

Posibilidades para el desarrollo de materiales con fibras de Henequén, un acercamiento enfocado en la sustentabilidad.

Daniel Díaz Batista¹, José Luis Valín Rivera².

¹Cujae, Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, ² Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). Valparaíso, Chile.

¹e-mail: danieldiaz@mecanica.cujae.edu.cu

Resumen

Se presenta, en su evolución, el desarrollo de materiales compuestos que incorporan fibras de Henequén en una matriz de polímero termoplástico. El trabajo se enfoca en la selección de alternativas de diseño de material en relación a las potenciales aplicaciones y los desempeños reales obtenidos con cada diseño probado, incluyendo consideraciones sobre el riesgo en algunas de ellas. Un acercamiento al ciclo de vida del material se hace, a partir del conocimiento de las fuentes y destinos posibles en un contexto local determinado, el nuestro. Se analizan los usuarios y actores económicos existentes y se propone una alternativa de interacción entre ellos para garantizar que se pueda cumplir el ciclo de vida proyectado. Finalmente se hace un análisis de las alternativas previstas para el ciclo de vida del material y como correlacionan con el posible impacto ambiental. Hasta el presente se han logrado obtener materiales con fibras cortas, orientadas aleatoriamente, en una prueba en la industria, considerada como escala piloto, aunque con el equipamiento real de la industria. En la escala de laboratorio se han conseguido producir las variantes de diseño que incluyen fibras largas, unidireccionales y laminados multicapas con fibras tejidas, resultados que se exponen de forma resumida, lo que constituye un importante acervo, tanto para el área de desarrollo de esta agroindustria, como para los creadores de políticas de desarrollo que busquen y sistematicen acerca de la viabilidad y la sostenibilidad. Se dan consideraciones acerca de la interacción del sistema ciencia – industria y de las posibilidades de obtener resultados tangibles en nuestro contexto.

Palabras clave: diseño de materiales, ciclo de vida de material, ciclo de vida ambiental, economía circular, Henequén

Development alternatives for henequen fiber-based materials, a sustainability focused approach.

Abstract

Development of composite materials including henequen fibers on thermoplastic polymer matrix, is presented, on its evolution. Paper emphasizes on selecting material design alternatives in relation to potential applications and actual performances exhibited by every proven material design, including comments about risk management in some of them. An approach is made to material life cycle, having explored probable users and sources in a determined local context, ours. Users and current economic actors are taken into account to propose an alternative model of interaction among them to assure that projected life cycle is to be met. Finally, an analysis of proposed material life cycle alternatives and its correlation with possible environmental impact

is made. So far, it has been achieved to produce randomly-oriented, short fiber material, in an industrial trial, taken as pilot-scale, even when it was made using real-industry equipment. On laboratory scale it has been produced design variants including those with long fibers, such as unidirectional fiber reinforced materials and multilayered materials, reinforced with woven long fibers. Those results are exposed in a synthetic way and become an important source for development of that agroindustry and for those development-policy makers, seeking and systematizing about feasibility and sustainability. Considerations in relation to interaction of industry-science system and its possibilities to achieve tangible results in our context are given.

Keywords: material design, material life cycle, environmental life cycle, circular economy, henequen

Introducción

Desde los años 50 del pasado siglo comenzó el proceso de diversificación de las producciones a partir de las fuentes de materiales lignocelulósicos disponibles en nuestro país. Una industria azucarera en auge y un inversionista foráneo proveniente de un entorno que heredó de la revolución industrial la costumbre de diversificar para ampliar el negocio y obtener más ganancias fue el motor impulsor. Quivicán, en La Habana, Cruces, en Cienfuegos y Amancio, en Las Tunas, vieron las primeras industrias que comenzaron a aprovechar subproductos de la molienda de la caña para producir paneles, que se podían vender, además del azúcar. Las fábricas de azúcar eran uno de los lugares más animados de nuestros campos y gozaban del privilegio de discutirle el negocio a la compañía de electricidad porque el central se autosostenía y el batey también. Creciendo y creciendo, hasta ferrocarril tuvieron, de vapor o eléctrico, integraron también transporte al esquema de autosostenibilidad, en gran medida alimentado por ese mismo sol que tenemos ahora y que nos abraza con tanto calor pero que la biomasa aprendió a convertir, hace siglos, en productos útiles a través de un proceso llamado fotosíntesis, que es una celda solar, pero biológica. Por esos años también se introdujo en Cuba, el cultivo de otras plantas fibrosas como el agave fourcroydes o Henequén. Esta planta no es muy rentable en términos producción de biomasa para el esquema alimentos más energía, típico de la caña de azúcar, pero su fibra de calidad y una práctica agrícola menos intensiva que la de la caña de azúcar la dejaron establecerse como un producto rentable en aquellos renglones que requerían una fibra larga y de bajo costo. Los empresarios, ávidos de contar con productos de mayor valor agregado e incentivar el crecimiento económico, rápidamente invirtieron en tecnología para obtener cuerdas que era el producto más demandado.

En los años 60 y 70, como parte de la acción transformadora del proceso revolucionario cubano se fueron modernizando o construyendo nuevas facilidades productivas en todos estos sectores vinculaos a la transformación de productos agrícolas en productos de un mayor valor agregado, con la introducción de tecnologías más o menos modernas, pero no sobre la base de asimilar tecnología, sino sobre la base de importar tecnología, importar piezas de repuesto y el ciclo de reproducción de las fuerzas productivas quedaba truncado por la no existencia de un mercado estable y con demanda del exterior, torpedeado también por maniobras de entes externos para asfixiar a nuestra economía. Al desembocar en el periodo especial de los años 90, todos los estímulos para fomentar un desarrollo de producciones provenientes de la biomasa estaban en gran medida estudiados en cuanto a sus potencialidades, pero se hacía frente a una enorme escasez de financiamiento, unido a falta de competitividad para entrar en mercados incluso cercanos, unido al éxodo de la fuerza laboral del campo producto del atractivo que presentaban otras áreas de la economía como el turismo u otras actividades mercantiles especulativas que crecían a partir del dinero que comenzaba a entrar con mayor fuerza, en forma de remesas, del exterior. En cambio, el costo de la energía, materias primas e incluso alimentos, comenzaba a dispararse por el carácter importado de la mayoría de ellos lo que tenía y aún tiene varados a una buena parte de la industria nacional. El objetivo de esta investigación está dirigido a restaurar o crear nuevas células productivas, que en la gran escala pueden llamarse empresas o sus unidades básicas, pero en la menor escala pueden constituir negocios, que puedan crear valor y sustituir importaciones a partir del aprovechamiento de los recursos que se encuentran en nuestro territorio, con un mínimo de importación, tratando de maximizar u orientar sus resultados hacia la solución de problemas claves que están afectando a la población y que son solubles a partir de recursos que no haya que importar. Este trabajo se enfocó en la búsqueda y aprovechamiento de las potencialidades de las fibras de henequén para establecer dichas células productivas estables y que tributen también a la sostenibilidad y estabilidad de los asentamientos humanos a lo largo de todo el país, con mayor incidencia en aquellos aislados, pero de los que depende la producción alimentaria, que puede sostener a nuestra sociedad, aunque no excluye su introducción en múltiples áreas asociadas también a centros urbanos. El primer escalón de aprovechamiento de las fibras de henequén, la fabricación de cuerdas, sirve de base para el segundo escalón de aprovechamiento de las fibras, que requiere de la preparación de materiales compuestos. El elemento que define en gran medida la posibilidad de obtener un material compuesto, así como el proceso productivo a emplear, es la matriz. La disponibilidad de polímeros termoestables, muy utilizados la conformación de materiales compuestos, en nuestro país, es limitada, en cambio la

existencia de materiales termoplásticos que se incorporan a los torrentes de desechos va en incremento y constituyen un serio problema ambiental, por tanto, constituye una doble motivación para estimular su aprovechamiento.

Los objetivos de desarrollo planteados por la ONU en relación al tema ambiental tienen a la economía circular como uno de sus pilares y nuestro país se ha acogido a los mismos como una vía para contribuir a tener un mejor planeta, un mejor hábitat. Estas estrategias también pueden convertirse en elementos que potencien la resiliencia económica ayudando a solventar problemas sociales como la energía, la vivienda entre otras. Entre las estrategias planteadas para conseguir implementar en nuestro país la economía circular, están las de mejorar la selección de materiales que pasan al reciclaje a partir de una correcta clasificación en el origen por lo que la vinculación de las actividades productivas como las descritas en este trabajo pretenden acercarse a polos turísticos, centros municipales generadores de residuos plástico, articular, coordinar con ellos la entrega de los residuos plásticos reciclables y a su vez coordinar con los posibles usuarios las producciones de interés de acuerdo a sus necesidades.

Materiales y Métodos

A lo largo de este estudio se emplearon fibras de henequén, de plantaciones ubicadas en Limonar, provincia de Matanzas, en Cuba. En la obtención de materiales compuestos se emplearon distintas matrices poliméricas, mayormente poliolefinas: Polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD) y/o polipropileno (PP). Los equipos y tecnologías empleados para la caracterización, tanto de las fibras de henequén están todos descritos con detalle en las publicaciones que sirven de referencia a este trabajo (Díaz 2015) (Díaz 2018), por lo que se trajo a este trabajo solo aquellos elementos que permiten definir las características de los productos obtenidos y las posibilidades de utilización que puedan abrirse en consecuencia.

Resultados y discusión

Las primeras pruebas realizadas en nuestro país, para el uso de fibras de henequén en la preparación con matriz de termoplástico se realizó con fibras cortas, de longitudes que no exceden los 16 a 20 mm, siendo ya estos valores mayores que la longitud crítica de las fibras para matrices del tipo poliolefina (Díaz 2015) estos estudios a escala de laboratorio culminaron con una prueba a una escala piloto o semi-industrial (Díaz 2018) demostrándose que el material adquirió nuevas características que la hacían atractivo

para su uso en aplicaciones con un nivel de exigencia mayor (ver figura 1). Las propiedades que mas cambiaron fueron la resistencia a los impactos y la termofluencia, en comparación con perfiles que se encontraban en producción y que utilizaban partículas de madera como elemento reforzante. Esta aplicación se estudió, no para utilizar las fibras largas de henequén, que mayormente se utilizan en la fabricación de cuerdas, sino para ver el efecto reforzante, ya que hay muchas otras fibras cortas y más abundantes en nuestro país que pudieran ser utilizadas ahí, como bagazo de caña de azúcar. Alternativamente, la fibrilla de la limpieza de la producción de fibras de henequén es otro material fibroso que se está manejando utilizar, para productos que tengan características especiales debido a la alta calidad de estas fibras (más de 70% de celulosa).

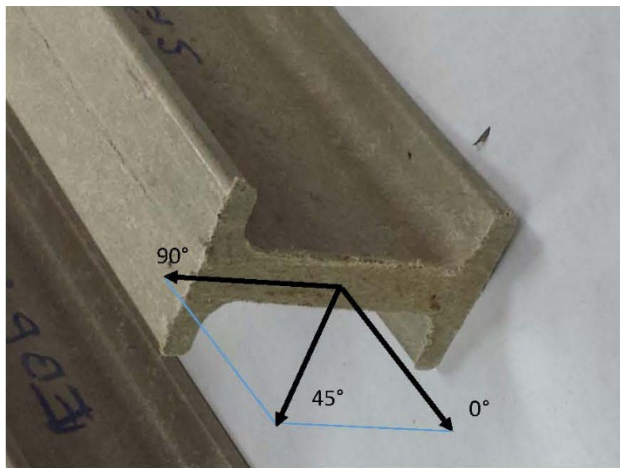


Figura 1.- Perfil de material compuesto reforzado con fibras cortas de henequén y matriz de termoplástico reciclado.

Ya en 2017 se experimentó con fibras unidireccionales de henequén obteniéndose que para niveles de adición tan bajos como el 20% en peso de la fibra se duplicó la resistencia del material, además de todas las mejoras que experimentaron cuando se superó la longitud crítica de la fibra añadida en el estudio anterior.



Figura 2.- Material compuesto reforzado con fibras de henequén unidireccionales.



Figura 3.- Ensayo de tracción realizado al material compuesto reforzado con fibras de henequén unidireccionales

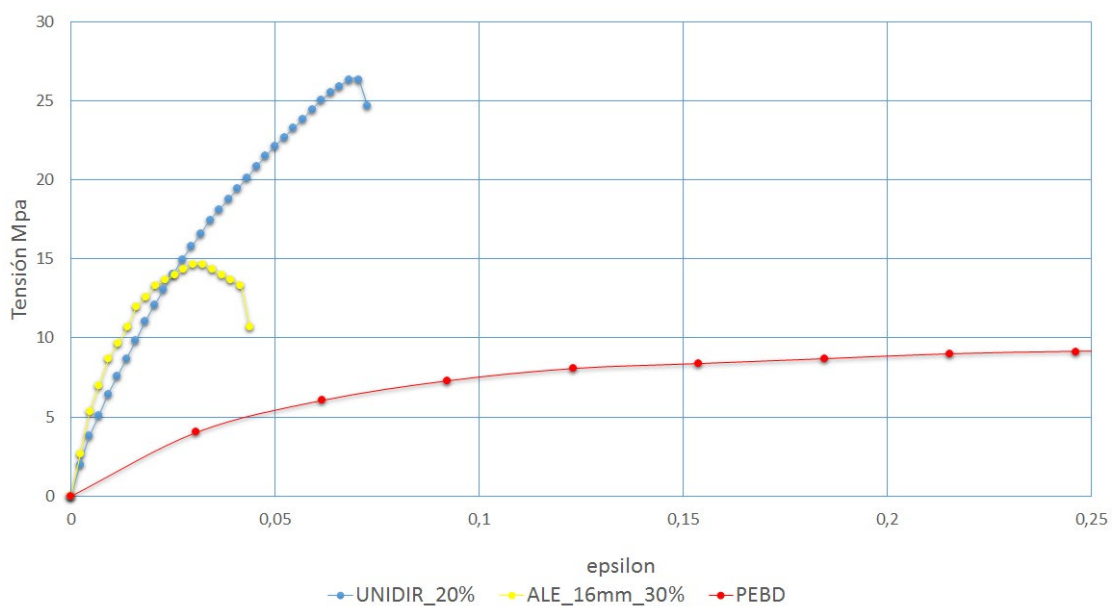


Figura 4.- Análisis comparativo del comportamiento mecánico del material compuesto reforzado con fibras unidireccionales, el material reforzado con fibras cortas orientadas aleatoriamente y el polímero termoplástico sin refuerzo (polietileno de baja densidad) (PEBD)

En el año 2022 se completó un estudio que buscaba evaluar el efecto de una organización de fibras largas para conseguir un mejor balance de la resistencia del material en las distintas direcciones con lo cual se consiguió completar un primer ciclo

de desarrollo del material antes de comenzar a acceder a la elaboración de objetos tipo lámina, de mayor área requeridos en el desarrollo de piezas de mayor extensión bidimensional con capacidad para ser modificadas mediante termo conformado. Los valores de resistencia alcanzados permiten proyectar elementos estructurales ligeros y de gran resistencia como los requeridos en la generación de energía renovable a partir del viento. En la figura 5 se puede observar que el patrón de resistencia quasi omnidireccional, quasi isotrópico, se obtuvo unido al mantenimiento de valores altos en la resistencia.

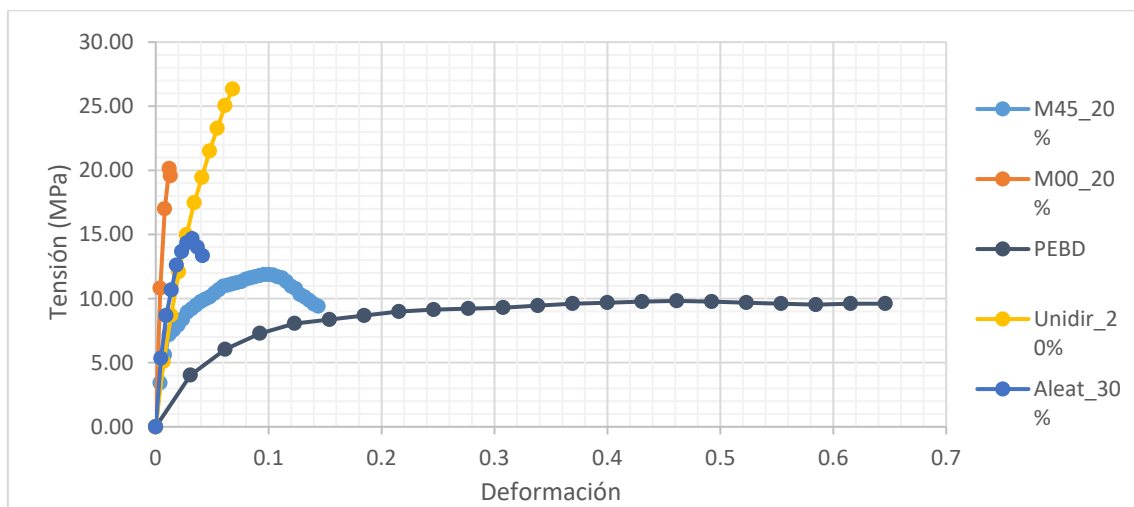


Figura 5.- Comportamiento en tracción del material compuesto con fibras de henequén tejidas, en comparación con otras variantes de presentación de la fase dispersa.

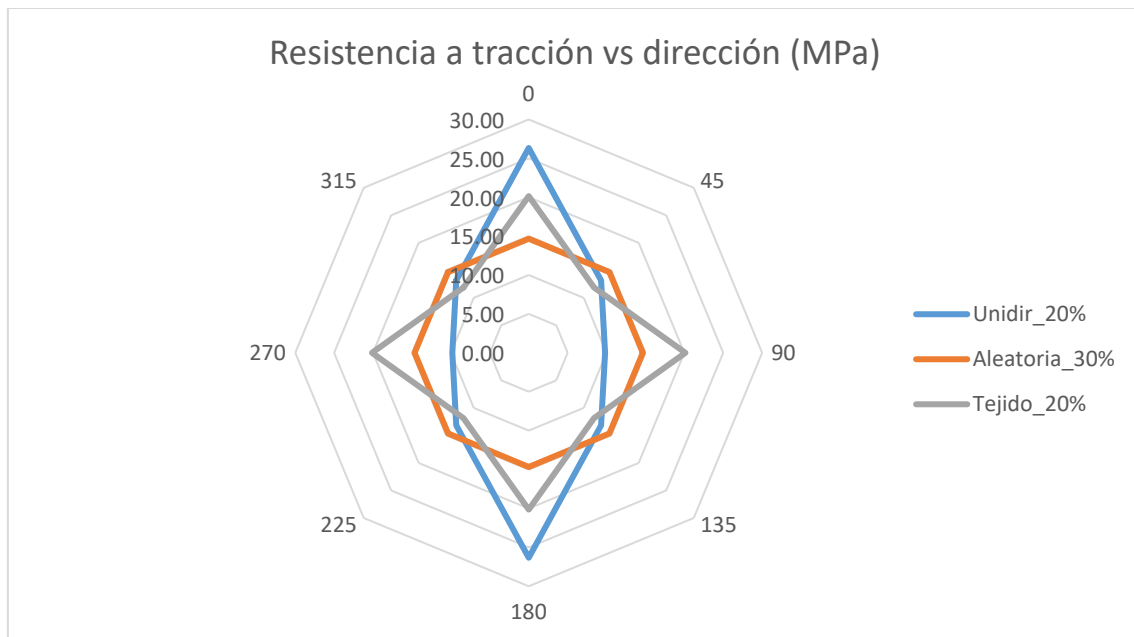


Figura 6.- Evaluación de las propiedades en las distintas direcciones para distintas variantes de forma de la fase dispersa reforzando el material compuesto con fibras de henequén.

La incorporación de material fibroso de origen natural a los polímeros termoplásticos, dígase también a los reciclados, ha permitido acceder a la creación de productos de altas prestaciones a partir de materiales completamente reciclados reduciendo además la huella de carbono que es ya bien baja para las fibras naturales. Estos materiales compuestos pueden a su vez ser reciclados para obtener productos de los enunciados anteriormente, con una independencia tecnológica también bastante alta, porque se ha tratado de que los equipos tecnológicos puedan ser fabricados o modificados también aquí en el país. El equipamiento de laboratorio utilizado en la obtención de estos materiales fue en su mayoría desarrollado y construido en la propia universidad

Conclusiones

El uso de los materiales reciclados y las fibras naturales está alineado con la creación de un entorno sostenible a partir de la economía circular. Con el desarrollo de materiales compuestos puede accederse a un nivel de reducción de emisiones aun mayor con la creación de equipamiento que genere energía, a partir de fuentes renovables. Este equipamiento puede ser construido y reciclado al final de su vida útil para obtener, a su

vez, material reutilizable, que no contamina como los fabricados con fibra de vidrio y polímeros termoestables.

Recomendaciones

Culminar la etapa de desarrollo de equipamiento para impregnación de las fibras naturales y abrir lazos de cooperación con la industria cubana procesadora de fibras naturales para producir, en la propia empresa procesadora de las fibras, a gran escala, los semiproductos necesarios para el desarrollo de estas producciones. Esto sería una vía más para la diversificación de las producciones de dicha empresa.

Bibliografía

Díaz-Batista, D., Díaz-Forcelledo, D., Mazorra-Mestre, M., & Valin-Rivera, J. L. (2015). Mechanical behavior of Cuban henequen fibers and interphase with thermoplastic polymers of the polyolefin family. *Ingeniería Mecánica*, 18(3), 148-157. Available from [http://refhub.elsevier.com/S0013-7944\(20\)30927-9/h0045](http://refhub.elsevier.com/S0013-7944(20)30927-9/h0045).

Díaz-Batista, D., Saint-Blancard-Valdés, W., Bridi-Tellez, V., Mazorra-Mestre, M., Valín-Rivera, J. L., Valenzuela-Díaz, F.-R., & Wiebeck, H. (2018). Profiles from henequen fibres with high-density polyethylene matrix. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(1), 22-35. Available from [http://refhub.elsevier.com/S0013-7944\(20\)30927-9/h0050](http://refhub.elsevier.com/S0013-7944(20)30927-9/h0050).

Brandtner-Hafner M_ Techno-economic evaluation of biocomposites: A fracture analytical approach. M Brandtner-Hafner, M.; Díaz-Batista, D. Published in: *Engineering Fracture Mechanics*. Accepted september 2020. Elsevier. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ENGFRACMECH.2020.107346](https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107346)

Díaz-Batista, D._ Structural safety analysis of two alternatives for reinforcing profiles of biocomposites. Díaz-Batista, D.; M Brandtner-Hafner, M.; Valin-Rivera, J.L. En: *Proceedings of the 6th Brazilian Conference on Composite Materials, Organised & Edited by R.J. da Silva & T.H. Panzera. Part of ISSN 2316-1337* DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.29327/566492](https://doi.org/10.29327/566492)

Díaz-Batista, D _ Natural fibers: An important source in material design (Chapter 4). Díaz-Batista, D.; Brandtner-Hafner, M.; Valin-Rivera, J.L. En: *Biopolymers*. Edited by: Sessini, V.; Ghosh, S. and Mosquera, M.E.G. Publicado por: Elsevier, 2023. ISBN: 978-0-323-90939-6

Díaz-Batista, D _ Development of Henequen Woven Fiber Composite Material on LDPE Matrix. Díaz-Batista, D.; Barreras-González, A.A.; Valenzuela-Díaz, F.R.; Valin-Rivera, J.L. ISSN: 2367-3370, e-ISSN: 2367-3389. Online: [HTTPS://LINK.SPRINGER.COM/BOOK/9783031961564](https://link.springer.com/book/9783031961564).