

## SIMULACIÓN DE IMPACTO A MALLAS DE FIBRAS DE FIQUE Y GUADUA COMO REFUERZO DE UN COMPUESTO POLIMÉRICO

Jorge Luis Enciso <sup>1\*</sup>, Diego Alejandro Aldana A. <sup>2</sup>

1: MSc. Esp. Ingeniero Metalúrgico, Universidad de Ibagué. Ibagué, Colombia

2: Ingeniero Mecánico, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia

Contacto: jorge.enciso@unibague.edu.co

### RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo conocer el comportamiento de las mallas de fibra de fique y guadua como refuerzo en un material compuesto de matriz de polietileno de alta densidad en aplicaciones de impacto, mediante el método de análisis de elementos finitos (FEM), utilizando como herramienta de simulación el software *SolidWorks*. Se evaluaron tres diferentes configuraciones geométricas de tejido de refuerzo; 1X1, 2X1 y 2X2, para cada material y se comparó el comportamiento en las tensiones obtenidas, desplazamientos y factor de seguridad. Se realizaron modelos 3D correspondientes a cada fibra de los tejidos, y se creó una biblioteca con los materiales de estudio. Las propiedades de estos materiales se determinaron a partir de la realización de las caracterizaciones estudiadas por otros investigadores. El trabajo presenta una evaluación del comportamiento de un compuesto reforzado con fibras de guadua, variando el ángulo de disposición interna del refuerzo y comparando los desplazamientos del tejido de refuerzo con el fin de identificar los ángulos más adecuados para el impacto. Los resultados del estudio evidencian que el comportamiento del tejido de refuerzo frente a una carga de impacto, es dependiente de la cantidad de puntos de unión entre fibras, que presentan una transmisión de esfuerzos en el tejido, Así mismo, el ángulo de disposición interna de la malla influye en la resistencia del compuesto, en rangos comprendidos entre 5° y 15°.

**Palabras Clave:** *Compuesto polimérico, Esfuerzos en fibras, Fibras de refuerzo*

### ABSTRACT

The objective of this study is to determine the behavior of sisal fiber mats and bamboo as reinforcement in a composite matrix of high density polyethylene in impact applications, by means the method of finite element analysis (FEM) using simulation tool *SolidWorks* software. Three different geometric configurations of reinforcing fabric, 1X1, 2X1 and 2X2, for each material were evaluated and the behavior obtained tensions, displacements and safety factor, were compared. 3D models were performed for each tissue fiber and a library of materials under study was created. The properties of these materials were determined from the performance of the characterizations studied by other researchers. The paper presents a performance evaluation of a fiber reinforced composite bamboo, varying the angle of the internal reinforcement arrangement and comparing the movement of the fabric reinforcement in order to identify the most suitable angles for impact. The results of the study show that the performance of reinforcing fabric against an impact load, depends on the number of points between fibers, which means a transmission of stress in the tissue. Also, the internal arrangement angle mesh influences the strength of the composite, between 5° and 15°.

**Keywords:** *Polymer composite, Fibers efforts, Reinforcing fibers*

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso de fibras orgánicas como material de refuerzo en un compuesto, permite analizar las configuraciones dependientes de las características de las fibras; donde la matriz transmite a las fibras la mayor cantidad de la energía aplicada, y su comportamiento se ve afectado por características como: dirección de la fibra, longitud, orientación y dirección de la fuerza aplicada con respecto a la fibra.

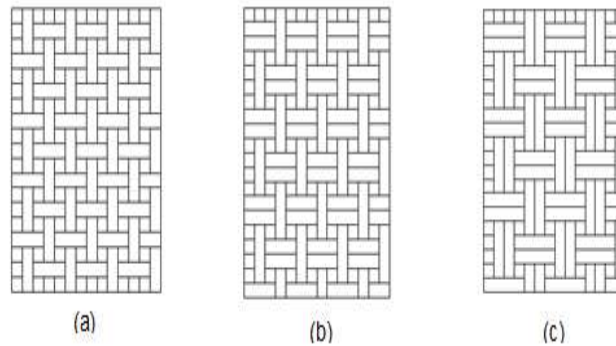
El polietileno de alta densidad (HDPE) tiene propiedades físicas de alta resistencia a la tensión y un porcentaje de contracción comprendido entre 1.5 – 3%, que relacionadas con sus propiedades mecánicas como alta tenacidad y valores de resistencia al impacto comprendidos entre 20 y 210 J m<sup>-1</sup> [1], lo definen como un material adecuado para el uso en compuestos de matriz poliméricas reforzados con fibras sometidas a impacto.

La disposición de la fibra de refuerzo del compuesto frente a la dirección de la carga aplicada es determinante en su resistencia [2], dado que el compuesto mejora su comportamiento transmitiendo esfuerzos desde la matriz hacia la fibra, por tanto, es dependiente de la forma como se presente la unión entre las fibras y la matriz del compuesto. El refuerzo presenta mayor resistencia frente a la aplicación de una carga perpendicular, en comparación con aplicación de una carga paralela a la fibra (Tracción) [3] donde no se genera gran transmisión de esfuerzos entre la matriz y las fibras. Así mismo, para obtener un adecuado comportamiento del tejido, se debe considerar la longitud crítica de la fibra para mejorar las condiciones del material compuesto, esta longitud crítica depende del diámetro de la fibra, la resistencia a la tracción y la resistencia de la unión entre los componente matriz-fibra (resistencia de cizalladura de la matriz) [4]. El uso del método de elementos finitos (FEM) en el análisis de impacto a los tejidos de refuerzo, permite obtener resultados aproximados del comportamiento de los tejidos [5], donde la precisión de los resultados depende tanto del modelo en 3D representativo del tejido como de las condiciones de análisis que se establezcan al estudio (Materiales, malla de análisis, tipo de elementos) [6, 7].

El tipo de malla adecuado para el desarrollo de este estudio, es una malla solida con elementos tetraédricos donde los nodos de los elementos tetraédricos se posicionan en las zonas curvas del modelo y generan mayor precisión al análisis, con el fin de identificar las condiciones dadas por las zonas de curvatura crítica de las fibras frente a una carga de impacto [8]. Las condiciones de impacto para el desarrollo del análisis; se establecen con referencia a las normas NTMD-0028-A6 y NTMD-0226 que rigen los materiales usados para blindajes, determinando para este estudio el nivel II.

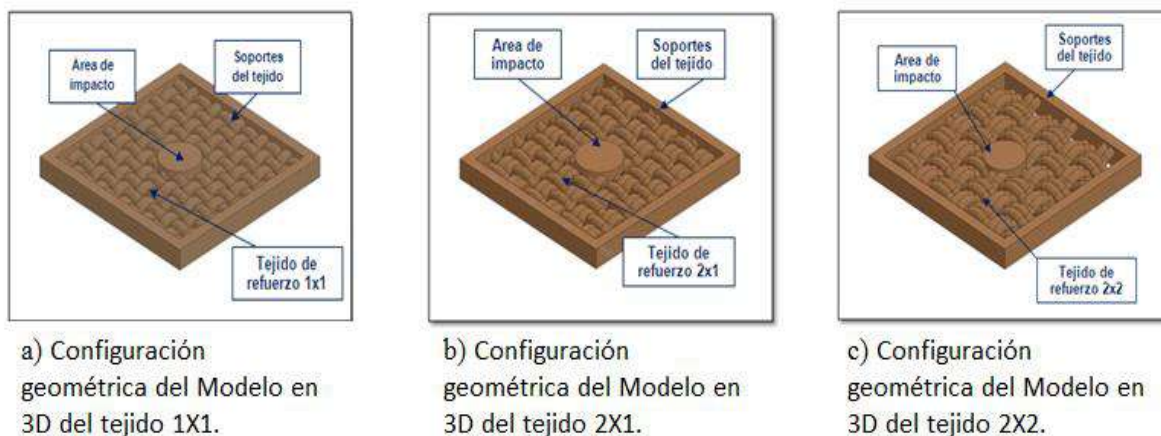
## 2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el estudio se determinaron tres configuraciones geométricas de tejido de refuerzo a evaluar 1X1, 2X1 y 2X2, las cuales varían según la cantidad de fibras en cada dirección [9].



**Figura 1.** Tejidos utilizados en el estudio.

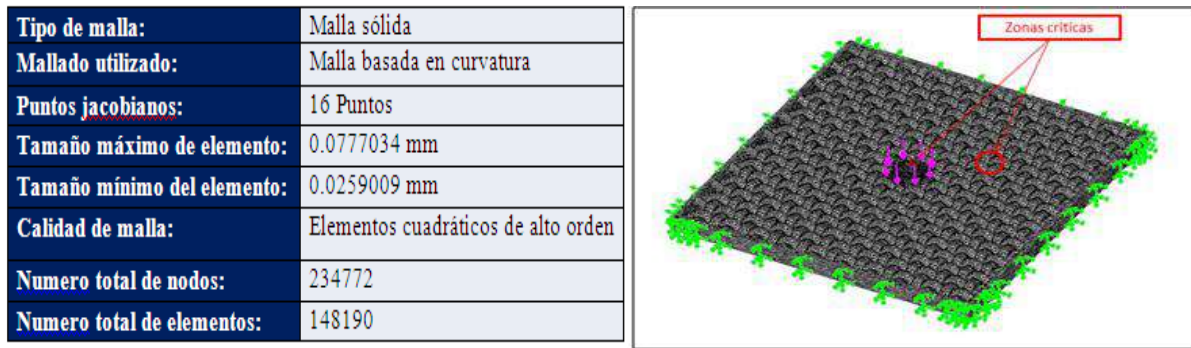
La dimensión del tejido modelado se determina a partir de la cantidad de fibras relacionadas en el área del tejido y la capacidad de análisis del software. El modelo de tejido adecuado para mejorar la capacidad del software es un modelo con una longitud de 1 cm de lado que considera el área de carga y los soportes de las fibras, limitando a condiciones estándar los tejidos evaluados. El área de carga representa el diámetro de impacto de la fuerza aplicada y los soportes garantizan que los esfuerzos estén directamente sustentados por la fibra, como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Modelo 3D de cada configuración de tejido evaluado.

Las cargas aplicadas al tejido fueron determinadas a partir de las normas NTMD-0028-A6 y NTMD-0226 las cuales determinan si el material propuesto cumple con las condiciones de resistencia. Tomando como referencia para el material el nivel de protección más bajo (nivel IIA), determinando a partir de las ecuaciones de impulso y cantidad de movimiento, la fuerza de impacto de proyectil sobre el tejido de refuerzo y la variación en la distancia de impacto.

Debido a que el modelo presenta una geometría curva, se estableció una malla a partir de elementos sólidos tetraédricos parabólicos. Donde los nodos evaluados de los elementos tetraédricos se sitúan en las zonas curvas del modelo como se presentan en la figura 3.



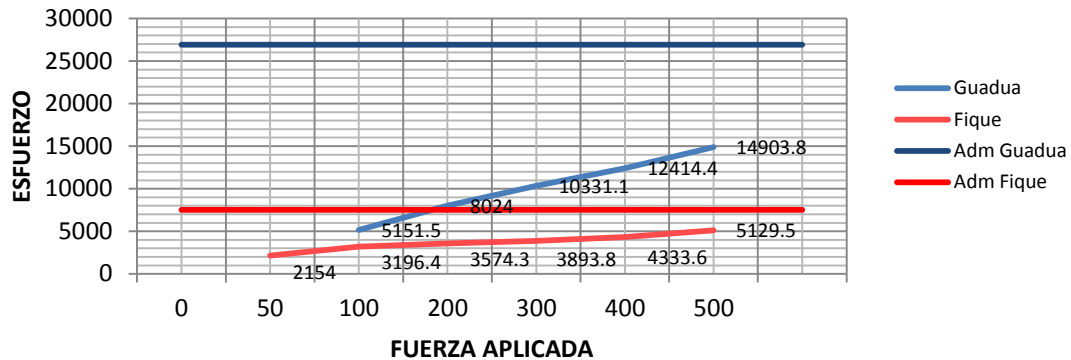
**Figura 3.** Características de la malla de análisis establecida para el estudio.

Otro de los factores que influyen en el comportamiento del compuesto frente a la carga, es el ángulo de disposición interna del tejido de refuerzo. Por lo que se realizó un análisis tomando el compuesto con una matriz de polietileno de alta densidad reforzada con un tejido de guadua variando la disposición interna del tejido. El análisis se desarrolló basado en una configuración de compuesto laminar, debido a que los compuestos reforzados con tejidos presentan un comportamiento similar a los laminares y la carga computacional de análisis es menor, considerando que solo se requiere realizar una comparación del comportamiento del compuesto al variar el ángulo de disposición interna del tejido. El análisis se desarrolló variando los ángulos en  $5^\circ$  desde el plano paralelo a las caras de la matriz, hasta  $18.5^\circ$  que es el ángulo máximo permitido por las dimensiones de la matriz del compuesto.

Los resultados de los análisis realizados a los tejidos de refuerzo fueron comparados a partir de los esfuerzos que presentó cada configuración de tejido, con respecto a su límite elástico y en comparación con el otro material utilizado.

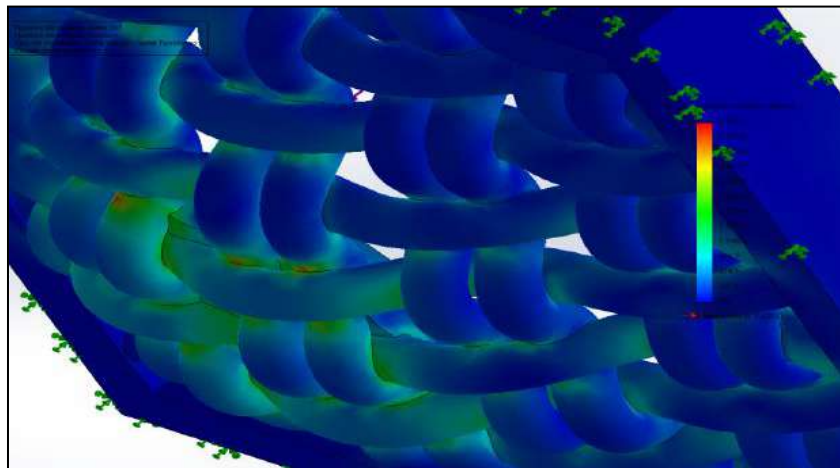
Para la configuración del tejido 1X1 se obtuvo los resultados presentados en la figura 4, donde la guadua alcanza esfuerzos comprendidos entre 5151.5 - 14903 MPa, garantizando un factor de seguridad con respecto al límite elástico del material de 1.8 considerado adecuado para la aplicación, por otro lado, el fique presenta un menor valor con respecto al tejido evaluado en guadua (2154 – 5129.5 MPa) y muestra un comportamiento que se ubica en un punto más cercano al esfuerzo máximo admisible de este material generando un factor de seguridad de 1.4, considerado adecuado para la aplicación, siendo menor que el de la guadua.

### ESFUERZOS TEJIDO 1x1



**Figura 4.** Esfuerzo presentado en la malla 1X1.

El comportamiento del compuesto varía según la cantidad de puntos de unión entre fibras del tejido analizado y el material de la matriz. Donde los puntos de unión entre fibras presentan mayores esfuerzos, debido a que los esfuerzos en estos nodos son transmitidos a la fibra en dirección perpendicular, generando tensiones y esfuerzos en los puntos de unión como se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Concentración de esfuerzos en los puntos de unión entre fibras.

Los resultados presentan un menor desplazamiento para las diferentes cargas aplicadas en los tejidos de inclinación cuyo ángulo está comprendido entre  $5^\circ$  y  $15^\circ$ . Esto es debido a la disminución de la fuerza en la dirección del impacto inicial (perpendicular a las caras de la matriz).

### 3 CONCLUSIONES

Las cargas de impacto aplicadas a los tejidos de refuerzo, muestran que el comportamiento del tejido depende de la cantidad de nodos (puntos) de contacto entre fibras conformantes, donde se genera una transmisión de esfuerzo entre fibras. La malla de mejores condiciones y más adecuada

para la aplicación de impacto, es la que tiene mayor número de nodos. El mallado adecuado para el análisis de los tejidos, es una malla solida con elementos tetraédricos parabólicos basada en curvatura, donde se divide en mayor cantidad de elementos las zonas de curvatura crítica y los nodos de los elementos se sitúan en las zonas curvas del modelo, con el fin de dar mayor precisión al análisis. Los mayores esfuerzos soportados por el tejido se concentran en los puntos de unión entre fibras, donde se presenta transmisión de esfuerzo, siendo mayor en las fibras que se encuentran sometidas cargas de tensión. Dentro de las tres configuraciones de tejidos evaluadas, la configuración 1X1 se considera la más adecuada para la aplicación, dado a que presenta mayor factor de seguridad (1.8 – 1.4) en ambos materiales. Dentro del rango de ángulos de inclinación interna del tejido de refuerzo evaluados en el estudio, el mejor comportamiento del material compuesto se presenta entre los ángulos de 5° a 15°, debido a que presenta menor desplazamiento de la matriz de refuerzo al soportar la carga máxima aplicada de 500N.

#### **4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Roca, I.E., Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (pead), Guatemala, Septiembre de 2005.
2. Muñoz, D., Cabrera, G., Fique como aislante térmico, Revista Biotecnología, Vol. 5, página 5, Febrero de 2007.
3. Zhijiang, L., Baozhong, S., Bohong, G., Fem simulation of 3d angle-interlock woven composite under ballistic impact from unit cell approach, Computational Materials Science, Vol. 49, páginas 171-183, Junio de 2010.
4. Callister, W, D., Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Barcelona España, Editorial Reverté, Julio de 2007.
5. Carrasco, V.L., Métodos numéricos aplicados a la ingeniería, Lima Perú, Editorial América, 2002.
6. Zienkiewicz, O.C., El método de elementos finitos, Barcelona España, Editorial Reverté, Mayo de 2007.
7. Mateos, M., Aurrekoetxea, J., Ispizua, A., Aretxabaleta, L., Castillo, G., Urrutibeascoa, I., López, I., Simulación del comportamiento a impacto de un componente de material compuesto para automoción, Análisis de mecánica de la fractura, Vol. 2, 2009.
8. Akin, J, E. Finite element analysis concepts: via SolidWorks, World Scientific, Houston, 2009.
9. Garbrah-aidoo, Y., SolidWorks ultimate training, Estados Unidos, Editorial AuthorHouse, Marzo de 2011.
10. García, D. S., Fibras y materiales de refuerzo: los poliésteres reforzados aplicados a la realización de piezas en 3d, Revista iberoamericana de polímeros, Vol. 12, Página 5, Octubre de 2011.
11. De la Torre, B., Vázquez, B., Fernández, M., “Experimental study of acrylic bone cements of reduced toxicity for orthopaedic surgery”, Mapfre Medicina, Col 3, N°3, Pg 155-163, 2002.
12. Liso, P.A., Vázquez, B., Rebuelta, M., Hernáez, M.L., Rotger, R., Román, J., Analysis of the leaching and toxicity of new amine activators for the curing of acrylic bone cements and composites, Biomaterials, Pg18-15, 1997.
13. Navarro, A., Caja, V.L., “Clavos de fijación externa recubiertos de HA.” Tesis de doctorado, Mayo 2001.