

Uso de Geosintéticos como Elementos de Refuerzo en Vías Terciarias No Pavimentadas

Vivian A. Galindo, Maria C. Galvis, Jaime R. Obando, Alvaro Guarín

Resumen— En Colombia gran parte de las vías de la red vial terciaria Nacional, son vías no pavimentadas que tienen Como superficie de rodadura material de granular. 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. En los últimos años los geosintéticos han sido usados satisfactoriamente para reforzar vías no pavimentadas sobre suelos blandos, siendo los geotextiles y las geomallas los de mayor uso. 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 s geomallas, a partir del desarrollo de pruebas de laboratorio mediante el probador de ruedas cargado (LWT). Para efectos de comparación fueron simuladas las condiciones reforzada, no reforzada y las condiciones de tránsito a las cuales puede estar sometido este tipo de material en la práctica. 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 — Deformación vertical, geo sintéticos, load Wheel Tester LWT, vías no pavimentadas, vías terciarias.

I. INTRODUCCIÓN

SEGÚN [1] en Colombia los 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.

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 gran escala [2]. Los estudios de laboratorio desarrollados por [2], [3], [4], [5] y [6] 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.

Estudios desarrollados por [7] y [8] han permitido determinar las principales ventajas y limitaciones de algunas prácticas tanto experimentales como de métodos teóricos para el estudio de la interacción suelo-geosintético. Además demostraron que la profundidad de colocación del geosintético y su rigidez afectaban significativamente el grado de interacción con el material granular.

Las pruebas de campo desarrolladas por [9], [10] y [11] han permitido corroborar los resultados obtenidos en las modelaciones numéricas y los ensayos de laboratorio, pues 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 el aumento de las repeticiones de carga soportadas.

Todos 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 [12].

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

Vivian A. Galindo is with the University of Cauca, Popayán, COLOMBIA (phone: 320-645-8740; e-mail: viviangalindo@unicauca.edu.co).

Maria C. Galvis is with the University of Cauca, Popayán, COLOMBIA (phone: 316-825-5096; e-mail: camilagalvis@unicauca.edu.co).

Jaime R. Obando is with the geotechnical department, University of Cauca, Popayán, COLOMBIA (phone:323-380-2046; e-mail: jaimeobando@unicauca.edu.co).

Alvaro Guarín is with Royal Institute of Tecnology KTH, Stockholm, SWEDEN (phone: 4687908708; e-mail: alvaro.guarin@abe.kth.se).

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 usaron 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 algunas 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 [2], beneficios que en la vida real se verían representados en la durabilidad de una vía no pavimentada.

II. MATERIALES

2.1. Material granular

El agregado utilizado fue conformado por material de trituración de la fuente Río Chicamocha-Pescadero, Departamento de Santander. En la Tabla I se muestra el comportamiento de la combinación propuesta frente al huso granulométrico especificado por el Instituto Nacional de Vías INVIAS en el artículo 320-13 tabla 320-3 para material tipo SBG-38.

TABLA I

GRANULOMETRIA DEL MATERIAL GRANULAR			
PROPORCIÓN→	% PASA		
	100%	ESPECIFICACIÓN SBG-38	
TAMIZ ↓	Material Granular	MIN	MAX
1 1/2"	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 combinación granulométrica (Fig. 1), constituido por un 55% de gravas, 36.5% de arenas y 8.5% de llenante mineral; con 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).

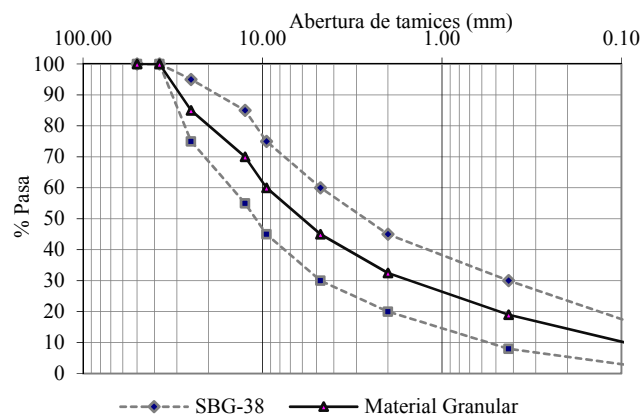


Fig. 1. Curva granulométrica del material granular

En la Tabla II 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 [13]. 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.

2.2. Geosintéticos:

Se estableció el uso de 4 geomallas biaxiales disponibles en el mercado, las dimensiones de abertura equivalente de estas geomallas variaron entre 24.7 y 40 mm.

Las geomallas G1 y G2 utilizadas fueron elementos 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 II se presentan las principales características de los elementos de refuerzo utilizados suministradas por cada uno de los fabricantes.

TABLA II. PROPIEDADES GEOSINTÉTICOS^a

PROPIEDAD	NORMA	UND.	GEOMALLA			
			G1	G2	G3	G4
Material de fabricación	-	-	PP	PP	PET	PET

Resistencia última a la tensión (SL/ST)	ASTM D 6637	kN/m	30/ 30	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/ 21	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	-	-

^a Proporcionadas por el fabricante

III. PROCEDIMIENTOS

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.

La colocación del refuerzo se realizó doblando 7 cm en las extremidades paralelas al sentido de aplicación de la carga cíclica, de tal manera que mejorara las condiciones de anclaje del refuerzo tal como lo recomienda [4]. 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 Fig.2 se muestra un esquema general de la forma y posición en la que se colocó el refuerzo.

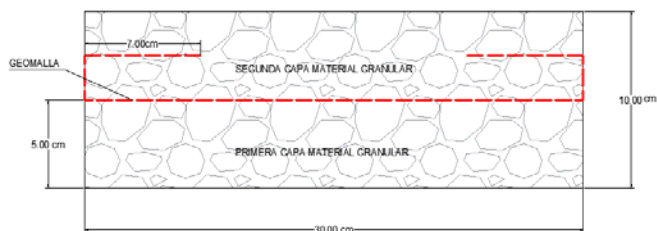


Fig. 2. Esquema conformación de cuerpo de prueba

Una vez conformado el espécimen, fue compactado a un espesor total de 100 milímetros en el compactador de rodillo hidráulico, 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 estabilizara. (Fig. 3).

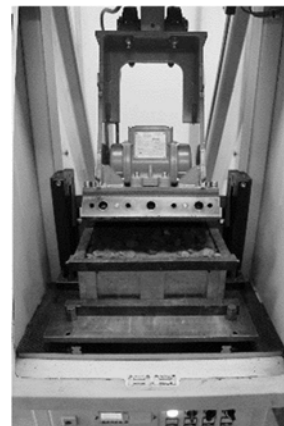


Fig. 3. Compactación de la muestra.

Las muestras compactadas fueron llevadas al equipo LWT. De esta manera 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 la Figura 4 se muestra la condición bajo las cuales se ensayaron las muestras.

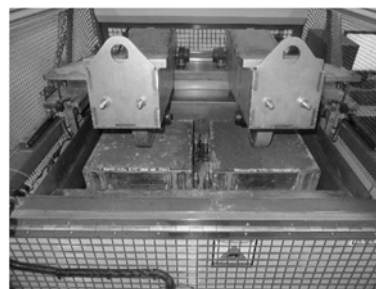


Fig. 4. Ensayo LWT

Durante el ensayo el software registró las deformaciones acumuladas que se presentaban en cada cuerpo de prueba, reportando resultados en diferentes ciclos de carga.

En la figura 5 se puede notar los ahuellamientos presentados en la muestra reforzada y no reforzada.



a.

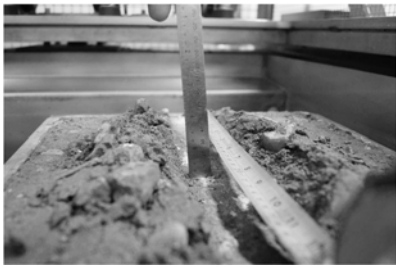


Fig. 5. Profundidades de deformación de especímenes una vez ensayados en el equipo LWT. a) muestra sin refuerzo b) muestra reforzada

IV. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos para las diferentes muestras ensayadas sometidas a carga cíclica con los diferentes tipos de refuerzo utilizados se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, las series de datos fueron resultado de un análisis estadístico que permitió determinar la curva característica para cada condición de ensayo.

ensayo el material se va triturando y finalmente se produce una deformación acelerada y permanente.

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 estabilizará, 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

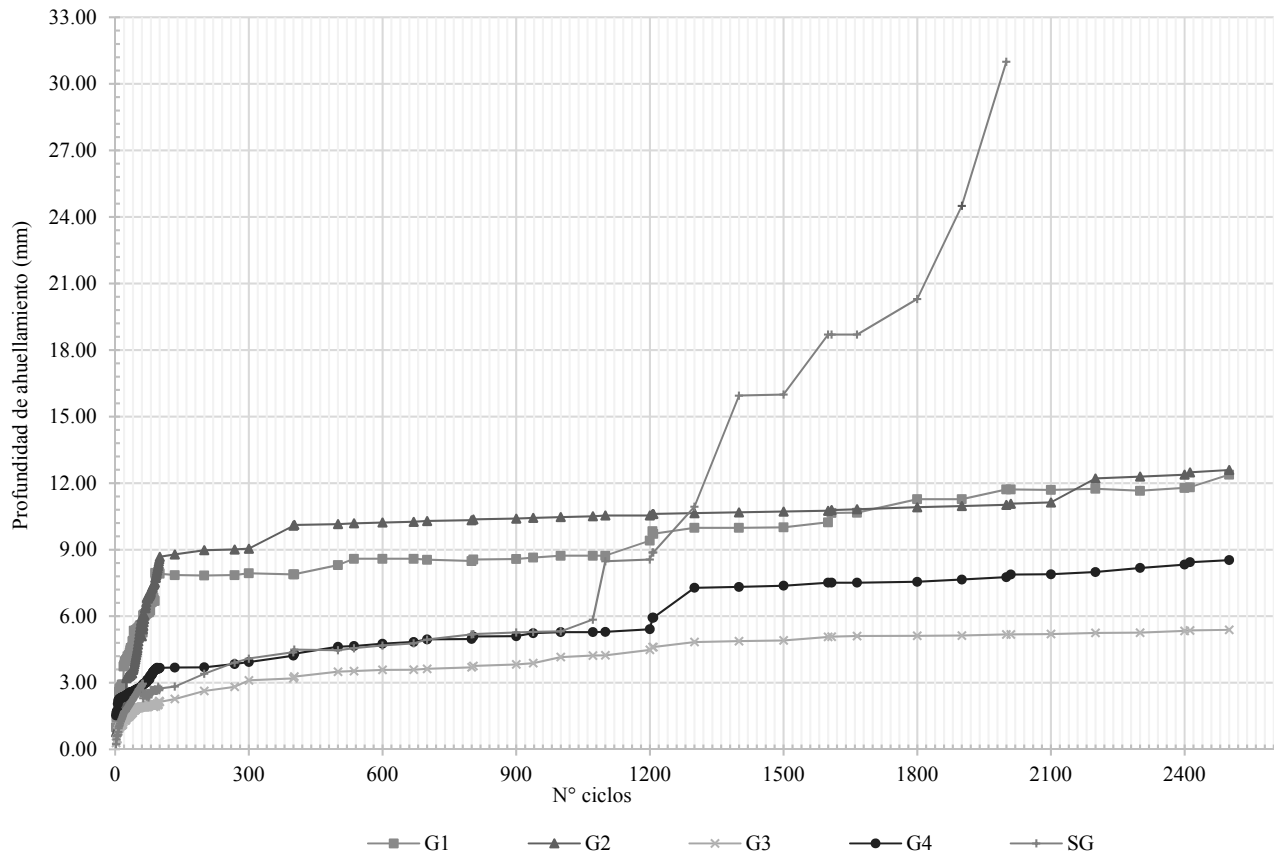


Fig. 6. Profundidad de ahuellamiento versus Número de ciclos

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 responsable de soportar las cargas, y a medida que transcurre el

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.

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 evidencia el efecto de refuerzo en todas las geomallas, teniendo en cuenta lo realizado por [2] 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 siguiente tabla.

TABLA III

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

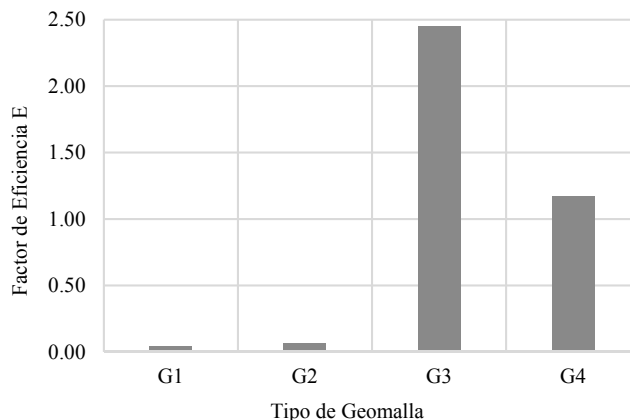


Fig. 7. Factores de eficiencia

En la Fig. 7 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 [3] y [14] 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 Fig. 8 muestra la variación de la Eficiencia con la Rigidez al 5% de la deformación de las geomallas. Tal como lo establece [14], 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 [14] que establecen que los mejores comportamientos son obtenidos para valores de rigidez mayores a 400 KN/m.

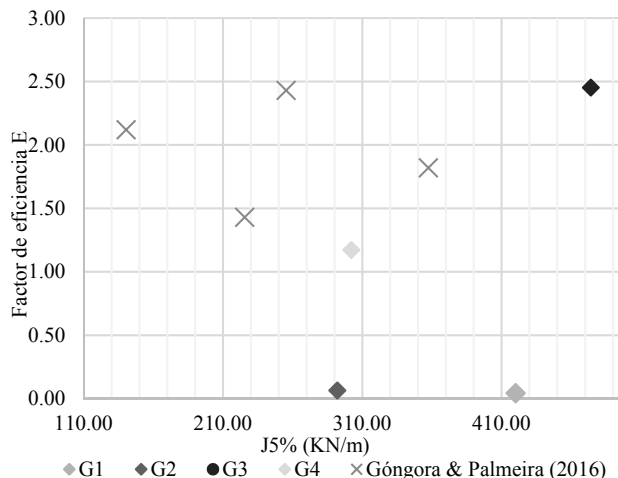


Fig. 8. Rigidez al 5% de la deformación Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla.

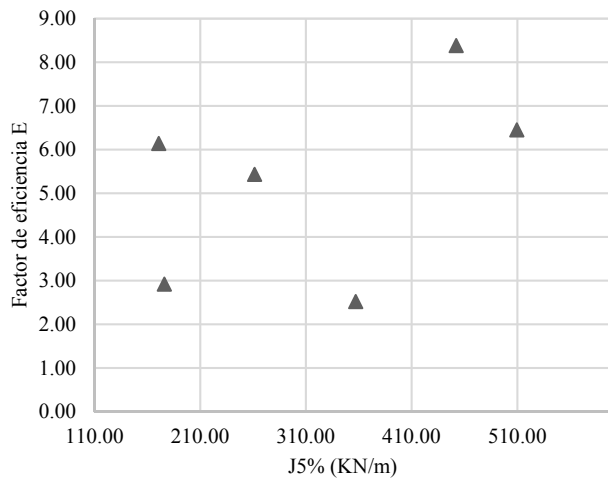


Fig. 9. Rigidez al 5% de la deformación Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla según [3]

Los resultados obtenidos por [3] se muestran en la Fig. 9, 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 [14] y lo obtenido en esta investigación.

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 [3] y [14] 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.

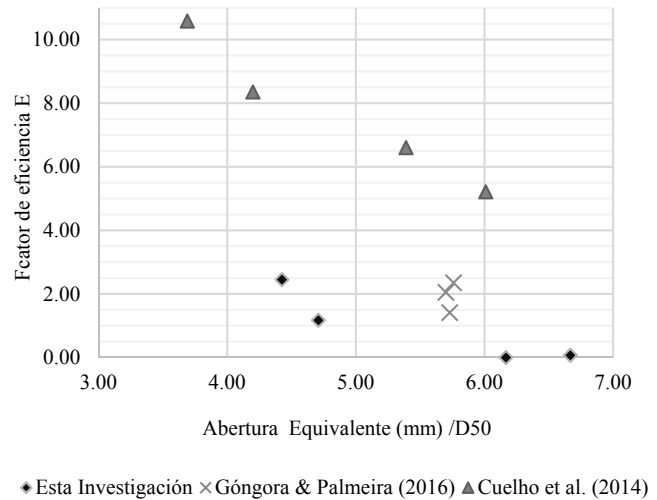


Fig. 10. Apertura equivalente/D50 Vs Factor de eficiencia para cada tipo de geomalla.

Otra forma de cuantificar el beneficio que conlleva el reforzar el material granular con geosintéticos es por medio de otros índices técnicos propuestos por [2]; 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_{ref} : Profundidad de ahuellamiento del material reforzado.

D_{sref} : Profundidad de ahuellamiento del material no reforzado.

TABLA IV
TASA DE INCREMENTO DE LA PROFUNDIDAD DE AHUELLAMIENTO

GEOMALLA	D_{ref}	D_{sref}	RD
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

En la Tabla IV 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 V

VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN PARA LOS DIFERENTES CUERPOS DE PRUEBA

GEOMALLA	D_t	D_{t+1}	N_t	N_{t+1}	VD	% Reducción de VD
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	-

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 [2] 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.

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%.

V. 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.
- 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.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la universidad del cauca, la empresa Humberto Quintero y los fabricantes de los productos geosintéticos por apoyar el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio del Transporte, "Transporte en cifras estadísticas", 2014. [En línea]. Available: <https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=12621>.
- [2] H. Wu, B. Huang, X. Shu y S. Zhao, "Evaluation of geogrid reinforcement effects on unbound granular", Geotextiles and Geomembranes 43 (462-469), 2015, pp. 462-469.
- [3] E. Cuelho, S. Perkins y Z. Morris, *Relative Operational Performance Of Geosynthetics Used as Subgrade Stabilization*, Montana, 2014.

- [4] I. A. G. Góngora, *Estradas não pavimentadas reforçadas com geossintéticos: Influência de propriedades físicas e mecânicas do reforço*. Tese de Doutorado, Brasília, 2015.
- [5] F. Montejo y D. Otero, *Evaluación del comportamiento mecánico de una estructura bicapa, reforzada con geomalla biaxial compuesta con amaterialñ de afirmado INVIAS sobre Subrasante blanda., aplicable a vias no pavimentadas*, Pontificia Universidad Javeriana, 2016.
- [6] J. Han, X. Sun, S. D. Schrock, R. L. Parsons y J. Guo, «Performance of Multi-axial Geogrid-Stabilized Unpaved Shoulders Under Cyclic Loading,» 2018.
- [7] E. M. Palmeira, "Soil-geosynthetic interaction: Modelling and analysing". *Geotextiles and Geomembranes*, p. 23, 2009.
- [8] A. Bhandari y J. Han, "Investigation of geotextile-soil interaction under cyclic vertical load using the discrete element method" *Geotextiles and Geomembranes*, pp. 1-11, 2010.
- [9] R. Hufenus, R. Rueegger, R. Banjac, P. Mayor, S. M. Springman y R. Bronnimann, "Full-scale fields tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade" *Geotextiles and Geomembranes*, pp. 1-17, 2006.
- [10] M. M. Mekawy, D. J. White, M. T. Suleiman y C. T. Jähren, "Mechanically reinforced granular shoulders on soft subgrade: Laboratoy and full scale studies" *Geotextiles and Geomembranes*, pp. 1-12, 2011.
- [11] D. Ahmet, L. Mustafa, Y. Abdulazim y Murat Ornek, "Large scale field tests on geogrid-reinforced granular fill underlain", *Geotextiles and Geomembranes* 38 (2013) 1e15, 2013.
- [12] J. Giroud y J. Han, "Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads. I. Development of Design Method", American Society of Civil, 2004.
- [13] Instituto Nacional de Vías, "Artículo 320-13 Subbase Granular", *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*, Bogotá D.C., 2013.
- [14] I. A. Góngora y E. M. Palmeira, *Assesing 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*, 2016.