



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

métodos &  
**materiales**

Publicación Anual • Volumen 9 • Diciembre 2019 • ISSN electrónico: 2215-4558

# Determinación de propiedades últimas a tracción en geomallas según normativa ASTM

*Determination of ultimate tensile properties in geogrids according ASTM regulation*

**Ing. Jordan Campos Zeledón**

Estudiante de Ingeniería Civil  
Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
[jordan.camposzeledon@ucr.ac.cr](mailto:jordan.camposzeledon@ucr.ac.cr)

Fecha de recepción: 15 agosto del 2019 / Fecha de aprobación: 24 enero del 2020

## Índices y Bases de Datos:

latindex

UCRIndex

REDIB

Dialnet

DOAJ  
DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

PERIÓDICA

 [revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales](http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales)

 [lanamme.ucr.ac.cr](http://lanamme.ucr.ac.cr)

 [metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr](mailto:metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr)

## Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. ISSN electrónico: 2215-4558

# Determinación de propiedades últimas a tracción en geomallas según normativa ASTM

*Determination of ultimate tensile properties in geogrids according ASTM regulation*

**Ing. Jordan Campos Zeledón**

Estudiante de Ingeniería Civil  
Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
[jordan.camposzeledon@ucr.ac.cr](mailto:jordan.camposzeledon@ucr.ac.cr)

Fecha de recepción: 15 agosto del 2019 / Fecha de aprobación: 24 enero del 2020

## RESUMEN

Recientemente se implementó en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) el método de ensayo ASTM D6637 de la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés).

En la etapa de verificación de la correcta implementación del método de ensayo, se trabajó con 2 tipos de geomallas utilizadas como refuerzo a nivel nacional; que fueron ensayadas para determinar sus propiedades mecánicas a la tracción (resistencia y deformación últimas). Una vez obtenidas dichas características, se procedió a compararlas con los datos reportados en sus fichas técnicas. En dicha etapa se encontraron incongruencias entre los datos hallados a nivel de laboratorio y los reportados por el fabricante; lo cual dio indicios de posibles sobrevaloraciones en los datos reportados por los fabricantes y comercializadores de geomallas.

También se encontraron pruebas de reportes de datos en valores distintos a la especificación MARV, la cual es la que adopta ASTM en el tema de control de calidad.

Este documento se desprende medularmente del trabajo final de graduación: "Implementación de los métodos de ensayo para la determinación de las propiedades a tracción en geomallas y geotextiles según las normas ASTM D6637 y ASTM D4595" (ver referencia bibliográfica 6).

**PALABRAS CLAVES:** Geomalla, Tensión, ASTM D6637, Suelo Mecánicamente Reforzado, VMPPR, Geosintético.

## ABSTRACT

*Recently the ASTM D6637 test method of the American Association of Materials Testing (ASTM) was implemented in the National Laboratory of Materials and Structural Models of the University of Costa Rica (LANAMME UCR).*

*In the verification stage of the correct implementation of the test method, we worked with 2 types of geogrids samples used as reinforcement at the national level, which were tested to determine their tensile mechanical properties; ie (ultimate strength and ultimate deformation). Once these characteristics were obtained, we proceeded to compare them with the data reported in their technical specifications. In this stage, inconsistencies were found between the data found at the laboratory level and those reported by the manufacturer, which gave indications of possible overvaluations in the data reported by the manufacturers and marketers of geogrids.*

*There is also evidence of data reports in values different to the MARV specification, which is the one adopted by ASTM in the subject of quality control.*

*This document is derived from the final work of graduation: "Implementation of the test methods for the determination of the properties at the same time in the geogrids and geotextiles according to the ASTM D6637 and ASTM D4595 standards" (see bibliographical reference 6).*

**KEYWORDS:** Geogrid, Strain, ASTM D6637, Mechanically Reinforced Soil, MARV, Geosynthetic.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la normativa geotécnica vigente de Costa Rica, específicamente el Código Geotécnico de Taludes y Laderas (CGTLCR), para el diseño y análisis de muros o taludes flexibles que utilicen geomallas en su estructura; se permite el método basado en factores de seguridad mínimos (en concordancia con la metodología de diseño de “esfuerzos de trabajo” o ASD por sus siglas en inglés), y señala que se deben cumplir los mismos para un desempeño adecuado. Por su parte, el Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR) aconseja que preferiblemente la verificación de la estabilidad interna de los geosintéticos como componentes estructurales del muro sea verificada por medio de ensayos de control de calidad a nivel de Laboratorio. Sin embargo, en el país no se cuenta con una normativa INTE del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica que respalde la directriz, ni con algún laboratorio que realice dichas pruebas de conformidad con lo requerido. Se detectó entonces la necesidad de estudiar e implementar un método de ensayo que determine los parámetros mecánicos de resistencia a tensión en geomallas.

La norma ASTM D6637 comprende los métodos de prueba para la determinación de las propiedades de resistencia a tracción en geomallas. Dicho método de ensayo está destinado al control de calidad y a pruebas de conformidad de las propiedades mecánicas de estos materiales geosintéticos entre proveedor y cliente.

El ensayo ASTM D6637 modela la función de la geomalla para refuerzo dentro de la capa de suelo cuando es sometido a esfuerzos tensionantes longitudinales, provocados por la tracción entre las partículas de suelos en contacto con la superficie del refuerzo, tracción que a su vez puede ser incrementada por cargas dinámicas (sismo). Es decir, tanto fuerzas estáticas como dinámicas (produce una fuerza inercial) pueden actuar horizontalmente en conjunto sobre el refuerzo geosintético. La Figura 1 ilustra el mecanismo de transferencia de esfuerzos a tensión sobre el geosintético.

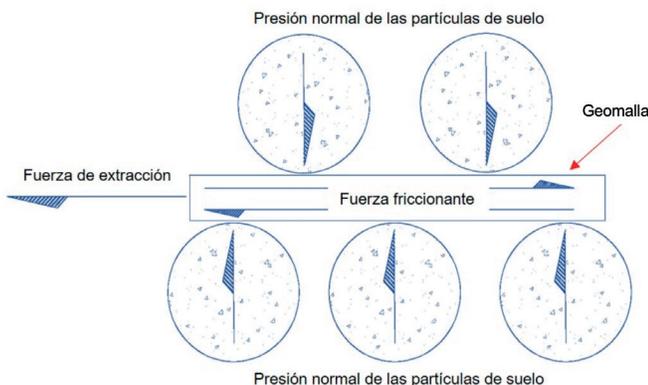


Figura 1. Modelo de transferencia de esfuerzos tensionantes en el refuerzo longitudinal de la geomalla (Adaptada de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt382.pdf>)

## 2. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR

En el presente apartado se expone un resumen del ensayo ASTM D6637– Método de ensayo estándar para la determinación de las propiedades a tracción en geomallas mediante los métodos de tracción individual y multi-costilla.

### 2.1. Equipo

ASTM especifica que se debe trabajar con una máquina de tasa constante de extensión (CRE por sus siglas en inglés).

Se trabajó con una máquina de pruebas equipada internamente con un transductor de fuerza de hasta 25 kN y un transformador diferencial de variación lineal (LVDT por sus siglas en inglés) que mide los desplazamientos del actuador que aplica las fuerzas lineales a las muestras. Específicamente, se trabajó con la máquina MTS Landmark, que es un marco de carga de mesa modelo 370.02, con un transductor de fuerza modelo 661.19H-04. La Figura 2 ilustra el marco de carga en cuestión.



Figura 2. Máquina Universal utilizada en los ensayos de tracción

Adicional al marco de carga, se necesitó de un par de mordazas que sujetaran el espécimen de prueba durante el proceso de falla. Las mismas son un aditamento de acople al marco de carga.

Las mordazas fueron diseñadas bajo las especificaciones técnicas establecidas en la norma D6637, por ende, cumplen con los requerimientos físicos y mecánicos mínimos que establece ASTM. Se puede observar en la Figura 3 las principales partes del mecanismo de estas.

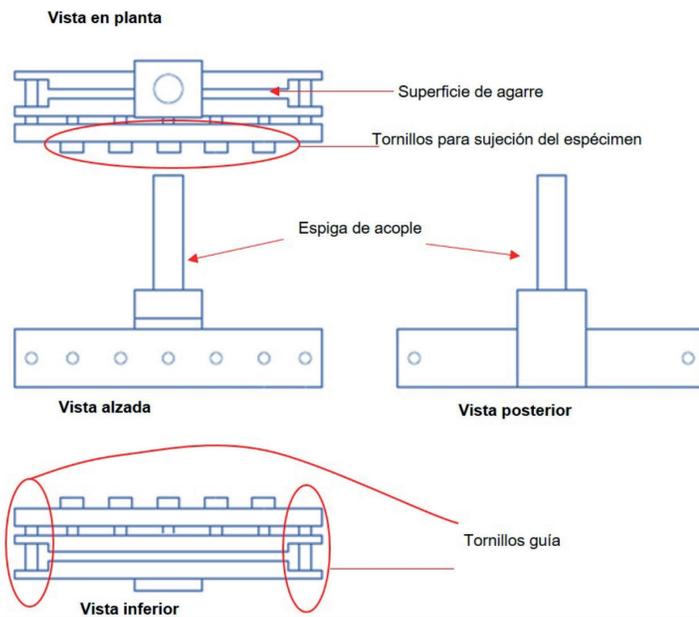


Figura 3. Esquema de las mordazas empleadas en el proceso de implementación de la norma ASTM D6637

## 2.2. Tamaño del Especimen

Para el método A –Método de tracción individual-, se debe preparar cada espécimen de ancho que contenga al menos una costilla que se cruce (o conjunto de costillas) a lo largo de la dirección de la prueba y que tenga al menos 3 uniones (dos aperturas) o 300 mm.

Para el método B –Método de tracción multi-costillas-, se debe preparar cada espécimen de ancho que tenga como mínimo 200 mm y que contenga 5 costillas en la dirección la prueba; de largo que contenga al menos 3 uniones (2 aperturas) o 300 mm en la dirección de la prueba.

La Figura 4 resume gráficamente las dimensiones de los especímenes según sea el método de prueba que se utilice.

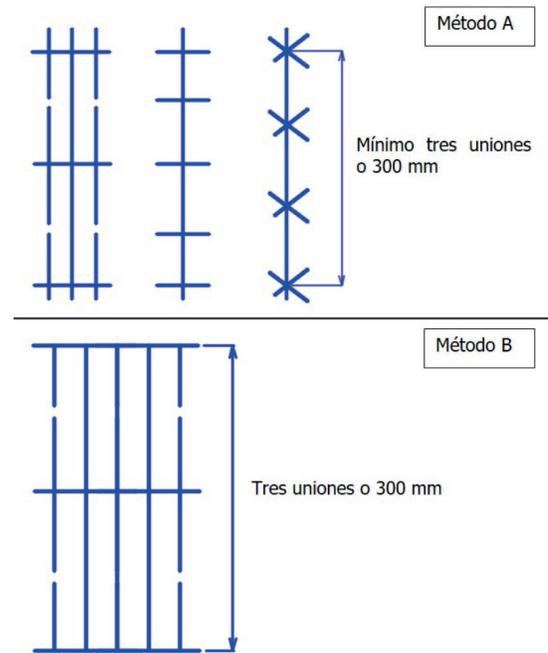


Figura 4. Dimensión del espécimen según el método de falla (Adaptada de <https://www.astm.org/Standards/D6637.htm>)

## 2.3. Procedimiento

El procedimiento de prueba es el mismo tanto para el método A como para el método B, la distinción entre ambos métodos se marca únicamente en la geometría de los especímenes, según sea, el método de tracción individual o el método de tracción multi-costillas.

- Colocar las mordazas en el marco de carga (máquina universal Figura 2).
- Habiéndose acoplado las mordazas a la máquina de fallas, se debe colocar el espécimen dentro de una mordaza; es importante centrar el espécimen dentro de las caras de la mordaza e introducir 5 cm del espécimen en ellas, lo cual corresponde al ancho interno de las caras. Una vez hecho esto, se procede a ajustar el espécimen dentro de la mordaza.
- Repetir el proceso anterior para el otro extremo de la geomalla y su mordaza correspondiente.
- Programar en el software de la máquina de fallas la velocidad a la cual se debe llevar el ensayo. La prueba deberá ser llevada a cabo a una tasa de deformación de  $(10 \pm 3) \%$  por minuto de la longitud calibrada (ver Figura 5). Para esto, tome el dato de la longitud de calibre y multiplíquelo por un valor entre 0,07 y 0,13, ese resultado será el dato de velocidad constante del ensayo, que se debe programar.

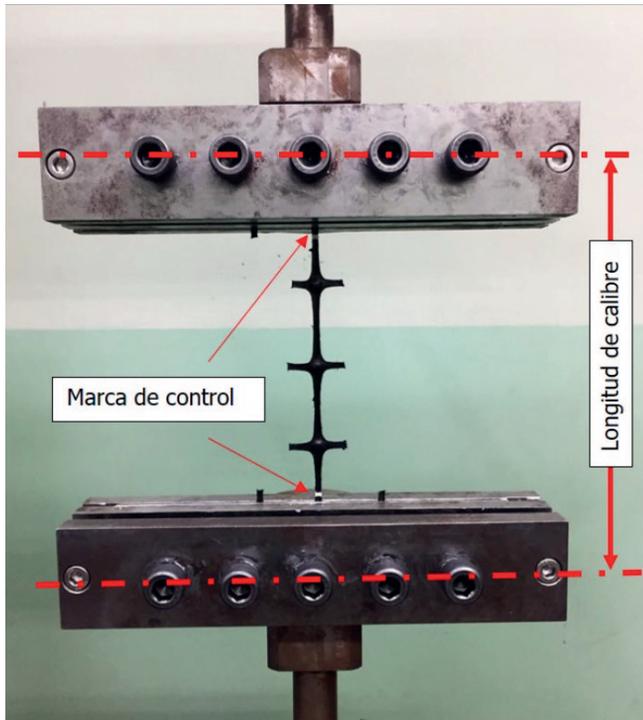


Figura 5. Longitud de calibre para sistema de fijación de agarre fijo y marca de control de desplazamientos de la geomalla dentro de las caras de la mordaza, vista en perfil

- e. Iniciar la prueba poniendo en marcha la máquina de prueba y continuar con la ella hasta que ocurra la rotura. Reportar la máxima fuerza obtenida que causa la falla y la elongación a la máxima fuerza medida. Al final del ensayo se deberá extraer de la computadora conectada a la máquina de fallas, un archivo que contenga el historial de carga y deformación que experimentó el espécimen durante esa falla en particular. Archivo que será indispensable en el reporte de resultados de cálculos.

#### 2.4. Cálculo de Resultados

- Método A. Partiendo de los datos registrados, se reporta la resistencia última promedio de la costilla promediando el conjunto de resistencias últimas a la tracción obtenidas en cada ensayo, en N. La elongación promedio a la falla se determina por separado para cada espécimen y es expresada como el incremento porcentual en la longitud inicial de calibre del espécimen, en %.
- Método B. El cálculo de la fuerza equivalente por unidad de ancho expresada en N/m se realiza mediante la ecuación 1:

$$\alpha_f = [(F_p - T_0)/Nr] \times Nt \quad (1)$$

Donde:

$\alpha_f$  = fuerza equivalente por unidad de ancho,  $\frac{N}{m}$

$F_p$  = fuerza máxima observada, N

$T_0$  = tensión por relajación, N

$Nr$  = número de elementos siendo ensayados a tensión; y

$Nt$  = número de elementos a tensión por unidad de ancho, igual a  $\frac{Nc}{b}$  (ver Nota 1)

Nota 1-  $Nt$  se determina tomando el promedio de tres mediciones de muestras que son del 95 % del ancho del rollo del geosintético. Cada medición es la distancia desde el eje central de la abertura inicial al eje central de la abertura final de la muestra (esto establece el valor  $b$ ). El número de elementos a tensión,  $Nc$ , dentro de esta distancia,  $b$ , son contados y  $Nt$  es determinado a partir de la operación  $Nc/b$ .

Para el cálculo de la deformación se utiliza la ecuación 2- calcular el porcentaje de deformación para especímenes individuales.

$$\varepsilon\rho = (\Delta L \times 100)/L_0 \quad (2)$$

Donde:

$\varepsilon\rho$  = deformación, %

$L_0$  = longitud de calibre inicial, mm

$\Delta L$  = el cambio unitario desde el origen a la fuerza correspondiente medida, mm

### 3. NATURALEZA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Dependiendo del proveedor, se pueden encontrar reportes de valores de las propiedades mecánicas de las geomallas en valores MARV, mínimos y medios. Sin embargo, en la actualidad se adopta la norma ASTM D4759 para establecer un control de calidad sobre las propiedades mecánicas de los embarques de geomallas y geotextiles, basada en la especificación MARV.

Hay que estar claros que para para cumplir con el proceso de control de calidad sobre estos materiales, se debe exigir a las marcas reportes de sus propiedades mecánicas en valores MARV, para así trabajar bajo el mismo criterio de comparación.

Por otra parte, el Instituto Geosintético (GSI, por sus siglas en inglés); menciona que mediante el valor promedio (o media) y la desviación estándar de una propiedad en particular (valores de resistencia en nuestro caso) se logra representar dicha propiedad estadísticamente en una curva de distribución normal, indistintamente de la variabilidad inherente de los datos; producto del proceso de fabricación de un geosintético en particular, el equipo y el procedimiento empleado en la obtención de los datos. En la Figura 6 se muestra gráficamente el concepto estadístico de valores MARV y típico, según la misma GSI.

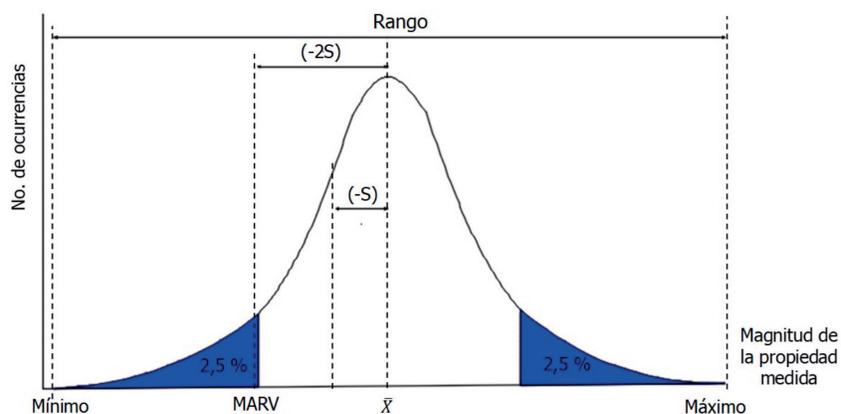


Figura 6. Interpretación gráfica de los valores MARV y típico (Adaptada de <http://geosynthetic-institute.org/papers/paper10.pdf>)

El valor mínimo promedio por rollo (VMPR o MARV por sus siglas en inglés), estadísticamente se puede entender como el valor en el cual se excede el 97,5 % de los datos de prueba, en otras palabras, es el valor típico menos dos desviaciones estándar (-2S).

También se puede entender como una herramienta de control de calidad establecida por ASTM, con la cual un comprador de geomallas o geotextiles tendrá una confianza del 97,5 % de que el producto cumple con los valores reportados. Sin embargo, no se debe entender que el 2,5 % del producto no está cumpliendo con las especificaciones del proyecto. En este caso, una certificación MARV significa que, el 2,5 % de los especímenes fallados de cada muestra de cada rollo pueden mostrar valores más bajos que los reportados; sin embargo, el valor de propiedad promedio de cada rollo será igual o excederá el valor MARV.

#### 4. RESULTADOS

La siguiente tabla contiene los productos que se ensayaron a nivel de laboratorio bajo el método ASTM D6637; en el mismo se muestran sus propiedades mecánicas, tomadas de las fichas técnicas proporcionadas por el proveedor.

Tabla 1. Muestras ensayadas en el proceso de implementación de la norma ASTM D6637, datos según reporte de fichas técnicas más actualizadas hasta octubre de 2018					
Material	Norma ASTM	Resistencia a la tracción última (kN/m)	Elongación máxima (%)	Polímero	Valores
MallaU1	D6637	70	-	HDPE	MARV
MallaB1	D6637	20	13	PP	-

- Información no reportada

**HDPE** polietileno de alta densidad

**PP** polipropileno

El número de resultados válidos (según ASTM), por tipo de geomalla se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tabla resumen de los resultados exitosos por tipo de muestra de geomalla		
MUESTRA	MÉTODO A	MÉTODO B
MALLAU1	4	2
MALLAB1	5	3

Siguiendo las ecuaciones descritas en la Sección 2.4, se obtiene los siguientes resultados resumidos en las Tablas 3 y 4:

Tabla 3. Resultados encontrados a partir de la aplicación del ensayo a tensión sobre la única muestra de MallaU1												
Método A							Método B					
Espécimen	Fp (kN)	$\epsilon_p$ (%)	$\alpha_f$ (kN)	$S_{af}$	$\epsilon_m$ (%)	$S_{\epsilon_p}$	Fp (kN/m)	$\epsilon_p$ (%)	$\alpha_f$ (kN/m)	$S_{af}$	$\epsilon_m$ (%)	$S_{\epsilon_p}$
01	1,59	6,02	1,50	0,08	8,45	1,53	51,07	9,48	54,56	3,49	9,09	0,39
02	1,54	9,89					58,05	8,70				
03	1,50	9,61					-	-	-	-	-	
04	1,37	8,26					-	-	-	-	-	

Fp= resistencia última del espécimen

$\epsilon_p$ = elongación última del espécimen

$\alpha_f$  = resistencia última promedio de la muestra

$\epsilon_m$ = elongación última promedio de la muestra

$S_{af}$ = desviación estándar del conjunto de resistencias últimas de los especímenes

$S_{\epsilon_p}$  = desviación estándar del conjunto de elongaciones últimas de los especímenes

Tabla 4. Resultados encontrados a partir de la aplicación del ensayo a tensión sobre la única muestra de MallaB1												
Método A							Método B					
Espécimen	Fp (kN)	$\epsilon_p$ (%)	$\alpha_f$ (kN)	$S_{af}$	$\epsilon_m$ (%)	$S_{\epsilon_p}$	Fp (kN/m)	$\epsilon_p$ (%)	$\alpha_f$ (kN/m)	$S_{af}$	$\epsilon_m$ (%)	$S_{\epsilon_p}$
01	0,71	10,18	0,77	0,05	8,55	1,03	16,33	5,18	17,40	0,76	5,58	0,28
02	0,77	8,94					18,03	5,75				
03	0,76	8,72					17,84	5,81				
04	0,85	7,33					-	-	-	-	-	
05	0,76	7,57					-	-	-	-	-	

Fp= resistencia última del espécimen

$\epsilon_p$  = elongación última del espécimen

$\alpha_f$  = resistencia última promedio de la muestra

$\epsilon_m$ = elongación última promedio de la muestra

$S_{af}$  = desviación estándar del conjunto de resistencias últimas de los especímenes

$S_{\epsilon_p}$  = desviación estándar del conjunto de elongaciones últimas de los especímenes

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se aclara que, no es válido comparar los datos de resistencia y elongación última encontrados bajo el método A, con los reportados por el fabricante; pues no se puede comparar datos que fueron medidos bajo distintos métodos dentro de la misma norma. ASTM D6637 aclara en su Nota 6, que este método de ensayo no aborda la posible correlación

de resistencia a la tensión entre un espécimen uni-costilla (Método A) y un espécimen amplio (Método B), es por esto que no se pueden comparar directamente estos valores obtenidos con los de las fichas técnicas de los productos.

Los datos de resistencia última a la falla y deformación asociada a dicha falla, bajo el método B, que se resumen en la Tabla 3 y la Tabla 4, parcialmente<sup>1</sup> permiten ser comparados

<sup>1</sup> Ya que el tamaño del grupo de especímenes ensayados no es suficientemente representativo.

con los datos reportados por los fabricantes, para el producto en específico asociado a dichos datos. De acuerdo con la Tabla 1, se tiene que la resistencia última a la tracción reportada por el fabricante, para la MallaU1 es igual a 70 kN/m, mientras que ese mismo dato, encontrado en la etapa de ensayos de este trabajo, corresponde a 54,56 kN/m. Esto supone una pérdida de resistencia en el material de aproximadamente 15,50 kN/m, con respecto al dato reportado por el fabricante.

El mismo comportamiento se observa cuando se comparan los datos de resistencia última del material MallaB1; donde el fabricante reporta un valor igual a 20 kN/m y el encontrado en la etapa de ensayos de este documento arroja una magnitud de 17,40 kN/m, aquí la diferencia entre un valor y el otro es de aproximadamente 2,60 kN/m.

Era de esperar que la media de los valores de resistencia última y deformación última del material estuvieran por encima del valor reportado en la ficha técnica y si bien el tamaño de la muestra no es suficientemente representativo para concluir negativamente sobre los datos reportados en las fichas técnicas, es válido tomar esta diferencia de magnitudes como una señal de que posiblemente se estén presentado discrepancias entre datos reportados por el fabricante y los obtenidos en un proceso de "control de calidad". Sin embargo, se debe estar claros que la forma correcta para validar esta hipótesis es ensayando especímenes de distintas muestras y de distintos rollos (el mínimo lo establece ASTM D4354; según sea el número de rollos en el lote).

El objetivo del trabajo fue la implementación del método de ensayo para la determinación de parámetros de resistencia sobre geomallas trabajadas a tensión. Sin embargo, la etapa de resultados permite sentar, en alguna medida, las bases

para empezar con estudios estadísticamente válidos sobre el control de calidad en geomallas y geotextiles cuya función principal es la del refuerzo.

Al igual que los datos encontrados bajo el método A, se observa una homogeneidad entre los datos hallados bajo el método B. También es válido pensar que el par espécimen-mordazas, tuvo un comportamiento igualmente homogéneo durante todas las fallas realizadas bajo el método B.

## 10.CONCLUSIONES

Se realizaron ensayos de resistencia a tracción sobre geomallas uniaxiales y biaxiales cuya función principal es la de refuerzo. Comparando los resultados obtenidos a nivel de laboratorio con los reportados en la ficha técnica del material, se encuentra evidencia de una probable sobrevaloración en el reporte técnico, por parte de los proveedores, de los valores de la resistencia última a la tensión y su deformación unitaria asociada.

Ante la realidad de que ciertas marcas en las fichas técnicas de sus productos no especifican la naturaleza de sus datos (MARV, mínimos o promedio), surge la necesidad de exigirles mayor claridad en sus fichas técnicas y además que estas se estandaricen a datos MARV. Los requeridos en las tareas de diseño, así lo respalda ASTM D4759.

Se detecta también cierta falta de vigilancia y control sobre la información técnica que se pone a disposición para el diseño ingenieril a partir de estos productos de uso común.

Existe la necesidad de implementar a nivel nacional, métodos de ensayo para determinar propiedades mecánicas de geosintéticos y que permitan analizar la calidad de los productos en el desempeño de sus funciones principales.

## 11. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials. (27 de Enero de 2015). ASTM D6637-15 Standard Test Method for Determining Tensile properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method. Obtenido de ASTM: <https://www.astm.org/Standards/D6637.htm>
- American Society for Testing and Materials. (27 de Enero de 2018). ASTM D4595-17 Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method. Obtenido de ASTM: <https://www.astm.org/Standards/D4595.htm>
- American Society for Testing and Materials. (27 de Enero de 2018). ASTM D76/D76M-11 Standard Specification for Tensile Testing Machines for Textiles. Obtenido de ASTM: <https://www.astm.org/Standards/D76.htm>
- Asociación Costarricense de Geotecnia . (2015). Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica. San José.
- Asociación Costarricense de Geotecnia. (2002). Código de Cementaciones de Costa Rica. San José.
- Campos, J. (2019). Implementación de los métodos de ensayo para la determinación de las propiedades a tracción en geomallas y geotextiles según las Normas ASTM D6637 y ASTM D4595. San Pedro, San José, Costa Rica.
- Koerner, R. M. (1990). Designing with Geosynthetics. United States of America: Prentice Hall Inc.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2010). Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. San José.
- PAVCO S.A. (2009). Manual de Diseño con Geosintéticos (Octava ed.). Bogotá D.C: Zette Comunicadores S.A.
- Quesada, K. (1998). Características Físico-mecánicas de los Geotextiles. San José: Informe de Trabajo de Graduación para Obtener el Grado de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica .
- Vergara, A. (12 de 08 de 2017). Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica. Obtenido de CIC sitio Web: <http://www.civiles.org/publicaciones/geo/geotextiles.pdf>
- Vergara, A. (5 de Mayo de 2018). Geotextiles para separación. Obtenido de <http://studylib.es/doc/7682853/geotextiles-para-separaci%C3%B3n---colegio-de-ingenieros-civil...>