

1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

Código:	CIDII-043513
Centro de Investigación:	CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA
Programa:	Nuevos Materiales
Título del Proyecto:	Caracterización mecánica de un compuesto polimérico reforzado con fibras naturales cortas de Guadúa Angustifolia Kunth (GAK)
Grupo de Investigación:	Grupo de Investigación en Materiales
Area de Conocimiento:	Ciencia y Tecnología
Línea de Investigación:	Nuevo materiales e innovación en los
Tipo de Investigación:	Aplicada
Campo :	Tecnologías
Investigador Principal :	JORGE ISAAC FAJARDO SEMINARIO
Proyectos Vinculados :	Estado del arte de la mecánica computacional para el modelado y simulación de propiedades de materiales compuestos con fibras naturales en base de Guadua Angustifolia Kunth.
Duración del Proyecto :	12 Meses
Localización del Proyecto :	Cuenca - Ecuador
Fecha de ingreso :	01/10/2013 09:24

2. ANTECEDENTES

El interés por la conservación de los recursos naturales y el crecimiento productivo que permita un desarrollo sostenible, han despertado el interés por el diseño, la creación y el uso de materiales con altas prestaciones mecánicas, de bajo peso, que sean biodegradables, que requieran bajo consumo energético en su elaboración y que tengan como fuente de obtención los recursos naturales de cada región.

A nivel científico, en los últimos años, se vienen estudiando alternativas de materiales compuestos de matrices poliméricas y reforzados con fibras vegetales que cumplan con estas especificaciones técnicas y que empleen recursos renovables de alta disponibilidad en cada región. Las propiedades mecánicas y la durabilidad son las principales áreas de investigación en el campo de los compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales.

En el campo de las fibras naturales vegetales, países como Colombia, Ecuador, Venezuela, Brasil y Bolivia poseen cerca de 25 mil especies de plantas vasculares que los convierten en naciones con el mayor número de unidades vegetales por unidad de área en América Latina.

En la actualidad, el uso de fibras vegetales en compuestos de matriz polimérica presenta varias dificultades como la naturaleza hidrofílica de la fibra, en comparación con el carácter hidrófobo de la matriz polimérica, esto genera problemas de adhesión entre las fibras y la matriz, con ello, lejos de obtener un refuerzo con fibra natural, se consigue generar cargas en la matriz lo que limita las propiedades mecánicas del material compuesto.

Por otro lado, los procesos tradicionales utilizados para acondicionar las fibras mediante la eliminación de ceras, extractivos acuosos u orgánicos y en el mejoramiento de la adherencia superficial con soluciones álcalis, reducen las propiedades mecánicas de la fibra de forma significativa cuando las soluciones superan el 10% de concentración. Por lo que es necesario estudiar y experimentar diferentes técnicas de mejoramiento de la interfase por modificación de la matriz polimérica para validar el efecto en el comportamiento mecánico del compuesto desarrollado.

Es complejo obtener fibras largas o continuas con la mayoría de fuentes vegetales, por lo que las fibras cortas, las micro y nano fibras han despertado un alto interés investigativo. Son múltiples los factores que pueden conducir a la variación en la calidad de la fibra natural corta: las condiciones de cultivo, el proceso de extracción de fibra, la manufactura empleada en desarrollar el compuesto, la distribución de longitud y orientación de las fibras.

Desde el punto de vista mecánico, la distribución de orientación de fibras es la variable más importante en la determinación de las propiedades mecánicas de compuestos de fibras cortas con distribución aleatoria. Esta es una área abierta de investigación y constituye una de las barreras más grandes en el desarrollo de la tecnología de compuestos de fibra corta.

Se propone en este proyecto estudiar las características físico-químicas y mecánicas de un compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras naturales cortas de GAK producidas en Ecuador y Colombia. Se examinará la influencia en el comportamiento mecánico que tiene la incorporación de fibras cortas de GAK orientadas aleatoriamente en matrices poliméricas mediante procesos experimentales y con la validación del comportamiento por el método de elementos finitos. De este proyecto se espera el avance en el conocimiento y la comprensión del comportamiento mecánico de este tipo de materiales, antes de su uso industrial.

3. JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador existe un potencial campo de producción de fibras naturales debido a su riqueza biológica que lo ha posicionado dentro de los países más ricos en biodiversidad del mundo ya que alberga al 10% de todas las especies de plantas del planeta y hasta el momento ha explotado apenas el 0.1% en la producción de fibras. Por lo tanto se tiene alta disponibilidad y variedad de fibras vegetales para el uso como material de refuerzo en compuestos. Se están empleando, con fines artesanales, aproximadamente 25 especies vegetales para la obtención de fibras, entre las más comunes se tienen: cabuya, totora, abacá, ceibo, palmas, paja toquilla, algodón, seda, bambú, guadúa y achiote, estas representan el 2.5 % de la producción Ecuatoriana. Otros elementos ricos en fibra y que no han sido suficientemente explotados son los desechos agroindustriales del cultivo de banano, bagazo de caña de azúcar, cascarilla del arroz y corteza de coco. Estos desechos tienen la ventaja de ser una materia prima de alta disponibilidad y de muy bajo costo.

El estudio del comportamiento mecánico de los materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales contribuirá con el avance en el desarrollo de nuevos procesos de manufactura para estos materiales y el diseño de nuevos productos con prestaciones mecánicas importantes y condiciones ambientales

A nivel productivo e industrial, el estudio de estos materiales permitirá establecer los parámetros claves de diseño para su aplicación en áreas tales como el sector de equipamiento automovilístico, de la construcción y empaques.

La mayor demanda de fibras naturales pueden tener impactos socioeconómicos importantes: la primera que se generaría una fuente de cultivo industrial para el desarrollo económico de las regiones rurales y agrícolas, y la segunda en que se potenciará el uso de los recursos naturales en diferentes sectores productivos. Por ejemplo en la industria de la construcción modular, los compuestos naturales pueden ser una solución sustentable para elaborar viviendas de calidad para las personas que actualmente viven en la pobreza extrema y que mediante éste tipo de cultivos pueden satisfacer sus propias necesidades.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Caracterizar las propiedades mecánicas de un nuevo material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras naturales cortas de Guadua Angustifolia Kunth (GAK) de alta disponibilidad en Ecuador y Colombia mediante ensayos mecánicos y validación numérica mediante elementos finitos para uso posterior como material estructural.

4.2 Objetivos Especificos

- 1 Obtener experimentalmente un material compuesto polimérico homogéneo reforzado con fibras cortas de GAK mediante modificación de la interfase.
- 2 Caracterizar las propiedades físico-químicas y mecánicas del compuesto elaborado (ensayos de tracción, DSC, DMA, FTIR).
- 3 Determinar la función de distribución de orientación de las fibras cortas mediante algoritmos de visión artificial.
- 4 Validar los resultados mediante elementos finitos en software especializado.

5. ESTADO DEL ARTE

El uso de materiales compuestos se ha incrementado considerablemente durante años recientes, especialmente en la industria automotriz, construcción, aeroespacial y aplicaciones deportivas. La razón fundamental de esto es que los compuestos ofrecen propiedades interesantes no obtenibles con los materiales convencionales.

Los materiales compuestos están formados por dos materiales con fases físicamente separables. En un compuestos polimérico la primera fase corresponde a algún tipo de polímero llamado matriz, la cual rodea a la segunda fase conocida como refuerzo; generalmente esta fase puede presentarse en forma de partículas, fibras (largas o cortas) entre otras. Usualmente la segunda fase es adicionada con el fin de obtener mejoras en las propiedades mecánicas de la matriz. Las propiedades mecánicas de un material compuesto dependen de las propiedades mecánicas de cada fase y de las interfaces, así como de su fracción volumétrica, geometría y distribución espacial en el interior del compuesto. Además, las propiedades óptimas se ven afectadas por la presencia de fenómenos de daño como la rotura de los refuerzos y matriz o la descohesión a lo largo de las interfaces.

Los compuestos pueden ser reforzados usando whiskers, fibras o partículas. Las fibras largas presentan mejores propiedades mecánicas; pero presentan un comportamiento anisotrópico, además precisan tecnologías de fabricación complejas y sofisticadas. Por el contrario, los materiales reforzados con partículas y fibras cortas suelen acercarse a un material cuasi-isotrópico, proporcionan un aumento de las propiedades respecto al refuerzo con fibras largas, también permiten procesos de fabricación con tecnologías similares a las empleadas en los materiales convencionales.

Fibras naturales

Las fibras naturales son estructuras de origen vegetal, mineral o animal, usadas desde aproximadamente 7.000 años, su uso puede remontarse a 10.000 A.C en China. Son sustancias complejas en mezclas heterogéneas formadas por: celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y otros, provenientes de hojas, tallos, frutos y semillas.

Actualmente tendencias mundiales en busca de lograr un desarrollo sustentable, han conducido a la necesidad de contar con materia prima natural, renovable y biodegradable, que pueda ser usada industrialmente; por ejemplo sólo en 1960 la cantidad de producción de fibras fue de $1,5 \times 10^7$ Mt y en 2002 fue de $2,5 \times 10^7$ Mt; este incremento es debido a las notables ventajas que presentan: biodegradabilidad después de cumplir su ciclo de vida, recuperación de energía procedente de su incineración, bajo peso específico, recurso renovable, baja inversión en la producción, buen aislante térmico y acústico. Por el contrario presenta también algunas desventajas, que pueden limitar su aplicación en ambientes industriales: calidad variable, temperatura de procesamiento limitada, baja resistencia al fuego, precios fluctuantes dependientes de políticas agrícolas entre otras.

El uso de fibras naturales se ha extendido fundamentalmente como refuerzo en materiales compuestos, en la industria automotriz, nano compuestos celulósicos entre otros.

El uso de materiales compuestos reforzados con fibras cortas - (MCRFCA), ha emergido rápidamente debido a las características de resistencia superior, comparada con productos de polímero puro; presenta también otras ventajas entre ellas: rápida producción, bajo costo en el proceso de inyección entre otros [51], en la actualidad cerca del 90% de los compuestos corresponden a compuestos poliméricos [52]. Durante el proceso de inyección las fibras se encuentran suspendidas en la matriz y su orientación está gobernada de acuerdo a la cinemática del flujo, fibras vecinas, longitud original y las condiciones de diseño del molde [53], además influyen variables como: velocidad, proceso de enfriamiento, entre otras [54]; el rendimiento del compuesto

está determinado por factores como: relación fibra/longitud, orientación de la fibra y la adherencia en la interfaz fibra ¿ matriz.

Desde hace siglos, la humanidad ha utilizado las fibras naturales para diversas aplicaciones como la fabricación de papel, cartón, tableros y textiles, o en materiales de construcción como el refuerzo de bahareque y ladrillos de adobe. Con la aparición de los polímeros, desde comienzos del siglo XIX las aplicaciones se han ido incrementando, pero al mismo tiempo, el requerimiento de continuidad y alta resistencia en el refuerzo ha aumentado el interés en el desarrollo de fibras sintéticas, como las de vidrio, las cuales han desplazado paulatinamente las fibras naturales en algunos usos. Las aplicaciones más representativas de los materiales compuestos modernos comenzaron con la fabricación de elementos para la industria aeronáutica. Actualmente su uso se sigue expandiendo hacia las áreas automotriz, marina, energética, infraestructura, militar, biomédica y recreacional, entre otras. Las fibras sintéticas ofrecen propiedades más consistentes que las naturales, sin embargo, el refuerzo biodegradable tiene ventajas como el bajo peso, bajo costo, es ambientalmente amigable, y en el caso de las fibras de guadua, tiene propiedades mecánicas comparables con algunas fibras fabricadas por el hombre. Gracias a estas características, los materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras de guadua tienen numerosas aplicaciones, que están limitadas por la matriz y la cantidad de refuerzo que se utiliza; no por la proveniencia de las fibras.

6. METODOLOGÍA

Las diferentes etapas del proyecto y las distintas tareas se enumeran a continuación:

Extracción mecánica de fibras de GAK.

Caracterización en la composición química de la fibra de GAK.

a) Se llevará a cabo una serie de extracciones para aislar los diversos componentes de la fibra (ceras, pectinas, celulosa, cenizas, hemicelulosa, lignina, orgánicos e inorgánicos)

Modificación de la superficie de las fibras de Bambú.

- a) Se realizarán técnicas de limpieza superficial mediante NA-OH a diferentes concentraciones.
- b) Se valorará el efecto de tratamiento de plasma frío en la modificación superficial de las fibras.

Caracterización de propiedades físico-químicas de fibras de GAK.

a) Espectrometría infrarroja (IR), análisis termogravimétrico (ATG), microscopía óptica.

Elaboración de compuestos reforzados con fibras de GAK.

Varias muestras y especímenes se desarrollarán (por prensado en calor y/o extrusión e inyección) para estudiar la influencia:

- a) De la morfología y la tasa de fibras incrustadas en matrices poliméricas.
- b) De los procedimientos y condiciones de funcionamiento utilizados para obtener fibras de Bambú.

Caracterización de propiedades físico-químicas y mecánicas de compuestos elaborados.

- a) Pruebas de tracción en probetas instrumentadas con galgas extensiométricas para determinar el módulo de tracción, el esfuerzo y la deformación a la rotura en tracción de estos materiales.
- b) Se determinará el nivel de orientación de las fibras mediante técnicas de visión artificial.

Modelización y simulación numérica

a) Se va a verificar, en una primera fase, el comportamiento mecánico de los materiales estudiados, con la ayuda de software especializado.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. B. Dittenber y Hota V.S. GangaRao, «Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. Composites: Part A», 2011, pp. 1420-1427.
- [2] «Ecuador país biodiverso», La Hora Ecuador, 5 junio 2012.
- [3] Estrada Mejía y Ramírez Rodríguez Fernando, «Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos», Universidad de los Andes, Colombia, 2010.
- [4] Mohanty AK, Misra M, y Drzal LT, «Plant fibers as reinforcement for green composites», Nat. Fibers Biopolym. Biocomposites, pp. 37 -108, 2005.
- [5] Sherman LM, «Natural fibers: the new fashion in automotive plastics», Plastics technology online, 1999. [En línea]. Disponible en: www.ptonline.com. [Accedido: 22-jul-2010].
- [6] Symington MC, Banks WM, West OD, y Pethrick RA, «Tensile testing of cellulose based natural fibers for structural composite applications», 43, vol. 9, pp. 1083-1089.
- [7] Mohanty AK y Drzal LT, «Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: an overview», Compos Interface, vol. 8, pp. 313-343, 2001.
- [8] Ning Pan, «The elastic constant of randomly oriented fiber composite: A new approach to prediction», vol.

5, n.o 2, pp. 63-72, 2011.

[9] J. L. Kardos, «Critical issues in achieving desirable mechanical properties for short fiber composites», *Pure and Applied Chemistry*, vol. 57, pp. 1651-1657, 1985.

[10] B.A. Sanders, «Short Fiber Reinforced Composite Materials-Stp 772 - Google Libros», presentado en Symposium American Society for Testing and materials, 1980.

[11] A. A. N. Billon y L. Silva, «Mechanical response of a short fiber-reinforced thermoplastic: Experimental investigation and continuum mechanical modeling», vol. 29, pp. 1065 -1077, 2010.

[12] I. (INSTITUTO E. F. Y. D. Á. N. Y. V. SILVESTRE), «INFORME INTERINO A LA SECRETARÍA DEL CONVENIO DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA, SOBRE LA APLICACIÓN DEL ARTICULO 6», feb. 1998.

[13] FAO, «Las fibras naturales - Año Internacional de las Fibras Naturales 2009». [En línea]. Disponible en: <http://www.naturalfibras2009.org/es/fibras/>. [Accedido: 10-may-2013].

[14] Diario Hoy Ecuador, «25 FIBRAS VEGETALES SON EL POTENCIAL DEL ECUADOR», Ibarra Ecuador, 21-mar-2000.

[15] Alvaro Patricio Cerón López, «Estudio de la factibilidad implementar una empresa de exportación de fibra de abacá», EPN, QUITO, 2006.

[16] F. Manrique Nadia y O. González, «Efectos del tratamiento químico en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales como sustitutas de la fibra de vidrio en composites», 2011.

[17] C. Tapia, C. Paredes, A. Simbaña, y A. Leao, «Elaboración De Tableros De Particula Fina A Partir De Residuos Lignocelulósicos Y Resinas Termoestables», 2009.

[18] C. Garcia y J. Mesias, «Estudio Comparativo De Las Propiedades Mecanicas Y Reologicas De Compuestos De Polietileno De Alta Densidad Con Cascarilla De Arroz Y Bagazo De Caña», 2008.

[19] R. Z. GALLEGO, «AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE MICROFIBRILLAS DE CELULOSA DE LA PARED CELULAR DE LOS HACES VASCULARES DE RAQUIS DE BANANO», UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, Medellín, 2008.

[20] D. Hull, *Materiales compuestos*. Reverté, 1987.

[21] F. C. Campbell, *Structural Composite Materials*. ASM International, 2010.

[22] D. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, 4.a ed. Thomson-Paraninfo, 2001.

[23] J. Segurado Escudero, «Micromecánica computacional de materiales compuestos reforzados con partículas», Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2004.

[24] J. Müssig y T. Sloomaker, «Types of fibre», en *Industrial Applications of Natural Fibers*, J. Müssig, Ed. Wiley, 2010, pp. 41-48.

[25] R. Kozłowski, M. Mackiewicz, Talarczyk, M. Muzyczek, y J. Barriga, Bedoya, «Future of natural fibers, their coexistence and competition with man-made fibers in 21st century», *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, vol. 556, n.o 1, pp. 200-222, 2012.

[26] T. Hanninen y M. Hughes, «Historical, Comtemporary and Future Applications», en *Industrial Applications of Natural Fibers*, J. Müssig, Ed. Wiley, 2010, pp. 385-395.

[27] J. Biagiotti, D. Puglia, y J. M. Kenny, «A Review on Natural Fibre-Based Composites-Part I: structure, Processing and Properties of Vegetable Fibres», *J. Nat. Fibers*, vol. 1, n.o 2, pp. 37-68, 2004.

[28] A. Simbaña y G. Pabón, *Fibras naturales de la provincia de Imbabura*. Ecuador: AM PRESS, 2006.

[29] T. Huber, N. Graupner, y J. Mussig, «Natural fibre composite processing: a technical overview», en *Industrial Applications of Natural Fibres*, Germany: Jhon Wiley and Sons, 2010, pp. 407-421.

[30] O. Faruk, A. Bledzki, H.-P. Fink, y M. Sain, «Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010», *Prog. Polym. Sci.*, vol. 37, pp. 1552-1596, 2012.

[31] J. Biagiotti, D. Puglia, y J. M. Kenny, «A Review on Natural Fibre-Based Composites-Part II: application of Natural Reinforcements in Composite Materials for Automotive Industry», *J. Nat. Fibers*, vol. 1, n.o 3, pp. 23-65, 2005.

[32] E. Promper, «Natural Fibre-Reinforced Polymers in Automotive Interior Applications», en *Industrial Applications of Natural Fibres*, Germany: Jhon Wiley and Sons, 2010, pp. 423-436.

[33] S. Bandyopadhyay-Ghosh, S. Bandhu Ghosh, y M. Sain, «Cellulose Nanocomposites», en *Industrial Applications of Natural Fibers*, J. Müssig, Ed. Wiley, 2010, pp. 459-480.

[34] J. Fajardo, L. Valarezo, L. López, y A. Sarmiento, «Experiences in obtaining polymeric composites reinforced with natural fiber from Ecuador», Aceptado Para Publicación En *Ingenius Rev. Cienc. Tecnol.*, n.o 9, pp. 28-35, jun. 2013.

[35] K. Stålné, «Modelling of stiffness and hygroexpansion of wood fibre composites», Licentiate thesis, Lund Institute of Technology, Suecia, 2001.

[36] H. Bohm, *A short introduction to basic aspects of continuum micromechanics*, 3.a ed. Austria: Institute of Lightweight Design and Structural Biomechanics (ILSB).

[37] J. Zeman, «Analysis of Composite Materials with Random Microstructure», Czech Technical University in Prague, República Checa, 2003.

[38] L. Mishnaevsky, «Micromechanics of hierarchical materials: A brief overview», *Rev Adv Mater Sci*, vol. 30, pp. 60-72.

[39] T. Nilsson, «Micromechanical modelling of natural fibres for composite materials», Licentiate Dissertation, Lund University, Suecia, 2006.

[40] J. Aboudi, *Mechanics of composite materials*,. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1991.

[41] V. Yadama, «Rule of mixtures», EEUU, 2007.

[42] R. Hill, «Elastic behaviour of a crystalline aggregate», en *Proceedings of the physical society*, IOP Publishing, 1952, vol. 65, p. 349.

- [43] J. Halpin y K. Kardos, «The Halpin - Tsai Equations: A review», Polym. Eng. Sci., vol. 16, n.o 5, pp. 344-352, may 1976.
- [44] B. Lamy y C. Baley, «Stiffness prediction of flax fibres-epoxy composite materials», J. Mater. Sci. Lett., vol. 19, pp. 979-980, 2000.
- [45] B. Svennerstedt, «Recycled and renewable resources for construction, insulation and automotive composites», presentado en Proceedings of NTC, 2005.
- [46] A. Hillerborg, «Kompendium I Byggnadsmateriallära FK», Division of building materials, Lund University, Suecia, 1986.
- [47] K. Ståle y P. J. Gustafsson, «A 3D model for analysis of stiffness and hygroexpansion properties of fibre composite materials», J. Eng. Mech., vol. 128, n.o 6, pp. 654-662.
- [48] R. Hill, «A self consistent mechanics of composite materials», J. Mech. Phys. Solids, vol. 13, pp. 213-222, 1965.
- [49] Z. Hashin y S. Shtrikman, «A variational approach to the theory of the elastic behaviour of multiphased materials», J. Mech Phys Solids, vol. 11, pp. 127-140, 1963.
- [50] Z. Hashin, «On elastic behaviour of fibre reinforced materials of arbitrary transverse phase geometry», J. Mech. Phys. Solids, vol. 13, pp. 119-134, 1965.
- [51] S.-Y. Fun y B. Lauke, «Effects of fiber length and fiber orientation distributions on the tensile strength of short-fiber-reinforced polymers», Compos. Sci. Technol., vol. 56, pp. 1179-1190, 1996.
- [52] A. B. Strong, Plastics, materials and processing. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [53] D. H. Chung y T. H. Kwon, «Fiber orientation in the processing of polymer composites», Korea-Aust. Rheol. J., vol. 14, n.o 4, pp. 175-188, Diciembre 2002.
- [54] S. Shaharuddin y E. Zainudin, «A review of the effect of moulding parameters on the performance of polymeric composite injection molding», Turk. J. Eng. Env Sci., vol. 30, pp. 23-34, 2006.
- [55] Y. Lu, «Mechanical properties of random discontinuous fiber composites manufactured from wetlay process», Master of Science in Engineering Mechanics, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2002.
- [56] H. L. Cox, «The elasticity and strength of paper and other fibrous materials», Br. J. Appl. Phys., n.o 3, pp. 72-79, 1952.
- [57] D. Gay, S. Hoa, y S. Tsai, Composite Materials: Design and Applications. Boca Ratón, Florida: CRC Press, 2003.
- [58] S. Tsai y J. Pagano, «Composite Materials Workshop», Technomic Stamford.
- [59] B. Blumentritt y S. Cooper, «Mechanical properties of Discontinuous Fiber Reinforced Thermoplastics. II. Random-in-Plane Fiber Orientation», Polym. Eng. Sci., vol. 15, n.o 6, pp. 428-436.
- [60] M. Manera, «Elastic properties of randomly oriented short fiber-glass composites», J. Compos. Mater., vol. 11, pp. 235-247, 1977.
- [61] S. Tsai y J. Pagano, «Invariant properties of composite materials», Compos. Mater. Work., pp. 233-238.
- [62] B. Madsen y K. Gamstedt, «Wood versus Plant Fibers: Similarities and Differences in Composite Applications», Adv. Mater. Sci. Eng., vol. 2013, pp. 1-14.

8. RESULTADOS ESPERADOS

Obtener una base de datos científica de recientes investigaciones relacionadas a la caracterización mecánica de compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales cortas.

Obtener un nuevo material en base a fibras naturales de alta disponibilidad en Ecuador y Colombia.

Publicar los resultados intermedios en una revista indexada.

- Artículo de investigación Caracterización química de la fibra y del compuesto. (4 meses de iniciado el proyecto)
- Artículo de investigación Caracterización mecánica del compuesto desarrollado. (4 meses de iniciado el proyecto)

Presentación y publicación en Congresos nacionales e internacionales con indexación de full paper de los resultados finales.

Trámite para patentar el proceso de obtención del compuesto o del proceso de modificación superficial.

9. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y/O SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

Para transferir los conocimientos adquiridos y desarrollados en la presente investigación, se tiene previsto lo siguiente:
 Presentar el proyecto final a una red de investigadores en materiales para alimentar la base de datos en cuanto a propiedades mecánicas de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras cortas de guadua angustifolia.
 Difundir resultados en sector público y productivo industrial para generar cambios en la matriz de materias primas y ampliar el campo de aplicación de los compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales.

Transferir los resultados obtenidos a empresas locales de producción de compuestos poliméricos reforzados con fibras de vidrio y carbono, tales como: Plastiluz, Equiplast, Fibroluz.
Generar asociación estratégica para producción en serie de componentes en base a refuerzos de fibras naturales.

10. IMPACTOS DEL PROYECTO

Con el proyecto se pretende generar un avance en el conocimiento y la comprensión del comportamiento mecánico de polímeros sintéticos y biorecursos reforzados por fibras de GAK, desde su formulación hasta su transformación. Para ello se buscará la inclusión en la academia mediante las siguientes actividades:

Tesis de pregrado asociadas:

Obtención experimental de un material bicompuesto a base de una matriz polimérica y reforzada con fibras naturales de GAUDUA ANGUSTIFOLIA proveniente del Ecuador. Estudiante vinculado Luis Eduardo Valarezo Jaramillo de Ingeniería Mecánica.

Determinación de la distribución de orientación y longitud de fibras mediante procesamiento digital de imágenes en compuestos poliméricos reforzados con fibras cortas. Estudiante vinculado Patricio Bernardo Albarracín Parra y Edison Xavier Castillo Agurto de Ingeniería Mecánica.

Estudio de la aplicación potencial de compuestos obtenidos con residuos de caucho reciclado provenientes de la empresa Continental Tire Andina como rellenos en materiales estructurales. Estudiante vinculado Patricio Miguel Luna Morocho de Ingeniería Mecánica.

Caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial aplicación como materia prima. Estudiante vinculado Andrés Javier Criollo Salamea de Ingeniería Mecánica.

Tesis de posgrado asociadas:

Tesis de Maestría en control y automatización industriales. Determinación de la función de distribución de probabilidad de orientación de fibras cortas mediante algoritmos de visión artificial. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

Tesis Doctoral en Ingenierías Área Nuevos Materiales. Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín ¿ Colombia.
Seminarios

Latex nivel intermedio, colaboradores del grupo de investigación.

Diseño de Experimentos para estudiantes de séptimo semestre de ingeniería Mecánica.

Modelado por elementos finitos Ansys Mechanical, Abaqus Composites para colaboradores de investigación.

Vinculación

Se pretende cristalizar convenios específicos dentro de proyectos marco, que actualmente tiene firmados la Universidad Politécnica Salesiana. Se abordarán a universidades públicas nacionales e internacionales y universidades internacionales.

A nivel nacional se tiene la aceptación de integrar un delegado de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Cuenca en el proyecto.

A nivel internacional se tiene la participación en calidad de asesores a dos integrantes del grupo de investigación GINUMA de la Pontificia Universidad Bolivariana de Medellín.

Además se tiene la intención firme de asesorar en los ensayos de caracterización por parte de dos docentes del Grupo GRESPI (GRESPI/Equipe Matériaux, Procédés et Systèmes d'Emballage UFR Sciences Exactes et Naturelles) de la Universidad Estatal de Reims ¿ Francia. Por otro lado se tiene la intención firme de colaboración en el desarrollo de ensayos y caracterización por MEF por parte del grupo de Propiedades de materiales Poliméricos (GPMP)

11. INFORMACIÓN DE COFINANCIADORES (en caso de que existieran)

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL :	Grupo GINUMA Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín.
REPRESENTANTE LEGAL :	PhD. Luis Javier Cruz Riaño
DIRECCION :	Circular 1 Avenida 73-76
PAGINA WEB :	www.upb.edu.co
E-MAIL :	luis.cruz@upb.edu.co
TIPO :	Publico

