

Desarrollo de un Material Compuesto de Matriz de Poliuretano Rígido Reforzado con Fibra de Raquis De Palma Africana

Proaño A.*; Bonilla O.**; Aldás M.*

*Escuela Politécnica Nacional, Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador
e-mail: {andres.proanof; miguel.aldas}@epn.edu.ec

** Escuela Politécnica Nacional, Centro Textil Politécnico, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador
e-mail: omar.bonilla@epn.edu.ec

Resumen: En el presente artículo se expone el desarrollo de un material compuesto de matriz de poliuretano rígido con fibra de raquis de palma africana. Como materia prima del poliuretano se utilizó: difenilmetano diisocianato y polioli polioxipropilénico, fabricados por la empresa Huntsman. La fibra de raquis de palma africana fue recolectada de una planta extractora de aceite. La fibra fue molida, tamizada y secada. Para mejorar la afinidad matriz-fibra, las fibras fueron sometidas a un proceso de acetilación con anhídrido acético. Se elaboraron materiales compuestos con concentraciones de carga en peso de fibra de: 0 %, 5 %, 10 % y 15 %. A los materiales compuestos desarrollados se realizaron ensayos mecánicos de flexión y tracción. Los materiales compuestos con 15 % en peso de fibra mostraron propiedades mecánicas iguales o superiores a las del material de poliuretano. Respecto al material compuesto formulado con fibra acetilada, éste presentó resultados ligeramente mayores en los ensayos mecánicos en comparación con el material formulado con fibra sin tratamiento químico. Para los materiales compuestos con 15 % en peso de fibra, se determinó el costo de producción y se comparó con el costo de producción del material de poliuretano.

Palabras clave: Material compuesto, matriz polimérica, poliuretano rígido, fibra natural, raquis de palma africana

Abstract: This article explains the development of a composite made from rigid polyurethane and oil empty fruit bunch fibre with the objective of reducing production cost. As rigid polyurethane raw material, it was used: diphenylmethane diisocyanate and polyoxypropylene polyol, manufactured by Huntsman. The oil palm empty fruit bunch fiber was collected from an oil extract plant. The fiber was milled, sieved and dried. In order to improve the compatibility between the matrix and the fiber, the fibers were subjected to a process of acetylation using acetic anhydride. Composites were prepared with different fiber ratios: 0-wt%, 5-wt%, 10-wt% and 15-wt%. The mechanical properties of the composites were tested, by tensile and flexural tests. The composites with 15-wt% of fiber showed equal or superior mechanical properties than the rigid polyurethane material. The composite formulated with acetylated fiber showed slightly higher results in the mechanical tests than the material formulated with untreated fiber. The cost of production of the composites with 15-wt% of fiber were determined, this cost was compared with the cost of production of the polyurethane material.

Keywords: Composite, polymer matrix, rigid polyurethane, natural fiber, oil palm empty fruit bunch fiber.

1. INTRODUCCIÓN

Desde las pasadas décadas, las fibras naturales han atraído el interés de investigadores e industrias debido a sus ventajas específicas en comparación con las fibras sintéticas (tales como: resistencia al impacto, tensión, desgaste y fatiga). La creciente preocupación mundial sobre el medio ambiente está alentando el uso de materiales de fuente renovable que no dañan la naturaleza y provienen de una fuente alterna de buen potencial económico. Actualmente las fibras naturales están siendo utilizadas para el refuerzo de matrices termoplásticas y termoestables [6].

Hoy en día, uno de los problemas ambientales que existe es el poco uso que se les da a los residuos agroindustriales lignocelulósicos como el tamo de arroz, residuos de cosechas de cereales, bagazo de caña de azúcar, aserrín, raquis de palma africana, subproductos del desfibrado de plantas como la cabuya, abacá, entre otros. Todos estos residuos en su mayoría son incinerados y devueltos al campo como fertilizante. Estos materiales pueden ser una fuente alternativa de materia prima para crear bienes con valor agregado [8]. La fibra de raquis de palma africana es un residuo lignocelulósico que se obtiene como desecho de la extracción de aceite de palma africana. La fibra de raquis de

palma africana se la utiliza como abono y alimento para los animales, generación de energía, en la fabricación de pulpa y papel, como relleno en tableros de madera y como refuerzo de hormigón armado [9].

Por otro lado, los polímeros reforzados con fibra natural han venido emergiendo en los últimos años como una opción amigable con el medio ambiente y económica en comparación con fibras sintéticas como la aramida, fibra de vidrio o carbono. Las fibras lignocelulósicas poseen factores que favorecen su uso, como: propiedades aceptables de esfuerzo, bajo costo, baja densidad, no abrasivos, mayor recuperación de energía, y biodegradables. Además, poseen buena estabilidad térmica y proporcionan excelente aislamiento para el calor y el ruido [2].

Los poliuretanos son ahora utilizados en varias aplicaciones tecnológicas debido al bajo costo de procesamiento, la facilidad con la que se puede obtener material en grandes dimensiones y la variedad de reactivos que conducen a productos con diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas. Dependiendo de la materia prima y de la composición, el poliuretano se puede utilizar para la fabricación de una amplia gama de productos tales como adhesivos, recubrimientos, elastómeros y espumas rígidas y flexibles. La espuma rígida de poliuretano es usada en el campo del transporte, tecnología de refrigeración y electrodomésticos, industria de la construcción, industria automotriz, empaque, refuerzo de alfombras y artículos deportivos [7]. El uso del poliuretano en aplicaciones que requieren elevadas propiedades mecánicas es muy limitado, es por esto que materiales compuestos de poliuretano se desarrollan con el fin de obtener un material compuesto con mayores propiedades [12].

De esta manera en este trabajo, se busca conseguir el reemplazo de materiales importados con materiales locales naturales, lo cual es una vía para incrementar la competitividad de los productos ecuatorianos. Con el objetivo de aprovechar los recursos naturales disponibles en el Ecuador, y en busca de alternativas que sean económicamente viables para el refuerzo de matrices poliméricas, se desarrollaron materiales compuestos con matrices de poliuretano reforzado con fibras de raquis de palma africana.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Preparación de la fibra

Se empleó fibra de raquis de palma africana que fue recolectada de una planta extractora de aceite de la provincia de Los Ríos. La fibra de raquis de palma africana se obtiene como resultado del proceso de extracción del aceite de palma, la fibra fue obtenida en forma de racimos húmedos.

Las impurezas de las fibras fueron limpiadas manualmente. Primero, las fibras fueron molidas en un molino de cuchillas. Luego, las fibras fueron tamizadas durante 30 minutos, utilizando un juego de tamices de mallas #20, #30, #50 y #60.

Para la elaboración del material compuesto se utilizó las fibras que pasaron la malla #60. Por último, las fibras fueron secadas en una estufa durante 4 horas a 105 °C.

2.2 Tratamiento químico a las fibras

Se realizó un tratamiento químico de acetilación a las fibras, con dos objetivos: el primero es aumentar la naturaleza hidrofóbica de la fibra y el segundo es hacer más lisa la superficie de la fibra mediante la eliminación de la cera, con la finalidad de mejorar la interacción entre la matriz polimérica y las fibras [1].

Se utilizó anhídrido acético con 97 % de pureza, como agente acetilante. Las fibras fueron colocadas en un reactor de vidrio de 1 000 ml de capacidad y se añadió anhídrido acético hasta que las fibras estén totalmente cubiertas. El reactor fue colocado en un baño de aceite a 110 °C con un reflujo condensador durante 120 minutos.

Terminado el proceso de acetilación, el reactor fue retirado del baño de aceite y las fibras fueron extraídas del reactor. Las fibras fueron lavadas con agua destilada y luego secadas a 105 °C durante 8 horas

2.3 Preparación del material compuesto

Los constituyentes del material compuesto fueron: matriz de poliuretano rígido y raquis de palma africana. Se desarrollaron dos tipos de materiales compuestos: el primero fue un material de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra de raquis de palma africana y el segundo fue un material de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra de raquis de palma africana químicamente tratada.

Como materia prima del poliuretano rígido se utilizó: difenilmetano diisocianato y polioliol polioxipropilénico, materiales fabricados por la empresa Huntsman. Se utilizaron las condiciones de trabajo dadas por la empresa fabricante, como: relación de mezclado, tiempo de desmolde y temperatura del molde.

La preparación del material compuesto, se realizó mediante moldeo manual, donde se añade manualmente las materias primas en un molde y así el producto toma su respectiva forma. El molde debe tener un sellado óptimo para asegurar que no se formen rebabas. Antes de añadir los componentes, se aplicó desmoldante por todas las paredes internas del molde, en este proyecto se utilizó parafina líquida.

Primero se pesaron el polioliol e isocianato, en distintos recipientes. La fibra natural, con el respectivo porcentaje en peso, fue añadida en el recipiente con polioliol y se batió la mezcla. Luego, se añadió el isocianato y con el uso de un agitador se mezcló para que la fibra se pueda distribuir por todo el contenedor. La mezcla fue vertida en el molde y se procedió a cerrarlo. Pasados 15 minutos, se abrió el molde y se sacó el material compuesto.

Las variables con las que se trabajó en el proyecto fueron: la concentración de carga en peso de la fibra en el material compuesto y el tratamiento químico a las fibras. Se trabajaron con tres valores de concentración de carga en peso de fibra: 5 %, 10 % y 15 %. Respecto al tratamiento químico a las fibras se tuvo: material compuesto con fibras sin tratamiento químico y material compuesto con fibras químicamente tratadas. En la Tabla 1 se detallan las variables y sus respectivos niveles para el desarrollo del material compuesto de matriz de poliuretano rígido.

2.4 Caracterización del material compuesto

Para los ensayos mecánicos se utilizó la máquina de ensayos universales para propiedades mecánicas marca Instron modelo 1011.

El ensayo de flexión se realizó según la norma ASTM D7264: Pruebas estándar para propiedades de flexión para materiales compuestos con matriz polimérica. Se utilizaron probetas rectangulares de: 200 mm x 12 mm x 10 mm [5].

El ensayo de tracción se realizó según la norma ASTM D3039: Pruebas estándar para propiedades de tracción para materiales compuestos con matriz polimérica. Se utilizaron probetas rectangulares de: 100 mm x 10 mm x 12 mm. [4].

Posteriormente a la determinación de las propiedades mecánicas, se seleccionó un material compuesto cuyo porcentaje en peso de fibra presente mayores o iguales resultados que el material de poliuretano en los parámetros de resistencia a la flexión y resistencia a la tracción. Al material seleccionado se realizó el análisis de densidad según la norma ASTM D1622: Densidad de plásticos rígidos [3]. Por último se realizó el análisis de costos de producción del material compuesto.

2.5 Análisis de costos de producción del material compuesto

Se realizó un análisis de costos de producción del material compuesto con 15 % en peso de fibra. Se realizó dicho análisis al material compuesto con fibra sin tratamiento químico. Dado que para el tratamiento químico se utilizó anhídrido acético, el cual es un reactivo regulado por el CONSEP y tiene un costo en el mercado de \$56 por litro, no se realizó el análisis de costos para el material compuesto con fibra químicamente tratada, ya que el presente proyecto busca disminuir los costos de producción.

Tabla 1. Variables y niveles para el desarrollo del material compuesto

Material Compuesto	Variable	Niveles
Material compuesto de poliuretano con fibra de raquis	Porcentaje en peso de la fibra	5 %
		10 %
		15 %
	Tratamiento a la fibra	Sin tratamiento químico
		Con tratamiento químico

El análisis de costos de producción tiene como finalidad establecer el precio de producción de un lote de 1 000 kg de material compuesto. Para el análisis de costos se consideró: el

precio de preparación de las fibras y, el precio del poliol e isocianato. Sumados estos dos costos se determinó el costo real para producir un lote de 1 000 kg de material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibras

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al momento de producir el material compuesto se tomó en cuenta que el material no tenga fallas superficiales como burbujas o huecos, que el material tenga la forma del molde utilizado y que no pierda su forma con el pasar del tiempo (estabilidad dimensional). Además se cuidó de no realizar la agitación a grandes velocidades y de no aplicar en exceso el desmoldante.

3.1 Caracterización del material compuesto

3.1.1 Ensayo de flexión

En la Fig. 1 se muestran los resultados obtenidos para el parámetro de la deformación en el punto de fluencia para el material compuesto con fibra de raquis de palma africana.

Se puede apreciar que no existe una tendencia lineal, con 5 % en peso la deformación aumenta para ambos casos, con 10 % en peso la deformación disminuye en relación con el porcentaje de carga anterior. Y para el material con 15 % en peso se obtuvo la mayor deformación cuando se formuló con fibra tratada, mientras cuando se formuló con fibra sin tratar la deformación es ligeramente menor al del material de puro.

Para este parámetro el material compuesto formulado con fibra químicamente tratada presenta mayores resultados que el material compuesto con fibra sin tratar. En cada una de las concentraciones en peso del material compuesto con fibra acetilada, la deformación incrementó en todos sus valores con respecto al material hecho sólo de poliuretano.

Esto probablemente se debe a que el tratamiento químico influye y mejora la afinidad entre la matriz de poliuretano y la fibra de raquis de palma africana ya que existe una mayor transferencia de carga de la matriz a la fibra [6].

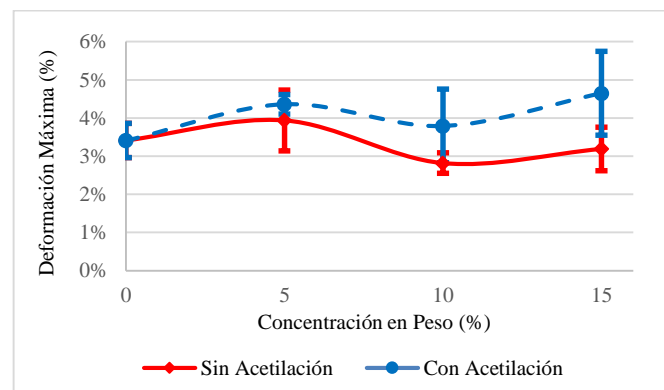


Figura 1. Deformación en el punto de fluencia en el ensayo de flexión

En la Fig. 2 se muestran los resultados para el esfuerzo máximo o resistencia a la flexión. La tendencia del esfuerzo es que aumenta cuando se formula el material con 5 % en peso de fibra. Se obtuvieron los mayores resultados cuando se utilizó 10 % en peso de fibra y, cuando se formuló con 15 % en peso de fibra los resultados del esfuerzo máximo son similares al del material puro. La tendencia es similar para el material compuesto formulado con fibra tratada químicamente así como formulado con fibra sin tratar, se observa que los resultados con fibras tratadas químicamente son ligeramente mayores que los presentados por los materiales compuestos formulados con fibras sin tratar.

El aumento en la resistencia a la flexión se debe a la absorción de esfuerzo por parte de la fibra. Con fibra químicamente tratada los valores de esfuerzo máximo son mayores ya que en los materiales con fibra acetilada existe mayor cantidad de enlaces uretanos. Al existir mayor cantidad de enlaces, los grupos OH de las fibras con los isocianatos forman una red cohesiva para que absorba y distribuya la carga de manera uniforme por todo el material [10].

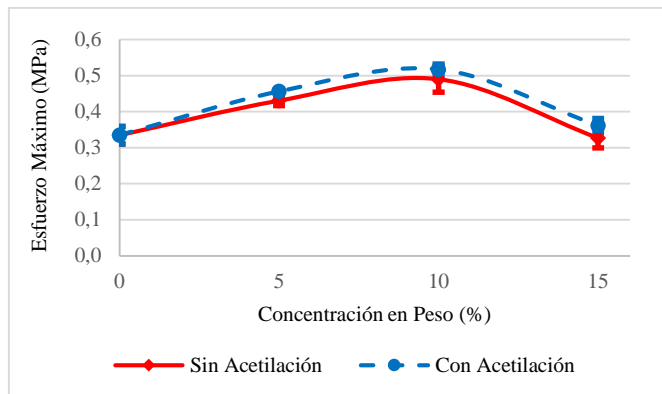


Figura 2. Esfuerzo máximo en el ensayo de flexión

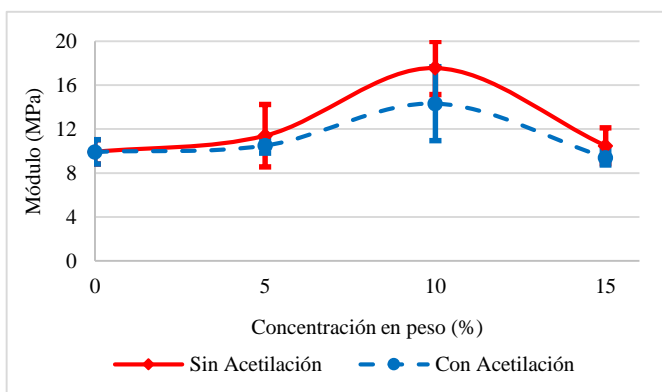


Figura 3. Módulo de flexión

En la Fig. 3 se muestran los resultados obtenidos para el parámetro de módulo de flexión del material compuesto. La tendencia para el material compuesto con fibra sin acetilar es el aumento del módulo de flexión cuando se añade 5 % y 10 % en peso de fibra, mientras que cuando se formula con 15 % en peso de fibra el material presenta un módulo similar al del material puro. Para el material compuesto con fibra

acetilada, el módulo de flexión aumenta sólo cuando se formula con 10 % en peso de fibra ya que para las demás concentraciones el módulo la variación es mínima.

Se observa que mayores módulos se obtienen cuando se formula el material compuesto con raquis de palma africana sin acetilar. El módulo de flexión indica que tan rígido es un material, a medida que su módulo aumenta el material se vuelve más rígido. La tendencia muestra que el módulo aumenta cuando se incorpora la fibra, esto quiere decir que la rigidez de la fibra contribuye a la rigidez del material compuesto. Los materiales compuestos con fibra químicamente tratada poseen cadenas más largas lo que les proporciona mayor flexibilidad al material [10].

3.1.2 Ensayo de tracción

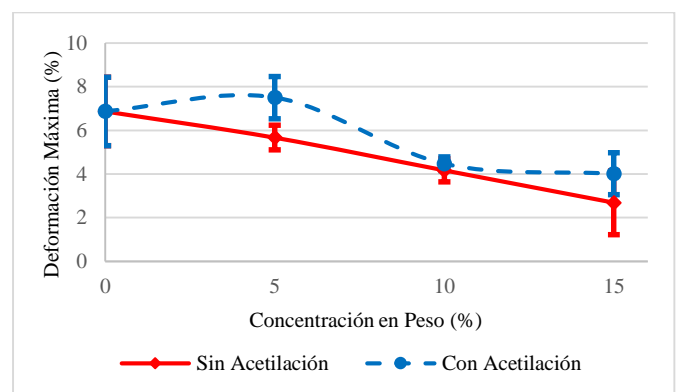


Figura 4. Deformación al pico en el ensayo de tracción

En la Fig. 4 se observa la deformación al pico en el ensayo de tracción para el material compuesto. En este parámetro se observa que la tendencia es decreciente. Todos los materiales compuestos presentan una disminución en la deformación con respecto al material puro, excepto por el material formulado con 5 % en peso de fibra con fibra tratada. A medida que se aumenta el porcentaje de fibra la deformación al pico tiende a disminuir. Esto quiere decir que la fibra vuelve al material más rígido y pierde la elasticidad original de poliuretano. Además, se observa que material compuesto formulado con raquis de palma africana acetilada tiene mayor elasticidad y menor rigidez que el material compuesto formulado con raquis sin tratamiento químico. Esto se debe, a que el tratamiento químico proporciona mayor deformación al material ya que se forman cadenas más largas [11].

En la Fig. 5 se muestran los resultados que se obtuvieron de esfuerzo máximo para los materiales compuestos con raquis de palma africana. La resistencia a la tracción presenta mayores resultados cuando se formula el material compuesto con fibra químicamente tratada, esto sucede para todas las distintas concentraciones en peso de fibra. El aumento del esfuerzo sucede porque los grupos OH de la lignocelulosa de la fibra, activados en la acetilación, actúan como poliál para la correspondiente reacción con el isocianato formándose más cadenas para absorber el esfuerzo [10].

Existe un aumento en la resistencia a la tracción cuando se formula al material con una carga en peso del 5 %, la resistencia a la tracción aumenta porque hubo una buena dispersión de la fibra a través de la matriz lo que ayudó a la transferencia y distribución uniforme del esfuerzo por todo el material. Los valores de esfuerzo máximo decrecen en relación con el material de poliuretano en consecuencia que el exceso de fibra ocasiona una pobre adhesión con la matriz lo que se ve reflejado en la disminución de las propiedades del material compuesto.

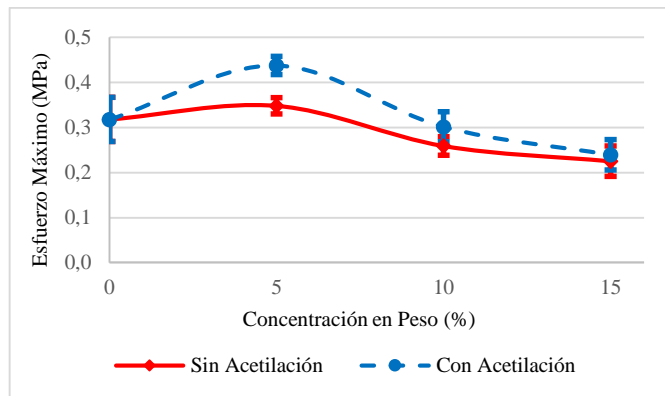


Figura 5. Esfuerzo máximo en el ensayo de tracción

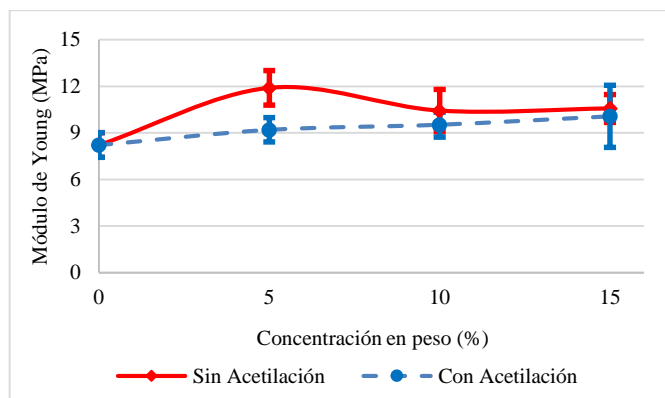


Figura 6. Módulo de tracción

En la Fig. 6 se observan los resultados obtenidos del módulo de Young para el material compuesto. Se observa que en todas las concentraciones en peso de raquis de palma africana e independientemente del tratamiento químico a las fibras, el módulo de Young aumenta en comparación con el material puro de poliuretano. Esto se debe a la contribución de la rigidez propia de la fibra de raquis de palma africana. Se puede apreciar que el incremento del módulo de Young es mayor cuando se formula el material compuesto con fibra de raquis no acetilada ya que el tratamiento químico aumenta la movilidad de las fibras en la matriz, por lo que movilidad se traduce en mayor flexibilidad para el material compuesto [10]. El material compuesto cuya concentración en peso es de 15 % con fibra no acetilada presenta un aumento de 28,87 % mientras que el material compuesto cuya concentración en peso es de 15 % con raquis de palma africana acetilado presenta un aumento de 22,65 % en comparación con el material hecho sólo de poliuretano.

3.2 Selección del material compuesto

Para el presente proyecto, con base en los ensayos mecánicos se seleccionó un material compuesto cuya concentración de carga en peso de fibra haya presentado mayores o iguales resultados que el poliuretano en los parámetros de resistencia a la tracción y resistencia a la flexión.

De los ensayos mecánicos se observa que los materiales compuestos formulados con fibra químicamente tratada presentan propiedades de tracción y de flexión superiores debido a las reacciones adicionales producidas por los grupos OH de la fibra tratada con el isocianato. A pesar del aumento en los resultados, el proceso de acetilación no es justificable por el incremento de costos de producción que representa.

Desde el punto de vista económico, no es conveniente realizarlo ya que el material compuesto formulado con fibra sin tratamiento químico presenta propiedades mecánicas similares.

De los ensayos de flexión se seleccionó el material compuesto cuya concentración de carga en peso de fibra es del 15 % ya que los resultados de esfuerzo máximo se encuentran muy cercanos a los valores que presentó el material de poliuretano. A pesar de que los materiales compuestos con 10 % de concentración de carga de fibra presentaron los mayores resultados en el parámetro antes mencionado, éstos no fueron seleccionados ya que el objetivo del proyecto es incorporar la mayor cantidad de fibra sin que las propiedades del poliuretano sean disminuidas, por lo tanto se seleccionó al material compuesto con 15 % de fibra.

Al igual que en el ensayo de flexión, para el ensayo de tracción se tomó en cuenta los resultados obtenidos para el parámetro de esfuerzo máximo. Los materiales compuestos presentaron la misma tendencia que en los ensayos de flexión, pero en este caso el material formulado con 5 % de fibra presentó los mayores resultados. Se seleccionó al material cuya concentración de carga en peso es del 15 % de fibra debido a que presenta resultados de esfuerzo máximo próximos a los resultados presentados por el material hecho sólo de poliuretano, se considera también que la adición de una mayor cantidad de fibra favorece a una disminución de costos de producción del material.

3.3 Ensayo de densidad

La densidad del material rígido de poliuretano tiene un valor de 42,971 kg/m³ mientras que la hoja técnica del producto indica un valor de 40 kg/m³, por lo que se demuestra que el material obtenido en el presente proyecto posee una densidad muy próxima al valor bibliográfico. Los resultados indican que los materiales compuestos desarrollados presentan un aumento de densidad en comparación con el material puro.

Esto se debe a que la fibra de raquis de palma africana es más densa que el material de poliuretano. La densidad de la fibra utilizada en el presente proyecto es de 1 100 kg/m³.

En la Fig. 7 se comparan los resultados cuando se formula el material con fibra químicamente tratada con respecto al material formulado con fibra sin tratar, se observa que la diferencia entre estos materiales es mínima.

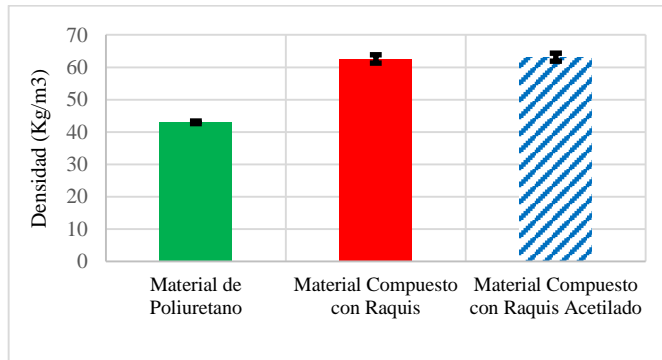


Figura 7. Densidad de los materiales compuestos de poliuretano rígido reforzado con fibras naturales

3.4 Análisis de costos de producción del material compuesto

Se realizó una comparación del análisis de costos de producción del material de poliuretano y del material compuesto con 15 % en peso de fibra. Se tomó como base una producción de 1 000 kg de material.

En la Tabla 2 se enlistan los costos de la materia prima para una producción de 1 000 kg de poliuretano rígido.

En la Tabla 3 se detallan los costos de materia prima para la producción de un lote de 1 000 kg de material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra de raquis de palma africana.

Tabla 2. Costos de materia prima para la producción de poliuretano rígido

Materia Prima	Costo Unitario	Cantidad Materia Prima por Lote	Costo de Materia Prima por Lote
Poliol (kg)	\$ 4.50	500.0	\$ 2 250.0
Isocianato (kg)	\$ 4.50	500.0	\$ 2 250.0
		Total	\$ 4 500.0

Tabla 3. Costos de materia prima para la producción del material compuesto de poliuretano rígido con fibra de raquis de palma africana

Materia Prima	Costo Unitario	Cantidad Materia Prima por Lote	Costo de Materia Prima por Lote
Poliol (kg)	\$ 4.50	425.0	\$ 1 912.50
Isocianato (kg)	\$ 4.50	425.0	\$ 1 912.50
Fibra (kg)	\$ 0.0	150	\$ 0.00
Energía Eléctrica (kW)	\$ 0.10	\$ 17.05	\$ 1.71
Transporte (kg)		150	\$ 60.00
		Total	\$ 3 886.71

La fibra de raquis de palma africana no tiene costo ya que se trata de un desecho. Además se enumeran los costos de preparación de la fibra de raquis de palma africana. Estos costos se refieren al consumo energético que se gasta para la molienda, tamizado y secado de 150 kg de fibra. La recolección de la fibra de raquis de palma africana implicó costos de traslado, dado que se la debió recolectar de las plantas extractoras de aceite de palma africana que se

encuentran en fincas alejadas de las ciudades. El análisis de costos se realizó para la producción de un material compuesto con 15 % en peso de fibra.

Comparando las tablas se observa que para la producción del material compuesto de raquis de palma africana existe una disminución de costos del 16 %.

4. CONCLUSIONES

En los ensayos de flexión el material formulado con 10 % en peso de fibra presentó las mayores propiedades mecánicas. En los ensayos de tracción el material formulado con 5 % en peso de fibra presentó las mayores propiedades mecánicas.

En la evaluación de las propiedades mecánicas, tanto de flexión y tracción, los resultados en el parámetro de esfuerzo máximo del material formulado con 15 % en peso son similares a los que presenta el material de poliuretano rígido.

El material formulado con fibra acetilada presenta resultados ligeramente mayores a los presentados por el material formulado con fibra sin tratamiento químico en los ensayos de propiedades mecánicas.

Se presentó una disminución de costos para la producción del material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra de raquis de palma africana en comparación con el material hecho sólo de poliuretano. Existió una disminución de costos del 16 %.

REFERENCIAS

- [1] H. Abdul Khalil y C. Hill. (2000). Effect of fiber treatments on mechanical properties of coir or oil palm fiber reinforced polyester composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 78(9), 1685-1697.
- [2] M. Amin, K. Anuar, & K. Haji Badri, K. (2007). Palm based bio composites hybridized with kaolinite. *Journal of Applied Polymer Science*, 105(5), 2488-2496.
- [3] ASTM D 1622. (2014). *Standard test method for apparent density of rigid cellular plastics*. Estados Unidos.
- [4] ASTM D 3039. (2014). *Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials*. Estados Unidos.
- [5] ASTM D 7264. (2007). *Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials*. Estados Unidos.
- [6] G. Barra, M. Fredel, H. Al Qureshi, A. Taylor, y C. Clemenceau. (2006). Properties of chemically treated natural amorphous silica fibers as polyurethane reinforcement. *Polymer composites*, 27(5), 582-590.
- [7] B. Gnauck, y P. Fründt. (1992). *Iniciación a la química de los plásticos*. (3ra Edición). Barcelona, España: Hanser, Barcelona.
- [8] A. Hassan, A. Salema, F. Ani, & A. Bakar. (2010). A review on oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced polymer composite materials. *Polymer Composites*. doi:10.1002/pc.21006
- [9] M. Mejía (2012). *Elaboración de tableros aglomerados auto-adheridos a partir de fibra de raquis de palma africana*. (Proyecto de titulación previo a la obtención de título de Ingeniero Químico publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- [10] H. Rozman, K. Ahmadhilm, & A. Abubakar. (2004). Polyurethane (PU) - oil palm empty fruit bunch (EFB) composites: the effect of EFB reinforcement in mat form and isocyanate treatment on the mechanical properties. *Polymer testing*, 23(5), 559-565.
- [11] H. Rozman, K. Ahmad Hilm & A. Abubakar. (2007). Polyurethane composites based on oil palm empty fruit bunches: Effect of isocyanate/hydroxyl ratio and chemical modification of empty fruit

- bunches with toluene diisocyanate and hexamethylene diisocyanate on mechanical properties. *Journal of applied polymer science*, 106(4), 2290-2297.
- [12] H. SinghH. (2011). Calculation of Blowing Agents and the Flammability Characteristics of rigid Polyurethane Foam (RPUF). En conferencia sobre los desafíos y las aplicaciones de las técnicas de modelos matemáticos en Ciencia de la Construcción y Tecnología. (pp. 511520). *Roorkee*, India: Central Building Research Institute