

Research Article

# Energy Absorption of an Abaca-Polyester Composite Material in Simulated Impact Tests

## Absorción de Energía de un Material Compuesto Abacá-Poliéster en Pruebas Simuladas de Impacto

Graciela Guijarro<sup>1</sup>, Santiago López<sup>2\*</sup>, Edison Abarca<sup>2</sup>, Jorge Caicedo<sup>2</sup>, and Edison Castillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Investigadores Independientes, Riobamba, Ecuador

<sup>2</sup>Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

### ORCID

Santiago López: <https://orcid.org/0000-0002-6314-6299>

IV INTERNATIONAL  
CONGRESS OF  
ENGINEERING FACULTY OF  
MECHANICS (IV COINTI  
2021)

Corresponding Author:  
Santiago López; email:  
sa\_lopez@epoch.edu.ec

Published: 31 August 2022

Production and Hosting by  
Knowledge E

© Guijarro et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

### Abstract

The present investigation analyzes the energy absorption properties of a polyester matrix composite material with abaca fiber reinforcement in search of an alternative material that can replace or reinforce certain elements of the frontal structure of a bus and reduce the risk of driver's physical injury during a frontal collision. Mechanical tests were carried out with a 70% polyester and 30% abaca composite material, by volume, using a 5×50×3 mm square tubular shape with two reinforcement configurations – continuous longitudinal and discontinuous fiber of 10 mm at random. The mechanical properties required to simulate a frontal crash were obtained, substituting critical parts of the impact structure in an interprovincial bus. The composite material with longitudinal continuous fiber was analyzed, which showed improvements in the energy absorption capacity of the frontal structure of a bus.

**Keywords:** *Abacá-polyester, composite material, driver safety, frontal impact simulation.*

### Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo analizar las propiedades de absorción de energía de un material compuesto matriz poliéster con refuerzo de fibras de abacá en busca de una alternativa que permita sustituir o reforzar ciertos elementos de la estructura frontal de un autobús, para disminuir el riesgo de daños físicos en el conductor durante un choque frontal. Se realizaron ensayos mecánicos con un material compuesto 70% poliéster y 30% abacá, en volumen; con forma tubular cuadrada 50x50x3mm con dos configuraciones de refuerzo: fibra continua longitudinal y discontinua a azar de 10mm. Se obtuvieron las propiedades mecánicas requeridas para simular un choque frontal, sustituyendo partes críticas de la estructura de impacto en un autobús tipo interprovincial. El material con fibra continua longitudinal analizado, mostró mejoras en la capacidad de absorción de energía de la estructura frontal de un autobús.

**Palabras Clave:** *abacá-poliéster, material compuesto, seguridad del conductor, simulación de impacto.*

 OPEN ACCESS



## 1. Introducción

El término “material compuesto” nace al combinar materiales monofásicos, de distinta naturaleza, para formar uno solo con características diferentes en función de sus componentes. Entonces, un material compuesto es un material multifásico que adopta las propiedades de sus fases constituyentes, presentando mejoras en sus características y/o propiedades [1]. Los materiales compuestos a base de poliéster reforzados con fibra de abacá, muestran buenas propiedades de absorción de energía, y ventajas significativas en densidad y costo, además de ser una alternativa sostenible que en la actualidad es de vital importancia. A nivel nacional se han creado instituciones dedicadas a la investigación con base en las fibras naturales que se producen en nuestro país, ya que se tiene una gran variedad, y las condiciones climáticas del Ecuador lo hacen atractivo para la inversión extranjera en la producción de fibras naturales de excelentes propiedades y múltiples aplicaciones. El Centro Nacional de Información, Investigación y Desarrollo de Fibras Naturales de Ecuador es un agregado de la Universidad Católica en la sede Ibarra entra en funcionamiento desde el año 2000, allí se realizan múltiples investigaciones en ubicación, mejoramiento, usos, aplicaciones y comercialización de fibras vegetales [2]. Este tipo de materiales tienen aplicabilidad en el campo automotriz, como en defensas de vehículos de Ford en 1930. Y desde ahí su demanda ha ido en crecimiento [3]. Empresas automotrices como Volkswagen, BMW, Ford, Mercedes-Benz, entre otras, incorporan partes de sus autos elaboradas a base de fibras naturales. Por ejemplo, Audi sacó en el 2000 el modelo A2 con cuerpo de aluminio, donde los paneles de las puertas fueron hechos de poliuretano reforzado con lino y sisal. Mercedes-Benz también ha incorporado fibras naturales de coco y yute a sus vehículos [4].

Otra característica de interés en los materiales compuestos reforzados con fibras vegetales es su capacidad de absorción de energía, Aritz Esnaola Arruti, en su Tesis desarrollada para la obtención del título de Doctor denominada “Desarrollo de estructuras de impacto en materiales compuestos para vehículos ligeros”, realiza un amplio estudio de los materiales compuestos donde concluye que los mismos son aptos para fabricar elementos para las estructuras de impacto en automóviles [5]. Una ventaja notable, que se aplica a las necesidades actuales en sostenibilidad ambiental, es que las fibras naturales se biodegradan fácilmente; en este contexto se realizan estudios como el de Montufar y Remache “Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz”, donde se analizan los parámetros en la conformación de materiales compuestos como tipo y tamaño de la fibra, exponiendo las mejoras que se pueden obtener en las características mecánicas de



estos materiales aplicados a la industria del automóvil [6]. También, desde el punto de vista medioambiental se conoce que la reducción del peso de un automóvil se traduce en un menor consumo de combustible, en este sentido, Espinoza e Hidalgo en su investigación “Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo fórmula SAE” concluyen que la orientación de las fibras en el mismo sentido de la aplicación de las cargas aumenta su resistencia, y que es posible su aplicación en vehículos tipo formula SAE con el uso de la fibra de caña guadua junto con fibra de vidrio, tomando en consideración la disminución del peso del vehículo y en impacto ambiental [7].

Dentro de las fibras naturales usadas como refuerzo en materiales compuestos resalta el abacá o también llamado “cáñamo de Manila”, la cual es valorada por su gran resistencia mecánica, y espesor y largo de sus fibras que pueden alcanzar los 3 metros; lo que la hace viable para su uso en la fabricación de partes de automóvil, permitiendo una producción más respetuosa con el medio ambiente [8]. La fibra de abacá, incluso es nombrada como “la más resistente y durable del mundo”, lo que hace que el estudio de su uso en diversas aplicaciones sea ampliamente recomendado [9]. En algunos estudios realizados en la Escuela Politécnica Nacional donde participa el Dr. Víctor Guerrero, se concluye que el uso de fibras naturales como refuerzo en las matrices poliméricas, mejora las propiedades mecánicas del material compuesto [10]. Además, de mostrar que el uso de una fracción volumétrica de 30% de fibra de abacá en una matriz poliéster, dispuesta en forma longitudinal muestra propiedades superiores en esfuerzo a la flexión y a la tracción; en comparación con la misa resina y con fracciones volumétricas de 20%, 25% y 35% [11]. El objetivo de esta investigación es analizar las propiedades de absorción de energía de un material compuesto de abacá – poliéster, mediante pruebas simuladas de un impacto frontal en un autobús y su incidencia en la seguridad del conductor.

## 2. Materiales y Métodos

Para la matriz se utilizó resina poliéster [12] de la serie Polylite 33200 importada por Quivensa-Ambato, debido a su aplicabilidad en la fabricación de partes automotrices, su curado a temperatura ambiente, su disponibilidad en el mercado y su costo relativamente bajo; esta resina poliéster es no saturada, tixotrópica, de reactividad y viscosidad media, pre acelerada [13]. El refuerzo que se utilizó fue fibra de abacá de variedad Tangongón rojo [14] que se produce en Santo Domingo de los Tsáchilas en la Hacienda Abacá Ecuador, esta variedad cuenta con 5 grados de calidad que dependen de su grosor siendo 1 el más delgado y 5 el más grueso, para este estudio se usó grado



3 ya que muestra mayor uniformidad en el diámetro. La densidad del poliéster sólido como de la fibra se determinaron mediante un proceso gravimétrico [15], obteniendo un valor de 1.25 g/cm<sup>3</sup> para la resina solidificada y 0.68 g/cm<sup>3</sup> para la fibra.

## 2.1. Tratamiento de la fibra

El tratamiento de la fibra de abacá, previo a la elaboración de las probetas consistió en:

1. Descabezado y despuntado de los tramos de fibra
2. Selección de las fibras de mayor uniformidad en su diámetro y largo.
3. Mercerización: Lavado de la fibra en una solución de 30 gramos de detergente en 3 litros de agua, alcalina al 5% de carbonato de calcio durante 5 minutos por cada 500 gramos de fibra. En este paso es importante no doblar ni exprimir la fibra.
4. Enjuague con agua potable y posteriormente con agua destilada.
5. Colgado de la fibra por 24 horas a temperatura ambiente (8 – 19 °C) para secado natural.
6. Ingreso en la cámara de secado durante 2 horas a una temperatura de 80°C.
7. Enfundado hermético de la fibra para su posterior utilización.

## 2.2. Elaboración de moldes

Para determinar las zonas críticas en la estructura de un autobús durante un choque frontal, con base en la Norma UNECE R29 [16] se realizó una primera simulación en el modelo CAD proporcionado por el Grupo de Diseño y Producción (GDP) de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Donde se identificó los elementos que absorben más energía y están sometidos a mayores esfuerzos, los moldes se elaboraron de acuerdo a la forma y dimensiones de dichos elementos. El material usado fue madera tipo Chunchu, con el que se obtuvo mejores resultados respecto al Nylon. Con el uso de cera desmoldante de la marca Auto Care, no se presentó adhesión a la resina poliéster. El diseño se realizó en un programa CAD en función de las medidas de un perfil metálico cuadrado 50x50x3mm. El molde diseñado, consistió en dos partes: exterior e interior. La parte exterior tiene la forma tubular cuadrada con una abertura superior para el colado de la resina. Se elaboró de modo que sea completamente desarmable, para evitar la aplicación de esfuerzos en las probetas durante el desmolde.



### 2.3. Manufactura de las probetas

Para el proceso de conformado de las probetas se midió previamente la masa de la fibra de abacá en sus dos configuraciones: continua longitudinal y corta de 10mm de largo. Además, se alistaron todos los elementos para la probeta, ya que una vez preparada la resina esta gelificará entre 15 y 20 minutos. En el caso de las probetas para los ensayos de tracción, fueron fundidas con los tarugos. Se empezó por la limpieza del molde y su encerado. Luego se preparó una solución de 100 gramos de resina más 1.5 gramos de catalizador (PMEK) y se colocó una capa en todo el molde con la ayuda de una brocha, con el fin de disminuir la formación de poros en la superficie de la probeta y aislar la fibra de las paredes exteriores. A continuación, se colocaron piezas acrílicas de 3mm de espesor cortadas a laser, en los cuatro lados de los extremos de las probetas, para asegurar un espesor uniforme. Las medidas de los acrílicos fueron de 50x20x3 mm en la parte inferior y superior, y en los laterales 44x20x3mm. Se distribuye la fibra en el molde, en el caso de la fibra continua se lo hace con la ayuda del tope del molde, para tensarla y asegurar que tengan la dirección longitudinal. Para preparar la resina, se vertió 600 gramos de resina poliéster en un recipiente cuidadosamente más 9 gramos de PMEK (Peróxido de metil etil cetona) y se revolvió con un agitador (varilla) lentamente durante 5 minutos, evitando la formación de burbujas. Prontamente, se distribuyó la resina en el molde, con cuidado y de forma constante. Para darle la forma de tubo hueco, se colocó en el centro de la probeta espuma de poliestireno de alta densidad cortada a laser, recubierta de 2 capas de cinta adhesiva. Se colocó la fibra en la parte superior y finalmente se cubrió con la tapa a presión mediante tornillos.

El desmolde se realizó después de 24 horas retirando la tapa y los topes en los extremos. Se tuvo cuidado de no aplicar fuerza sobre la probeta durante el desmolde, para evitar dañarla. En el caso de las probetas para el ensayo de flexión se lijó la superficie para retirar residuos. Para las probetas del ensayo de tracción se pegó en los extremos lija gruesa con cemento de contacto, la cual se deja secar por al menos 48 horas.

#### Ensayos

Los ensayos de tracción y flexión, se realizaron en base a las normas ASTM D3039/D3039M-08 [17] y D7264/D7264M-07 [18], respectivamente. Los cuales se llevaron a cabo en el Laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Máquina Universal Tinius Olsen. Tanto para el ensayo de tracción como de flexión las probetas fueron de 80 cm de largo. Los ensayos se realizaron con 4 probetas en tracción y 3 en flexión, para fibra larga longitudinal y fibra corta de 10 cm; con un total de 14 probetas.



**Figure 1**

*Manufactura de las probetas.*

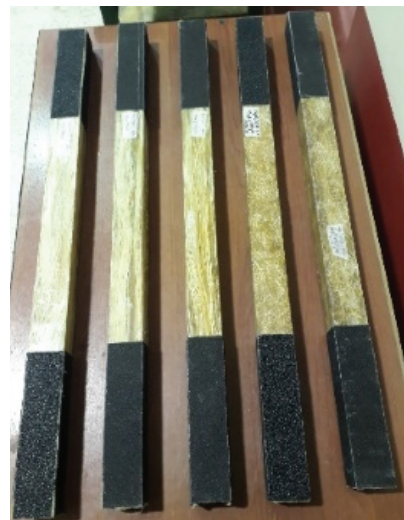


**Figure 2**

*Desmoldado de la probeta.*

El ensayo de tracción consistió en la aplicación de una carga a velocidad constante en los extremos de la probeta hasta que se dio la ruptura. Con los datos de la fuerza aplicada, el área transversal medida, la longitud inicial y final; se determina el esfuerzo máximo a la tracción, el porcentaje de deformación y el módulo de elasticidad. En el ensayo de flexión se midió la fuerza aplicada, la inclinación de la probeta y la flecha o deformación vertical; para obtener el esfuerzo máximo a la flexión, el módulo de flexión y el radio de curvatura. Con estos datos se construyen las curvas Tensión vs. Deformación y Momento flector vs. Curvatura, los cuales se ingresaron al Software LS DYNA para definir el material en la simulación.





(a) Tracción



(b) Flexión

**Figure 3**

*Probetas para ensayos destructivos.*



(a) Tracción



(b) Flexión

**Figure 4**

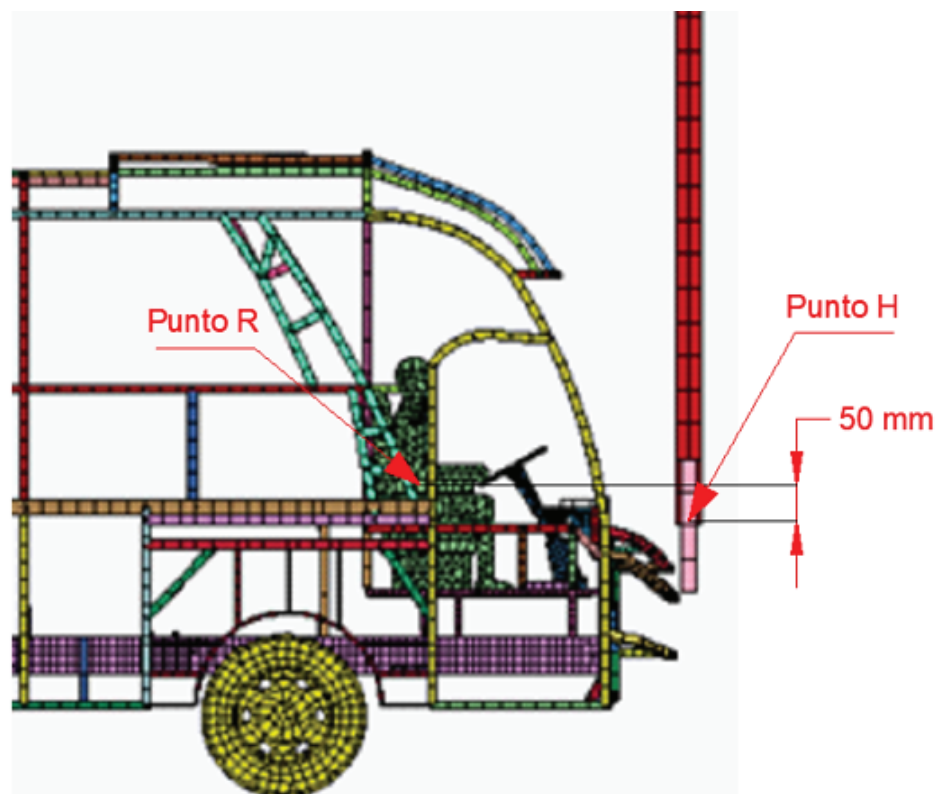
*Montaje de probetas en Máquina Tinius Olsen.*

## 2.4. Normativa UNECE R29

Con el objetivo de investigar el comportamiento de la estructura del autobús, en base al reglamento UNECE R 29, se utilizó un modelo tridimensional compuesto de tres partes principales: la estructura del autobús, el maniquí de prueba y el péndulo de impacto.

Este reglamento se aplica a vehículos con cabina separada, y toma en cuenta la protección de los ocupantes de la cabina mediante un espacio de supervivencia alrededor del conductor, lo cual se evalúa con la medición de las distancias entre los elementos más próximos al mismo. Las condiciones del montaje del péndulo de impacto respecto a la estructura del autobús son:

1. Ubicar el péndulo de manera que la distancia entre su centro de gravedad (H) y el centro de gravedad del maniquí (R) sea de  $50 \pm 5$  mm.
2. El péndulo se ubica en forma vertical y su cara de impacto estará en contacto con la parte más saliente del autobús. En la Figura 5 se muestra el esquema de montaje:



**Figure 5**

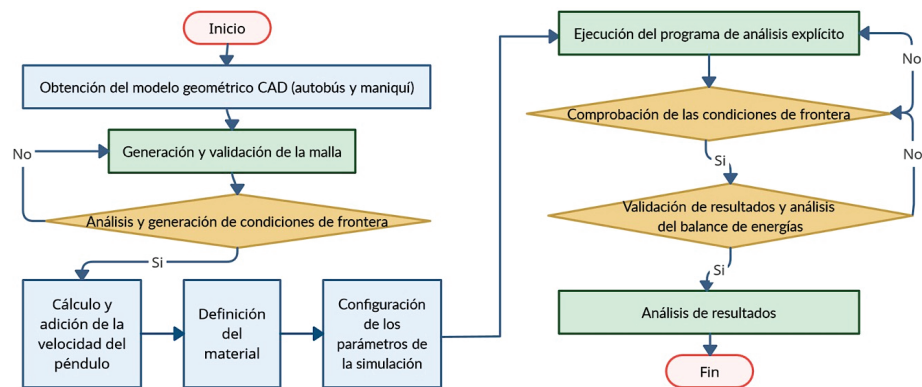
*Esquema de montaje para simulación de impacto (UNECE R29).*

## 2.5. Simulación numérica

La simulación numérica se realiza en el programa LS DYNA. Para lo cual se establece un diagrama de proceso aplicado a la obtención del modelo computacional [19].

Se conoce que el modelo para viajes de largas distancias es el más propenso a sufrir accidentes con mayor afectación al conductor, resultando en graves lesiones o incluso la muerte. Por esta razón, se asumió como base para la generación del modelo computacional las propiedades y características de un bus interprovincial. Se realizó la preparación y corrección del modelo mediante el software LS DYNA para la





**Figure 6**

*Proceso para la obtención del modelo computacional.*

generación de la geometría, el cual está formado por elementos tipo BEAM (sólidos) y tipo SHELL (cascarón), siendo el tipo SHELL el que predomina. Los elementos tipo BEAM consisten en vigas tubulares de sección rectangular hueca, al usar este tipo de elementos se logró reducir la complejidad del cálculo y en consecuencia el tiempo y los recursos necesarios para su ejecución. Mientras que los elementos tipo SHELL se aplicaron a partes de la estructura donde la geometría es más compleja o se requiere de resultados más precisos, en este caso principalmente son: las ruedas, el chasis, el sistema de dirección, placas de sujeción, el asiento y el maniquí [20] [21].

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Caracterización del material

Mediante los ensayos de tracción y flexión, se obtuvo las propiedades del material compuesto. En la Tabla 1 se muestran los promedios de las propiedades obtenidas en los distintos ensayos. Para referencias durante el análisis se denominó de la siguiente manera a las probetas del material compuesto:

- P7030DA: Material compuesto: 70% poliéster – 30% abacá Configuración del refuerzo: Discontinua al Azar Tamaño: 10mm
- P7030CL: Material compuesto: 70% poliéster – 30% abacá Configuración del refuerzo: Continua Longitudinal Tamaño: longitud de la probeta

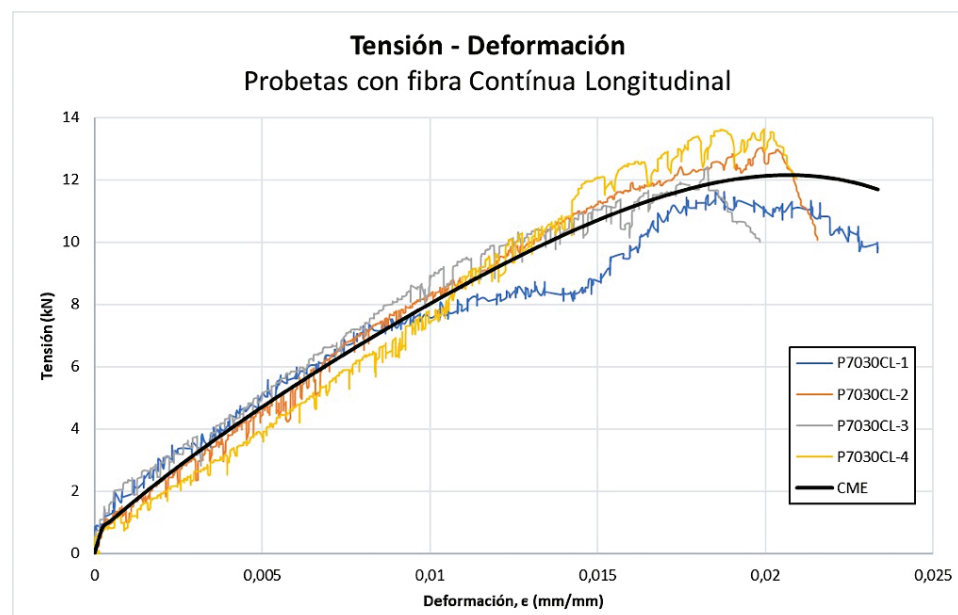
Así también, se elaboraron las curvas necesarias para definir el comportamiento del material en la simulación. A continuación, se muestran las correspondientes al material compuesto con fibra continua longitudinal.

**Table 1**

Proceso para la obtención del modelo computacional.

Resultados del ensayo de tracción				
Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Porcentaje de elongación (%)
P7030DA	6356,26	9,71	505,88	1,92
P7030CL	12671,52	17,63	625,61	2,85
Resultados del ensayo de flexión				
Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)
P7030DA	1144,12	20,64	2275,33	15,70
P7030CL	1485,06	26,25	1925,39	23,08

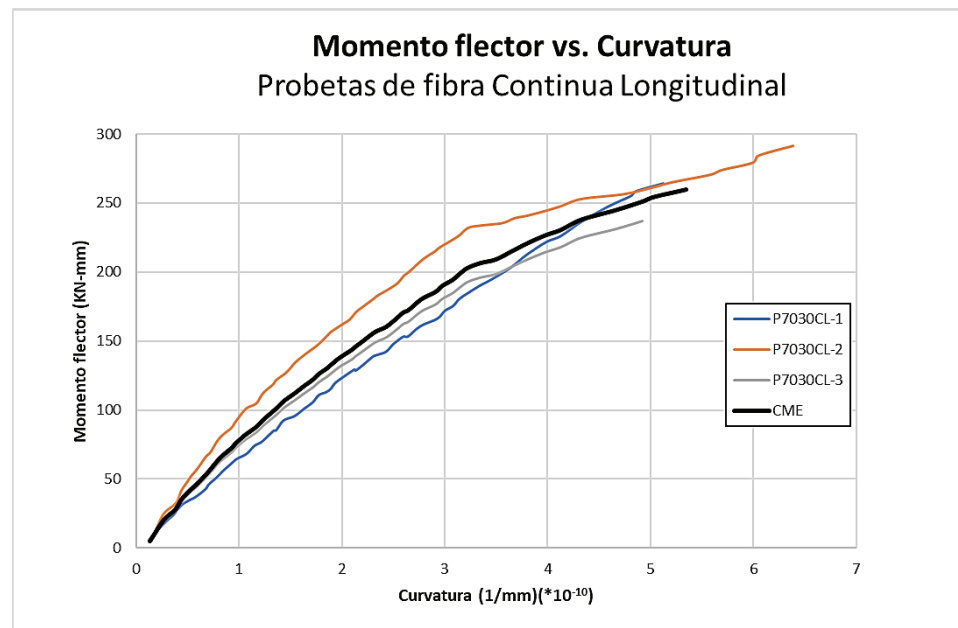
Elaborado por: Autores.

**Figure 7**

Curva Tensión – Deformación del material compuesto con fibra continua longitudinal.

### 3.2. Simulación numérica de la prueba de impacto norma UNECE R29

La simulación de impacto se realizó en base a la norma UNECE R29, con énfasis en el espacio de supervivencia del conductor. Se tomó un modelo de autobús interprovincial por el motivo de que estadísticamente están más expuestos a este tipo de colisiones. El modelo CAD fue proporcionado por el Grupo de Diseño y Producción (GDP) de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se realizó

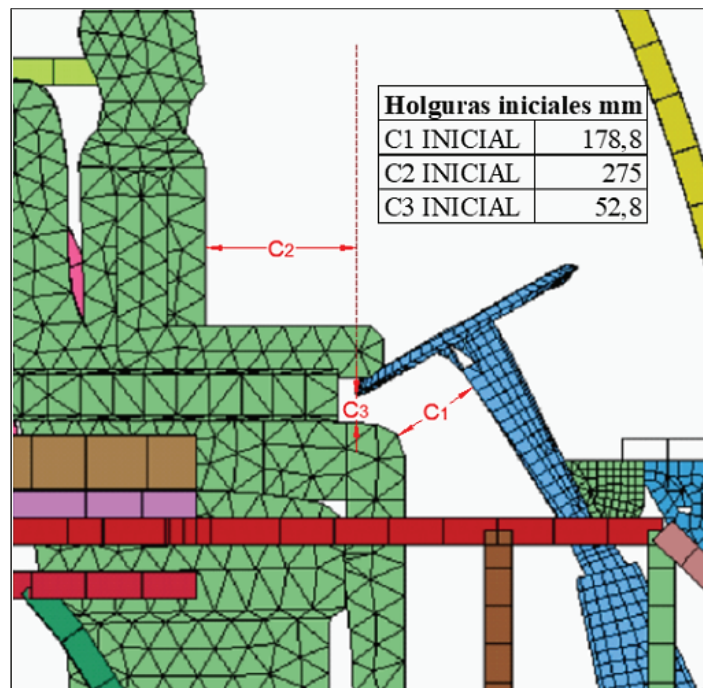
**Figure 8**

*Curva Momento flector – Curvatura del material compuesto con fibra continua longitudinal.*

una simulación usando el material con el cual se construyen los autobuses, que es el acero ASTM A500 Grado B. Luego de identificar los elementos que están expuestos a mayor deformación y esfuerzo, se hicieron simulaciones con el material compuesto abacá poliéster en sus dos configuraciones. La evaluación de la influencia del material compuesto en la seguridad del conductor del autobús se mide en función del grado de invasión de los elementos de la estructura en el espacio de supervivencia. Para lo cual se analizaron los valores de C1, C2 y C3, que fueron medidos inicialmente entre el volante y el maniquí.

Se realizó el proceso de simulación con tres modelos, el primero con el material común, el segundo con el material compuesto con fibra discontinua al azar y el último con el material compuesto con fibra continua longitudinal. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Con el material compuesto de fibra continua longitudinal se obtuvo los mayores porcentajes de reducción en la intrusión de los elementos de la estructura en la zona de supervivencia, con -31,5% en C1, -11,8% en C2 y -49,8% en C3. Siendo el más notable el valor C3, que es el punto más cercano al cuerpo del conductor, que se reduce casi a la mitad; lo cual no elimina totalmente el riesgo, pero lo disminuye en forma significativa. A continuación, se muestra la zona de los elementos analizados en la estructura, durante la simulación de impacto con el acero y el material compuesto:



**Figure 9**

Montaje de maní para simulación.

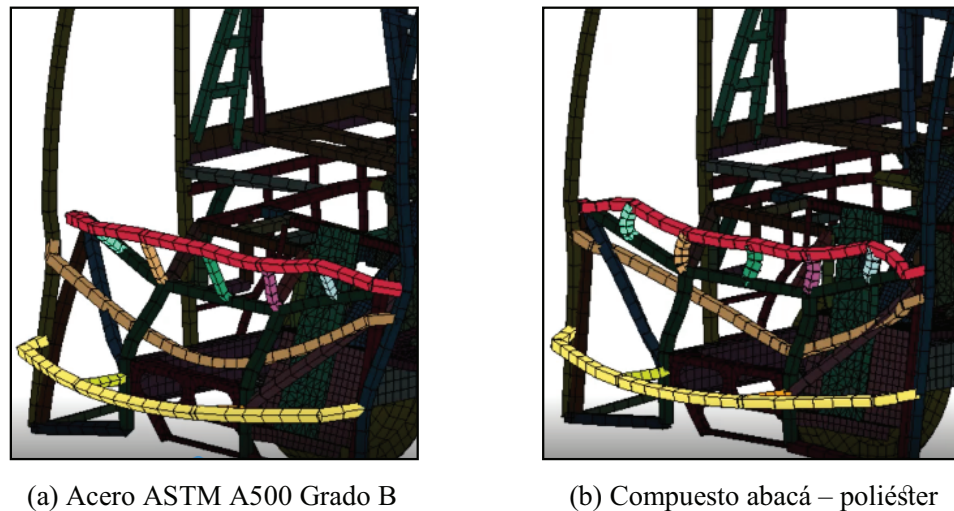
**Table 2**

Resultados de desplazamientos en la zona de supervivencia del conductor.

Materiales	Holguras finales entre el sistema de dirección y el conductor			Porcentaje de reducción en relación al Tubo estructural galvanizado ASTM A500 Grado B		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Tubo estructural galvanizado ASTM A500 grado B	-51,26	38,6	-135	—	—	—
Material compuesto fibra discontinua al azar	-40,22	39,1	-78,5	-21,5%	-0,2%	-41,9%
Material compuesto fibra continua longitudinal	-35,09	66,4	-67,8	-31,5%	-11,8%	-49,8%

Elaborado por: Autores.

La ventaja de utilizar el material compuesto en la simulación también se evidenció en forma visual, al observar el comportamiento en la deformación de los elementos respecto a la rigidez que muestra el acero en el primer modelo. Al desfigurarse los elementos que se modificaron al material compuesto, absorbió parte de la energía



**Figure 10**

*Elementos de la zona frontal del autobús durante la simulación de impacto.*

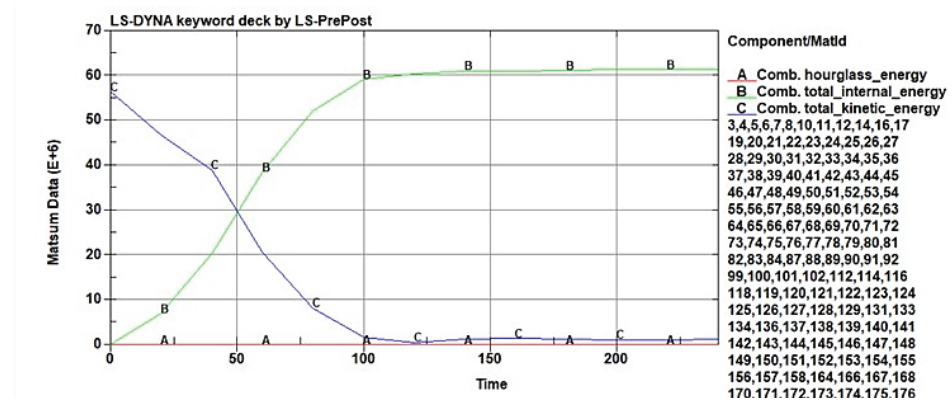
del impacto, evitando así que esta se transfiera al resto de la estructura y afecte la seguridad del conductor.

### 3.3. Validación de los resultados

Mediante un análisis de energías, se determinó si las condiciones de la simulación arrojaron resultados válidos. Para ello se tomó en cuenta el principio de conservación de la energía, partiendo del hecho de que la energía cinética del péndulo al impactarse con el autobús se transforma en la energía absorbida durante el impacto por los elementos de la estructura del autobús. Según la norma el valor de la energía Hourglass y la energía de fricción no deben superar el 10%, si este valor se supera generalmente se debe a cargas concentradas o interferencias entre las superficies. Como se puede observar en la Figura 11, la simulación cumple con el rango recomendado, por lo que se aprobó los datos obtenidos.

## 4. Conclusiones

Mediante la revisión del estado del arte se determinó que el material con mejores características de absorción de energía es un material compuesto conformado por 70% de matriz resina poliéster y 30% de refuerzo de fibra de abacá. Para la configuración de la fibra se tomó en cuenta dos tipos: continua al eje longitudinal y corta discontinua al azar de 10cm de largo.



**Figure 11**

*Gráfica de energías durante la simulación de impacto frontal.*

Luego de las pruebas de laboratorio de tracción y flexión se determinó que el material compuesto con fibra continua longitudinal presenta mejores propiedades mecánicas, respecto al material compuesto con fibra discontinua al azar de 10 mm. Mostrando un 81,57% más en esfuerzo máximo de tracción, un 23,67% más en módulo de elasticidad, un 48,44% más de porcentaje de elongación, un 27,18% más en esfuerzo a la ruptura y un 47% más de deflexión; únicamente el módulo de flexión muestra un 15,38% menos.

El modelo utilizado de carrocería de autobús para realizar el ensayo de impacto frontal, siguiendo las recomendaciones de la norma ECE R29, fue el de un modelo interprovincial ya que los modelos son actualizados y tienen mayor producción, lo cual es una ventaja por la información disponible. Mediante la simulación se pudo comprobar que existe una disminución en las medidas de invasión del volante en el espacio de supervivencia del conductor, teniéndose los mejores resultados con el material compuesto de fibra larga en dirección longitudinal de matriz 70% poliéster y refuerzo de 30% de fibra de abacá. El cuál se deforma durante el impacto, mermando así la transferencia de la energía de impacto hacia el resto de la estructura del autobús.

## Agradecimientos

El presente trabajo se desarrolló gracias al apoyo del Instituto de Investigaciones de la ESPOCH y en especial al grupo GDP de la Facultad de Mecánica, por lo que agradecemos su apoyo institucional y hacemos público nuestro más sincero agradecimiento.

## References

- [1] Avner SH. Introducción a la metalurgia física. México: McGraw-Hill; 1988.





- [2] Inter Press Service. Ecuador: Creativo potencial económico de las fibras vegetales [Internet]. IPS; 2000. Available from: <http://www.ipsnoticias.net/2000/04/ecuador-creativo-potencial-economico-de-las-fibras-vegetales/>
- [3] Majewski T, Błędzki A. Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz. México: Universidad Autónoma del Estado de México; 2013.
- [4] Guerrero V, Dávila J, Galeas S, Pontón P, Rosas N, Valdivieso C, Sotomayor V. Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales. Quito: Imprefep; 2011.
- [5] Esnaola A. Desarrollo de estructuras de impacto en materiales compuestos para vehículos ligeros. Mondragón: Universidad Mondragón; 2016.
- [6] Montufar A, Remache A. Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz. Revista científica Dominio de las Ciencias. 2021;7(3): 436–465.
- [7] Espinoza G, Hidalgo J. Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo fórmula SAE. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana; 2016.
- [8] FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [Internet]. FAO; 2019. Available from: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- [9] Cooperación alemana. Programa biodiversidad & negocios. América Central y República Dominicana. Iniciativa de Abacá Sostenible: Produciendo fibra sostenible desde el sureste asiático hasta Centroamérica [Internet]. Cooperación alemana; 2017. Available: <https://www.bpmesoamerica.org/wp-content/uploads/2020/01/Glatfelter.pdf> [Último acceso: 10 noviembre 2021].
- [10] Guerrero V, Pontón P, Tamayo A, Villacís H, Delgado F, Galeas YS. Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. 2013.
- [11] Pontón P, Guerrero V. Obtención de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de abacá mediante estratificación manual. Revista Tecnológica ESPOL – RTE. 2010;23(3):47–54.
- [12] Díaz A. Introducción a la resina poliéster como material compuesto. Medellín: Suin S.A.; 2008.
- [13] QUIVENSA. Serie Polylite® 33200 [Internet]. QUIVENSA; n.d. Available from: <https://quivensa.com/producto/serie-polylite-33200-partes-automotrices-embarcaciones-uso-general-base-dcpd/>
- [14] Cerón A. Estudio de factibilidad para implementar una empresa de exportación de fibra de abacá. Quito: Escuela Politécnica Nacional; 2006.



- [15] Espín C. Obtención de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja para evaluar el comportamiento mecánico. Ambato: Universidad Técnica de Ambato; 2017.
- [16] Cercador d'Informació i Documentació Oficials (CIDO). Reglamento no 29 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) - Prescripciones uniformes sobre la homologación de vehículos en lo relativo a la protección de los ocupantes de la cabina de un vehículo comercial. Cercador d'Informació i Documentació Oficials (CIDO); 2011.
- [17] ASTM I. Designation: D 3039/D 3039M-00. Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. United States; 2002.
- [18] ASTM I. Designation: D 7264/D 7264M – 07. Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials. United States; 2002.
- [19] López S. Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finitos. Ambato: Universidad Técnica de Ambato; 2016.
- [20] ANSYS. Selector de materiales para LS-DYNA [Internet]. 2019. Available: <http://www.lstc.com/dynamat/>
- [21] Delgado B. Análisis mediante el MEF de la protección de los conductores en autobuses. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2016.