

**MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMERICA REFORZADO CON  
FIBRAS NATURALES PARA LA FABRICACIÓN DE TENSO-ESTRUCTURAS**

**MARIA ANGELICA CAMARGO MENDEZ  
DIEGO FERNANDO GARCIA ALFONSO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2017**

**MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMERICA REFORZADO CON  
FIBRAS NATURALES PARA LA FABRICACIÓN DE TENSO-ESTRUCTURAS**

**MARIA ANGELICA CAMARGO MENDEZ  
DIEGO FERNANDO GARCIA ALFONSO**

**Proyecto de grado para optar al titulo de Ingeniero Civil**

**Director**

**RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ  
PhD. en Ciencias técnicas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2017**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	11
1. MATERIALES Y MÉTODOS	14
1.1 MATERIALES	14
1.2 MÉTODO	14
2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
3. CONCLUSIONES	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
BIBLIOGRAFIA	34

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Variaciones de tejidos planos. (Poveda Martínez, n.d.)	13
Figura 2 Hilos: a) 1140, b) 1400 y c) 1400PF. Fuente Autor.	15
Figura 3 Probetas: a) 1140, b) 1400 y c) 1400PF.	15
Figura 4 Fotografía de la microscopia del hilo 1400.	16
Figura 5 Fotografía de Photoshop del hilo 1400.	16
Figura 6 Peso de hilo + picnómetro con agua destilada.	17
Figura 7 Ensayo a tracción del hilo en la MTS con la Norma ASTM-D2256.	19
Figura 8 Ensayo a tracción del tejido en la MTS con la Norma ASTM-D4631-9.	20
Figura 9 Tejido hibrido pre-impregnado con Resina Poliéster	21
Figura 10 Probetas del Material compuesta.	22
Figura 11 Gráfica comparativa de áreas transversales	24
Figura 12 Resultados prueba a tracción tejido 12-14	25
Figura 13 Resultados prueba a tracción tejido 20-14	26
Figura 14 Resultados prueba a tracción tejido 20-36	26
Figura 15 Resultados prueba a tracción tejido 24-24	26
Figura 16 Resultados prueba a tracción compuesto 24 - 24	27
Figura 17 Resultados prueba a tracción compuesto 20-36	28
Figura 18 Gráfica comparativa de compuestos	28

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Características mecánicas de fibras	12
Tabla 2 Área sección transversal de hilos	23
Tabla 3 Propiedades mecánicas; hilos por microscopia.	24
Tabla 4 Propiedades mecánicas; hilos por principio de Arquímedes	24
Tabla 5 Propiedades mecánicas de los Tejidos.	25
Tabla 6 Propiedades mecánicas del Material Compuesto	27

## RESUMEN

**TÍTULO:** MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMERICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES PARA LA FABRICACIÓN DE TENSO-ESTRUCTURAS.\*

**AUTORES:** MARIA ANGELICA CAMARGO MENDEZ  
DIEGO FERNANDO GARCIA ALFONSO\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Fique, fibras y tejidos naturales, matriz polimérica, tenso-estructura.

### Descripción:

En este trabajo se investiga el comportamiento mecánico de compuestos poliméricos reforzados con fibras de fique en forma de tejidos planos para ser usados en la fabricación de tenso-estructuras. El material propuesto se obtuvo mediante pre impregnación de los tejidos con resina poliéster. Se evaluó la resistencia a la tracción de tres tipos de hilos de fique: 1140 (m/k), 1400 (m/k) y 1400-PF (m/k, con fibra de polipropileno) mediante la norma ASTM-D2256; a partir de los resultados anteriores se seleccionó el hilo 1400, obteniéndose una resistencia a la tracción de 780 MPa que se utilizó para el conformado de cuatro tipos de tejidos, mediante la norma ASTM-D2256; a partir de los resultados anteriores se seleccionó el hilo 1400, obteniéndose una resistencia a la tracción de 780 MPa que se utilizó para el conformado de cuatro tipos de tejidos ensayados a tracción mediante la norma ASTM-4632-91. Finalmente, tomando como referencia la resistencia máxima, el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación de los tejidos, se seleccionaron dos para su impregnación, ensayados a tracción bajo la norma ASTM-D3039. Los tejidos mostraron una resistencia a tracción entre 44.45 MPa y 57.51 MPa. Se evidenció que la presencia de la resina en el tejido mejora en un 80% el comportamiento mecánico del material haciéndolo viable estructuralmente.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, director Ricardo Alfredo cruz Hernández

## ABSTRACT

**TITLE:** COMPOSITE MATERIAL OF POLYMERIC MATRIX REINFORCED WITH NATURAL FIBERS FOR THE MANUFACTURE OF STRESS-STRUCTURES<sup>\*</sup>.

**AUTHORS:** MARIA ANGELICA CAMARGO MENDEZ  
DIEGO FERNANDO GARCIA ALFONSO<sup>\*\*</sup>

**KEYWORDS:** Figue, natural fibers, textile, polymer matrix, tensile-structures.

### DESCRIPTION

This work investigates the mechanical behavior of polymeric compounds reinforced with fique weave textile to use as tensile-structures. The composite was obtained by pre-impregnation of the textile with polyester resin. Three different types of fique yarns has been evaluated to obtain the tensile strength through ASTM-D2256: 1140 (m / k), 1400 (m / k) and 1400-PF (m / k, with polyethylene fiber). As of, the 1400 yarn was selected, showing 780 MPa tensile strength, and was used to manufacture four types of textiles. The tensile strength test followed the norm ASTM-4632-91. Two textiles were selected to impregnate on accord to their maximum strength, young modulus and elongation. The tensile test was performed using ASTM-D3039. The textiles showed tensile strength between 44.45 MPa and 57.51 MPa. It was shown that the presence of the resin in the textiles improves the mechanical behavior of the material up to 80% making it useable as structural material. The textiles showed tensile strength between 44.45 MPa and 57.51 MPa. It was shown that the presence of the resin in the textiles improves the mechanical behavior of the material up to 80% making it useable as structural material improves the mechanical behavior of the material up to 80% making it useable as structural material.

---

<sup>\*</sup> Graduación Project

<sup>\*\*</sup> Faculty of Engineering Physicomecanicas, School of Civil Engineering, director Ricardo Alfredo cruz Hernández

## INTRODUCCIÓN

Las tenso-estructuras son membranas estructurales tensadas (MET); generalmente se utilizan como una alternativa de cubierta debido a la reducción de peso estructural y costo constructivo. Las MET son estructuras livianas y flexibles que se caracterizan porque su sistema estructural les permite alcanzar el equilibrio mediante esfuerzos de tracción pura (Canciani et al., 2011; Salom, n.d.). El estado membranar se cumple cuando la carga es uniformemente distribuida y no se presentan cargas puntuales (Ascariz, 2010). En Colombia este tipo de cubiertas son importadas, lo que hace que se eleve su costo, normalmente fabricadas con tejidos en fibras de vidrio recubierto con teflón o tejidos en poliéster recubierto de PVC. (“- Construdata.com,” n.d.) Estos tipos de materiales están compuestos por resinas termoplásticas, que a diferencia de las termoestables, estas se funden al calentarlas (Hull, 1987).

Se ha demostrado que las fibras de fique tiene características mecánicas comparables con las fibras de vidrio, y adicionalmente son biodegradables convirtiéndose en una solución para el problema de residuos (Ramírez Zambrano & Navarro-García, 2014). En Colombia se producen cerca de treinta mil toneladas de fibras de fique al año, principalmente en los departamentos de Cauca, Nariño, Santander y Antioquia. Es extraída de una planta nativa de la zona intertropical del continente americano de 2,5m de longitud aproximadamente de la cual solo se utiliza el 4% que es fibra y el 96% restante se desecha, y es utilizada generalmente para productos artesanales (“Ciencia al Día,” n.d.). La fibra natural es una forma de impactar positivamente con el medio ambiente, a diferencia de las fibras artificiales utilizadas en las MET (ESPAÑA & PEÑA, 2012).

De las características mecánicas de las fibras artificiales se puede apreciar que tienen un mejor módulo de elasticidad y resistencia a la tracción, y por el contrario las fibras naturales tienen mejor alargamiento de elongación, como se muestra en la Tabla 1 (Muñoz-Velez, Hidalgo-Salazar, & Mina-Hernandez, 2014; M.D. Salvador et al., n.d.)

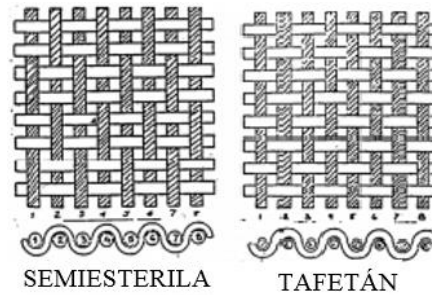
**Tabla 1 Características mecánicas de fibras**

Fibra	Densidad	Modulo Elasticidad	Resistencia traccion	Alargamiento rotura
	g/cm <sup>3</sup>	gpa	Mpa	%
Sisal	1.45	10.4	444-552	2.0 - 2.5
Yute		43.8	342-672	1.7 - 1.8
Vidrio	2.54	73	2500	3-4
Fique	0.72	8.2-9.1	132.4	9.8

El objetivo de esta investigación es proponer el uso de tejidos de fibra de fique y resina termoestable en la fabricación de las MET, caracterizando mecánicamente los hilos y tejidos producidos en la región. Para la caracterización de los hilos se cambia el grado de torsión y se le agrega la presencia de un filamento sintético (cintilla de polipropileno). La torsión tiene gran influencia en el hilo aportándole resistencia y elasticidad dependiendo de la configuración. (“MÉTODOS DE HILADOS,” n.d.).

Mediante un proceso industrial se fabrican los tejidos con direcciones de trama y urdimbre de características planas orientados ortogonalmente, variando sus densidades como se puede ver en la Figura 1 (“Urdimbre en DICTER 2.0: Diccionario de la Ciencia y de la Técnica del Renacimiento,” n.d.).

**Figura 1 Variaciones de tejidos planos. (Poveda Martínez, n.d.)**



Para la fabricación del material compuesto se puede utilizar resinas Poliéster, que es la utilizada en este trabajo. Esta resina es similar en su apariencia al vidrio y tiene un disolvente de estireno que disminuye su viscosidad. Se le añade un catalizador compuesto por Cobalto y peróxido de MEK, que en una primera fase hace que se gelifique y finalmente se endurezca (“La Resina de Poliéster,” n.d.).

El esfuerzo máximo es una de las características mecánicas fundamentales en las MET, en particular la resistencia a tracción. Para el cálculo de la resistencia a tracción se requiere la determinación del área transversal del material, que puede ser mediante tratamiento digital de imágenes y aplicando el principio de Arquímedes.

Obtenido los valores de las características mecánicas del material compuesto, se podrá realizar una comparación entre las MET actuales y así concluir si es, o no un material viable para la fabricación de estas.

## **1. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.1 MATERIALES**

Los hilos de fique estudiados tienen una torsión específica para cada ensayo: 1140 (m/k), 1400 (m/k) y 1400-PF, con los hilos de estas torsiones se realizaron los tejidos planos ortogonales de diferentes densidades. Estos materiales fueron suministrados de la fábrica Coohilados del Fonce Ltda., del municipio de San Gil, Santander. La resina termoestable pre-impregnada, es una resina poliéster 836 con una densidad de 1.1 g/cm<sup>3</sup> (Gazechim, n.d.)

### **1.2 MÉTODO**

Para llevar a cabo la investigación y caracterización mecánica de la fibra natural se tuvieron en cuenta tres procedimientos: identificar las variables de la configuración del hilo y tejido de refuerzo, caracterizar mecánicamente hilos y tejidos de fibra de fique obtenidos, ensayando su resistencia a tracción y finalmente analizar la influencia de la resina sobre el tejido utilizado.

#### **Configuración del hilo y del tejido**

Se identificaron distintas variables de la configuración del tejido para analizar su comportamiento en sus diferentes fases. Se determinó variar la torsión de los hilos, teniendo en cuenta las torsiones que se fabrican industrialmente, que pueden ir desde suelto hasta muy tenso. Las torsiones en los hilos que se escogieron como configuración se ilustran en la Figura 2:

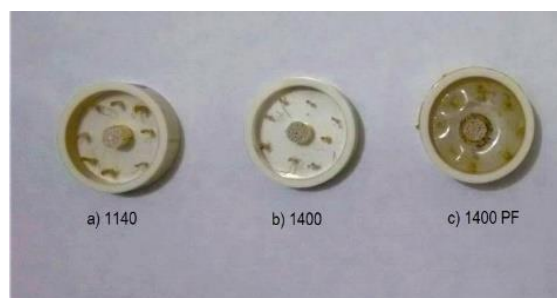
- 1140 metros por kilo.
- 1400 metros por kilo.
- 1400-PF metros por kilo. (Contiene una fibra de polietileno en el hilo de fique)

**Figura 2 Hilos: a) 1140, b) 1400 y c) 1400PF. Fuente Autor.**



Para determinar el esfuerzo máximo del material, es fundamental identificar el área transversal del hilo, para esto, se realizaron dos procedimientos diferentes. En el primer procedimiento se realizó la microscopia de una probeta compuesta por resina y 8 hilos del mismo tipo, para cada torsión diferente como se ve en la Figura 3.

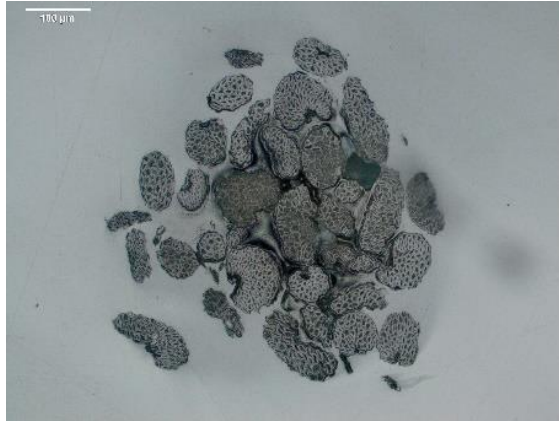
**Figura 3 Probetas: a) 1140, b) 1400 y c) 1400PF.**



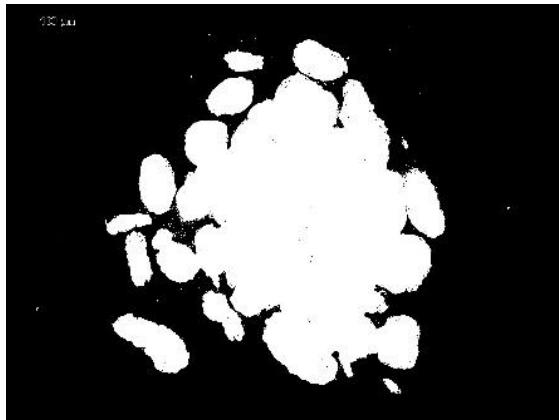
De la microscopia se obtuvo fotografías detalladas en una escala de 100  $\mu\text{m}$  (micras) (Figura 4). En la fotografía se observan las fibras que contiene un hilo de fique con la configuración 1400 y el espaciamiento que hay entre ellas.

A estas fotografías se les hizo un tratamiento digital de imágenes con la finalidad de crear un retrato a blanco y negro, identificando la cantidad de pixeles que compone el área real de los hilos de color blanco y la cantidad de pixeles que compone el área de los vacíos en color negro como se observa en la Figura 5.

**Figura 4 Fotografía de la microscopia del hilo 1400.**



**Figura 5 Fotografía de Photoshop del hilo 1400.**



Simultáneamente se midió la cantidad de pixeles que hay en 100  $\mu\text{m}$  y se determinó que en un pixel cuadrado hay  $3.3898 * 10^{-4} \text{ mm}^2$ .

Con el programa MATLAB se realizó una programación que contó la cantidad de pixeles negros y blancos de la imagen, y de esa forma se calculó el área transversal real del hilo de fique.

El segundo procedimiento para hallar el área transversal, se realizó a través del principio de Arquímedes. Para esta prueba se usó un picnómetro, una balanza PS.R2.H con precisión de 4 decimales y paredes de vidrio, agua destilada e hilos de fibra de fique con longitudes de 10cm. En primera instancia se pesaron en la balanza los siguientes materiales: a) Hilo de fique, b) hilo de fique + picnómetro con agua destilada (los dos por separado Figura 6), c) hilo de fique dentro del picnómetro con el agua destilada. Con estos datos se halló el volumen de la fibra, luego se halló la densidad del hilo y finalmente se determinó el área.

**Figura 6 Peso de hilo + picnómetro con agua destilada.**



La siguiente configuración que se determinó como variación es la densidad de los tejidos de urdimbre sobre trama. Se escogieron los dos mejores hilos con mayor resistencia a la tracción y con ellos se realizaron cuatro tejidos de densidades de:

- 12/14 hilos/decímetro
- 20/14 hilos/decímetro
- 24/24 hilos/decímetro
- 20/36 hilos/decímetro

La densidad tipo 1 tiene una configuración 12/14, es decir, que en 10cm hay 12 hilos de urdimbre y 14 hilos de trama, y este tejido en forma de Tafetán.

La densidad tipo 2 tiene una configuración 20/14, es decir, que en 10cm hay 20 hilos de urdimbre y 14 hilos de trama, y este tejido en forma de Tafetán.

La densidad tipo 3 tiene una configuración 24/24, es decir, que en 10cm hay 24 hilos de urdimbre y 24 hilos de trama, y este tejido en forma de Tafetán.

La densidad tipo 4 tiene una configuración 20/36, es decir, que en 10cm hay 24 hilos de urdimbre y 24 hilos de trama, y este tejido en forma de semisterila.

### **Prueba a tracción de hilos**

Se realizaron 10 probetas de cada tipo de hilo para ensayar, con una longitud libre de 25cm. En la equipo MTS BIONIX Model 370.02 se llevó a cabo el ensayo de la resistencia a tracción de los hilos como se ve en la Figura 7, guiado de la Norma ASTM-D2256 (Standard Test Method, n.d.-a).

Los parámetros que se programaron en la MTS para realizar los ensayos en los tres tipos de hilos son:

- Desplazamiento Max: 55mm
- Razón: 24 mm/mín.
- Tiempo entre datos: 0,5 s

**Figura 7 Ensayo a tracción del hilo en la MTS con la Norma ASTM-D2256.**



### **Prueba a Tracción de los Tejidos**

Basados en los resultados de las pruebas a tracción de los hilos, se escogieron los dos tipos de hilo que obtuvieron la mayor resistencia y se crearon los tejidos con las configuraciones anteriormente determinadas. Se realizaron 10 probetas de cada tipo de tejido para ensayar con una longitud libre de 20cm de largo por 5cm de ancho. En la equipo MTS 810 Material Test System de 500 kN se llevó a cabo el ensayo de la resistencia a tracción de los tejidos evidenciados en la Figura 8, guiado de la Norma ASTM-D4632 (Standard Test Method, n.d.-b).

Los parámetros que se programaron en la MTS para realizar los ensayos en los tres tipos de hilos son:

- Desplazamiento Max: 55mm
- Razón: 20 mm/mín.

- Tiempo entre datos: 0,2 s

**Figura 8 Ensayo a tracción del tejido en la MTS con la Norma ASTM-D4631-9.**



### **Prueba a Tracción del Material Compuesto.**

Una vez ensayados los cuatro tipos de tejidos a tracción, se escogieron los dos tipos con mayor resistencia y estos tejidos fueron pre-impregnaron con Resina Poliéster 836 para obtener el material compuesto mostrado en la Figura 9. La resina poliéster aplicada al tejido está compuesta por una configuración 1000 a 1, es decir por cada 1000 gramos de resina se aplica 1 gramo catalizador. El catalizador utilizado para el curado está compuesto por dos componentes: Cobalto y peróxido de MEK. La resina está diluida con estireno para disminuir su viscosidad. (Por un galón de resina se incorpora medio galón de estireno)

**Figura 9 Tejido híbrido pre-impregnado con Resina Poliéster**

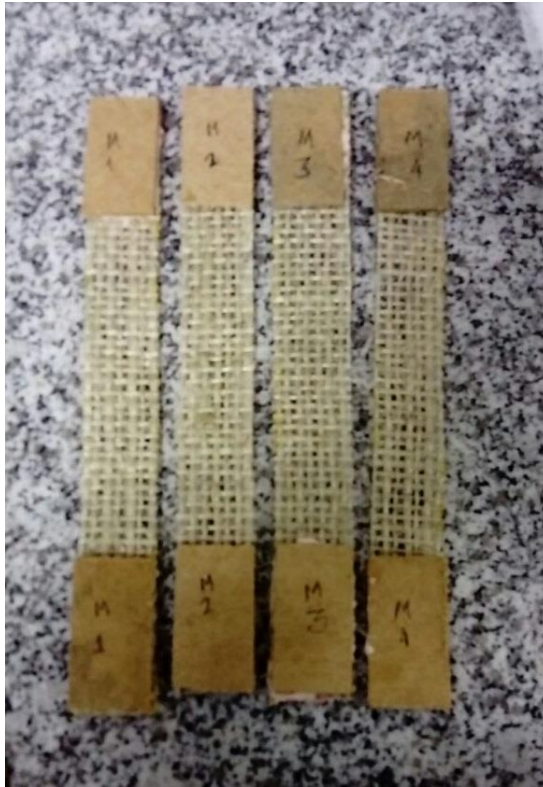


Se realizaron 4 probetas de cada tipo de material compuesto para ensayar. Se diseñaron unas platinas de madera de 5cm de ancho por 5cm de largo, para que encajaran en las mordazas del equipo, con una longitud libre de 13cm de largo por 2.5cm de ancho ilustrado en la Figura 10. MTS 810 Material Test System de 500 kN se llevó a cabo el ensayo de la resistencia a tracción del material compuesto, guiado de la Norma ASTM-D3039 (Standard Test Method, n.d.).

Los parámetros que se programaron en la MTS para realizar los ensayos en los tres tipos de hilos son:

- Desplazamiento Max: 55mm
- Razón: 20 mm/mín.
- Tiempo entre datos: 0,2 s

**Figura 10 Probetas del Material compuesta.**



Se escogerá el material compuesto con mayor resistencia y mejores parámetros que cumplan con la función de una tenso-estructura.

## 2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Área transversal

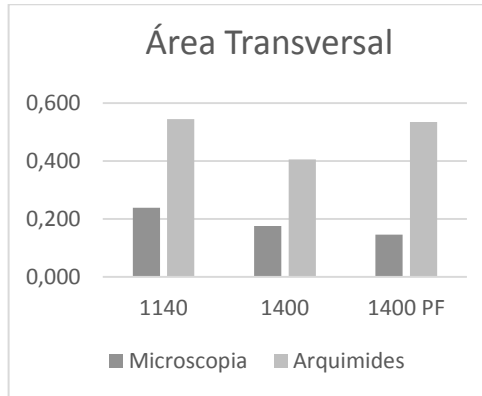
Teniendo en cuenta el cálculo de las áreas, los resultados obtenidos por la microscopía y principio de Arquímedes se presentan en la tabla 2

**Tabla 2 Área sección transversal de hilos**

Área Transversal [mm <sup>2</sup> ]		
Hilo	Microscopía	Arquimides
<b>1140</b>	0.239 ± 0.036	0.545 ± 0.174
<b>1400</b>	0.176 ± 0.046	0.405 ± 0.052
<b>1400 PF</b>	0.147 ± 0.032	0.535 ± 0.081

Haciendo una comparación entre ambos métodos (Toldos.es, n.d.), es posible observar una gran variación en los resultados teniendo en cuenta que en el método del principio de Arquímedes se consideran los espacios entre hilos y se supone esta área como aparente. El área encontrada por el tratamiento de imágenes se considera real, ya que es posible determinar el área de cada filamento que compone la sección en la cual se aplica la fuerza a tracción. (Figura 11).

**Figura 11 Gráfica comparativa de áreas transversales**



Las propiedades mecánicas de los hilos son las mostradas en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3 Propiedades mecánicas; hilos por microscopia.**

Hilo	Esfuerzo [Mpa]	Módulo [Gpa]	% Elongación
1140	678.94 ± 126.86	17.71 ± 3.09	4.17% ± 0.33%
1400	780.28 ± 81.83	22.06 ± 2.47	4.07% ± 0.42%
1400 PF	507.40 ± 112.49	10.52 ± 2.05	6.16% ± 0.58%

**Tabla 4 Propiedades mecánicas; hilos por principio de Arquímedes**

Hilo	Esfuerzo [Mpa]	Módulo [Gpa]	% Elongación
1140	202.46 ± 37.83	6.75 ± 0.92	4.17% ± 0.33%
1400	212.61 ± 23.94	6.00 ± 0.58	4.07% ± 0.42%
1400 PF	153.49 ± 34.03	4.14 ± 0.62	6.05% ± 0.54%

Teniendo en cuenta que la desviación estándar obtenida en el principio de Arquímedes es tan grande en relación a la microscopia se prefiere utilizar este último método corroborado con los estudios de (H. Mendoza-Nava, O. Jimenez-Arévalo, S. Mendoza-Facio, F. Estrada-De los Santos, & M. Talavera-Ortega, 2014; MUÑOZ VELEZ, MINA HERNANDEZ, & HIDALGO SALAZA, 2014; Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006). En este caso la mayor resistencia y el mayor módulo la presenta el hilo 1400, pero presenta la menor elongación.

## Propiedades mecánicas de los tejidos

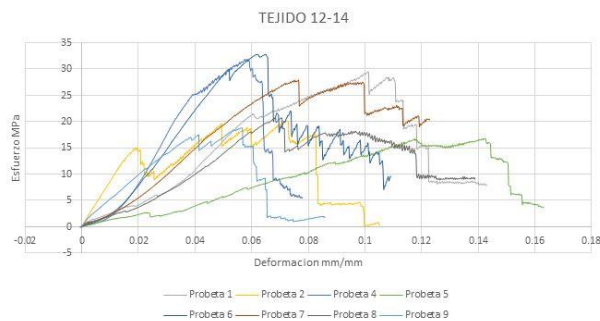
Los resultados obtenidos en las pruebas a tracción muestran que la resistencia aumenta en los tejidos más densos, esto puede ser debido a la presencia de hilos en la dirección urdimbre Tabla 5.

**Tabla 5 Propiedades mecánicas de los Tejidos.**

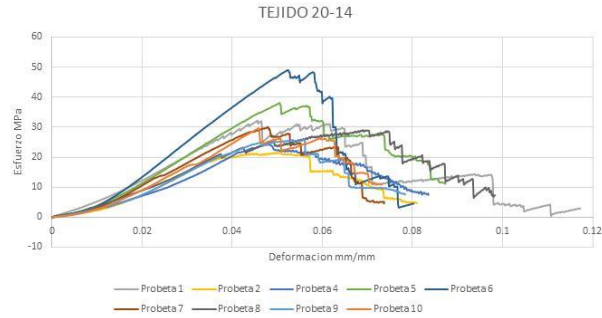
Densidad	Esfuerzo [Mpa]	Módulo [Gpa]	% Elongación
12/14	24.75 ± 8.50	0.408 ± 0.192	12.76% ± 2.94%
20/14	30.09 ± 8.50	0.677 ± 0.287	8.98% ± 1.52%
24/24	44.45 ± 10.91	0.768 ± 0.117	13.18% ± 3.03%
20/36	51.57 ± 7.63	1.208 ± 0.234	10.42% ± 3.15%

En las figuras 12 al 15 se muestra el comportamiento a tracción de los tejidos seleccionados. El tejido 12 – 14, que se muestra en la figura 12, presenta una falla no homogénea, es decir, con valores muy dispersos, probablemente por ser una fibra natural. Sin embargo, los resultados muestran una variación baja entre sí. Un comportamiento mucho más homogéneo lo presentan los tejidos 20 – 36 y 24 – 24, como se muestra en las figuras 14 y 15.

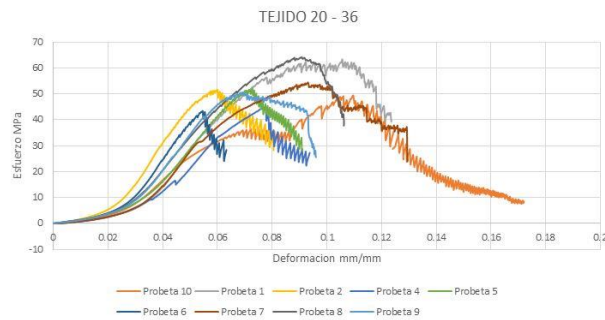
**Figura 12 Resultados prueba a tracción tejido 12-14**



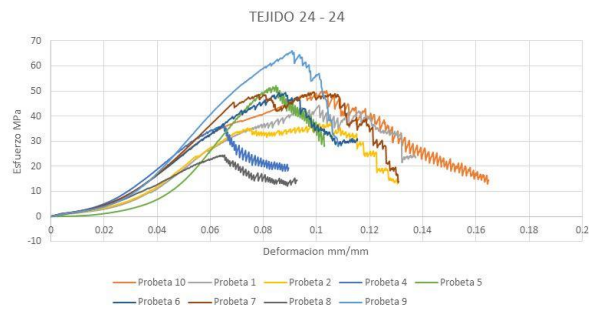
**Figura 13 Resultados prueba a tracción tejido 20-14**



**Figura 14 Resultados prueba a tracción tejido 20-36**



**Figura 15 Resultados prueba a tracción tejido 24-24**



Los resultados muestran que la resistencia de los tejidos disminuye con respecto a la de los hilos debido a que éstos fallan por el hilo más débil, disminuyéndose por lo tanto el área de la sección transversal, disminuyendo también su resistencia mecánica.

## Propiedades mecánicas del material compuesto

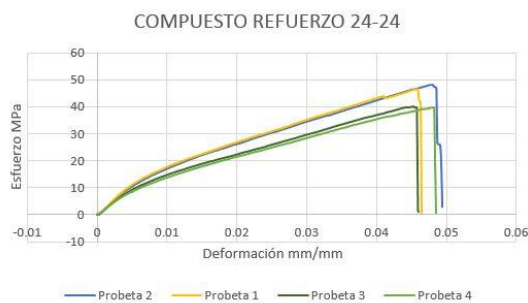
Los resultados obtenidos en los tejidos impregnados con resina poliéster (tabla 6), muestran valores de resistencia mecánica muy altos con respecto a los obtenidos en los tejidos 24- 24 y 20 - 36, debido al aporte de la resina (Alexander Gil, 2012).

**Tabla 6 Propiedades mecánicas del Material Compuesto**

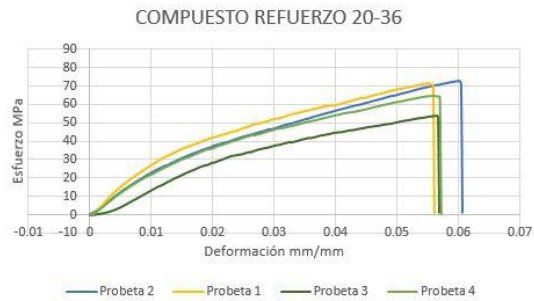
Densidad	Esfuerzo [Mpa]	Módulo [Gpa]	% Elongación
24/24	$91.62 \pm 9.29$	$1.90 \pm 0.25$	$4.76\% \pm 0.16\%$
20/36	$96.43 \pm 12.72$	$2.55 \pm 0.18$	$5.77\% \pm 0.20\%$

Los resultados de resistencias de los materiales compuestos muestran un comportamiento con dos pendientes, probablemente por la contribución de los materiales que forman el compuesto, ya que la resina en un principio recibe más tensión y luego se distribuye de manera uniforme en el conjunto de hilos. Lo anterior conlleva a una falla más homogénea del área transversal Figuras 16, 17.

**Figura 16 Resultados prueba a tracción compuesto 24 - 24**

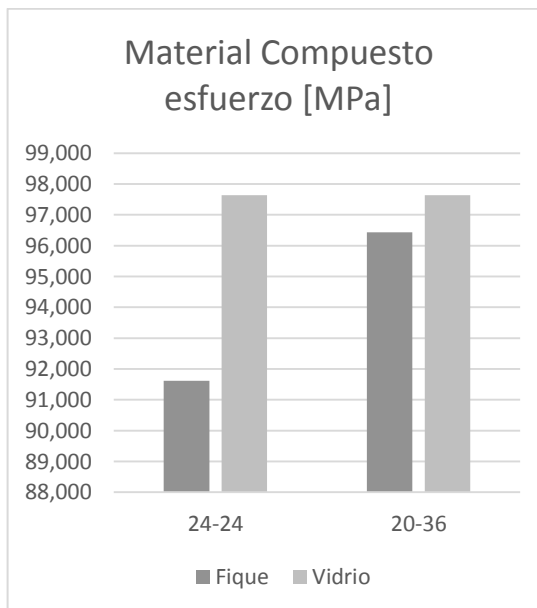


**Figura 17 Resultados prueba a tracción compuesto 20-36**



Finalmente se observan valores muy similares del esfuerzo a tracción máximo entre el material de esta investigación y un material de fibra de vidrio existente en el mercado Figura 18.

**Figura 18 Gráfica comparativa de compuestos**



### **3. CONCLUSIONES**

El cálculo realizado para el área transversal mediante el tratamiento de imágenes permitió caracterizar el área real de cada una de las fibras que componen los hilos.

Existe un mejoramiento de las propiedades mecánicas de los tejidos de fique debido a la impregnación de la resina, es posible que con tratamientos químicos a las fibras se puedan obtener mejores resultados.

Los esfuerzos máximos obtenidos en las pruebas a tracción son resultados comparables con las tenso-estructuras actuales, debido a que hay una diferencia por debajo del 10 % respecto a un material con fibras de vidrio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Construdata.com. (n.d.). Retrieved January 23, 2017, from <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/R/r120membranas/r120membranas.asp>

Alexander Gil. (2012, March 30). Resinas de Poliester - Guia de manejo de resinas. Retrieved from <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>

Ascariz, R. V. (2010, June 17). Análisis teórico-experimental de estructuras membranales.

Canciani, J. M., Cej, C., Albanese, A., Salomone, C., Varela, R., & Cerantonio, W. (2011). INTRODUCCIÓN A LOS TIPOS ESTRUCTURALES.

Ciencia al Día. (n.d.). Retrieved June 30, 2016, from <http://aupec.univalle.edu.co/informes/mayo97/boletin37/fique.html>

ESPAÑA, J. M., & PEÑA, V. E. (2012, Bogotá D.C). ESTRATEGIA PARA EL MEJORAMIENTO AMBIENTAL DE LAS PRACTICAS PRODUCTIVAS Y AUMENTO DE LA COMPETITIVIDAD DEL FIQUE EN MERCADOS VERDES. CASO DE ESTUDIO PROVINCIAS DE GUAVIO Y GUANENTA. Pontificia Universidad Javeriana.

Gazechim. (n.d.). Propiedades Resina Poliéster - Composites Ibérica. Retrieved January 27, 2017, from <http://www.gazechim.es/blog/131-resina-poliester1.html>

H. Mendoza-Nava, O. Jimenez-Arévalo, S. Mendoza-Facio, F. Estrada-De los Santos, & M. Talavera-Ortega. (2014). Caracterización de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono fabricados por el método de infusión para aplicaciones aeronáuticas (p. 8). Presented at the XX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM, JURQUILLA, QUERÉTARO, MÉXICO: Subdirección de Investigación y Posgrado, Universidad Aeronáutica en Querétaro Carretera Estatal Querétaro - Tequisquiapan.

Hull, D. (1987). *Materiales compuestos*. Reverte.

La Resina de Poliéster. (n.d.). Retrieved January 27, 2017, from [http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester\\_archivos/Page396.htm](http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester_archivos/Page396.htm)

M.D. Salvador, V. Amigó, A. Nuez, O. Sahuquillo, R. Llorens, & F. Martí. (n.d.). CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS VEGETALES UTILIZADAS COMO REFUERZO EN MATRICES TERMOPLÁSTICOS. *Instituto de Tecnología de Materiales, Universidad Politécnica de Valencia, España*, 4.

MÉTODOS DE HILADOS: LA TORSION. (n.d.). Retrieved from <http://kathyhernandezbrigido.blogspot.com.co/p/calculo-de-la-torsion.html>

MUÑOZ VELEZ, M. F., MINA HERNANDEZ, J. H., & HIDALGO SALAZA, M. A. (2014, July). FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA EL REFORZAMIENTO DE PLASTICOS. INFLUENCIA DE LA MODIFICACION SUPERFICIAL. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol 12(No. 2), 60–70.

Muñoz-Velez, M. F., Hidalgo-Salazar, M. A., & Mina-Hernandez, J. H. (2014). FIQUE FIBER AN ALTERNATIVE FOR REINFORCED PLASTICS. INFLUENCE

OF SURFACE MODIFICATION. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 12(2), 60–70.

Poveda Martínez, S. (n.d.). REPRESENTACIÓN NORMALIZADA DE PIEZAS DE MATERIAL COMPUESTO.

Ramírez Zambrano, A. D., & Navarro-García, O. A. (2014, February). *Evaluación de las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epóxica*. Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla.

Salom, L. B. (n.d.). Estructuras Laminares. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras.

Standard Test Method. (n.d.). D2256/D2256M - Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method.

Standard Test Method. (n.d.). D3039/D3039M – 14 - Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

Standard Test Method. (n.d.). D4632/D4632M – 15a - Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles.

Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006, October). Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. *Revista Tecnológica ESPOL*, Vol. 19, N. 1, 113-120, 120.

Toldos.es. (n.d.). NORMATIVA LONA -. Retrieved January 27, 2017, from <http://www.toldos.es/lona-normativa-lona>

Urdimbre en DICTER 2.0: Diccionario de la Ciencia y de la Técnica del Renacimiento. (n.d.). Retrieved January 27, 2017, from <http://dicter.usal.es/lema/urdimbre>

## BIBLIOGRAFIA

ASCARIZ, R. V. Análisis teórico-experimental de estructuras membranales. 2010, June 17

CANCIANI, J. M., CEI, C., ALBANESE, A., SALOMONE, C., VARELA, R., & CERANTONIO, W. Introducción a los tipos estructurales. 2011

CONSTRUDATA Membranas [en línea] [citado en January 23, 2017] disponible en:

(<http://www.construdata.com/BancoConocimiento/R/r120membranas/r120membranas.asp>)

ESPAÑA, J. M., & PEÑA, V. E. Estrategia para el mejoramiento ambiental de las practicas productivas y aumento de la competitividad del fique en mercados verdes. caso de estudio provincias de Guavio y Guanenta. Bogotá D.C Pontificia Universidad Javeriana 2012

GAZECHIM. Propiedades Resina Poliéster - Composites Ibérica. [en línea] [citado en January 27, 2017] disponible en: from <http://www.gazechim.es/blog/131-resina-poliester1.html>

GIL. Alexander Resinas de Poliester - Guia de manejo 2012, March 30 [en línea] disponible en:

<http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>

HULL, D. Materiales compuestos. Reverte. 1987

MENDOZA-NAVA H., JIMENEZ-ARÉVALO O., MENDOZA-FACIO S., ESTRADA-DE LOS SANTOS F., & TALAVERA-ORTEGA M.. Caracterización de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono fabricados por el método de infusión para aplicaciones aeronáuticas (p. 8). Presented at the XX Congreso internacional anual de la Somim, Juriquilla, Querétaro, México: Subdirección de Investigación y Posgrado, Universidad Aeronáutica en Querétaro Carretera Estatal Querétaro - Tequisquiapan. 2014

MÉTODOS DE HILADOS: LA TORSION. [en línea] disponible en: <http://kathyhernandezbrigido.blogspot.com.co/p/calculo-de-la-torsion.html>

MUÑOZ VELEZ, M. F., MINA HERNANDEZ, J. H., & HIDALGO SALAZA, M. A. Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plasticos. influencia de la modificacion superficial. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 12(No. 2), 2014, July 60–70.

MUÑOZ-VELEZ, M. F., HIDALGO-SALAZAR, M. A., & MINA-HERNANDEZ, J. H. Fique fiber an alternative for reinforced plastics. influence of surface modification. Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial, 12(2), 2014 60–70.

POVEDA MARTÍNEZ, S. Representación normalizada de piezas de material compuesto.

RAMÍREZ ZAMBRANO, A. D., & NAVARRO-GARCÍA, O. A. Evaluación de las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epóxica. Barranquilla. Universidad Autónoma del Caribe, 2014

SALOM, L. B. Estructuras Laminares. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras.

SALVADOR M.D., AMIGÓ V., NUEZ A., SAHUQUILLO O., LLORENS R., & MARTÍ F. Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas. Instituto de Tecnología de Materiales, Universidad Politécnica de Valencia, España, 4.

STANDARD TEST METHOD. D2256/D2256M - Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method.

STANDARD TEST METHOD. D3039/D3039M - 14 - Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

STANDARD TEST METHOD. D4632/D4632M - 15a - Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles.

TAPIA, C., PAREDES, C., SIMBAÑA, A., & BERMÚDEZ, J. Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 19, N. 1, 2006, October 113-120, 120.

TOLDOS Normativa lona -. [en línea] [citado en January 27, 2017] disponible en: <http://www.toldos.es/lona-normativa-lona>

UNIVALLE Ciencia al Día. [en línea] [citado en June 30, 2016] disponible en: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/mayo97/boletin37/fique.html>

URDIMBRE EN DICTER 2.0: Diccionario de la Ciencia y de la Técnica del Renacimiento. [en línea] [citado en January 27, 2017] disponible en: <http://dicter.usal.es/lema/urdimbres>

USUARIS La Resina de Poliéster. [en línea] [citado en January 27, 2017] disponible en: [http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester\\_archivos/Page396.htm](http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester_archivos/Page396.htm)