

Artículo

Caracterización mecánica del composite de resina epóxica reforzada con fibra de agave unidireccional

Daniel Napoleón Gómez Balbuena ^{1*}, Rebeca Guadalupe Ortiz Mena ² Daniel Trejo Zamudio ³

^{1,3} Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huichapan; Ingeniería Industrial

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huichapan; Ingeniería Innovación Agrícola Sustentable.

* Correspondencia: dngomez@iteshu.edu.mx

Resumen: Los polímeros ofrecen numerosas ventajas respecto a los materiales convencionales tales como ligereza y resistencia a la corrosión, entre otros; y que, combinados con fibras naturales, utilizadas como refuerzo permiten mejorar sus propiedades mecánicas obteniendo así materiales compuestos con una amplia variedad de aplicaciones. Entre las diversas fibras naturales es muy atractiva la fibra de agave, abundante en todo el país, lo que la convierte en una fuente de fibra natural potencial que puede ser utilizada como refuerzo de materiales compuestos. En el presente artículo, se expone la caracterización del biocompuesto de resina epóxica reforzada con fibra de agave Lechuguilla con orientación unidireccional, mediante pruebas de tensión y flexión para la evaluación de su comportamiento y viabilidad de ser empleado como material sustituto o complementario de la fibra de vidrio con resina epóxica.

Keywords: *Fibras naturales; biocompuestos; Agave.*

Citar este trabajo: Gómez Balbuena, Daniel Napoleón; Ortiz Mena, Rebeca Guadalupe; Trejo Zamudio, Daniel. *Caracterización mecánica del composite de resina epóxica reforzada con fibra de agave unidireccional*. RELITEC'S 2024, 7ma, edición.

ISSN 2395-972X

<https://relitecs.iteshu.edu.mx>

Recibido: 18-10-2024

Aceptado: 12-11-2024

Publicado: 30-11-2024

1. Introducción

Los polímeros ofrecen numerosas ventajas respecto a los materiales convencionales tales como ligereza, resistencia a la corrosión, flexibilidad en los procesos de producción, entre otros, se combinan normalmente con fibras, utilizadas como refuerzo, cuando se requiere mejorar sus propiedades obteniendo así materiales compuestos; los materiales compuestos son sistemas de materiales multifuncionales que proporcionan características que no se pueden obtener de ningún material puro [1]. Los compuestos han demostrado mejorar las características mecánicas de los productos en los cuales son empleados, estos materiales tienen una amplia variedad de aplicaciones que va desde elementos estructurales en construcción hasta las aplicaciones más avanzadas tecnológicamente en la industria aeroespacial, pasando por la industria automotriz y la energía eólica. Generalmente se utilizan las fibras sintéticas de vidrio y carbono como refuerzo de estos compuestos por sus propiedades mecánicas favorables, sin embargo, una desventaja del uso de estas fibras es la contaminación derivada de su producción, por lo que se han investigado alternativas de sustitución de las mismas por materiales con menor impacto ambiental. El reto actual es lograr que los materiales compuestos también sean amigables con el medio ambiente, para ello se ha optado por el uso de las fibras naturales como refuerzo por su alta disponibilidad, renovabilidad, baja densidad y precio, que además han demostrado tener propiedades mecánicas satisfactorias. Entre las diversas fibras naturales es muy atractiva la

fibra de agave, abundante en todo el país, lo que la convierte en una fuente de fibra natural potencial que puede ser utilizada como refuerzo de materiales compuestos. Una investigación desarrollada por Reyes-Argüero et al [2] acerca del aprovechamiento de los agaves en México resalta las propiedades del tipo Lechuguilla, es el taxón del subgénero *Littae* con distribución geográfica más amplia, es una especie que se presenta en 100 000 km², desde Texas y Nuevo México, hasta Querétaro, Hidalgo y Guanajuato, que actualmente el aprovechamiento de la fibra obtenida es fundamental para la economía de recolectores de las zonas áridas y semiáridas de México [2]. En el presente artículo se expone la caracterización del biocompuesto de resina epóxica reforzada con fibra de agave Lechuguilla con orientación unidireccional, mediante pruebas de tensión y flexión para la evaluación de su comportamiento y viabilidad de ser empleado como material sustituto o complementario de la fibra de vidrio con resina epóxica. Para este estudio se fabricaron probetas del compuesto que fueron sometidas a ensayos de tensión y flexión bajo las normas ASTM D3039 y ASTM D790 respectivamente. La caracterización del biocompuesto permitirá conocer su comportamiento y de esta forma evaluar el potencial de su aplicación en el sector industrial.

Las propiedades mecánicas que poseen las fibras naturales han sido aprovechadas desde tiempos inmemorables (6000 a. C.) en diversas aplicaciones, tales como el refuerzo de cerámicas, momias y artesanías. A lo largo de la historia de la humanidad las fibras naturales han desarrollado un papel importante en el ámbito de la construcción, existen datos de la utilización de fibras de hojas y madera que se utilizaban como refuerzo de bloques compuestos con base arcillas para la construcción de viviendas e incluso para soportar cargas moderadas [3]. Las fibras naturales como son el yute, abaca, kenaf, sisal, lino, cáñamo, ramio (*Boehmeria nivea*) y algodón, a lo largo de la historia han sido de utilidad de una u otra manera al hombre, pero con el avance en el desarrollo de los polímeros a partir de la segunda mitad del siglo pasado, estas fueron desplazadas transitoriamente de la esfera industrial; sin embargo con la inminente escasez de petróleo en un futuro cercano y la creciente preocupación ambiental por parte de los países de primer mundo se está reconsiderando la utilización de las agro-fibras como material de refuerzo en materiales compuestos debido a sus excelentes propiedades [4].

Recientemente, ha habido un rápido crecimiento en investigación e innovación en el área de compuesto de fibra natural (NFC, por sus siglas en inglés). El interés está garantizado debido a las ventajas de estos materiales en comparación con otros, como los compuestos de fibra sintética, que incluyen un bajo impacto ambiental y un bajo costo y respaldan su potencial en una amplia gama de aplicaciones [5].

Los compuestos de fibra natural, como la fibra epoxi de cáñamo, la fibra de lino-polipropileno (PP) y la fibra de fibra de caña-PP de China son particularmente atractivos en aplicaciones automotrices debido a su menor costo y menor densidad [6]. Para aplicaciones industriales, por ejemplo, el uso de fibras artificiales como las fibras de vidrio, carbono y kevlar han dominado por sus altas propiedades mecánicas [7].

Mercedes-Benz ha utilizado yute y algodón desde hace 15 años en la parte interior de sus vehículos. En la actualidad se encuentran en el desarrollo de investigaciones para reducir la utilización de fibras sintéticas en sus vehículos [4].

Por otro lado, hace algunos años se han utilizado los residuos de diversas industrias en la elaboración de tableros aglomerados entre ellos el bagazo de caña, hojuelas de kenaf, cáñamo, tallos de yute, sisal, ramio (*Boehmeria nivea*), kenaf, palma africana, nueces y cascarilla de arroz. Estos son aplicados también en tableros retardantes de fuego, MDF, tableros aislantes, entre otros [4].

México cuenta con las capacidades técnicas y humanas necesarias para la fabricación de materiales compuestos, sin embargo, parte de las materias primas como la fibra de vidrio requieren ser importadas de otros países, lo que genera aumento en los costos de manufactura, además de ser un material con alto impacto ambiental derivado del uso de

energía que se requiere para su producción por otra parte, la exposición a la fibra de vidrio se identifica como un factor de riesgo para el personal que trabaja con ella por su poca compatibilidad con la piel, además de ser un material poco amigable con el ambiente, Joshi et al. [8] presentan una comparación de las características de la fibra de vidrio con fibras naturales y demuestra que la producción de fibra de vidrio requiere de 5 a 10 veces más energía no renovable que producción de fibra natural. Como resultado, las emisiones contaminantes de la producción de fibra de vidrio son significativamente más altos que la producción de fibra natural.

Por esta razón se ha llevado a cabo la búsqueda de materiales alternativos que pueden reemplazar los polímeros sintéticos, como la fibra de vidrio, en el sector industrial, una alternativa de reemplazo de los compuestos tradicionales que ha sido investigada es la construcción de materiales compuestos con recursos renovables, llamados biocompuestos o biopolímeros, que están elaborados a partir de fibras naturales y/o matrices biodegradables [9].

El objetivo principal de la investigación fue caracterizar el biocompuesto de resina epóxica reforzado con fibra de Agave unidireccional, mediante pruebas mecánicas basadas en las normas de propiedades de materiales compuestos de la ASTM para tensión (D3039) y flexión (D790), para la verificación de la viabilidad de utilizarlo como sustituto o complementario de la fibra de vidrio en la manufactura de productos del sector industrial.

2. Materiales y Métodos

En este trabajo se utilizó el método de VARTM (moldeo por transferencia de resina asistido por vacío); es un proceso de fabricación de molde cerrado a baja presión que permite obtener piezas de material compuesto en un amplio rango de complejidad y tamaño, así como artículos de alto rendimiento. Es una técnica muy flexible en cuanto a la elección de materiales (resina y refuerzo) y que consiste en inyectar resina líquida en el interior de un compartimento cerrado, compuesto por molde y contramolde en el que el refuerzo de fibra ha sido previamente situado en el interior del compartimento cerrado. En este proceso la presión necesaria para la inyección de la resina en el interior del molde es sensiblemente inferior a la necesaria para el proceso RTM tradicional. Esta menor presión se compensa por el vacío aplicado al interior del molde que ayuda al correcto llenado del mismo [10].

Materiales

Para el desarrollo del proyecto se utilizó lo siguiente:

Herramio (Boehmeria nivea)ntas

- Molde: superficie resistente a la temperatura con la forma deseada del producto final, en este caso se utilizó una superficie plana fabricada con capas de fibra de vidrio y resina epóxica, para obtener una pieza rectangular a partir de la cual se recortaron los cupones o probetas.
- Trampa de resina: recolecta cualquier exceso de resina que haya sido succionada hacia afuera del sistema de bolsa de vacío, para evitar que produzca daños en la bomba.
- Bomba de vacío: debe ser capaz de aplicar la máxima presión de vacío y mantenerla a pesar de las filtraciones de aire que puedan presentarse en el sistema
- Postizos o elementos de alineación: necesarios para ajustar el tamaño de la pieza a fabricar, se utilizaron 4 piezas rectangulares de acrílico con el espesor deseado de la pieza final, longitud determinada por el tamaño deseado de la pieza y ancho indiferente, sobre estos postizos y el refuerzo del composite se coloca una placa rectangular que

asegura el espesor uniforme de la pieza final, pues el espacio entre los postizos debe ser rellenado completamente por la resina.

- Brocha: se utiliza para distribuir la película desmoldante sobre el molde.
- Tijeras: se utilizan para recortar telas y cintas.
- Recipiente para mezcla de resina: se utilizó recipiente de plástico con capacidad de 1 litro.
- Báscula: para pesar la resina y el catalizador en las proporciones que se requieran.
- Cepillo con cerdas rígidas de plástico: para cepillar y limpiar las fibras naturales retirando residuos de la penca del agave.
- Termómetro infrarrojo: para monitoreo de temperatura del compuesto durante el proceso de curado de resina epóxica.
- Gafas de seguridad: al desmoldar la pieza final por el desprendimiento de la resina sólida.
- Equipo marca Zwick/Roell modelo Z005 con celda de carga de 5000 N.

Consumibles

- Película desmoldante: evita el contacto entre la resina y el molde facilitando el desprendimiento de la pieza final.
- Cinta de sellado para bolsa de vacío (tacky tape): asegura la adherencia de la bolsa de vacío con el molde, resiste altas temperaturas.
- Tela desmoldante: ayuda a retirar los consumibles con mayor facilidad, debe cubrir las fibras completamente.
- Manguera omega: distribuye la resina en el sistema, tiene una salida hacia el sistema de infusión de resina, en este caso es un recipiente que contiene la mezcla de resina con catalizador.
- Manguera de membrana de vacío: succiona el aire y la resina, tiene una salida hacia la trampa de resina.
- Manguera rígida: permite la conexión entre las mangueras omega y de membrana hacia la salida de cada una.
- Malla de flujo para infusión de resina: aumenta la velocidad de infusión mejorando el flujo de resina e impregnación.
- Bolsa de vacío: es la encargada de ejercer presión sobre la parte a fabricar, debe tener la capacidad de deformarse para adaptarse a la geometría del molde
- Flashbreaker: es una cinta que se utiliza para mantener fijos los materiales y tiene como característica la capacidad de soportar altas temperaturas sin desintegrarse.
- Conexiones en L y T: se utilizan para hacer conexiones entre mangueras cuando se requiera.
- Guantes de látex: para evitar el contacto de la piel con la resina y el catalizador.

Materia prima

- Fibras naturales: como refuerzo del compuesto.
- Agua: para limpieza de las fibras naturales antes de su uso.
- Resina epóxica: matriz del composite, especificación KFR-120 marca Hexion, debe mezclarse con el endurecedor en proporción 100:25 (ejemplo: para una mezcla de 10kg se requieren 7.5kg de resina y 2.5kg de catalizador).

Método

Los métodos a utilizar para la experimentación fueron los siguientes:

1. Preparación de fibras naturales

Se limpiaron las fibras con agua potable para retirar los restos de la planta que pudieran quedar impregnados en la fibra al momento de su extracción, para la fabricación del biocompuesto se utilizaron las fibras una vez que estuvieran libres de humedad, con

el fin de lograr una buena adherencia con la matriz de resina epóxica, y se orientaron en forma unidireccional.

La fibra del agave Lechuguilla tiene variaciones en el diámetro siendo mayor en la raíz y disminuyendo gradualmente hasta la punta, por lo que se fue alternando la posición al acomodarlas, una fibra de la raíz hacia la punta y una fibra de la punta hacia la raíz, para reducir variaciones en el espesor del compuesto final derivado del acomodo de las fibras. La siguiente figura muestra el proceso de preparación de las fibras donde son limpiadas y arregladas en orientación unidireccional, las variaciones entre diámetros y la distribución no controlada se asocia con la variabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos. Después de ser limpiadas con agua conservan un color amarillo claro y se percibe un ligero olor de la planta.



Figura 1 Limpieza y arreglo de fibras de agave

2. Moldeo de material compuesto por infusión

Se fabricó una placa del biocompuesto mediante la técnica de moldeo por infusión, asistida por vacío [11], con fibra de Agave Lechuguilla como material de refuerzo y resina epóxica especificación KFR-120 marca Hexion como matriz, de la cual se obtuvieron los cupones a ensayar.

En la figura 2 se observa un diagrama esquemático del proceso. Para mantener un espesor uniforme en la pieza final se utilizaron postizos que permitieron rellenar con resina el espacio entre ellos y las fibras, de no hacer esto el material presentaría variación en el espesor derivado del acomodo de las fibras.

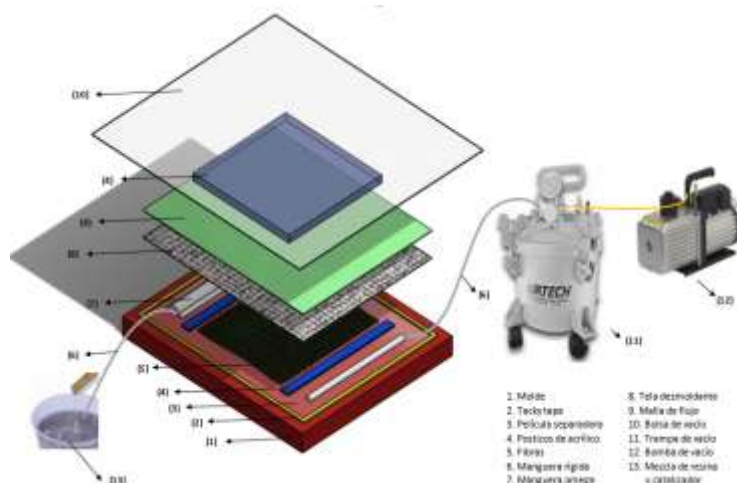


Figura 2 Diagrama esquemático de proceso de VARTM para fabricación de biocompuesto

Para la obtención de cupones para ensayos de tensión y flexión se obtuvo una pieza rectangular de 38.5 cm x 36 cm con un espesor promedio de 3.56 mm (figura 3), el contenido de fibra fue del 40% y 60% de mezcla de resina con catalizador.



Figura 3 Biocompuesto de resina epóxica reforzada con fibras de agave

La distribución de la fibra de manera uniforme es una variable no controlada que provocó ausencia de resina en algunas partes de la pieza y se observan en forma de espacios vacíos, para reducir el riesgo de fractura en zonas del material causadas por éstos huecos se obtuvieron los cupones a partir de las zonas de la superficie en donde existió una buena adherencia entre fibra y matriz. Se realizaron cortes de la placa de biocompuesto para la obtención de cupones con las dimensiones especificadas por las normas y omitiendo espacios defectuosos (con ausencia de fibra o de resina). De acuerdo a la norma, se deben probar al menos 5 muestras por cada tipo de prueba para datos estadísticamente significativos. Las probetas son muestras rectangulares cortados a partir del laminado obtenido, de acuerdo con las dimensiones indicadas por la norma ASTM D3039 [12] y ASTM D790 [13], las fibras se alinearon a 0° con el propósito de mantenerlas en la dirección del esfuerzo de tensión aplicado y perpendiculares al esfuerzo de flexión, sin embargo, durante el proceso de vacío e infusión de resina hay movimiento entre fibras por lo que la alineación no se cumple totalmente.

Una vez obtenidas las probetas, para el caso de las que fueron sometidas a tensión se les agregaron refuerzos (pestañas) en los extremos por ambos lados que se adhieren con adhesivo epóxico, dichas pestañas son fabricadas con un compuesto de resina fenólica y capas de tela impregnadas bajo presión; este material posee una resistencia a la tensión de 262 MPa y a la compresión de 455 MPa y tiene un espesor de 1/16".

3. Pruebas mecánicas de tensión y flexión

Conforme a las normas [12] y [13] se probaron 5 cupones del biocompuesto cada tipo de pruebas (figura 4), las dimensiones se indican en la Tabla 1, la velocidad de prueba para tensión fue de 2 mm/min y para flexión 15 mm/min.

Tabla 1 Dimensiones de probetas para ensayos de tensión y flexión

Prueba	Ancho	Longitud total	Longitud sometida a esfuerzo	Espesor promedio	Longitud de pestaña	Espesor de pestaña	Ángulo de bisel de pestaña
Tensión	15 mm	250 mm	138 mm	3.23 mm	56 mm	1.5 mm	90°
Flexión	15 mm	135 mm	60 mm	4.02 mm	NA	NA	NA

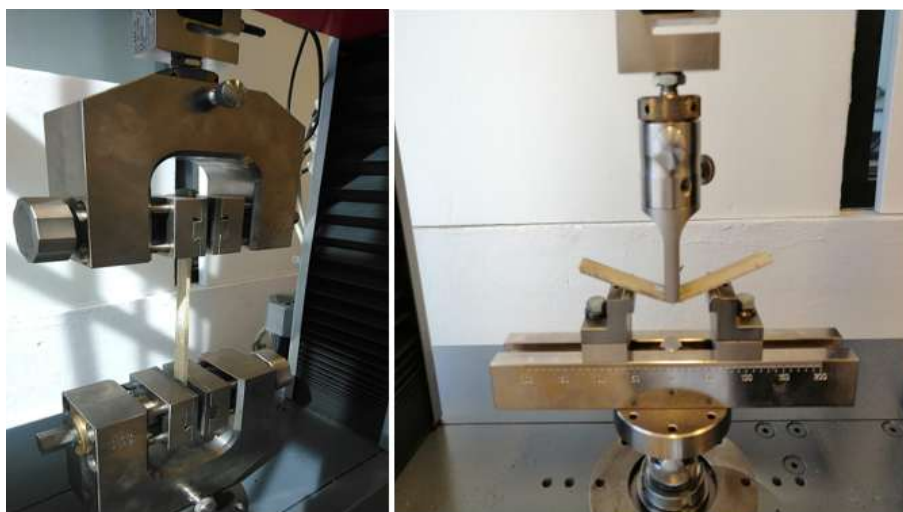


Figura 4 Ejecución de los ensayos de tensión y compresión

4. Comparación de resultados de biocompuesto versus resultados reportados de material compuesto con fibra de vidrio

3. Resultados

3.1 Pruebas mecánicas de tensión y flexión

3.1.1 Resultados de pruebas de tensión

En la Tabla 2 se muestran los resultados del ensayo de tensión realizado a las 5 muestras, en la Tabla 9 se muestra el promedio ($\bar{x}$), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (v) de los mismos.

Tabla 2 Resultados de prueba de tensión a cupones del biocompuesto

Muestra	Área de la sección transversal (mm ²)	Módulo de elasticidad (MPa)	Máxima resistencia a la tensión (MPa)	Elongación (%)
M1	62.87	3376.78	38.35	1.61
M2	57.54	3536.94	51.72	2.01
M3	66.16	3378.41	36.37	1.44

M4	57.12	3496.93	31.03	1.14
M5	57.48	3960.44	70.22	2.77

3.1.2. Resultados de pruebas de flexión

En la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los resultados el ensayo de flexión realizado a las 5 muestras, en la se muestra el promedio ($\bar{x}$), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (v) de estos.

Tabla 3 Resultados de prueba de flexión a cupones del biocompuesto

Mues- tra	Área de la sec- ción trans- ver- sal (mm ²)	E_H N/mm ²	P_{max} N	σ_{Fmax} N/mm ²	D_{Pmax} mm	P_{Break} N	D_{Break} mm	σ_{Break} N/mm ²	r_{max} %
M1	63.38	49.41	369.60	114.14	8.13	160.5	12.74	75.52	8.87
M2	69.72	51.72	275.68	85.13	5.47	192.61	7.89	59.48	5.50
M3	72.80	157.57	399.96	111.11	5.60	260.29	7.41	72.31	5.49
M4	59.86	102.24	273.16	113.14	6.37	176.51	10.47	73.11	6.33
M5	65.20	2395.43	338.68	116.58	6.87	220.18	12.61	75.79	8.43

Con los resultados de las tablas anteriores se pudieron realizar algunas comparaciones respecto al comportamiento del biocompuesto versus a compuestos con fibra de vidrio. Se realizó la simulación de los ensayos de tensión y flexión en el software ANSYS sometiendo piezas de compuesto con fibra de vidrio y compuesto con fibra de agave a esfuerzos de tensión y flexión, con las dimensiones reales de las probetas ensayadas. Para el caso del compuesto con fibra de vidrio el software contiene en su base de datos las propiedades mecánicas del compuesto de resina epóxica con fibra de vidrio E con dirección UD, las propiedades del biocompuesto fueron indicadas a partir de los resultados obtenidos de los ensayos. Las siguientes figuras realizadas con el software de ANSYS muestran tal comparativo.

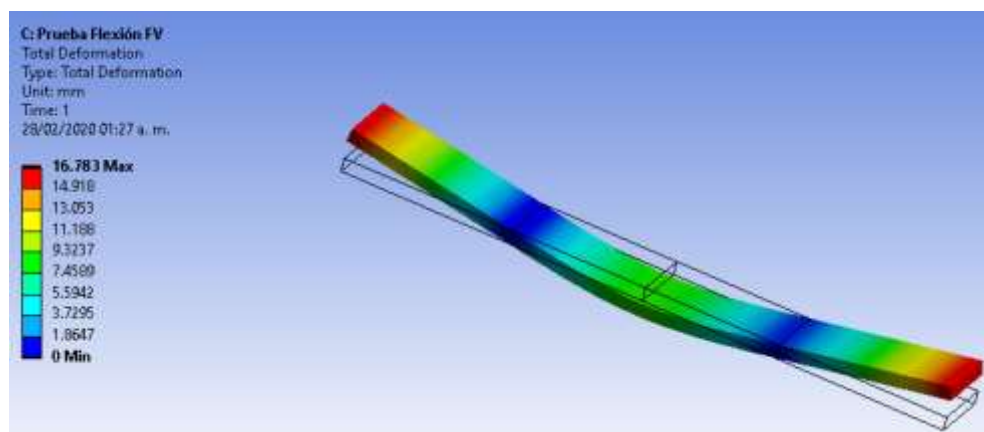


Figura 5 Deformación por flexión de compuesto con fibra de vidrio

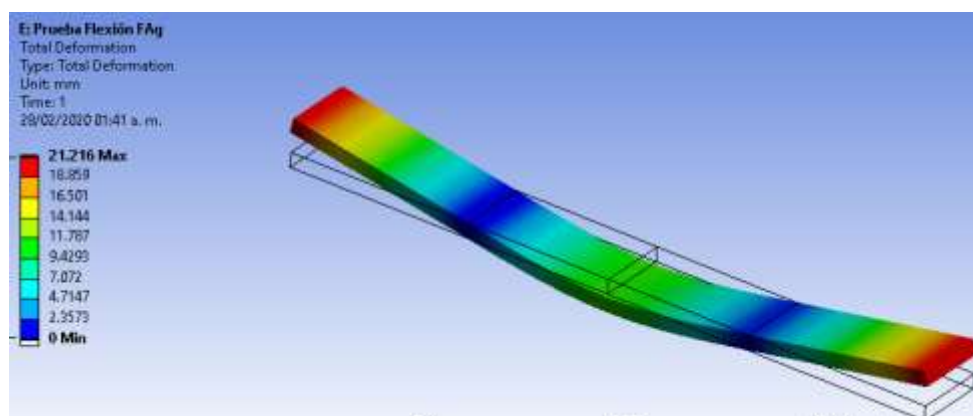


Figura 6 Deformación por flexión de compuesto con fibra de Agave

4. Discusión

Para el caso del ensayo de tensión en las 5 muestras ensayadas la fractura se presentó en la parte superior, cerca de las pestañas de sujeción, en todos los casos la falla ocurrió debido a la ausencia de fibras en dichas zonas. Las probetas de flexión se fracturaron del centro en todos los casos como se esperaba. Los resultados son notablemente inferiores a los valores de resistencia de un compuesto elaborado con fibras sintéticas de vidrio, los rangos de valores obtenidos en los ensayos son grandes debido a que la fabricación del material se realizó de manera convencional, sin maquinaria especializada, a diferencia de un proceso de fabricación con fibras de vidrio donde los parámetros están estandarizados.

No se descarta la posibilidad de implementar fibras naturales en materiales compuestos para productos del sector industrial que no sean tan demandantes o de aplicación estructural, sin embargo, se debe diseñar un proceso confiable para controlar factores como la alineación de las fibras y la cantidad de materia prima. Por ejemplo, para el sector industrial puede ser utilizado en tableros, ya que no están sometidos a esfuerzos importantes ni son expuestos a condiciones ambientales extremas.

Contribución:

Dr. Daniel Napoleon Gomez Balbuena. Autor principal y director de tesis relacionadas con el trabajo de investigación presentado

Dra. Rebeca Guadalupe Ortiz Mena. Revisión de metodología y análisis estadístico.

Dr. Daniel Trejo Zamudio. Conceptualización.

Financiamiento: “Esta investigación fue financiada por el Tecnológico Nacional de México, con el proyecto: “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIOCOMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADO CON FIBRA DE AGAVE Y FIBRA DE VIDRIO PARA LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES DE PARTES INTERIORES DE AUTOS” en el marco de apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica en los Programas Educativos de los Institutos Tecnológicos Federales, Descentralizados y Centros.

Agradecimientos: Los investigadores agradecemos el apoyo del TECNM para la finalización del proyecto, así como del CIATEQ, centro de investigación de CONACYTH, en el cuál se realizaron las pruebas mecánicas. También queremos agradecer al Dr. Isaac Hernández A. gerente del área de Turbomaquinaria.

Conflicto de interés: “Los autores declaran no tener conflicto de intereses”.

Referencias

- [1] D. M. K. Chandramohan, «A Review on natural fibers.,» *IJRRAS*, nº 8, pp. 194-206, 2011.
- [2] J. A. Reyes-Agüero, J. R. Aguirre-Rivera y C. B. Peña-Valdivia, «Biología y aprovechamiento de Agave Lechuguilla Torrey,» *Sociedad Botánica de México*, nº 67, pp. 75-88, 2000.
- [3] P. Gatenholm, «Adhesión y dispersión interfacial en compuestos de base biológica. Interacciones moleculares entre celulosa y otros polímeros,» *Compuestos de plásticos lignocelulósicos*, 1997
- [4] C. Tapia, C. Paredes, A. Simbaña y J. Bermúdez, «Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa,» *Revista Tecnológica ESPOL*, vol. 19, nº 1, pp. 113-120, 2006.
- [5] K. L. Pickering, M. G. Aruan Efendy y T. M. Le, «A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance,» *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 83, pp. 98-112, 2016.
- [6] S. V. Joshi, L. T. Drzal, A. K. Mohanty y S. Arora, «Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?,» *Composites Part A: applied science and manufacturing*, pp. 371-376, 2003.
- [7] C. González, J. Del Campo, P. Cardín, J. Fernández y P. García, «Relaciones composición-propiedades en materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras de celulosa,» *Materiales Compuestos*, pp. 103-111, 2003.
- [8] S. V. Joshi, L. T. Drzal, A. K. Mohanty y S. Arora, «Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?,» *Composites: Part A*, nº 35, pp. 371-376, 2004.
- [9] U. Riedel y J. Nickel, «Applications of Natural Fiber Composites for Constructive Parts in Aerospace, Automobiles, and Other Areas,» *Biopolym*, vol. 272, nº 1, pp. 34-40, 2005.
- [10] A. G. Morales, «Procesado y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas,» Madrid, 2008
- [11] U. Pineda Castillo, «Caracterización de procesos de infusión de resina mediante visión artificial,» Valencia, 2013
- [12] A. D3039, *Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica*. ASME 2010
- [13] A. D790-03, *Métodos de prueba estándar para propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados*. ASME 2010