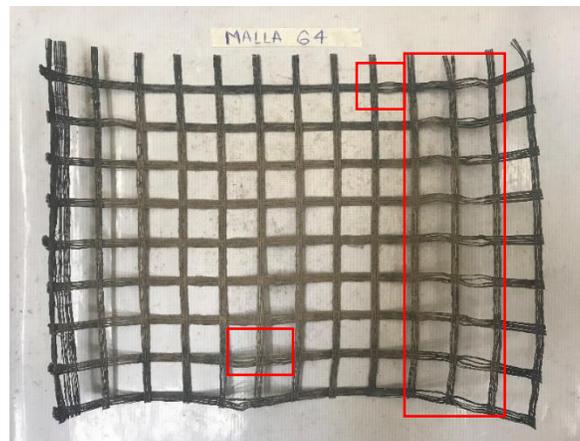
Fotografía 27. Estado final geomalla G2-Polipropileno.

Las geomallas G3 y G4, fabricadas en Poliéster, que presentaron un mejor comportamiento en el conjunto, contribuyendo a la disminución de la profundidad de ahuellamiento del material granular, mostraron menores daños, que en general correspondieron al desprendimiento de miembros que conformaban las costillas de la geomalla. En este caso, la geomalla G3 que

presentaba mayor espesor en sus miembros exhibió menores desprendimientos que los evidenciados en la geomalla G4 (Fotografía 28 y Fotografía 29).



Fotografía 28. Estado final geomalla G3-Poliéster.



Fotografía 29. Estado final geomalla G4-Poliéster.

Además de lo anterior, fueron llevadas a cabo las granulometrías de los materiales de la huella del material reforzado con las geomallas que presentaron comportamientos opuestos (G2 y G3) y la del material sin refuerzo; es decir la G2 que presentó menor aporte en la disminución de la profundidad de ahuellamiento y la G3 que por el contrario contribuyó a que en el material granular se presentaran menores ahuellamientos.

A partir de lo anterior se calculó el índice de quiebre de partículas ( $B_g$ ), que consistió en obtener las diferencias de porcentajes retenidos ( $\Delta W$ ) en cada tamiz antes y después de cada ensayo (Marsal R. J., 1967).

$$B_g = \sum_1^n (\Delta W_{ki} - \Delta W_{kf}) ; \quad \text{donde} \quad \Delta W_{ki} - \Delta W_{kf} > 0$$

$B_g$  = Índice de quiebre de agregados.

$\Delta W_{ki}$  = Peso retenido en los tamices antes del ensayo

$\Delta W_{kf}$  = Peso retenido en los tamices después del ensayo

Tabla 4. Índices de quiebre de partículas

<b>ENSAYO</b>	<b>MATERIAL FABRICACIÓN</b>	<b>INDICE DE QUIEBRE (<math>B_g</math>)</b>
SIN REFUERZO	-	18 %
CON REFUERZO (G2)	Polipropileno	17.5 %
CON REFUERZO (G3)	Poliéster	14 %

Como se observa en la Tabla 4, el material reforzado presenta una disminución en su índice de quiebre; lo que reafirma el aporte del refuerzo en el comportamiento mecánico del material granular, traduciéndose en el aumento de las repeticiones de carga soportadas por el material granular.

El material ensayado con la geomalla G2 presentó un porcentaje de quiebre de partículas similar al de la muestra de control sin refuerzo, evidenciando una vez más el poco aporte de esta geomalla en la reducción de la profundidad de ahuellamiento. Por el contrario, el material granular ensayado con la geomalla G3 evidenció una reducción en el quiebre de partículas del 4% con respecto a la muestra que no se reforzó.

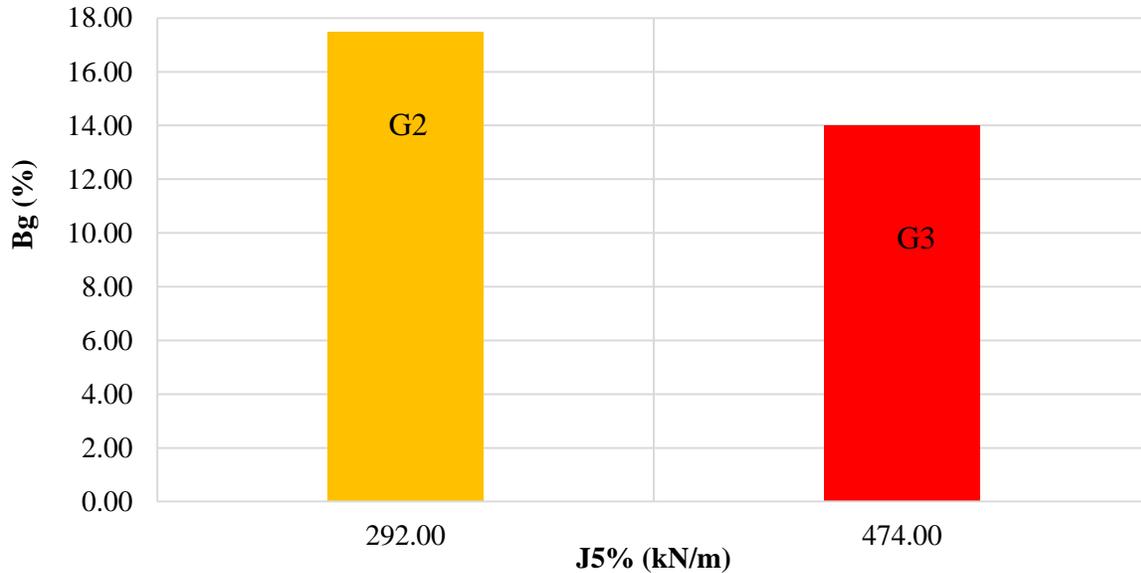


Figura 19. Relación entre Rigidez a tracción de las geomallas y e índice de quiebre de las partículas

Además en la Figura 19 se puede notar la influencia que presenta la rigidez al 5% de la deformación en el quiebre de los agregados, pues un incremento en esta propiedad se traduce en una disminución significativa en el quiebre de las partículas. De esta manera, se nota que la Geomalla G3 con una rigidez al 5% de deformación de 476 KN/m presenta un índice del 14%, a diferencia de la geomalla G2 que con una rigidez de 292 KN/m presentó un índice de quiebre muy cercano a la de la muestra sin refuerzo.

## 7.2. Influencia de las características de las geomallas en el comportamiento mecánico del material granular

Con el fin de interpretar mejor los resultados obtenidos en esta investigación, se elaboraron gráficos comparativos en función de las propiedades relevantes de las geomallas. Las propiedades que se evaluaron fueron: relación entre la abertura equivalente y el diámetro medio de los agregados, resistencia última a la tensión y rigidez al 5% de la deformación.

A continuación, se muestra la variación de la profundidad de ahuellamiento de los cuerpos de prueba versus la razón entre las aperturas de las geomallas y el diámetro medio de las partículas del material granular (Apertura/D50) (Figura 20).

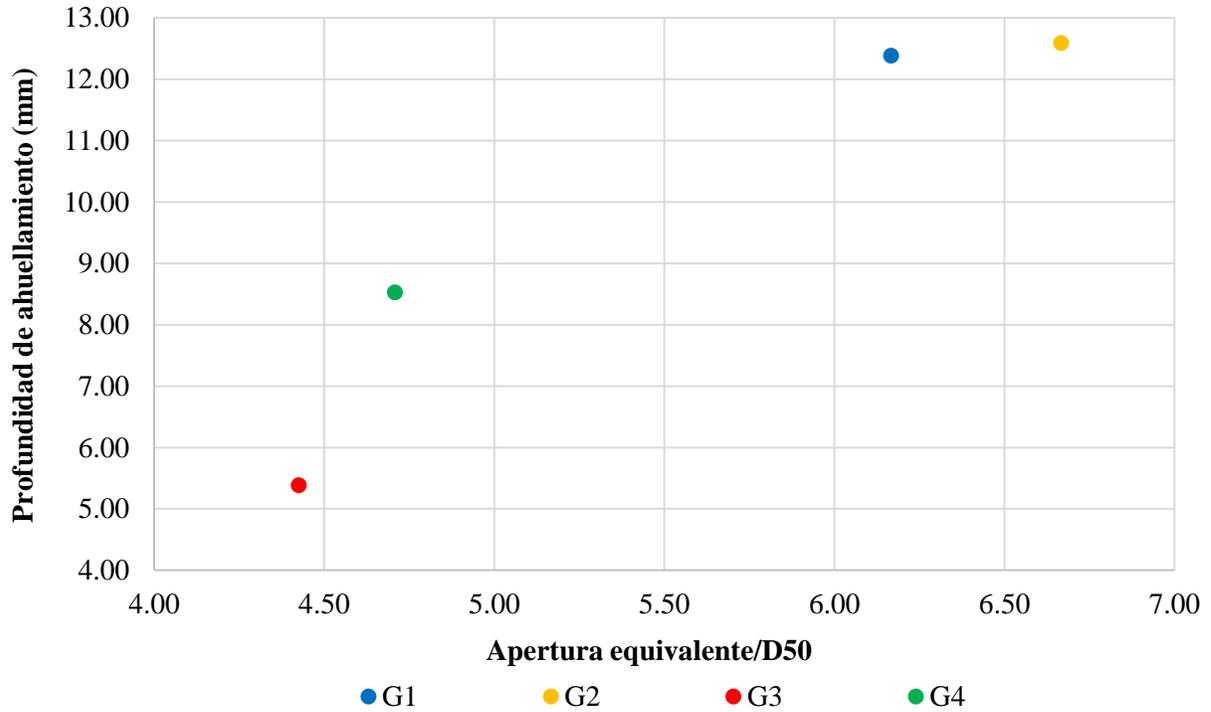


Figura 20. Relación entre la apertura equivalente y el diámetro medio de los agregados y la máxima profundidad de ahuellamiento.

En la Figura 20 se observa que para el material granular utilizado cuando existe una relación entre la apertura de las geomallas y el diámetro de las partículas del material inferior a 4.76, existe una mejor interacción entre el material granular y el refuerzo que confiere una mayor capacidad de carga con una reducción significativa en la profundidad de ahuellamiento.

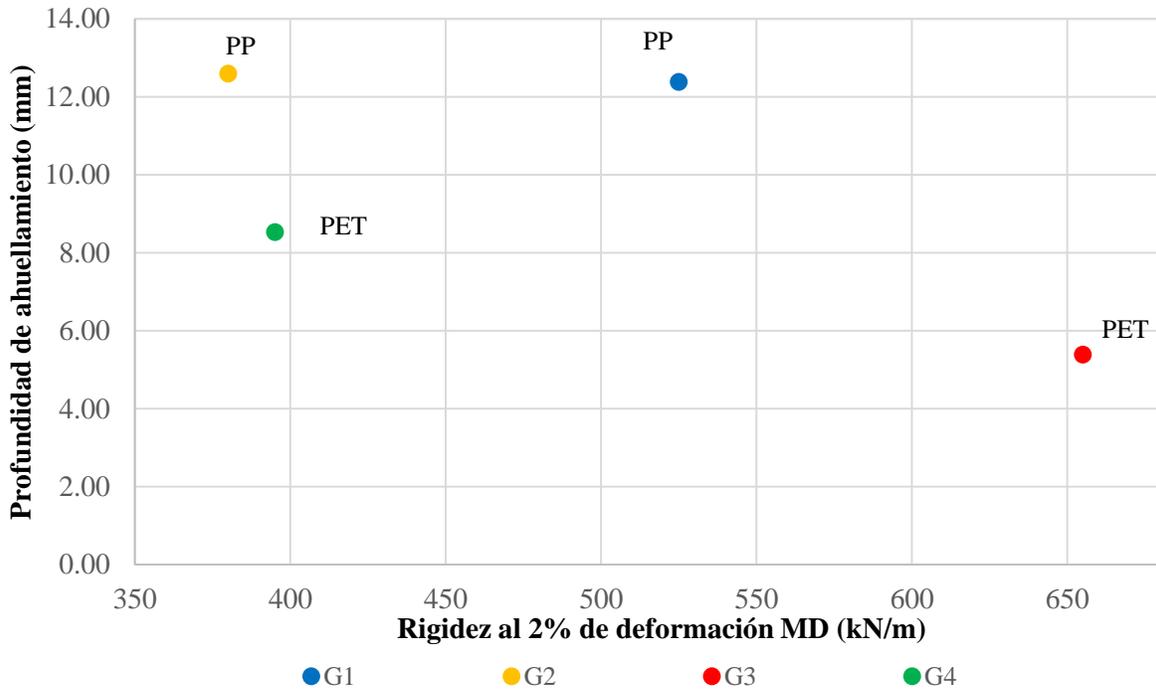


Figura 21. Relación entre la rigidez al 2% de la deformación y la máxima profundidad de ahuellamiento

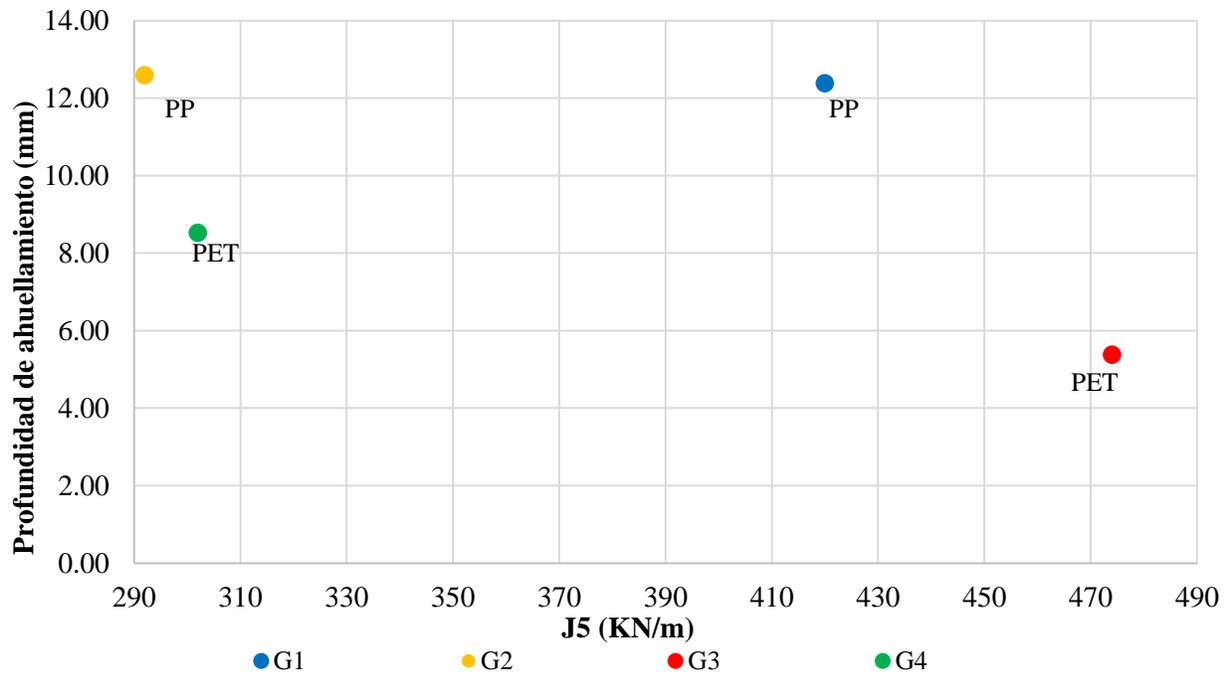


Figura 22. Relación entre la Rigidez al 5% de la deformación y profundidad máxima de ahuellamiento.

En las figuras 21 y Figura 22 se muestra que tanto para las geomallas fabricadas con Polipropileno y poliéster, la rigidez al 5% de la deformación aporta a la disminución de la profundidad de ahuellamiento, presentando una mejora en el desempeño mecánico del material con el incremento de ciclos de carga soportados. Además se puede observar que los especímenes ensayados con las geomallas de poliéster que presentan mayor rigidez con respecto a las de polipropileno arrojaron menores profundidades de ahuellamiento, tal como lo arrojó el estudio realizado por (Góngora & Palmeira, 2016); donde se evidenció un mejor comportamiento para las geomallas fabricadas con Poliéster.

### 7.3. Beneficios de la geomalla como elemento de refuerzo en material granular

Con el fin de cuantificar los beneficios del refuerzo, fueron calculados los factores de eficiencia para cada una de las geomallas utilizadas en esta investigación.

Debido a que la máxima deformación presentada en el material reforzado con la geomalla G3 fue de 5.39 mm, en este estudio se seleccionó la profundidad de deformación de 5 mm como el umbral para el cálculo de la eficiencia considerando que es aquella que refleja efectivamente el efecto de refuerzo en todas las geomallas, teniendo en cuenta lo realizado por (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015) que escogen deformaciones entre 3 mm y 7mm para determinar los factores de eficiencia de los refuerzos estudiados.

El factor de eficiencia está definido como la razón entre el número de repeticiones de carga necesarias para que se alcance una profundidad de ahuellamiento de 5 mm ( $N_{ref}$ ) y el número de repeticiones para que el cuerpo de prueba no reforzado alcance la misma profundidad de ahuellamiento ( $N_{sref}$ ).

Los factores de eficiencia para las vías reforzadas con los cuatro tipos de geomallas, son presentados en la Tabla 5. Eficiencia para los diferentes tipos de geomalla.

Tabla 5. Eficiencia para los diferentes tipos de geomalla.

GEOMALLA	$N_{ref}(5mm)$	$N_{sref}(5mm)$	E
G1	41	938	0.04
G2	60	938	0.06
G3	2300	938	2.45
G4	1100	938	1.17

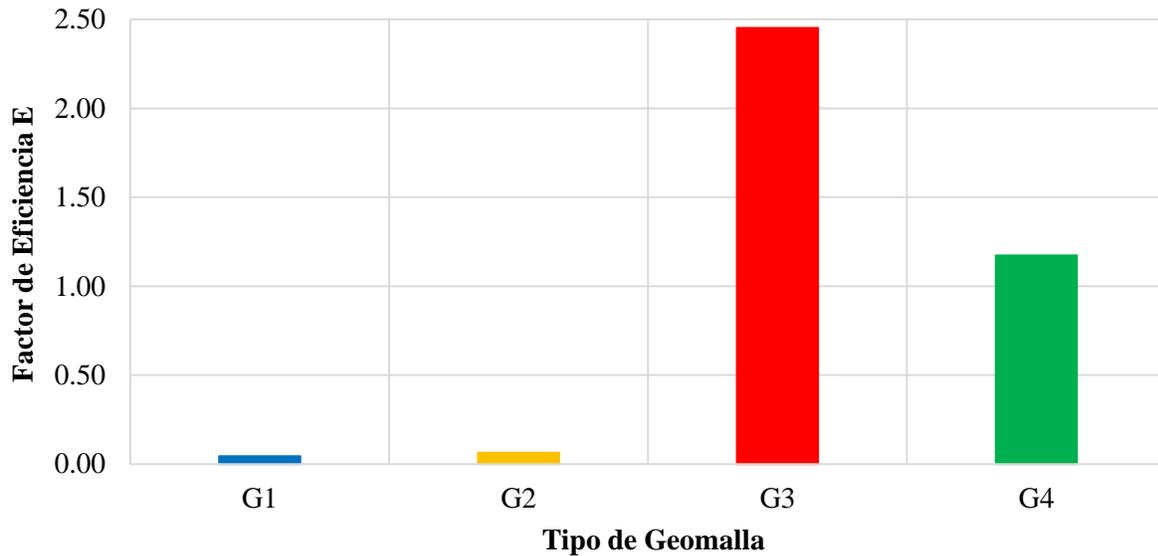


Figura 23. Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla.

En la Figura 23 se puede notar que los cuerpos de prueba que presentan un mayor factor de eficiencia fueron los reforzados con las geomallas tipo G3 y G4. La geomalla que presenta un mejor comportamiento en términos de soporte de repeticiones de carga fue la geomalla G3, soportando 2,45 veces más ciclos de carga que los cuerpos de prueba sin refuerzo; es decir, 1362 ciclos más.

Investigaciones desarrolladas por (Cuelho, Perkins, & Morris, 2014) y (Góngora & Palmeira, 2016) a cerca del desempeño de material granular reforzado con geosintéticos han demostrado que la eficiencia del refuerzo está estrechamente relacionada con las propiedades físicas y mecánicas del mismo.

La Figura 24 muestra la variación de la Eficiencia con la Rigidez al 5% de la deformación de las geomallas. Tal como lo establece (Góngora & Palmeira, 2016) a pesar de la dispersión, se evidencia el aumento de la eficiencia con el incremento de la rigidez. Los resultados también permiten evidenciar que el mejor desempeño se logró con la geomalla G3 que es una geomalla biaxial con valores de rigidez de 474 KN/m, ratificando lo observado por (Góngora & Palmeira,

2016) que establecen que los mejores comportamientos son obtenidos para valores de rigidez mayores a 400 KN/m.

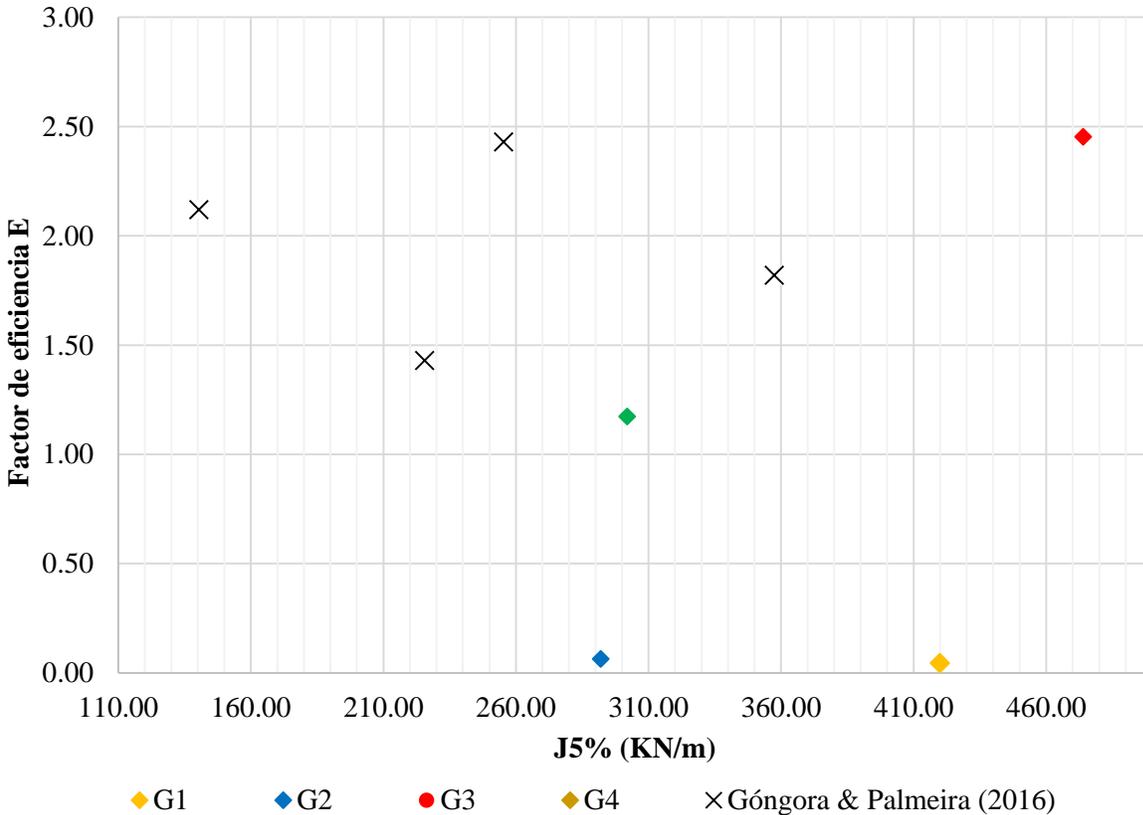


Figura 24. Rigidez al 5% de la deformación Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla.

Los resultados obtenidos por (Cuelho, Perkins, & Morris, 2014) se muestran en la Figura 25, que evidencian la tendencia del aumento de la eficiencia con el aumento de la rigidez de la geomalla, aunque con más dispersión, debido a que el estudio se llevó a cabo bajo condiciones de campo, por lo que existen múltiples variables que no pueden ser controladas como en laboratorio. Aún así se puede notar que valores de rigidez por encima de 400 KN/m arrojan mejores resultados en la eficiencia del refuerzo, de esta manera se corroborará una vez más lo expuesto por (Góngora & Palmeira, 2016) y lo obtenido en esta investigación.

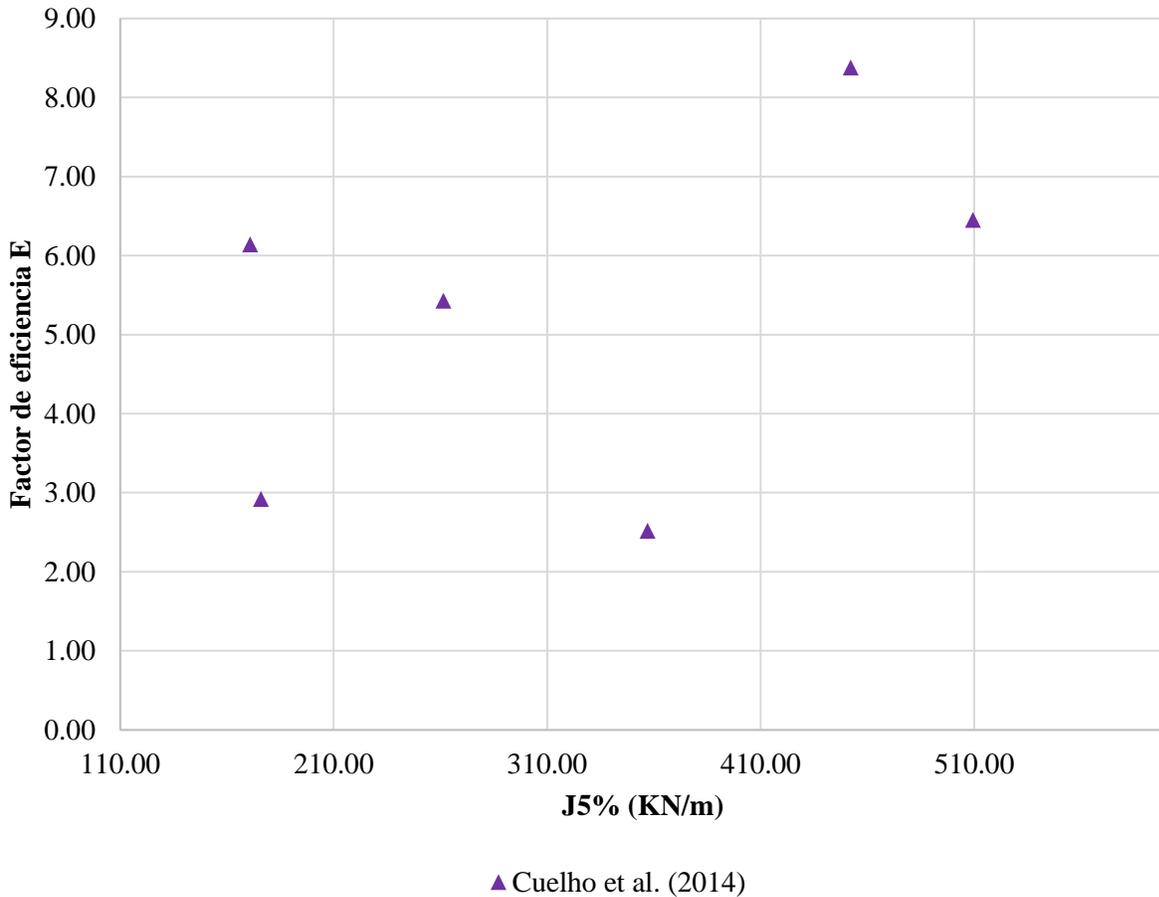


Figura 25. Rigidez al 5% de la deformación Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla según Coelho et al. (2014).

A continuación se presenta la variación de la eficiencia del refuerzo con la relación entre la abertura equivalente de la geomalla y el diámetro medio de las partículas; los resultados de esta investigación muestran que un valor de  $Abertura\ equivalente/D_{50} = 4.43$  proporciona la mayor eficiencia entre todos los refuerzos ensayados, para efectos de comparación se muestran los resultados obtenidos por (Cuelho, Perkins, & Morris, 2014) y (Góngora & Palmeira, 2016) para este mismo parámetro, donde se puede observar que la mayor eficiencia se presenta cuando los valores de esta relación se encuentran entre 3.69 y 5.76. Sin embargo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación cabe resaltar que los mejores valores de Eficiencia (E) se obtienen para una relación óptima ( $Abertura\ equivalente/D_{50}$ ) inferior a 5.

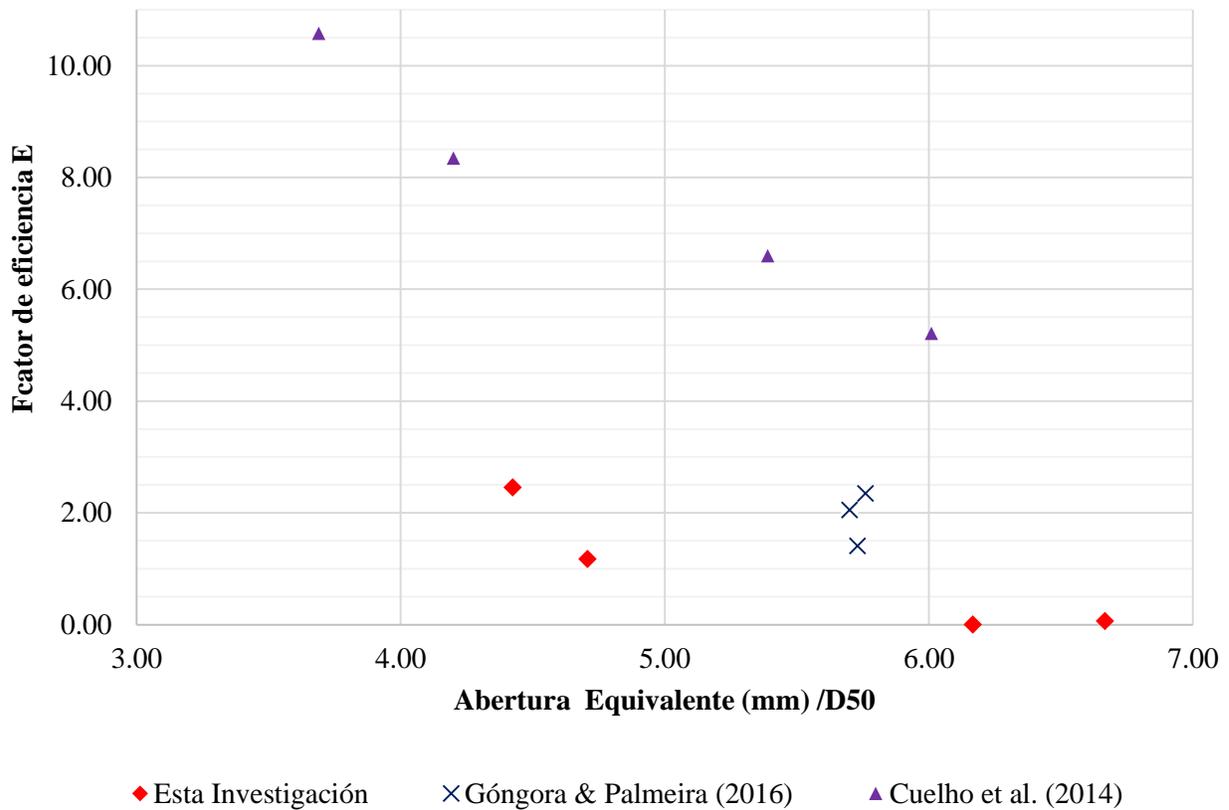


Figura 26. Apertura equivalente/D50 Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla.

Otra forma de cuantificar el beneficio que conlleva el reforzar el material granular con geosintéticos es por medio de otros índices técnicos propuestos por (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015); tal como lo son la tasa de incremento de la profundidad de ahuellamiento (RD) y la velocidad de deformación (VD).

En primera instancia, el RD, es el incremento de la profundidad de ahuellamiento en un ciclo determinado de la muestra reforzada con respecto a la no reforzada; para su cálculo se tomó como referencia el ciclo 2000 que correspondió al mayor número de ciclos soportado por la muestra de control (sin refuerzo).

$$RD = \frac{D_{ref}}{D_{sref}}$$

*RD*: Tasa de incremento profundidad de ahuellamiento.

*D<sub>ref</sub>*: Profundidad de ahuellamiento del material reforzado

*D<sub>sref</sub>*: Profundidad de ahuellamiento del material no reforzado

En la

Tabla 6 se muestra que la menor relación se presentó en la muestra de prueba reforzada con la Geomalla G3, que bajo las condiciones de la investigación fue aquella que contribuyó al mejor comportamiento del material; por lo que se permite establecer que el material reforzado con la geomalla 3 sólo alcanzó el 17% de la máxima deformación presentada por la muestra de control sin refuerzo; mientras que las geomallas G4, G2 y G1 alcanzaron un 25%, 36% y 38%; respectivamente, es así que a menor valor de RD mayor eficiencia del refuerzo, debido a una disminución significativa en la deformación del espécimen reforzado con respecto al no reforzado.

Tabla 6. Tasa de incremento de la profundidad de ahuellamiento

<b>GEOMALLA</b>	<b><i>D<sub>ref</sub></i></b>	<b><i>D<sub>sref</sub></i></b>	<b>RD</b>
G1	11,71	31,00	0,38
G2	11,02	31,00	0,36
G3	5,18	31,00	0,17
G4	7,78	31,00	0,25

Finalmente, la velocidad de deformación (VD) nos permitirá conocer cuál de los especímenes reforzados se deforma más rápido, estableciendo una comparación con respecto a la muestra no reforzada. Esta velocidad está definida por (Wu, Huang, Shu, & Zhao, 2015) de la siguiente manera:

$$VD = \frac{D_{t+1} - D_t}{N_{t+1} - N_t}$$

Donde:

$VD$ : Velocidad de deformación.

$D_{t+1}$ : Profundidad de ahuellamiento en el tiempo t+1

$D_t$ : Profundidad de ahuellamiento en el tiempo t

$N_{t+1}$ : Número de ciclos soportados en el tiempo t+1

$N_t$ : Número de ciclos soportados en el tiempo t

Tabla 7. Velocidad de deformación para los diferentes cuerpos de prueba

<b>GEOMALLA</b>	$D_t$	$D_{t+1}$	$N_t$	$N_{t+1}$	<b>VD</b>	<b>% Reducción de VD</b>
G1	11.82	12.39	2412	2500	0.0065	90,06%
G2	12.49	12.59	2412	2500	0.0012	98,15%
G3	5.36	5.39	2412	2500	0.0003	99,50%
G4	8.44	8.53	2412	2500	0.0011	98,37%
Sin refuerzo	24.50	31.00	1900	2000	0.0650	-

En la tabla anterior se puede observar que el conjunto de prueba ensayado con la geomalla G3 presenta menores velocidades de deformación lo que permite reafirmar su contribución al buen comportamiento mecánico del material; contribuye en un 99.5% a la reducción de la velocidad de deformación, lo que se vería representado en la prolongación de la vida útil de la vía. Para el caso de las geomallas G4, G2, G1 también se nota la gran contribución, presentando reducciones de velocidad de deformación con respecto a la muestra sin refuerzo que oscilan entre el 90,06 y 98,37%.

## 8. Conclusiones y recomendaciones

### 8.1. Conclusiones

El presente trabajo de grado estudió el comportamiento mecánico de material granular usado en vías terciarias reforzado con material geosintético, el cual fue sometido a un ensayo de carga cíclica; a través de equipo de ensayo LWT. Este equipo permitió simular las condiciones de tráfico a las que este tipo de vías están sometidas en la realidad. Los resultados obtenidos permitieron establecer las siguientes conclusiones:

- En términos generales, los refuerzos utilizados en las vías no pavimentadas simuladas, contribuyeron en el aumento del número de repeticiones de carga soportadas y en la disminución de la profundidad de ahuellamiento; lo anterior en condiciones de campo, se traduciría en un aumento de la vida útil de la vía. Los resultados evidenciaron que las geomallas G1 y G2 presentaron una disminución en la profundidad de ahuellamiento con respecto a la muestra sin refuerzo de 18,62 mm y 18,41 mm; respectivamente. Entre tanto, las geomallas G3 y G4 contribuyen a una mayor diferencia de estos ahuellamientos con valores de 25.61 mm y 22.47 mm.
- La relación entre la abertura de la geomalla y el diámetro medio de la partícula es otro factor importante en el desempeño del refuerzo. Los resultados obtenidos muestran que el refuerzo con una geomalla para un material granular debe ser especificado no sólo basado en la rigidez; sino que se debe considerar la interacción de los materiales granulares y los refuerzos utilizados.
- Cuando existe una relación entre la apertura de las geomallas y el diámetro de las partículas del material inferior a 4.43, existe una mejor interacción entre el material granular y el refuerzo. Se confiere un incremento de los ciclos de carga soportados y una reducción significativa en la profundidad de ahuellamiento.
- El tipo de polímero de fabricación del geosintético influye en el aporte que este tendrá sobre el comportamiento mecánico del conjunto. Se encontró que los geosintéticos fabricados con poliéster son capaces de contribuir de una forma más eficiente a la

disminución de la profundidad de ahuellamiento en el material y del índice de quiebre de partículas.

- Existe una clara relación entre las propiedades del geosintético (rigidez al 2% y al 5% de la deformación) y el desempeño del material, dado que al presentarse valores altos en estas propiedades, se presenta una disminución en la profundidad de ahuellamiento y el índice de quiebre de las partículas. Se evidencia que para valores de rigidez mayores a 400 KN/m se presenta un mejor desempeño, como es el caso de la geomalla G3 que con una rigidez al 5% de deformación de 476 KN/m presenta un índice de quiebre del 14%, a diferencia de la geomalla G2 que con una rigidez de 292 KN/m presentó un índice de quiebre muy cercano a la de la muestra sin refuerzo (17.5%).
- La colocación de la geomalla como elemento de refuerzo permite un aumento en el número de repeticiones de carga entre 0.04 y 2.45 veces más con respecto al material no reforzado. De esta manera se pudo determinar que la geomalla G3 presenta un mejor comportamiento en términos de soporte de repeticiones de carga, soportando 1362 ciclos más que las muestras sin refuerzo.
- Es importante evaluar los beneficios de la geomalla en cuanto a la tasa de incremento de deformación. La Geomalla G3; sólo alcanzó el 17% de la máxima deformación presentada por la muestra de control sin refuerzo; mientras que las geomallas G4, G2 y G1 alcanzaron un 25%, 36% y 38%; respectivamente, es decir que el mejor aporte a la disminución de la deformación lo tiene la geomalla G3.
- Al evaluarse la velocidad de deformación se nota que la Geomalla G3 contribuye en un 99.5% en la disminución de la misma respecto a la muestra sin refuerzo, mientras que para las geomallas G4, G2, G1 las reducciones de velocidad de deformación con respecto a la muestra sin refuerzo que oscilan entre el 90,06 y 98,37%.

## **8.2. Recomendaciones para futuras investigaciones**

A partir de los resultados obtenidos se pueden realizar las siguientes recomendaciones para investigaciones futuras:

- Construir tramos de prueba que permitan evaluar la importancia de las propiedades del refuerzo en el comportamiento mecánico de una vía no pavimentada.
- Evaluar el daño mecánico que presentan los geosintéticos después de ser sometidos a los ensayos de carga cíclica y/o al ser utilizados como refuerzo en un tramo experimental.
- Realizar ensayos utilizando diferentes tipos de material granular, con diferentes espesores y con la colocación de refuerzo a diferentes profundidades.

## 9. Bibliografía

- AHMET, D., MUSTAFA, L., ABDULAZIM, Y., & MURAT ORNEK. (2013). Large scale field tests on geogrid-reinforced granular fill underlain. *Geotextiles and Geomembranes*, 38: 1-15.
- AUSTIN, R., & GILCHIRTS, A. (1996). Enhanced Performance of Asphalt Pavements Using Geocomposites. *Geotextiles and Geomembranes*, 14: 175-186.
- BHANDARI, A., & HAN, J. (2010). Investigation of geotextile-soil interaction under cyclic vertical load using the discrete element method. *Geotextiles and Geomembranes*, 28: 33-43.
- CONSEJO NACIONAL DE POLITICA ECONOMICA Y SOCIAL. (25 de Abril de 2016). Lineamientos de Política para la Gestión de la Red Terciaria. *Documento CONPES 3857*. Bogotá D.C, Colombia.
- CUELHO, E., PERKINS, S., & MORRIS, Z. (Mayo de 2014). Relative Operational Performance Of Geosynthetics Used as Subgrade Stabilization. Final Project Report, FHWA/MT-14-002/7712-251, State of Montana Department of Transportation. Montana.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADISTICA. (2014). Infraestructura vial. Bogotá, D.C. <http://docplayer.es/28405013-Documento-tecnico-infraestructura-vial.html>.
- GIROUD, J., & HAN, J. (2004). Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads. I. Development of Design Method. American Society of Civil.
- GÓNGORA, I. A. (30 de Marzo de 2015). Estradas não pavimentadas reforçadas com geossintéticos: Influência de propriedades físicas e mecânicas do reforço. Tese de Doutorado. *Publicação G.TD-105/15*, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília DF, 96p.
- GÓNGORA, I. A., & PALMEIRA, E. M. (2016). Assessing the Influence of Some Soil-Reinforcement Interaction Parameters on the Performance of a Low Fill on Compressible Subgrade. Part I: Fill Performance and Relevance of Interaction Parameters. doi:<https://doi.org/10.1007/s40891-015-0041-3>

- HAN, J., SUN, X., SCHROCK, S., PARSONS, R., & GUO, J. (2018). Performance of Multi-axial Geogrid-Stabilized Unpaved Shoulders Under Cyclic Loading  
doi:[https://doi.org/10.1007/978-981-13-0122-3\\_52](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0122-3_52)
- HUFENUS, R., RUEEGGER, R., BANJAC, R., MAYOR, P., SPRINGMAN, S., & BRONNIMANN, R. (2006). Full-scale fields tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade. *Geotextiles and Geomembranes*, 24: 21-37.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. (2013). Art. 233- Estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de capas granulares con geomallas. Bogotá, DC.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). Art. 320-13 Subbase Granular. En *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-125-13 Determinación del límite líquido de los suelos. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-126-13 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-133-13 Equivalente de arena de suelos y agregados finos. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-148-13 CBR de suelos compactadas en laboratorio y sobre muestra inalterada. En *Manual Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. (2013). INV E-211-13 Determinación terrones de arcilla y partículas desleznables en los agregados. En *Manual Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-218-13 Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm por medio de la máquina de Los Angeles. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.

- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-220-13 Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-223-13 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. (2013). INV E-225-13 Densidad Bulk del llenante Mineral en Kerosene. En *Manual Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras* . Bogotá.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-227-13 Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. (2013). INV E-227-13 Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado gruesos. En *Manual Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-235-13 Valor de azul de metileno en agregados finos. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-237-13 Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregado grueso. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-238-13 Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato Micro-Deval. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-239-13 Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría). En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.

- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2013). INV E-240-13 Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos. En *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá D.C.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. (2016). Manual de Mantenimiento de Carreteras. *Especificaciones Generales de Mantenimiento de Carreteras, 2*. Bogotá, D.C, Colombia.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. (2016). Manual de Mantenimiento de Carreteras. *Aspectos informativos, 1*. Bogotá, D.C, Colombia.
- MARSAL R. J. (1967). Large scale testing of rock fill materials. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, 93(SM2): 27-43.
- MEKKAWY, M. M., WHITE, D. J., SULEIMAN, M. T., & JAHREN, C. T. (2011). Mechanically reinforced granular shoulders on soft subgrade: Laboratoy and full scale studies. *Geotextiles and Geomembranes*, 29: 149-160.
- MINISTERIO DEL TRANSPORTE. (2014). *Transporte en cifras estadísticas*. <https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=12621>
- MINISTERIO DEL TRANSPORTE, & PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. (2008). *Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (Pavimentada y en afirmado)*. Bogotá, D.C.
- MONTEJO , F., & OTERO , D. (2016). Evaluación del comportamiento mecánico de una estructura bicapa, reforzada con geomalla biaxial compuesta con material de afirmado sobre Subrasante blanda, aplicable a vias no pavimentadas. Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/19629>
- PALMEIRA, E. M. (2009). Soil-geosynthetic interaction: Modelling and analysing. *Geotextiles and Geomembranes*, 27: 368-390.
- PERKINS, S. W., & ISMEIK, M. (1997). A Synthesis and Evaluation of Geosynthetic-Reinforced Base Layers in Flexible Pavements- Part I. *Geosynthetics International*, 4(6), 549–604. doi:10.1680/gein.4.0106

SANCHEZ, F. (2009). Vías en Afirmado. Evaluación de Vías en Afirmado, Módulo 21 (págs. 27-41).[http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina\\_via/modulos/CONTENIDO%20CURSO.pdf](http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/CONTENIDO%20CURSO.pdf)

TENSAR. (2009). Unpaved Application(Subgrade improvement) study Small-Sclae Trafficking Performance Study of TX140, TX7 and BX1200. Tensar International

U.S Army Corps of Engineers. (2003). Use of Geogrids in Pavement Construction. Washington D.C.

WU, H., HUANG, B., SHU, X., & ZHAO, S. (23 de Mayo de 2015). Evaluation of geogrid reinforcement effects on unbound granular. *Geotextiles and Geomembranes*, 43: (462-469).

# ANEXOS

Tabla 8. Resultados ensayo LWT y análisis estadístico para cuerpos de prueba no reforzados.

PASADA	TIEMPO (min)	N° CICLOS	DEFORMACION ACUMULADA (mm)				ANALISIS ESTADISTICO				
			G0.1	G0.2	G0.3	G0.4	DIFERENCIAS ACUMULADAS				Deformación acumulada caracteristica
							PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	K90%	K*S	
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	1,282	0,00	<b>0,00</b>
2	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	2,282	0,00	<b>0,00</b>
4	6	2	0,24	0,18	0,20	0,20	0,21	0,025	3,282	0,08	<b>0,24</b>
6	9	3	0,45	0,37	0,39	0,40	0,40	0,034	4,282	0,15	<b>0,45</b>
8	12	4	0,60	0,54	0,55	0,53	0,56	0,031	5,282	0,16	<b>0,60</b>
10	15	5	0,61	0,61	0,60	0,61	0,61	0,005	6,282	0,03	<b>0,61</b>
12	18	6	0,66	0,67	0,65	0,63	0,65	0,017	7,282	0,12	<b>0,67</b>
14	20	7	0,79	0,64	0,68	0,68	0,70	0,064	8,282	0,53	<b>0,79</b>
16	23	8	0,95	0,80	0,87	0,89	0,88	0,062	9,282	0,57	<b>0,95</b>
18	26	9	1,01	0,96	1,03	1,03	1,01	0,033	10,282	0,34	<b>1,03</b>
20	29	10	1,05	1,09	1,05	1,04	1,06	0,022	11,282	0,24	<b>1,09</b>
22	32	11	1,16	1,14	1,15	1,17	1,15	0,013	12,282	0,15	<b>1,17</b>
24	35	12	1,21	1,26	1,24	1,22	1,23	0,021	13,282	0,28	<b>1,26</b>
26	38	13	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	0,001	14,282	0,01	<b>1,27</b>
28	41	14	1,33	1,34	1,33	1,32	1,33	0,008	15,282	0,13	<b>1,34</b>
30	44	15	1,39	1,36	1,38	1,36	1,37	0,014	16,282	0,22	<b>1,39</b>

## Anexos

32	47	16	1,44	1,39	1,43	1,41	1,42	0,024	17,282	0,41	<b>1,44</b>
34	49	17	1,50	1,43	1,47	1,46	1,46	0,030	18,282	0,55	<b>1,50</b>
36	52	18	1,56	1,48	1,52	1,51	1,52	0,033	19,282	0,63	<b>1,56</b>
38	55	19	1,62	1,54	1,58	1,59	1,58	0,032	20,282	0,65	<b>1,62</b>
40	58	20	1,67	1,50	1,65	1,63	1,61	0,078	21,282	1,66	<b>1,67</b>
42	61	21	1,68	1,60	1,68	1,68	1,66	0,040	22,282	0,89	<b>1,68</b>
44	64	22	1,71	1,63	1,70	1,72	1,69	0,041	23,282	0,96	<b>1,72</b>
46	67	23	1,73	1,70	1,72	1,72	1,72	0,011	24,282	0,27	<b>1,73</b>
48	70	24	1,74	1,72	1,73	1,73	1,73	0,008	25,282	0,21	<b>1,74</b>
50	73	25	1,80	1,70	1,75	1,73	1,75	0,044	26,282	1,15	<b>1,80</b>
52	76	26	1,82	1,68	1,81	1,81	1,78	0,067	27,282	1,82	<b>1,82</b>
54	78	27	1,85	1,82	1,84	1,84	1,84	0,013	28,282	0,36	<b>1,85</b>
56	81	28	1,88	1,81	1,86	1,86	1,85	0,030	29,282	0,89	<b>1,88</b>
58	84	29	1,91	1,76	1,90	1,90	1,87	0,073	30,282	2,20	<b>1,91</b>
60	87	30	1,95	1,77	1,94	1,94	1,90	0,086	31,282	2,69	<b>1,95</b>
62	90	31	1,98	1,83	1,97	1,97	1,94	0,071	32,282	2,30	<b>1,98</b>
64	93	32	2,01	1,84	2,00	2,00	1,96	0,081	33,282	2,70	<b>2,01</b>
66	96	33	2,04	1,93	2,03	2,03	2,01	0,052	34,282	1,78	<b>2,04</b>
68	99	34	2,07	1,81	2,06	2,06	2,00	0,127	35,282	4,48	<b>2,07</b>
70	102	35	2,10	2,00	2,10	2,11	2,08	0,052	36,282	1,90	<b>2,11</b>
72	105	36	2,13	1,88	2,13	2,14	2,07	0,127	37,282	4,75	<b>2,14</b>
74	107	37	2,17	1,92	2,16	2,18	2,11	0,125	38,282	4,77	<b>2,18</b>

Anexos

76	110	38	2,20	1,97	2,19	2,20	2,14	0,113	39,282	4,44	<b>2,20</b>
78	113	39	2,23	2,02	2,22	2,22	2,17	0,101	40,282	4,09	<b>2,23</b>
80	116	40	2,26	2,14	2,24	2,24	2,22	0,054	41,282	2,24	<b>2,26</b>
82	119	41	2,29	2,05	2,27	2,27	2,22	0,114	42,282	4,82	<b>2,29</b>
84	122	42	2,32	2,05	2,34	2,34	2,26	0,142	43,282	6,16	<b>2,34</b>
86	125	43	2,35	2,07	2,35	2,35	2,28	0,141	44,282	6,23	<b>2,35</b>
88	128	44	2,39	2,09	2,37	2,37	2,30	0,143	45,282	6,47	<b>2,39</b>
90	131	45	2,42	2,08	2,41	2,41	2,33	0,166	46,282	7,70	<b>2,42</b>
92	134	46	2,45	2,12	2,43	2,43	2,36	0,158	47,282	7,49	<b>2,45</b>
94	136	47	2,48	2,11	2,45	2,45	2,37	0,176	48,282	8,48	<b>2,48</b>
96	139	48	2,51	2,11	2,51	2,51	2,41	0,200	49,282	9,87	<b>2,51</b>
98	142	49	2,54	2,12	2,54	2,54	2,44	0,211	50,282	10,59	<b>2,54</b>
100	145	50	2,58	2,18	2,56	2,56	2,47	0,193	51,282	9,88	<b>2,58</b>
102	148	51	2,61	2,19	2,59	2,59	2,49	0,203	52,282	10,61	<b>2,61</b>
104	151	52	2,64	2,13	2,66	2,66	2,52	0,262	53,282	13,94	<b>2,66</b>
106	154	53	2,67	2,18	2,70	2,70	2,56	0,255	54,282	13,86	<b>2,70</b>
108	157	54	2,70	2,25	2,72	2,72	2,60	0,232	55,282	12,83	<b>2,72</b>
110	160	55	2,73	2,24	2,73	2,73	2,61	0,246	56,282	13,86	<b>2,73</b>
112	163	56	2,76	2,31	2,77	2,77	2,65	0,229	57,282	13,12	<b>2,77</b>
114	165	57	2,80	2,27	2,80	2,80	2,66	0,263	58,282	15,31	<b>2,80</b>
116	168	58	2,83	2,25	2,84	2,84	2,69	0,293	59,282	17,36	<b>2,84</b>
118	171	59	2,86	2,27	2,86	2,86	2,71	0,294	60,282	17,74	<b>2,86</b>

## Anexos

120	174	60	2,89	2,29	2,90	2,90	2,75	0,303	61,282	18,59	<b>2,90</b>
122	177	61	2,92	2,31	2,95	2,95	2,78	0,316	62,282	19,65	<b>2,95</b>
124	180	62	2,95	2,26	2,96	2,96	2,78	0,349	63,282	22,08	<b>2,96</b>
126	183	63	2,31	2,30	2,29	2,29	2,30	0,008	64,282	0,49	<b>2,31</b>
128	186	64	2,35	2,40	2,34	2,34	2,36	0,029	65,282	1,91	<b>2,40</b>
130	189	65	2,45	2,37	2,44	2,44	2,42	0,036	66,282	2,38	<b>2,45</b>
132	191	66	2,42	2,46	2,41	2,41	2,42	0,024	67,282	1,63	<b>2,46</b>
134	194	67	2,51	2,49	2,49	2,49	2,49	0,008	68,282	0,52	<b>2,51</b>
136	197	68	2,54	2,50	2,53	2,53	2,52	0,016	69,282	1,11	<b>2,54</b>
138	200	69	2,55	2,36	2,55	2,55	2,50	0,093	70,282	6,51	<b>2,55</b>
140	203	70	2,41	2,31	2,40	2,40	2,38	0,046	71,282	3,27	<b>2,41</b>
142	206	71	2,36	2,35	2,38	2,38	2,37	0,016	72,282	1,15	<b>2,38</b>
144	209	72	2,40	2,43	2,40	2,40	2,40	0,017	73,282	1,28	<b>2,43</b>
146	212	73	2,48	2,48	2,47	2,47	2,47	0,005	74,282	0,36	<b>2,48</b>
148	215	74	2,53	2,12	2,52	2,52	2,42	0,201	75,282	15,12	<b>2,53</b>
150	218	75	2,17	2,34	2,17	2,17	2,21	0,087	76,282	6,67	<b>2,34</b>
152	220	76	2,39	2,42	2,20	2,20	2,30	0,118	77,282	9,11	<b>2,42</b>
154	223	77	2,47	2,46	2,46	2,46	2,46	0,003	78,282	0,20	<b>2,47</b>
156	226	78	2,51	2,45	2,48	2,48	2,48	0,023	79,282	1,79	<b>2,51</b>
158	229	79	2,50	2,51	2,50	2,50	2,50	0,007	80,282	0,60	<b>2,51</b>
160	232	80	2,56	2,64	2,54	2,54	2,57	0,048	81,282	3,90	<b>2,64</b>
162	235	81	2,69	2,53	2,58	2,61	2,60	0,065	82,282	5,34	<b>2,69</b>

## Anexos

164	238	82	2,58	2,58	2,57	2,57	2,57	0,005	83,282	0,40	<b>2,58</b>
166	241	83	2,63	2,61	2,63	2,65	2,63	0,017	84,282	1,40	<b>2,65</b>
168	244	84	2,66	2,56	2,62	2,67	2,63	0,049	85,282	4,17	<b>2,67</b>
170	246	85	2,61	2,54	2,61	2,64	2,60	0,042	86,282	3,60	<b>2,64</b>
172	249	86	2,59	2,63	2,58	2,49	2,57	0,059	87,282	5,12	<b>2,63</b>
174	252	87	2,68	2,59	2,66	2,66	2,65	0,038	88,282	3,37	<b>2,68</b>
176	255	88	2,64	2,64	2,64	2,67	2,65	0,017	89,282	1,50	<b>2,67</b>
178	258	89	2,69	2,61	2,70	2,70	2,67	0,043	90,282	3,89	<b>2,70</b>
180	261	90	2,66	2,59	2,63	2,68	2,64	0,038	91,282	3,51	<b>2,68</b>
182	264	91	2,64	2,62	2,62	2,63	2,63	0,008	92,282	0,70	<b>2,64</b>
184	267	92	2,67	2,61	2,67	2,67	2,65	0,028	93,282	2,57	<b>2,67</b>
186	270	93	2,66	2,48	2,64	2,64	2,60	0,083	94,282	7,81	<b>2,66</b>
188	273	94	2,53	2,65	2,51	2,47	2,54	0,078	95,282	7,40	<b>2,65</b>
190	275	95	2,70	2,59	2,69	2,69	2,67	0,051	96,282	4,90	<b>2,70</b>
192	278	96	2,64	2,74	2,62	2,56	2,64	0,075	97,282	7,28	<b>2,74</b>
194	281	97	2,83	2,63	2,83	2,83	2,78	0,098	98,282	9,59	<b>2,83</b>
196	284	98	2,72	2,58	2,71	2,70	2,68	0,064	99,282	6,40	<b>2,72</b>
198	287	99	2,67	2,54	2,66	2,66	2,63	0,061	100,282	6,11	<b>2,67</b>
200	290	100	2,66	2,60	2,66	2,74	2,66	0,058	101,282	5,83	<b>2,74</b>
268	388	134	2,72	2,83	2,72	2,72	2,75	0,056	102,282	5,70	<b>2,83</b>
400	579	200	2,95	3,41	2,90	2,87	3,03	0,254	103,282	26,23	<b>3,41</b>
536	776	268	3,53	3,91	3,40	3,51	3,59	0,223	104,282	23,21	<b>3,91</b>

## Anexos

600	868	300	4,03	4,06	4,02	4,09	4,05	0,032	105,282	3,36	<b>4,09</b>
800	1157	400	4,18	4,38	4,18	4,10	4,21	0,120	106,282	12,71	<b>4,38</b>
804	1163	402	4,50	4,34	4,49	4,39	4,43	0,077	107,282	8,31	<b>4,50</b>
1000	1447	500	4,46	4,34	4,46	4,47	4,43	0,061	108,282	6,65	<b>4,47</b>
1072	1551	536	4,46	4,56	4,48	4,50	4,50	0,044	109,282	4,77	<b>4,56</b>
1200	1736	600	4,68	4,64	4,67	4,68	4,67	0,019	110,282	2,05	<b>4,68</b>
1340	1938	670	4,76	4,78	4,75	4,75	4,76	0,014	111,282	1,58	<b>4,78</b>
1400	2025	700	4,90	4,88	4,89	4,95	4,90	0,031	112,282	3,53	<b>4,95</b>
1600	2313	800	5,18	5,08	5,09	5,08	5,11	0,050	113,282	5,70	<b>5,18</b>
1608	2325	804	5,20	5,15	5,19	5,15	5,17	0,026	114,282	2,95	<b>5,20</b>
1800	2602	900	5,27	5,01	5,27	5,24	5,20	0,125	115,282	14,44	<b>5,27</b>
1876	2712	938	5,30	5,20	5,30	5,29	5,27	0,047	116,282	5,44	<b>5,30</b>
2000	2891	1000	5,32	5,26	5,30	5,12	5,25	0,090	117,282	10,53	<b>5,32</b>
2144	3099	1072	5,38	5,85	5,37	5,27	5,47	0,260	118,282	30,75	<b>5,85</b>
2200	3180	1100	5,90	8,48	5,80	5,71	6,47	1,341	119,282	159,99	<b>8,48</b>
2400	3468	1200	8,53	8,56	8,52	8,35	8,49	0,094	120,282	11,33	<b>8,56</b>
2412	3486	1206	8,61	8,65	8,61	8,88	8,69	0,132	121,282	15,97	<b>8,88</b>
2600	3757	1300	9,78	10,94	7,88	10,10	9,68	1,293	122,282	158,10	<b>10,94</b>
2800	4046	1400	10,99	15,95	10,87	11,34	12,29	2,451	123,282	302,12	<b>15,95</b>
3000	4335	1500	16,00	11,62	15,62	11,89	13,78	2,347	124,282	291,73	<b>16,00</b>
3200	4623	1600	11,67	17,85	18,70	15,57	15,95	3,145	125,282	394,06	<b>18,70</b>
3216	4646	1608	17,90	17,33	17,89	17,90	17,75	0,283	126,282	35,68	<b>17,90</b>

Anexos

---

3304	4773	1652	17,38	17,93	17,70	17,40	17,60	0,264	127,282	33,63	<b>17,93</b>
3400	4912	1700	18,28	20,26	18,28	18,15	18,74	1,015	128,282	130,21	<b>20,26</b>
3600	5201	1800	20,31	19,16	20,20	19,50	19,79	0,552	129,282	71,38	<b>20,31</b>
3800	5490	1900	24,21	20,65	23,48	24,50	23,21	1,759	130,282	229,15	<b>24,50</b>
4000	5779	2000	30,70	30,81	30,70	31,00	30,80	0,144	131,282	18,89	<b>31,00</b>

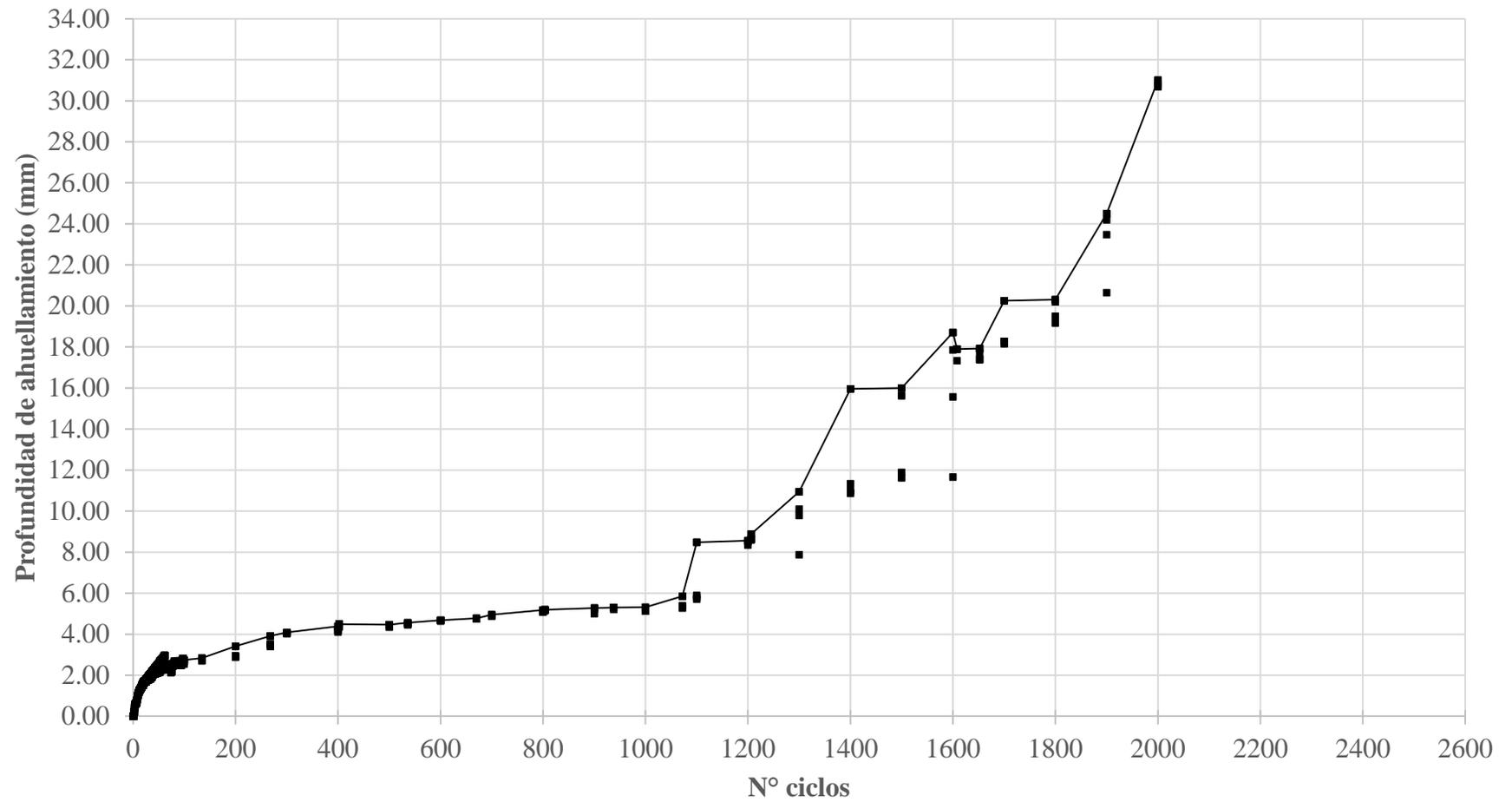


Figura 1. Curva característica cuerpos de prueba no reforzados

Tabla 9. Resultados ensayo LWT y análisis estadístico para cuerpos de prueba reforzados con Geomalla G1

PASADA	TIEMPO (min)	N° CICLOS	DEFORMACION ACUMULADA (mm)				ANALISIS ESTADISTICO			
			G1.1	G1.2	G1.3	G1.4	DIFERENCIAS ACUMULADAS			Deformación acumulada característica
							DESVIACION ESTANDAR	K90%	K*S	
4	6	2	1,00	0,68	0,84	0,52	0,206	1,686	0,35	<b>0,997</b>
6	9	3	1,08	1,44	0,92	1,28	0,227	1,686	0,38	<b>1,44</b>
8	12	4	1,14	1,50	0,98	1,34	0,227	1,686	0,38	<b>1,50</b>
10	15	5	1,23	1,59	1,07	1,43	0,227	1,686	0,38	<b>1,59</b>
12	18	6	1,31	1,67	1,15	1,51	0,227	1,686	0,38	<b>1,67</b>
14	20	7	1,39	1,75	1,23	1,59	0,227	1,686	0,38	<b>1,75</b>
16	23	8	1,47	1,83	1,31	1,67	0,227	1,686	0,38	<b>1,83</b>
18	26	9	2,24	2,60	2,08	2,44	0,227	1,686	0,38	<b>2,60</b>
20	29	10	2,36	2,72	2,20	2,56	0,227	1,686	0,38	<b>2,72</b>
22	32	11	2,37	2,73	2,21	2,57	0,227	1,686	0,38	<b>2,73</b>
24	35	12	2,41	2,77	2,25	2,61	0,227	1,686	0,38	<b>2,77</b>
26	38	13	2,42	2,78	2,26	2,62	0,227	1,686	0,38	<b>2,78</b>
28	41	14	2,44	2,80	2,28	2,64	0,227	1,686	0,38	<b>2,80</b>
30	44	15	2,56	2,92	2,40	2,76	0,227	1,686	0,38	<b>2,92</b>
32	47	16	2,55	2,91	2,39	2,75	0,227	1,686	0,38	<b>2,91</b>

---

34	49	17	2,54	2,90	2,38	2,74	0,227	1,686	0,38	<b>2,90</b>
36	52	18	2,56	2,92	2,40	2,76	0,227	1,686	0,38	<b>2,92</b>
38	55	19	3,38	3,74	3,22	3,58	0,227	1,686	0,38	<b>3,74</b>
40	58	20	3,42	3,78	3,26	3,62	0,227	1,686	0,38	<b>3,78</b>
42	61	21	3,48	3,84	3,32	3,68	0,227	1,686	0,38	<b>3,84</b>
44	64	22	3,60	3,96	3,44	3,80	0,227	1,686	0,38	<b>3,96</b>
46	67	23	3,62	3,98	3,46	3,82	0,227	1,686	0,38	<b>3,98</b>
48	70	24	3,65	4,01	3,49	3,85	0,227	1,686	0,38	<b>4,01</b>
50	73	25	3,67	4,03	3,51	3,87	0,227	1,686	0,38	<b>4,03</b>
52	76	26	3,70	4,06	3,54	3,90	0,227	1,686	0,38	<b>4,06</b>
54	78	27	3,73	4,09	3,57	3,93	0,227	1,686	0,38	<b>4,09</b>
56	81	28	3,84	4,20	3,68	4,04	0,227	1,686	0,38	<b>4,20</b>
58	84	29	3,80	4,16	3,64	4,00	0,227	1,686	0,38	<b>4,16</b>
60	87	30	3,83	4,19	3,67	4,03	0,227	1,686	0,38	<b>4,19</b>
62	90	31	3,90	4,26	3,74	4,10	0,227	1,686	0,38	<b>4,26</b>
64	93	32	3,91	4,27	3,75	4,11	0,227	1,686	0,38	<b>4,27</b>
66	96	33	3,89	4,36	3,73	4,20	0,289	1,686	0,49	<b>4,36</b>
68	99	34	3,92	4,47	3,76	4,31	0,333	1,686	0,56	<b>4,47</b>
70	102	35	3,96	4,56	3,80	4,40	0,361	1,686	0,61	<b>4,56</b>
72	105	36	3,95	4,57	3,79	4,41	0,372	1,686	0,63	<b>4,57</b>
74	107	37	3,99	4,59	3,83	4,43	0,357	1,686	0,60	<b>4,59</b>
76	110	38	4,03	4,60	3,87	4,45	0,345	1,686	0,58	<b>4,60</b>

---

78	113	39	4,87	4,62	4,71	4,46	0,174	1,686	0,29	<b>4,87</b>
80	116	40	4,90	4,66	4,74	4,50	0,167	1,686	0,28	<b>4,90</b>
82	119	41	4,90	4,76	4,74	4,60	0,122	1,686	0,21	<b>4,90</b>
84	122	42	4,99	5,35	4,83	5,19	0,227	1,686	0,38	<b>5,35</b>
86	125	43	4,97	5,33	4,81	5,17	0,227	1,686	0,38	<b>5,33</b>
88	128	44	4,98	5,34	4,82	5,18	0,227	1,686	0,38	<b>5,34</b>
90	131	45	4,98	5,34	4,82	5,18	0,227	1,686	0,38	<b>5,34</b>
92	134	46	4,99	5,35	4,83	5,19	0,227	1,686	0,38	<b>5,35</b>
94	136	47	5,01	5,37	4,85	5,21	0,227	1,686	0,38	<b>5,37</b>
96	139	48	5,03	5,39	4,87	5,23	0,227	1,686	0,38	<b>5,39</b>
98	142	49	5,01	5,37	4,85	5,21	0,227	1,686	0,38	<b>5,37</b>
100	145	50	5,06	5,42	4,90	5,26	0,227	1,686	0,38	<b>5,42</b>
102	148	51	5,08	5,44	4,92	5,28	0,227	1,686	0,38	<b>5,44</b>
104	151	52	5,10	5,46	4,94	5,30	0,227	1,686	0,38	<b>5,46</b>
106	154	53	5,11	5,47	4,95	5,31	0,227	1,686	0,38	<b>5,47</b>
108	157	54	5,14	5,50	4,98	5,34	0,227	1,686	0,38	<b>5,50</b>
110	160	55	5,19	5,55	5,03	5,39	0,227	1,686	0,38	<b>5,55</b>
112	162	56	5,22	5,58	5,06	5,42	0,227	1,686	0,38	<b>5,58</b>
114	165	57	5,24	5,60	5,08	5,44	0,227	1,686	0,38	<b>5,60</b>
116	168	58	5,23	5,59	5,07	5,43	0,227	1,686	0,38	<b>5,59</b>
118	171	59	5,24	5,60	5,08	5,44	0,227	1,686	0,38	<b>5,60</b>
120	174	60	5,22	5,58	5,06	5,42	0,227	1,686	0,38	<b>5,58</b>

---

122	177	61	5,24	5,60	5,08	5,44	0,227	1,686	0,38	<b>5,60</b>
124	180	62	5,26	5,22	5,10	5,06	0,094	1,686	0,16	<b>5,26</b>
126	183	63	5,68	6,04	5,52	5,88	0,227	1,686	0,38	<b>6,04</b>
128	186	64	5,68	6,04	5,52	5,88	0,227	1,686	0,38	<b>6,04</b>
130	189	65	5,72	6,08	5,56	5,92	0,227	1,686	0,38	<b>6,08</b>
132	191	66	5,72	6,08	5,56	5,92	0,227	1,686	0,38	<b>6,08</b>
134	194	67	5,73	6,09	5,57	5,93	0,227	1,686	0,38	<b>6,09</b>
136	197	68	5,73	6,09	5,57	5,93	0,227	1,686	0,38	<b>6,09</b>
138	200	69	5,73	6,09	5,57	5,93	0,227	1,686	0,38	<b>6,09</b>
140	203	70	5,77	6,13	5,61	5,97	0,227	1,686	0,38	<b>6,13</b>
142	206	71	5,80	6,16	5,64	6,00	0,227	1,686	0,38	<b>6,16</b>
144	209	72	5,79	6,15	5,63	5,99	0,227	1,686	0,38	<b>6,15</b>
146	212	73	5,80	6,16	5,64	6,00	0,227	1,686	0,38	<b>6,16</b>
148	215	74	5,84	6,20	5,68	6,04	0,227	1,686	0,38	<b>6,20</b>
150	217	75	5,85	6,21	5,69	6,05	0,227	1,686	0,38	<b>6,21</b>
152	220	76	5,87	6,18	5,62	6,06	0,243	1,686	0,41	<b>6,18</b>
154	223	77	5,87	6,27	5,65	6,06	0,264	1,686	0,44	<b>6,27</b>
156	226	78	5,87	6,28	5,65	6,06	0,268	1,686	0,45	<b>6,28</b>
158	229	79	5,87	6,26	5,64	6,00	0,258	1,686	0,43	<b>6,26</b>
160	232	80	5,81	6,28	5,65	6,60	0,437	1,686	0,74	<b>6,60</b>
162	235	81	5,84	6,28	5,68	6,64	0,435	1,686	0,73	<b>6,64</b>
164	238	82	5,87	6,30	5,68	6,64	0,431	1,686	0,73	<b>6,64</b>

---

166	241	83	5,87	6,33	5,69	6,67	0,443	1,686	0,75	<b>6,67</b>
168	244	84	5,87	6,36	5,69	6,67	0,448	1,686	0,75	<b>6,67</b>
170	246	85	5,86	6,38	5,71	6,72	0,465	1,686	0,78	<b>6,72</b>
172	249	86	5,87	6,31	5,73	6,85	0,507	1,686	0,85	<b>6,85</b>
174	252	87	5,93	6,39	5,75	6,75	0,453	1,686	0,76	<b>6,75</b>
176	255	88	6,08	6,59	5,75	6,71	0,447	1,686	0,75	<b>6,71</b>
178	258	89	6,23	6,48	5,77	6,69	0,395	1,686	0,67	<b>6,69</b>
180	261	90	6,39	7,11	7,59	7,95	0,678	1,686	1,14	<b>7,95</b>
182	264	91	6,54	7,89	7,37	7,73	0,602	1,686	1,02	<b>7,89</b>
184	267	92	6,69	7,90	7,38	7,74	0,536	1,686	0,90	<b>7,90</b>
186	270	93	6,84	7,91	7,39	7,75	0,471	1,686	0,79	<b>7,91</b>
188	272	94	7,00	7,90	7,38	7,74	0,401	1,686	0,68	<b>7,90</b>
190	275	95	7,15	7,96	7,44	7,80	0,363	1,686	0,61	<b>7,96</b>
192	278	96	7,30	7,96	7,44	7,80	0,305	1,686	0,51	<b>7,96</b>
194	281	97	7,46	7,96	7,44	7,80	0,257	1,686	0,43	<b>7,96</b>
196	284	98	7,61	7,98	7,46	7,82	0,228	1,686	0,38	<b>7,98</b>
198	287	99	7,76	7,99	7,47	7,83	0,217	1,686	0,37	<b>7,99</b>
200	290	100	7,92	7,65	7,49	7,49	0,201	1,686	0,34	<b>7,92</b>
268	388	134	7,86	7,72	7,70	7,76	0,071	1,686	0,12	<b>7,86</b>
400	579	200	7,84	7,80	7,78	7,74	0,041	1,686	0,07	<b>7,84</b>
536	776	268	7,86	7,78	7,76	7,72	0,058	1,686	0,10	<b>7,86</b>
600	869	300	7,77	7,80	7,78	7,94	0,079	1,686	0,13	<b>7,94</b>

---

800	1158	400	7,83	7,89	7,87	7,83	0,030	1,686	0,05	<b>7,89</b>
804	1164	402	7,87	7,83	7,89	7,87	0,027	1,686	0,05	<b>7,89</b>
1000	1447	500	7,87	8,31	8,09	8,25	0,195	1,686	0,33	<b>8,31</b>
1072	1551	536	8,15	8,11	8,59	7,95	0,274	1,686	0,46	<b>8,59</b>
1400	2026	700	8,19	8,55	8,03	8,39	0,227	1,686	0,38	<b>8,55</b>
1600	2315	800	8,20	8,06	8,14	8,49	0,188	1,686	0,32	<b>8,49</b>
1608	2327	804	8,26	8,12	8,16	8,56	0,199	1,686	0,34	<b>8,56</b>
1800	2605	900	8,28	8,14	8,19	8,58	0,197	1,686	0,33	<b>8,58</b>
1876	2715	938	8,29	8,65	8,13	8,49	0,227	1,686	0,38	<b>8,65</b>
2000	2894	1000	8,37	8,73	8,21	8,57	0,227	1,686	0,38	<b>8,73</b>
2400	3474	1200	9,41	8,75	9,23	8,59	0,388	1,686	0,65	<b>9,41</b>
2412	3491	1206	9,54	9,80	9,48	9,84	0,181	1,686	0,31	<b>9,84</b>
2416	3497	1208	9,26	9,72	9,20	9,56	0,246	1,686	0,42	<b>9,72</b>
2600	3763	1300	9,13	9,99	9,47	9,83	0,384	1,686	0,65	<b>9,99</b>
2800	4053	1400	9,43	9,99	9,07	9,83	0,413	1,686	0,70	<b>9,99</b>
3000	4344	1500	9,65	10,01	9,49	9,85	0,227	1,686	0,38	<b>10,01</b>
3200	4634	1600	9,88	10,24	9,72	10,08	0,227	1,686	0,38	<b>10,24</b>
3216	4658	1608	10,30	10,66	10,14	10,50	0,227	1,686	0,38	<b>10,66</b>
3330	4824	1665	10,61	10,67	10,15	10,51	0,232	1,686	0,39	<b>10,67</b>
3600	5201	1800	10,82	11,28	10,76	11,12	0,246	1,686	0,42	<b>11,28</b>
4000	5779	2000	11,06	11,72	11,20	11,56	0,307	1,686	0,52	<b>11,72</b>
4200	6068	2100	11,16	11,70	11,19	11,54	0,263	1,686	0,44	<b>11,70</b>

Anexos

---

4400	6357	2200	11,29	11,75	11,23	11,59	0,246	1,686	0,42	<b>11,75</b>
4600	6647	2300	11,30	11,66	11,14	11,50	0,227	1,686	0,38	<b>11,66</b>
4800	6936	2400	11,33	11,79	11,27	11,63	0,246	1,686	0,42	<b>11,79</b>
4824	6970	2412	11,46	11,82	11,30	11,66	0,227	1,686	0,38	<b>11,82</b>
5000	7225	2500	11,87	12,30	12,02	12,39	0,241	1,686	0,41	<b>12,39</b>

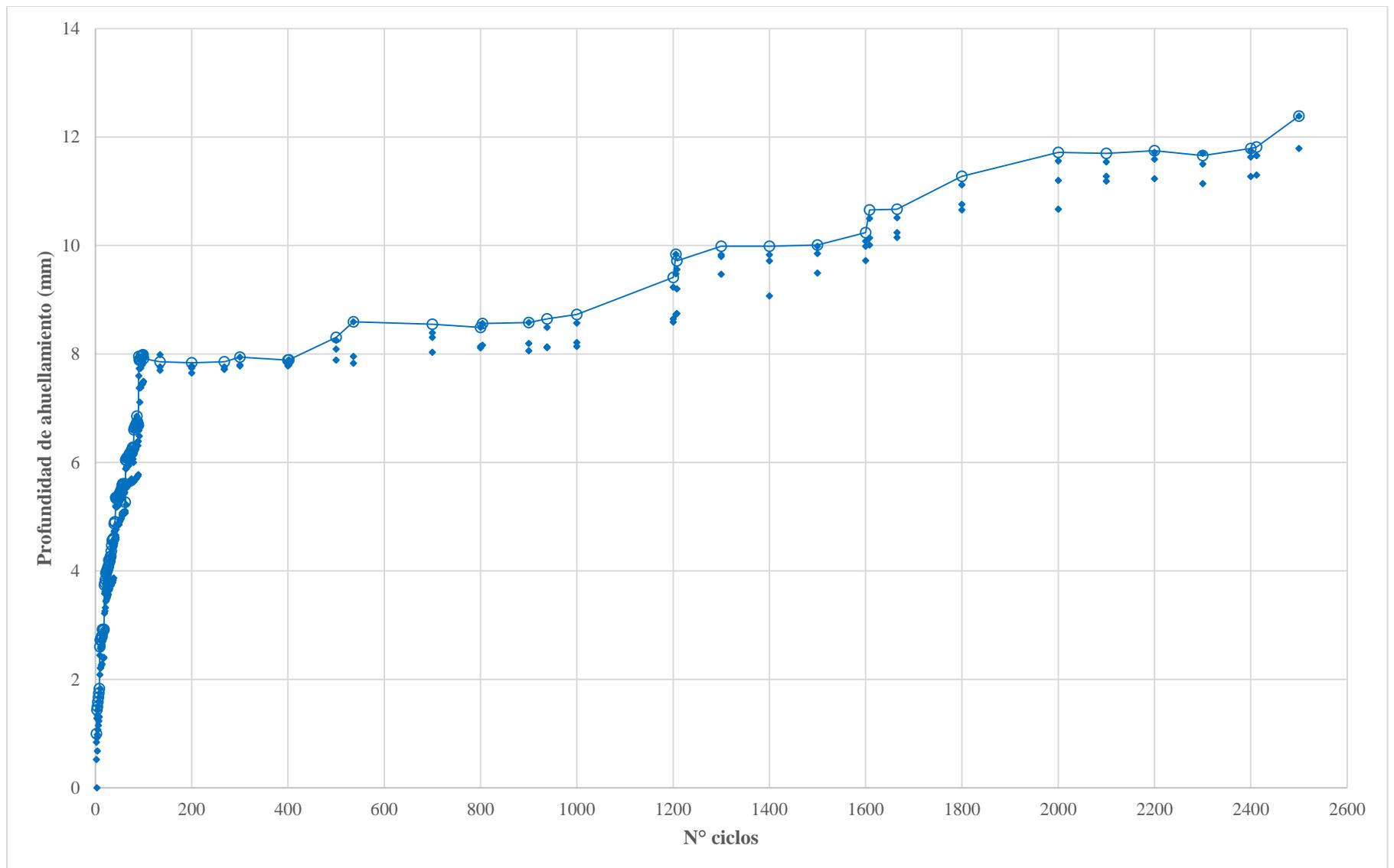


Figura 2. Curva característica cuerpos de prueba reforzados con geomalla G1.

Tabla 10. Resultados ensayo LWT y análisis estadístico para cuerpos de prueba reforzados con Geomalla G2

PASADA	TIEMPO (min)	N° CICLOS	DEFORMACION ACUMULADA (mm)				ANALISIS ESTADISTICO				
			G2.1	G2.2	G2.3	G2.4	DIFERENCIAS ACUMULADAS				Deformació n acumulada caracteristic a
							PROME DIO	DESVIACIO N ESTANDAR	K90 %	K*S	
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	1,282	0,00	<b>0,00</b>
2	3	1	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	1,282	0,00	<b>0,00</b>
4	6	2	0,62	0,70	0,77	0,695	0,70	0,062	1,282	0,08	<b>0,77</b>
6	9	3	0,63	0,82	0,78	0,815	0,76	0,087	1,282	0,11	<b>0,82</b>
8	12	4	0,71	0,86	0,85	0,829	0,81	0,069	1,282	0,09	<b>0,86</b>
10	15	5	0,74	0,96	0,89	0,964	0,89	0,105	1,282	0,13	<b>0,96</b>
12	18	6	1,65	1,11	1,18	1,100	1,26	0,263	1,282	0,34	<b>1,65</b>
14	20	7	1,63	1,09	1,19	1,236	1,29	0,237	1,282	0,30	<b>1,63</b>
16	23	8	1,74	1,20	1,29	1,372	1,40	0,237	1,282	0,30	<b>1,74</b>
18	26	9	1,77	1,23	1,54	1,508	1,51	0,221	1,282	0,28	<b>1,77</b>
20	29	10	1,80	1,29	1,58	1,543	1,55	0,208	1,282	0,27	<b>1,80</b>
22	32	11	1,88	1,34	1,62	1,579	1,60	0,221	1,282	0,28	<b>1,88</b>
24	35	12	1,88	1,34	1,66	1,593	1,62	0,222	1,282	0,29	<b>1,88</b>

Anexos

26	38	13	1,91	1,37	1,70	1,621	1,65	0,223	1,282	0,29	<b>1,91</b>
28	41	14	1,88	1,34	1,74	1,642	1,65	0,229	1,282	0,29	<b>1,88</b>
30	44	15	1,96	1,42	1,78	1,716	1,72	0,225	1,282	0,29	<b>1,96</b>
32	47	16	1,95	1,61	1,82	1,747	1,78	0,142	1,282	0,18	<b>1,95</b>
34	49	17	1,96	1,62	1,86	1,761	1,80	0,145	1,282	0,19	<b>1,96</b>
36	52	18	2,04	1,90	1,97	2,074	2,00	0,078	1,282	0,10	<b>2,07</b>
38	55	19	2,13	1,99	2,07	2,088	2,07	0,059	1,282	0,08	<b>2,13</b>
40	58	20	2,17	2,03	2,18	2,101	2,12	0,069	1,282	0,09	<b>2,18</b>
42	61	21	2,21	2,17	2,28	2,149	2,20	0,059	1,282	0,08	<b>2,28</b>
44	64	22	2,14	2,18	2,34	2,285	2,24	0,092	1,282	0,12	<b>2,34</b>
46	67	23	2,13	2,29	2,40	2,342	2,29	0,115	1,282	0,15	<b>2,40</b>
48	70	24	2,41	2,31	2,36	2,356	2,36	0,039	1,282	0,05	<b>2,41</b>
50	73	25	3,21	2,37	2,51	2,369	2,62	0,402	1,282	0,52	<b>3,21</b>
52	76	26	3,26	2,42	2,57	2,383	2,66	0,410	1,282	0,53	<b>3,26</b>
54	78	27	3,28	2,64	2,63	2,796	2,84	0,306	1,282	0,39	<b>3,28</b>
56	81	28	3,26	2,64	2,69	2,810	2,85	0,283	1,282	0,36	<b>3,26</b>
58	84	29	3,30	2,66	2,74	2,824	2,88	0,287	1,282	0,37	<b>3,30</b>
60	87	30	3,32	2,84	2,80	2,837	2,95	0,248	1,282	0,32	<b>3,32</b>
62	90	31	3,30	2,87	2,86	2,891	2,98	0,214	1,282	0,27	<b>3,30</b>
64	93	32	3,37	2,88	2,92	2,944	3,03	0,231	1,282	0,30	<b>3,37</b>
66	96	33	3,36	2,99	2,97	2,998	3,08	0,188	1,282	0,24	<b>3,36</b>
68	99	34	3,34	3,04	3,03	3,051	3,12	0,151	1,282	0,19	<b>3,34</b>

Anexos

70	102	35	3,39	3,10	3,09	3,135	3,18	0,144	1,282	0,18	<b>3,39</b>
72	105	36	3,45	3,17	3,15	3,219	3,25	0,140	1,282	0,18	<b>3,45</b>
74	107	37	3,44	3,25	3,21	3,302	3,30	0,103	1,282	0,13	<b>3,44</b>
76	110	38	3,42	3,42	3,26	3,386	3,37	0,075	1,282	0,10	<b>3,42</b>
78	113	39	3,47	3,58	3,32	3,469	3,46	0,107	1,282	0,14	<b>3,58</b>
80	116	40	3,54	3,58	3,38	3,553	3,51	0,092	1,282	0,12	<b>3,58</b>
82	119	41	3,57	3,62	3,44	3,636	3,57	0,091	1,282	0,12	<b>3,64</b>
84	122	42	3,56	3,69	3,49	3,720	3,62	0,107	1,282	0,14	<b>3,72</b>
86	125	43	3,56	3,68	3,55	3,825	3,65	0,128	1,282	0,16	<b>3,83</b>
88	128	44	3,61	3,66	3,66	3,931	3,72	0,145	1,282	0,19	<b>3,93</b>
90	131	45	3,56	3,69	3,76	4,036	3,76	0,200	1,282	0,26	<b>4,04</b>
92	134	46	3,53	3,73	3,87	4,141	3,82	0,256	1,282	0,33	<b>4,14</b>
94	136	47	3,62	3,72	3,97	4,247	3,89	0,280	1,282	0,36	<b>4,25</b>
96	139	48	3,74	4,04	4,08	4,352	4,05	0,249	1,282	0,32	<b>4,35</b>
98	142	49	3,68	4,16	4,19	4,458	4,12	0,322	1,282	0,41	<b>4,46</b>
100	145	50	3,70	4,26	4,29	4,563	4,20	0,361	1,282	0,46	<b>4,56</b>
102	148	51	3,76	4,27	4,40	4,717	4,29	0,396	1,282	0,51	<b>4,72</b>
104	151	52	3,73	4,36	4,50	4,870	4,37	0,474	1,282	0,61	<b>4,87</b>
106	154	53	3,70	4,46	4,61	5,024	4,45	0,551	1,282	0,71	<b>5,02</b>
108	157	54	3,78	4,49	4,71	5,177	4,54	0,581	1,282	0,74	<b>5,18</b>
110	160	55	3,84	4,75	4,82	5,331	4,69	0,619	1,282	0,79	<b>5,33</b>
112	163	56	3,82	4,73	4,93	5,484	4,74	0,690	1,282	0,89	<b>5,48</b>

Anexos

114	165	57	3,88	4,79	5,03	5,638	4,84	0,728	1,282	0,93	<b>5,64</b>
116	168	58	3,80	4,71	5,14	5,792	4,86	0,834	1,282	1,07	<b>5,79</b>
118	171	59	3,80	4,71	5,24	5,945	4,93	0,903	1,282	1,16	<b>5,95</b>
120	174	60	3,73	4,84	4,49	5,099	4,54	0,593	1,282	0,76	<b>5,10</b>
122	177	61	3,67	4,89	5,45	5,252	4,82	0,799	1,282	1,02	<b>5,45</b>
124	180	62	3,69	5,09	4,56	5,406	4,69	0,748	1,282	0,96	<b>5,41</b>
126	183	63	4,81	5,29	4,77	5,559	5,11	0,384	1,282	0,49	<b>5,56</b>
128	186	64	4,95	5,73	4,87	5,713	5,32	0,469	1,282	0,60	<b>5,73</b>
130	189	65	4,93	5,71	4,98	5,867	5,37	0,487	1,282	0,62	<b>5,87</b>
132	191	66	4,98	5,76	5,08	6,020	5,46	0,509	1,282	0,65	<b>6,02</b>
134	194	67	4,93	6,37	5,19	6,174	5,67	0,713	1,282	0,91	<b>6,37</b>
136	197	68	4,91	6,37	5,29	6,327	5,73	0,737	1,282	0,94	<b>6,37</b>
138	200	69	5,07	6,39	5,40	6,481	5,83	0,706	1,282	0,90	<b>6,48</b>
140	203	70	5,02	6,40	5,51	6,635	5,89	0,757	1,282	0,97	<b>6,63</b>
142	206	71	5,04	6,82	5,61	6,788	6,06	0,885	1,282	1,13	<b>6,82</b>
144	209	72	5,09	6,87	5,72	6,142	5,95	0,748	1,282	0,96	<b>6,87</b>
146	212	73	5,01	6,79	5,82	6,295	5,98	0,758	1,282	0,97	<b>6,79</b>
148	215	74	5,09	6,87	5,93	6,449	6,08	0,767	1,282	0,98	<b>6,87</b>
150	218	75	5,07	6,89	6,04	6,602	6,15	0,803	1,282	1,03	<b>6,89</b>
152	220	76	5,06	6,91	6,14	6,756	6,22	0,840	1,282	1,08	<b>6,91</b>
154	223	77	5,99	6,95	6,25	6,910	6,52	0,480	1,282	0,62	<b>6,95</b>
156	226	78	5,97	6,99	6,35	6,963	6,57	0,496	1,282	0,64	<b>6,99</b>

Anexos

---

158	229	79	5,98	7,01	6,46	7,017	6,62	0,499	1,282	0,64	<b>7,02</b>
160	232	80	5,98	7,09	6,56	7,070	6,68	0,525	1,282	0,67	<b>7,09</b>
162	235	81	5,06	7,20	6,67	7,124	6,51	0,997	1,282	1,28	<b>7,20</b>
164	238	82	5,99	7,29	6,78	7,177	6,81	0,589	1,282	0,76	<b>7,29</b>
166	241	83	5,99	7,29	6,88	7,231	6,85	0,601	1,282	0,77	<b>7,29</b>
168	244	84	5,09	7,02	6,99	7,285	6,60	1,013	1,282	1,30	<b>7,28</b>
170	246	85	5,04	7,38	7,09	7,338	6,71	1,120	1,282	1,44	<b>7,38</b>
172	249	86	5,95	7,41	7,20	7,392	6,99	0,696	1,282	0,89	<b>7,41</b>
174	252	87	5,89	7,450	7,30	7,445	7,02	0,756	1,282	0,97	<b>7,45</b>
176	255	88	5,97	7,453	7,41	7,481	7,08	0,737	1,282	0,95	<b>7,48</b>
178	258	89	5,97	7,52	7,52	7,000	7,00	0,728	1,282	0,93	<b>7,52</b>
180	261	90	5,96	7,52	7,62	7,728	7,21	0,834	1,282	1,07	<b>7,73</b>
182	264	91	5,91	7,57	7,73	7,728	7,24	0,884	1,282	1,13	<b>7,73</b>
184	267	92	6,99	7,55	7,83	7,728	7,53	0,373	1,282	0,48	<b>7,83</b>
186	270	93	6,98	7,64	7,94	7,728	7,57	0,412	1,282	0,53	<b>7,94</b>
188	273	94	7,03	7,69	8,04	7,728	7,62	0,424	1,282	0,54	<b>8,04</b>
190	275	95	7,02	7,75	8,15	7,728	7,66	0,468	1,282	0,60	<b>8,15</b>
192	278	96	7,01	7,88	8,26	7,886	7,76	0,529	1,282	0,68	<b>8,26</b>
194	281	97	7,10	8,06	8,36	8,044	7,89	0,548	1,282	0,70	<b>8,36</b>
196	284	98	7,10	8,16	8,47	8,202	7,98	0,602	1,282	0,77	<b>8,47</b>
198	287	99	7,65	8,21	8,57	8,360	8,20	0,393	1,282	0,50	<b>8,57</b>
200	290	100	7,66	8,17	8,68	8,518	8,26	0,453	1,282	0,58	<b>8,68</b>

Anexos

268	388	134	7,74	8,30	8,79	8,676	8,38	0,470	1,282	0,60	<b>8,79</b>
400	579	200	7,78	8,66	8,81	8,976	8,56	0,534	1,282	0,68	<b>8,98</b>
536	776	268	7,89	8,85	8,86	9,011	8,65	0,512	1,282	0,66	<b>9,01</b>
600	868	300	7,86	9,01	8,90	9,046	8,70	0,568	1,282	0,73	<b>9,05</b>
800	1157	400	7,87	9,23	9,09	10,082	9,07	0,912	1,282	1,17	<b>10,08</b>
804	1163	402	7,90	9,35	9,16	10,117	9,13	0,922	1,282	1,18	<b>10,12</b>
1000	1447	500	7,97	9,36	9,16	10,153	9,16	0,900	1,282	1,15	<b>10,15</b>
1072	1551	536	7,99	9,46	9,19	10,188	9,21	0,912	1,282	1,17	<b>10,19</b>
1200	1736	600	7,84	9,48	9,23	10,223	9,19	0,994	1,282	1,27	<b>10,22</b>
1340	1938	670	7,92	9,52	9,48	10,259	9,30	0,982	1,282	1,26	<b>10,26</b>
1400	2025	700	7,96	9,59	9,50	10,294	9,34	0,982	1,282	1,26	<b>10,29</b>
1600	2313	800	7,97	9,69	9,55	10,329	9,39	1,000	1,282	1,28	<b>10,33</b>
1608	2325	804	7,99	9,78	9,64	10,365	9,44	1,021	1,282	1,31	<b>10,36</b>
1800	2602	900	7,44	9,16	9,66	10,400	9,16	1,260	1,282	1,62	<b>10,40</b>
1876	2712	938	7,65	9,18	9,68	10,435	9,24	1,176	1,282	1,51	<b>10,44</b>
2000	2891	1000	7,69	9,19	9,71	10,471	9,27	1,173	1,282	1,50	<b>10,47</b>
2144	3099	1072	7,79	9,29	9,76	10,506	9,34	1,144	1,282	1,47	<b>10,51</b>
2200	3180	1100	7,74	9,24	9,18	10,541	9,18	1,143	1,282	1,47	<b>10,54</b>
2412	3486	1206	7,38	8,94	9,39	10,612	9,08	1,334	1,282	1,71	<b>10,61</b>
2600	3757	1300	8,01	9,57	9,97	10,648	9,55	1,116	1,282	1,43	<b>10,65</b>
2800	4046	1400	8,05	9,61	10,08	10,683	9,61	1,124	1,282	1,44	<b>10,68</b>
3000	4335	1500	8,39	9,69	9,98	10,718	9,70	0,970	1,282	1,24	<b>10,72</b>

## Anexos

---

3200	4623	1600	8,84	10,10	10,09	10,754	9,95	0,798	1,282	1,02	<b>10,75</b>
3216	4646	1608	8,65	9,91	10,19	10,789	9,89	0,900	1,282	1,15	<b>10,79</b>
3304	4773	1652	8,67	9,93	10,30	10,824	9,93	0,915	1,282	1,17	<b>10,82</b>
3400	4912	1700	8,88	10,14	10,41	10,860	10,07	0,846	1,282	1,08	<b>10,86</b>
3600	5201	1800	8,65	10,91	10,51	10,913	10,25	1,078	1,282	1,38	<b>10,91</b>
3800	5490	1900	9,28	10,40	10,62	10,967	10,32	0,727	1,282	0,93	<b>10,97</b>
4000	5779	2000	9,09	10,35	10,72	11,020	10,30	0,847	1,282	1,09	<b>11,02</b>
4020	5808	2010	8,74	10,00	10,83	11,074	10,16	1,051	1,282	1,35	<b>11,07</b>
4200	6068	2100	10,66	11,13	10,93	11,128	10,96	0,222	1,282	0,28	<b>11,13</b>
4400	6357	2200	11,65	10,38	11,70	12,211	11,48	0,779	1,282	1,00	<b>12,21</b>
4600	6647	2300	11,86	10,29	11,80	12,295	11,56	0,876	1,282	1,12	<b>12,29</b>
4800	6936	2400	11,89	10,42	12,38	12,378	11,77	0,927	1,282	1,19	<b>12,38</b>
4824	6970	2412	12,20	10,45	12,49	12,462	11,90	0,974	1,282	1,25	<b>12,49</b>
5000	7225	2500	12,36	12,52	12,59	12,545	12,50	0,101	1,282	0,13	<b>12,59</b>

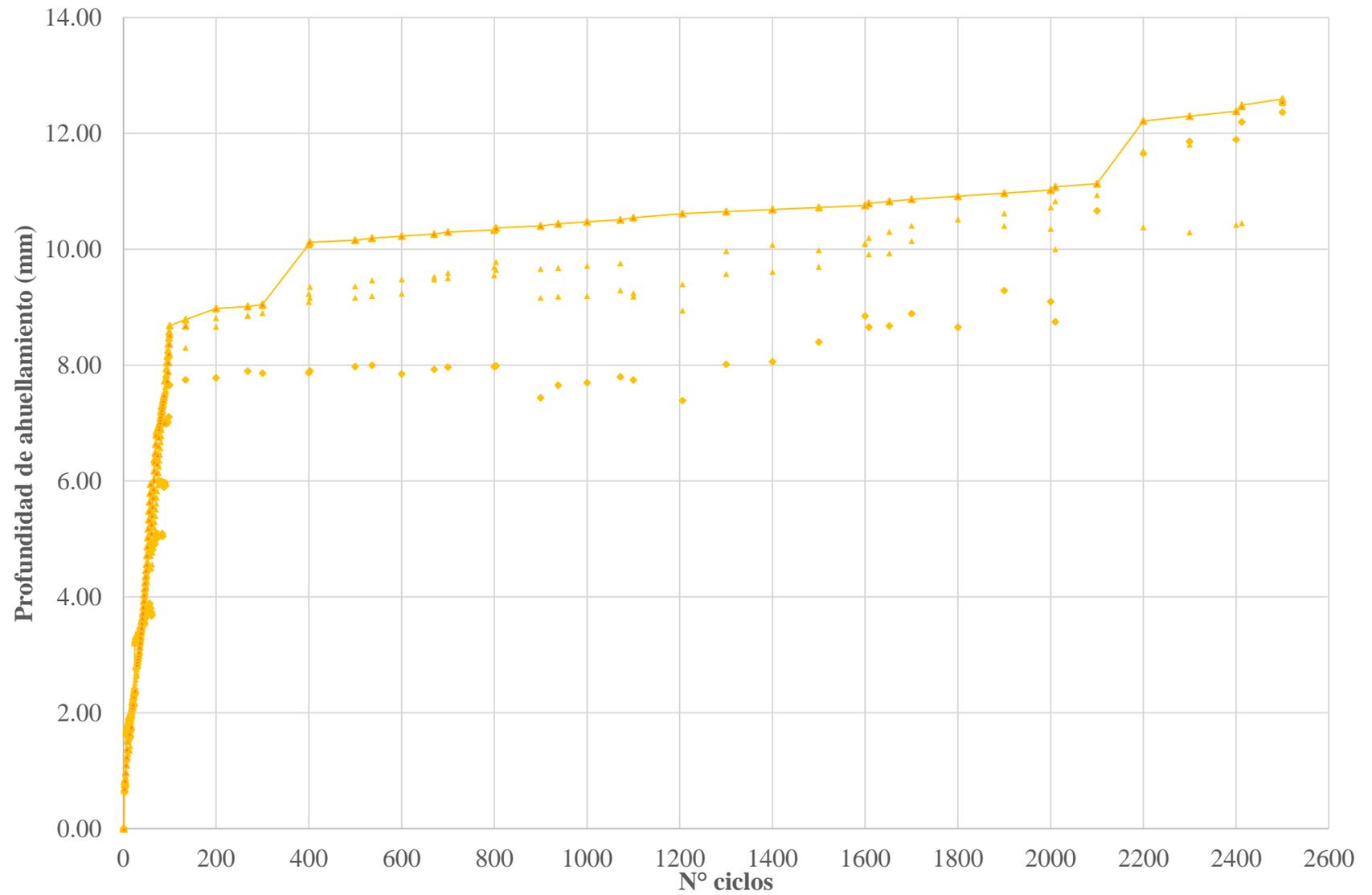


Figura 3. Curva característica cuerpos de prueba reforzados con geomalla G2.

Tabla 11. Resultados ensayo LWT y análisis estadístico para cuerpos de prueba reforzados con Geomalla G3

PASADA	TIEMPO (min)	N° CICLOS	DEFORMACION ACUMULADA (mm)				ANALISIS ESTADISTICO				
							DIFERENCIAS ACUMULADAS				
			G3.1	G3.2	G3.3	G3.4	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	K90%	K*S	Deformación acumulada característica
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	1,282	0,00	<b>0,00</b>
2	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	1,282	0,00	<b>0,00</b>
4	6	2	0,19	0,02	0,28	0,12	0,15	0,111	1,282	0,14	<b>0,28</b>
6	9	3	0,31	0,14	0,40	0,24	0,27	0,111	1,282	0,14	<b>0,40</b>
8	12	4	0,35	0,18	0,44	0,28	0,31	0,111	1,282	0,14	<b>0,44</b>
10	15	5	0,38	0,21	0,47	0,31	0,34	0,111	1,282	0,14	<b>0,47</b>
12	18	6	0,63	0,36	0,82	0,46	0,57	0,204	1,282	0,26	<b>0,82</b>
14	20	7	0,61	0,34	0,80	0,44	0,55	0,204	1,282	0,26	<b>0,80</b>
16	23	8	0,72	0,45	0,91	0,55	0,66	0,204	1,282	0,26	<b>0,91</b>
18	26	9	0,75	0,48	0,94	0,58	0,69	0,204	1,282	0,26	<b>0,94</b>
20	29	10	0,81	0,54	1,00	0,64	0,75	0,204	1,282	0,26	<b>1,00</b>
22	32	11	0,86	0,59	1,05	0,69	0,80	0,204	1,282	0,26	<b>1,05</b>
24	35	12	0,86	0,59	1,05	0,69	0,80	0,204	1,282	0,26	<b>1,05</b>
26	38	13	0,89	0,62	1,06	0,72	0,82	0,195	1,282	0,25	<b>1,06</b>

## Anexos

---

28	41	14	0,86	0,59	1,07	0,69	0,80	0,212	1,282	0,27	<b>1,07</b>
30	44	15	0,94	0,67	1,08	0,77	0,86	0,183	1,282	0,23	<b>1,08</b>
32	47	16	0,93	0,66	1,11	0,76	0,86	0,196	1,282	0,25	<b>1,11</b>
34	49	17	0,94	0,67	1,12	0,77	0,87	0,199	1,282	0,26	<b>1,12</b>
36	52	18	1,02	0,75	1,21	0,85	0,96	0,204	1,282	0,26	<b>1,21</b>
38	55	19	1,11	0,84	1,30	0,94	1,05	0,204	1,282	0,26	<b>1,30</b>
40	58	20	1,15	0,88	1,34	0,98	1,09	0,204	1,282	0,26	<b>1,34</b>
42	61	21	1,19	0,92	1,38	1,02	1,13	0,204	1,282	0,26	<b>1,38</b>
44	64	22	1,12	0,85	1,31	0,95	1,06	0,204	1,282	0,26	<b>1,31</b>
46	67	23	1,11	0,84	1,30	0,94	1,05	0,204	1,282	0,26	<b>1,30</b>
48	70	24	1,13	0,86	1,32	0,96	1,07	0,204	1,282	0,26	<b>1,32</b>
50	73	25	1,19	0,92	1,38	1,02	1,13	0,204	1,282	0,26	<b>1,38</b>
52	76	26	1,24	0,97	1,43	1,07	1,18	0,204	1,282	0,26	<b>1,43</b>
54	78	27	1,26	0,99	1,44	1,09	1,19	0,199	1,282	0,25	<b>1,44</b>
56	81	28	1,24	0,97	1,45	1,07	1,18	0,212	1,282	0,27	<b>1,45</b>
58	84	29	1,28	1,01	1,46	1,11	1,21	0,199	1,282	0,26	<b>1,46</b>
60	87	30	1,30	1,03	1,47	1,13	1,23	0,195	1,282	0,25	<b>1,47</b>
62	90	31	1,28	1,01	1,48	1,11	1,22	0,206	1,282	0,26	<b>1,48</b>
64	93	32	1,35	1,08	1,52	1,18	1,28	0,192	1,282	0,25	<b>1,52</b>
66	96	33	1,34	1,07	1,54	1,17	1,28	0,205	1,282	0,26	<b>1,54</b>
68	99	34	1,32	1,05	1,56	1,15	1,27	0,225	1,282	0,29	<b>1,56</b>
70	102	35	1,37	1,10	1,57	1,20	1,31	0,205	1,282	0,26	<b>1,57</b>

## Anexos

72	105	36	1,43	1,16	1,61	1,26	1,36	0,196	1,282	0,25	<b>1,61</b>
74	107	37	1,42	1,15	1,63	1,25	1,36	0,209	1,282	0,27	<b>1,63</b>
76	110	38	1,40	1,13	1,64	1,23	1,35	0,222	1,282	0,28	<b>1,64</b>
78	113	39	1,45	1,18	1,65	1,28	1,39	0,205	1,282	0,26	<b>1,65</b>
80	116	40	1,52	1,25	1,72	1,35	1,46	0,205	1,282	0,26	<b>1,72</b>
82	119	41	1,55	1,28	1,75	1,38	1,49	0,205	1,282	0,26	<b>1,75</b>
84	122	42	1,54	1,27	1,76	1,37	1,49	0,217	1,282	0,28	<b>1,76</b>
86	125	43	1,54	1,27	1,76	1,37	1,49	0,217	1,282	0,28	<b>1,76</b>
88	128	44	1,59	1,32	1,76	1,42	1,52	0,196	1,282	0,25	<b>1,76</b>
90	131	45	1,54	1,27	1,78	1,37	1,49	0,222	1,282	0,28	<b>1,78</b>
92	134	46	1,51	1,24	1,81	1,34	1,47	0,248	1,282	0,32	<b>1,81</b>
94	136	47	1,60	1,33	1,83	1,43	1,55	0,219	1,282	0,28	<b>1,83</b>
96	139	48	1,57	1,30	1,85	1,40	1,53	0,239	1,282	0,31	<b>1,85</b>
98	142	49	1,51	1,24	1,86	1,34	1,49	0,274	1,282	0,35	<b>1,86</b>
100	145	50	1,53	1,26	1,86	1,36	1,50	0,265	1,282	0,34	<b>1,86</b>
102	148	51	1,59	1,32	1,86	1,42	1,55	0,238	1,282	0,31	<b>1,86</b>
104	151	52	1,56	1,29	1,86	1,39	1,53	0,252	1,282	0,32	<b>1,86</b>
106	154	53	1,53	1,26	1,87	1,36	1,50	0,269	1,282	0,34	<b>1,87</b>
108	157	54	1,61	1,34	1,88	1,44	1,57	0,235	1,282	0,30	<b>1,88</b>
110	160	55	1,67	1,40	1,88	1,50	1,61	0,209	1,282	0,27	<b>1,88</b>
112	163	56	1,65	1,38	1,89	1,48	1,60	0,222	1,282	0,28	<b>1,89</b>
114	165	57	1,71	1,44	1,91	1,54	1,65	0,205	1,282	0,26	<b>1,91</b>

## Anexos

---

116	168	58	1,63	1,36	1,91	1,46	1,59	0,239	1,282	0,31	<b>1,91</b>
118	171	59	1,63	1,36	1,91	1,46	1,59	0,239	1,282	0,31	<b>1,91</b>
120	174	60	1,56	1,29	1,91	1,39	1,54	0,271	1,282	0,35	<b>1,91</b>
122	177	61	1,50	1,23	1,91	1,33	1,49	0,298	1,282	0,38	<b>1,91</b>
124	180	62	1,52	1,25	1,91	1,35	1,51	0,289	1,282	0,37	<b>1,91</b>
126	183	63	1,51	1,24	1,91	1,34	1,50	0,294	1,282	0,38	<b>1,91</b>
128	186	64	1,65	1,38	1,91	1,48	1,60	0,231	1,282	0,30	<b>1,91</b>
130	189	65	1,63	1,36	1,91	1,46	1,59	0,239	1,282	0,31	<b>1,91</b>
132	191	66	1,68	1,41	1,91	1,51	1,63	0,218	1,282	0,28	<b>1,91</b>
134	194	67	1,63	1,36	1,91	1,46	1,59	0,239	1,282	0,31	<b>1,91</b>
136	197	68	1,61	1,34	1,91	1,44	1,57	0,248	1,282	0,32	<b>1,91</b>
138	200	69	1,77	1,50	1,97	1,60	1,71	0,205	1,282	0,26	<b>1,97</b>
140	203	70	1,72	1,45	1,92	1,55	1,66	0,205	1,282	0,26	<b>1,92</b>
142	206	71	1,74	1,47	1,94	1,57	1,68	0,205	1,282	0,26	<b>1,94</b>
144	209	72	1,79	1,52	1,99	1,62	1,73	0,205	1,282	0,26	<b>1,99</b>
146	212	73	1,71	1,44	1,91	1,54	1,65	0,205	1,282	0,26	<b>1,91</b>
148	215	74	1,79	1,52	1,99	1,62	1,73	0,205	1,282	0,26	<b>1,99</b>
150	218	75	1,77	1,50	1,99	1,60	1,71	0,214	1,282	0,27	<b>1,99</b>
152	220	76	1,76	1,49	1,99	1,59	1,71	0,218	1,282	0,28	<b>1,99</b>
154	223	77	1,69	1,42	1,99	1,52	1,65	0,249	1,282	0,32	<b>1,99</b>
156	226	78	1,67	1,40	1,99	1,50	1,64	0,258	1,282	0,33	<b>1,99</b>
158	229	79	1,68	1,41	1,99	1,51	1,65	0,253	1,282	0,32	<b>1,99</b>

## Anexos

160	232	80	1,68	1,41	1,99	1,51	1,65	0,253	1,282	0,32	<b>1,99</b>
162	235	81	1,76	1,49	1,99	1,59	1,71	0,218	1,282	0,28	<b>1,99</b>
164	238	82	1,69	1,42	1,99	1,52	1,65	0,249	1,282	0,32	<b>1,99</b>
166	241	83	1,69	1,42	1,99	1,52	1,65	0,249	1,282	0,32	<b>1,99</b>
168	244	84	1,79	1,52	1,99	1,62	1,73	0,205	1,282	0,26	<b>1,99</b>
170	246	85	1,87	1,60	2,07	1,70	1,81	0,205	1,282	0,26	<b>2,07</b>
172	249	86	1,78	1,51	1,98	1,61	1,72	0,205	1,282	0,26	<b>1,98</b>
174	252	87	1,72	1,45	1,92	1,55	1,66	0,205	1,282	0,26	<b>1,92</b>
176	255	88	1,80	1,53	2,00	1,63	1,74	0,205	1,282	0,26	<b>2,00</b>
178	258	89	1,80	1,53	2,00	1,63	1,74	0,205	1,282	0,26	<b>2,00</b>
180	261	90	1,79	1,52	1,99	1,62	1,73	0,205	1,282	0,26	<b>1,99</b>
182	264	91	1,74	1,47	1,94	1,57	1,68	0,205	1,282	0,26	<b>1,94</b>
184	267	92	1,82	1,55	2,02	1,65	1,76	0,205	1,282	0,26	<b>2,02</b>
186	270	93	1,81	1,54	2,01	1,64	1,75	0,205	1,282	0,26	<b>2,01</b>
188	273	94	1,86	1,59	2,06	1,69	1,80	0,205	1,282	0,26	<b>2,06</b>
190	275	95	1,85	1,58	2,05	1,68	1,79	0,205	1,282	0,26	<b>2,05</b>
192	278	96	1,80	1,53	2,00	1,63	1,74	0,205	1,282	0,26	<b>2,00</b>
194	281	97	1,83	1,56	2,03	1,66	1,77	0,205	1,282	0,26	<b>2,03</b>
196	284	98	1,93	1,66	2,13	1,76	1,87	0,205	1,282	0,26	<b>2,13</b>
198	287	99	1,98	1,71	2,18	1,81	1,92	0,205	1,282	0,26	<b>2,18</b>
200	290	100	1,94	1,67	2,14	1,77	1,88	0,205	1,282	0,26	<b>2,14</b>
268	388	134	2,07	1,80	2,27	1,90	2,01	0,205	1,282	0,26	<b>2,27</b>

## Anexos

400	579	200	2,43	2,16	2,63	2,26	2,37	0,205	1,282	0,26	<b>2,63</b>
536	776	268	2,62	2,35	2,82	2,45	2,56	0,205	1,282	0,26	<b>2,82</b>
600	868	300	2,91	2,64	3,11	2,54	2,80	0,259	1,282	0,33	<b>3,11</b>
800	1157	400	3,00	2,73	3,20	2,63	2,89	0,259	1,282	0,33	<b>3,20</b>
804	1163	402	3,08	2,81	3,28	2,71	2,97	0,259	1,282	0,33	<b>3,28</b>
1000	1447	500	3,40	3,13	3,50	3,03	3,26	0,221	1,282	0,28	<b>3,50</b>
1072	1551	536	3,36	3,06	3,53	3,06	3,25	0,232	1,282	0,30	<b>3,53</b>
1200	1736	600	3,41	3,08	3,58	3,08	3,29	0,249	1,282	0,32	<b>3,58</b>
1340	1938	670	3,19	2,92	3,59	3,12	3,20	0,280	1,282	0,36	<b>3,59</b>
1400	2025	700	3,43	3,17	3,63	3,17	3,35	0,222	1,282	0,28	<b>3,63</b>
1600	2313	800	3,50	3,23	3,70	3,23	3,41	0,228	1,282	0,29	<b>3,70</b>
1608	2325	804	3,46	3,19	3,76	3,29	3,42	0,249	1,282	0,32	<b>3,76</b>
1800	2602	900	3,70	3,49	3,83	3,33	3,59	0,221	1,282	0,28	<b>3,83</b>
1876	2712	938	3,73	3,28	3,89	3,34	3,56	0,296	1,282	0,38	<b>3,89</b>
2000	2891	1000	3,96	3,69	4,16	3,48	3,82	0,298	1,282	0,38	<b>4,16</b>
2144	3099	1072	4,06	3,79	4,23	3,59	3,92	0,283	1,282	0,36	<b>4,23</b>
2200	3180	1100	4,01	3,74	4,24	3,64	3,91	0,271	1,282	0,35	<b>4,24</b>
2400	3468	1200	4,45	3,42	4,49	3,64	4,00	0,548	1,282	0,70	<b>4,49</b>
2412	3486	1206	4,61	3,44	4,61	3,65	4,08	0,619	1,282	0,79	<b>4,61</b>
2600	3757	1300	4,64	4,07	4,84	3,87	4,35	0,459	1,282	0,59	<b>4,84</b>
2800	4046	1400	4,68	4,11	4,88	4,11	4,44	0,395	1,282	0,51	<b>4,88</b>
3000	4335	1500	4,72	4,43	4,91	4,34	4,60	0,262	1,282	0,34	<b>4,91</b>

## Anexos

---

3200	4623	1600	4,87	4,60	5,07	4,40	4,73	0,295	1,282	0,38	<b>5,07</b>
3216	4646	1608	4,68	4,41	5,08	4,41	4,64	0,316	1,282	0,41	<b>5,08</b>
3304	4773	1652	4,70	4,43	5,11	4,43	4,67	0,321	1,282	0,41	<b>5,11</b>
3400	4912	1700	4,91	4,64	5,11	4,44	4,77	0,295	1,282	0,38	<b>5,11</b>
3600	5201	1800	4,68	4,41	5,12	4,51	4,68	0,313	1,282	0,40	<b>5,12</b>
3800	5490	1900	4,91	4,64	5,13	4,54	4,80	0,267	1,282	0,34	<b>5,13</b>
4000	5779	2000	5,12	4,85	5,18	4,65	4,95	0,247	1,282	0,32	<b>5,18</b>
4200	6068	2100	5,10	4,83	5,20	4,93	5,01	0,166	1,282	0,21	<b>5,20</b>
4400	6357	2200	5,15	4,88	5,25	4,98	5,06	0,166	1,282	0,21	<b>5,25</b>
4600	6647	2300	5,06	4,79	5,26	4,99	5,02	0,193	1,282	0,25	<b>5,26</b>
4800	6936	2400	5,19	4,92	5,34	5,02	5,12	0,185	1,282	0,24	<b>5,34</b>
4824	6970	2412	5,22	4,95	5,36	5,05	5,14	0,181	1,282	0,23	<b>5,36</b>
5000	7225	2500	5,30	5,02	5,39	5,13	5,21	0,166	1,282	0,21	<b>5,39</b>

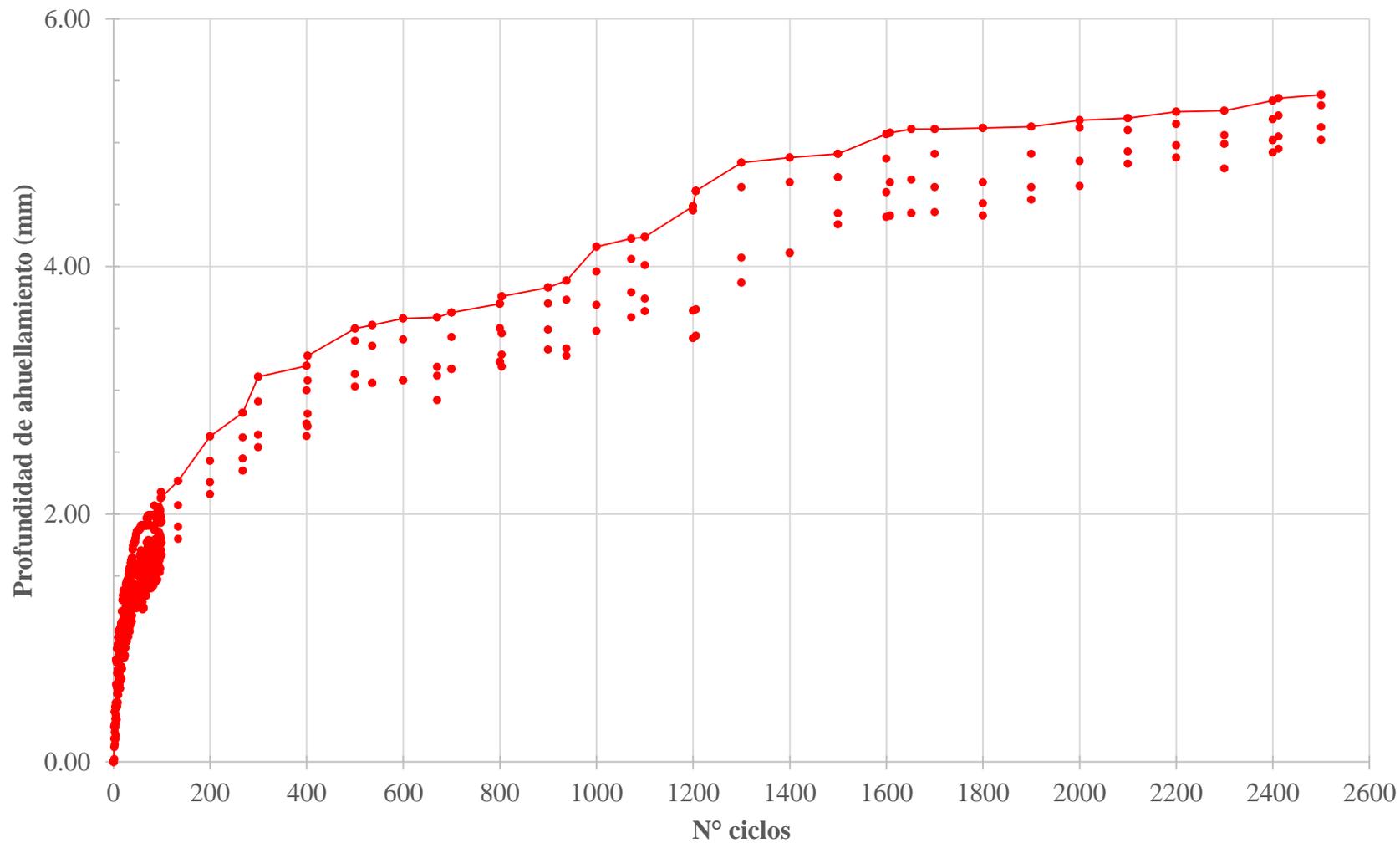


Figura 4. Curva característica cuerpos de prueba reforzados con geomalla G3.

Tabla 4. Resultados ensayo LWT y análisis estadístico para cuerpos de prueba reforzados con Geomalla G4

PASADA	TIEMPO (min)	N° CICLOS	DEFORMACION ACUMULADA				ANALISIS ESTADISTICO				
			(mm)				DIFERENCIAS ACUMULADAS				
			G3.1	G3.2	G3.3	G3.4	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	K90%	K*S	Deformación acumulada caracteristica
0	0	0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	1,282	0,00	<b>0,00</b>
2	3	1	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	1,282	0,00	<b>0,00</b>
4	6	2	1,00	1,116	1,226	1,525	1,22	0,226	1,282	0,29	<b>1,53</b>
6	9	3	1,15	1,246	1,376	1,655	1,36	0,220	1,282	0,28	<b>1,66</b>
8	12	4	1,39	1,296	1,416	1,705	1,45	0,177	1,282	0,23	<b>1,71</b>
10	15	5	1,65	1,326	1,576	1,735	1,57	0,176	1,282	0,23	<b>1,74</b>
12	18	6	2,04	1,406	1,816	1,815	1,77	0,266	1,282	0,34	<b>2,04</b>
14	20	7	2,17	1,486	1,826	1,895	1,85	0,283	1,282	0,36	<b>2,17</b>
16	23	8	2,24	1,576	1,836	1,985	1,91	0,280	1,282	0,36	<b>2,24</b>
18	26	9	2,25	1,626	1,846	2,015	1,93	0,264	1,282	0,34	<b>2,25</b>
20	29	10	2,28	1,606	1,847	2,015	1,94	0,285	1,282	0,37	<b>2,28</b>
22	32	11	2,28	1,706	1,849	2,016	1,96	0,248	1,282	0,32	<b>2,28</b>
24	35	12	2,30	1,756	1,851	2,017	1,98	0,237	1,282	0,30	<b>2,30</b>
26	38	13	2,31	1,776	1,854	2,019	1,99	0,236	1,282	0,30	<b>2,31</b>
28	41	14	2,32	1,816	1,856	2,023	2,00	0,231	1,282	0,30	<b>2,32</b>
30	44	15	2,34	1,866	1,857	2,028	2,02	0,225	1,282	0,29	<b>2,34</b>

## Anexos

---

32	47	16	2,35	1,866	1,878	2,028	2,03	0,225	1,282	0,29	<b>2,35</b>
34	49	17	2,35	1,936	1,881	2,035	2,05	0,207	1,282	0,27	<b>2,35</b>
36	52	18	2,37	1,946	1,889	2,035	2,06	0,216	1,282	0,28	<b>2,37</b>
38	55	19	2,36	1,946	1,912	2,036	2,06	0,206	1,282	0,26	<b>2,36</b>
40	58	20	2,37	1,971	1,926	2,042	2,08	0,199	1,282	0,25	<b>2,37</b>
42	61	21	2,38	1,975	1,933	2,046	2,08	0,204	1,282	0,26	<b>2,38</b>
44	64	22	2,39	1,983	1,952	2,050	2,09	0,203	1,282	0,26	<b>2,39</b>
46	67	23	2,40	1,984	1,962	2,055	2,10	0,203	1,282	0,26	<b>2,40</b>
48	70	24	2,43	2,000	1,967	2,055	2,11	0,217	1,282	0,28	<b>2,43</b>
50	73	25	2,41	2,049	1,969	2,059	2,12	0,197	1,282	0,25	<b>2,41</b>
52	76	26	2,45	2,056	1,976	2,063	2,14	0,212	1,282	0,27	<b>2,45</b>
54	78	27	2,47	2,058	1,984	2,064	2,15	0,223	1,282	0,29	<b>2,47</b>
56	81	28	2,48	2,082	1,988	2,091	2,16	0,221	1,282	0,28	<b>2,48</b>
58	84	29	2,49	2,177	1,990	2,099	2,19	0,217	1,282	0,28	<b>2,49</b>
60	87	30	2,50	2,193	1,995	2,129	2,20	0,213	1,282	0,27	<b>2,50</b>
62	90	31	2,52	2,216	1,996	2,138	2,22	0,220	1,282	0,28	<b>2,52</b>
64	93	32	2,52	2,226	1,996	2,140	2,22	0,223	1,282	0,29	<b>2,52</b>
66	96	33	2,56	2,227	1,997	2,147	2,23	0,240	1,282	0,31	<b>2,56</b>
68	99	34	2,56	2,236	1,998	2,148	2,24	0,240	1,282	0,31	<b>2,56</b>
70	102	35	2,58	2,255	1,999	2,148	2,24	0,245	1,282	0,31	<b>2,58</b>
72	105	36	2,58	2,276	1,999	2,149	2,25	0,248	1,282	0,32	<b>2,58</b>
74	107	37	2,59	2,285	2,010	2,149	2,26	0,248	1,282	0,32	<b>2,59</b>

## Anexos

76	110	38	2,59	2,286	2,036	2,152	2,27	0,241	1,282	0,31	<b>2,59</b>
78	113	39	2,60	2,296	2,039	2,169	2,28	0,240	1,282	0,31	<b>2,60</b>
80	116	40	2,61	2,296	2,050	2,173	2,28	0,241	1,282	0,31	<b>2,61</b>
82	119	41	2,61	2,299	2,052	2,174	2,28	0,241	1,282	0,31	<b>2,61</b>
84	122	42	2,62	2,306	2,053	2,176	2,29	0,243	1,282	0,31	<b>2,62</b>
86	125	43	2,60	2,316	2,053	2,176	2,29	0,237	1,282	0,30	<b>2,60</b>
88	128	44	2,63	2,346	2,063	2,184	2,31	0,247	1,282	0,32	<b>2,63</b>
90	131	45	2,66	2,350	2,065	2,189	2,32	0,260	1,282	0,33	<b>2,66</b>
92	134	46	2,67	2,366	2,065	2,191	2,32	0,264	1,282	0,34	<b>2,67</b>
94	136	47	2,69	2,376	2,075	2,197	2,34	0,269	1,282	0,35	<b>2,69</b>
96	139	48	2,69	2,386	2,085	2,198	2,34	0,267	1,282	0,34	<b>2,69</b>
98	142	49	2,69	2,396	2,086	2,199	2,34	0,267	1,282	0,34	<b>2,69</b>
100	145	50	2,71	2,406	2,087	2,203	2,35	0,275	1,282	0,35	<b>2,71</b>
102	148	51	2,73	2,407	2,092	2,206	2,36	0,279	1,282	0,36	<b>2,73</b>
104	151	52	2,73	2,409	2,096	2,216	2,36	0,276	1,282	0,35	<b>2,73</b>
106	154	53	2,73	2,546	2,097	2,216	2,40	0,294	1,282	0,38	<b>2,73</b>
108	157	54	2,75	2,556	2,106	2,216	2,41	0,300	1,282	0,38	<b>2,75</b>
110	160	55	2,77	2,563	2,108	2,217	2,42	0,308	1,282	0,39	<b>2,77</b>
112	163	56	2,78	2,596	2,110	2,217	2,43	0,316	1,282	0,40	<b>2,78</b>
114	165	57	2,80	2,616	2,119	2,218	2,44	0,322	1,282	0,41	<b>2,80</b>
116	168	58	2,81	2,636	2,128	2,220	2,45	0,325	1,282	0,42	<b>2,81</b>
118	171	59	2,81	2,643	2,134	2,226	2,45	0,326	1,282	0,42	<b>2,81</b>

## Anexos

120	174	60	2,82	2,663	2,136	2,229	2,46	0,331	1,282	0,42	<b>2,82</b>
122	177	61	2,83	2,886	2,138	2,230	2,52	0,391	1,282	0,50	<b>2,89</b>
124	180	62	2,83	2,906	2,149	2,231	2,53	0,394	1,282	0,51	<b>2,91</b>
126	183	63	2,83	2,926	2,167	2,234	2,54	0,394	1,282	0,51	<b>2,93</b>
128	186	64	2,84	2,953	2,225	2,236	2,56	0,387	1,282	0,50	<b>2,95</b>
130	189	65	2,85	2,963	2,383	2,237	2,61	0,352	1,282	0,45	<b>2,96</b>
132	191	66	2,85	2,974	2,385	2,238	2,61	0,354	1,282	0,45	<b>2,97</b>
134	194	67	2,86	2,985	2,386	2,239	2,62	0,361	1,282	0,46	<b>2,98</b>
136	197	68	2,87	2,993	2,405	2,240	2,63	0,361	1,282	0,46	<b>2,99</b>
138	200	69	2,87	2,996	2,482	2,241	2,65	0,349	1,282	0,45	<b>3,00</b>
140	203	70	2,87	3,010	2,483	2,243	2,65	0,353	1,282	0,45	<b>3,01</b>
142	206	71	2,87	3,026	2,577	2,248	2,68	0,343	1,282	0,44	<b>3,03</b>
144	209	72	2,88	3,133	2,615	2,249	2,72	0,378	1,282	0,48	<b>3,13</b>
146	212	73	2,88	3,141	2,616	2,499	2,78	0,287	1,282	0,37	<b>3,14</b>
148	215	74	2,89	3,144	2,646	2,539	2,81	0,270	1,282	0,35	<b>3,14</b>
150	218	75	2,90	3,151	2,656	2,599	2,83	0,252	1,282	0,32	<b>3,15</b>
152	220	76	2,92	3,158	2,665	2,599	2,83	0,255	1,282	0,33	<b>3,16</b>
154	223	77	2,92	3,159	2,595	2,609	2,82	0,270	1,282	0,35	<b>3,16</b>
156	226	78	2,93	3,286	2,575	2,690	2,87	0,314	1,282	0,40	<b>3,29</b>
158	229	79	2,93	3,296	2,585	2,791	2,90	0,300	1,282	0,38	<b>3,30</b>
160	232	80	2,94	3,313	2,585	2,791	2,91	0,307	1,282	0,39	<b>3,31</b>
162	235	81	2,96	3,364	2,665	2,799	2,95	0,303	1,282	0,39	<b>3,36</b>

Anexos

164	238	82	2,96	3,366	2,595	2,815	2,93	0,325	1,282	0,42	<b>3,37</b>
166	241	83	2,96	3,367	2,595	2,915	2,96	0,317	1,282	0,41	<b>3,37</b>
168	244	84	2,96	3,463	2,695	2,935	3,01	0,323	1,282	0,41	<b>3,46</b>
170	246	85	2,98	3,486	2,775	2,944	3,05	0,306	1,282	0,39	<b>3,49</b>
172	249	86	2,99	3,496	2,685	2,945	3,03	0,339	1,282	0,43	<b>3,50</b>
174	252	87	3,00	3,536	2,625	2,945	3,03	0,378	1,282	0,48	<b>3,54</b>
176	255	88	3,01	3,546	2,705	2,952	3,05	0,354	1,282	0,45	<b>3,55</b>
178	258	89	3,11	3,563	2,705	2,952	3,08	0,361	1,282	0,46	<b>3,56</b>
180	261	90	3,14	3,606	2,695	2,962	3,10	0,384	1,282	0,49	<b>3,61</b>
182	264	91	3,15	3,611	2,645	2,965	3,09	0,403	1,282	0,52	<b>3,61</b>
184	267	92	3,16	3,636	2,725	3,045	3,14	0,378	1,282	0,48	<b>3,64</b>
186	270	93	3,16	3,626	2,715	3,035	3,13	0,378	1,282	0,48	<b>3,63</b>
188	273	94	3,17	3,676	2,765	3,085	3,17	0,377	1,282	0,48	<b>3,68</b>
190	275	95	3,17	3,666	2,755	3,075	3,17	0,377	1,282	0,48	<b>3,67</b>
192	278	96	3,17	3,616	2,705	3,025	3,13	0,378	1,282	0,49	<b>3,62</b>
194	281	97	3,26	3,646	2,735	3,055	3,17	0,382	1,282	0,49	<b>3,65</b>
196	284	98	3,27	3,646	2,835	3,155	3,23	0,335	1,282	0,43	<b>3,65</b>
198	287	99	3,39	3,663	2,885	3,205	3,29	0,327	1,282	0,42	<b>3,66</b>
200	290	100	3,41	3,673	2,895	3,265	3,31	0,325	1,282	0,42	<b>3,67</b>
268	388	134	3,42	3,686	2,975	3,295	3,35	0,296	1,282	0,38	<b>3,69</b>
400	579	200	3,43	3,696	2,983	3,655	3,44	0,327	1,282	0,42	<b>3,70</b>
536	776	268	3,44	3,716	3,525	3,845	3,63	0,182	1,282	0,23	<b>3,85</b>

## Anexos

600	868	300	3,72	3,726	3,815	3,935	3,80	0,099	1,282	0,13	<b>3,94</b>
800	1157	400	3,81	3,816	3,905	4,225	3,94	0,195	1,282	0,25	<b>4,23</b>
804	1163	402	3,89	3,896	3,985	4,305	4,02	0,195	1,282	0,25	<b>4,31</b>
1000	1447	500	4,21	4,216	4,305	4,625	4,34	0,195	1,282	0,25	<b>4,63</b>
1072	1551	536	4,17	4,146	4,265	4,655	4,31	0,236	1,282	0,30	<b>4,66</b>
1200	1736	600	4,22	4,667	4,415	4,761	4,52	0,244	1,282	0,31	<b>4,76</b>
1340	1938	670	4,00	4,006	4,095	4,842	4,24	0,405	1,282	0,52	<b>4,84</b>
1400	2025	700	4,29	4,258	3,935	4,956	4,36	0,429	1,282	0,55	<b>4,96</b>
1600	2313	800	4,45	4,316	4,405	4,973	4,54	0,296	1,282	0,38	<b>4,97</b>
1608	2325	804	4,41	4,276	4,365	5,085	4,53	0,372	1,282	0,48	<b>5,09</b>
1800	2602	900	4,65	4,576	4,606	5,099	4,73	0,246	1,282	0,32	<b>5,10</b>
1876	2712	938	4,68	4,966	4,836	5,238	4,93	0,236	1,282	0,30	<b>5,24</b>
2000	2891	1000	4,91	4,776	4,865	5,285	4,96	0,224	1,282	0,29	<b>5,29</b>
2144	3099	1072	5,01	4,876	4,965	5,285	5,03	0,176	1,282	0,23	<b>5,29</b>
2200	3180	1100	4,96	4,826	4,915	5,295	5,00	0,205	1,282	0,26	<b>5,30</b>
2400	3468	1200	4,40	5,006	5,356	5,415	5,04	0,466	1,282	0,60	<b>5,42</b>
2412	3486	1206	5,56	4,526	5,515	5,935	5,38	0,602	1,282	0,77	<b>5,94</b>
2600	3757	1300	6,53	6,733	7,283	6,956	6,88	0,323	1,282	0,41	<b>7,28</b>
2800	4046	1400	6,57	6,773	7,323	6,996	6,92	0,323	1,282	0,41	<b>7,32</b>
3000	4335	1500	6,57	7,046	7,376	7,169	7,04	0,342	1,282	0,44	<b>7,38</b>
3200	4623	1600	6,76	7,263	7,513	7,486	7,26	0,350	1,282	0,45	<b>7,51</b>
3400	4912	1700	6,80	7,303	7,553	7,526	7,30	0,350	1,282	0,45	<b>7,55</b>

Anexos

---

3800	5490	1900	6,80	7,303	7,653	7,526	7,32	0,377	1,282	0,48	<b>7,65</b>
4000	5779	2000	7,01	7,513	7,763	7,736	7,51	0,350	1,282	0,45	<b>7,76</b>
4020	5808	2010	7,16	7,163	7,882	7,386	7,40	0,340	1,282	0,44	<b>7,88</b>
4200	6068	2100	7,43	7,593	7,891	7,861	7,69	0,222	1,282	0,28	<b>7,89</b>
4400	6357	2200	7,44	7,643	7,993	7,866	7,74	0,245	1,282	0,31	<b>7,99</b>
4600	6647	2300	7,45	7,953	8,003	8,176	7,90	0,313	1,282	0,40	<b>8,18</b>
4800	6936	2400	7,58	8,105	8,033	8,328	8,01	0,315	1,282	0,40	<b>8,33</b>
4824	6970	2412	7,61	8,213	8,063	8,436	8,08	0,350	1,282	0,45	<b>8,44</b>
5000	7225	2500	7,76	7,883	8,187	8,529	8,09	0,344	1,282	0,44	<b>8,53</b>

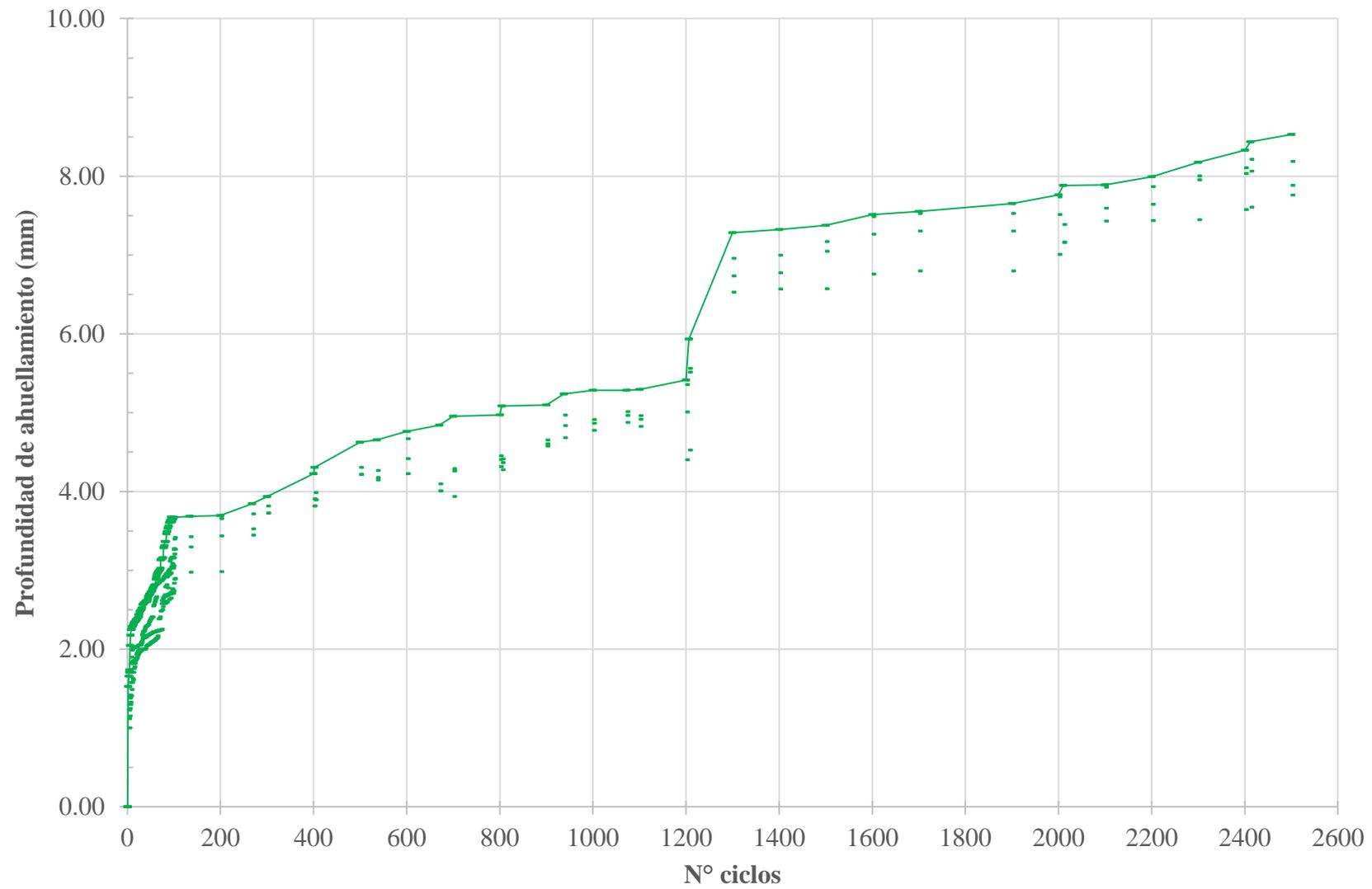


Figura 5. Curva característica cuerpos de prueba reforzados con geomallas G4.

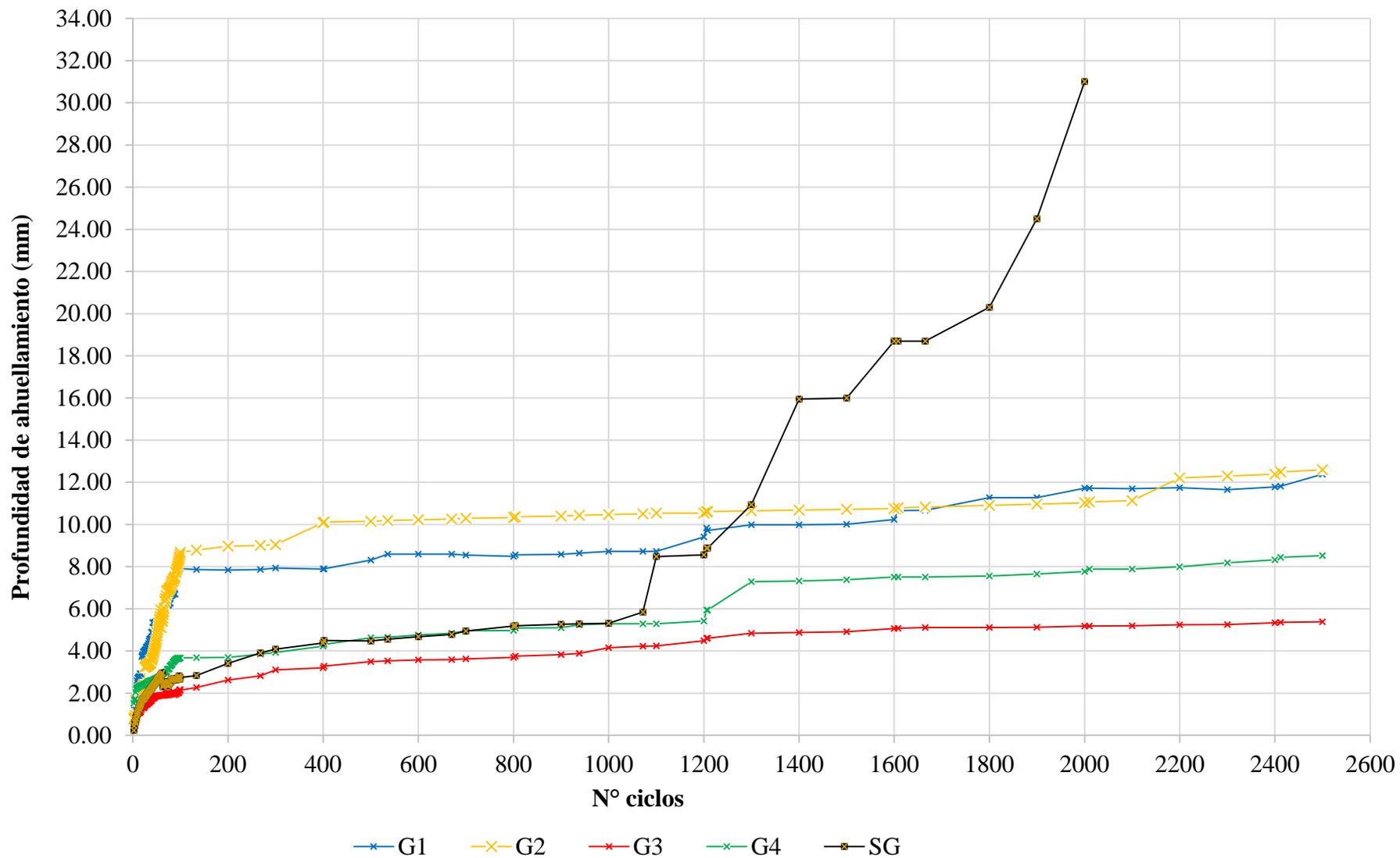


Figura 6. Curvas características de los cuerpos de prueba ensayados