

ESTUDIO DE LA DOSIFICACION DE LA FIBRA BANANO EN UNA RESINA POLIMERICA DE TIPO EPOXICA

Jorge Amaya Pinos

Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Calle Vieja 12-30 y Elia Liut

Fecha de recepción: 27 de junio de 2018 — Fecha de aceptación: 24 de octubre de 2018

RESUMEN

La necesidad de generar nuevos materiales dosificados con fibras naturales ha sido el interés de la ciencia de los materiales con el objetivo de contribuir al medio ambiente. El presente trabajo consta del estudio de una dosificación de fibra de banano en una resina tipo epóxica; la fórmula de esta resina consta de una resina epóxica 828 lvel, anhídrido ftálico como agente reticulante y la amina terciaria N,N – dimetilbenzoamina (N,N – DMBA) como catalizador en un 2%; a esta formulación se le adicionó fibra de banano en un 7 y 15% con una determinada granulometría, para que posteriormente realizar el análisis diferencial de barrido DSC en el cual se observó que la dosificación de resina con el 7% tiene un mejor comportamiento térmico resultando un ΔH de 201 J/g, que es menor a la dosificación al 15% de fibra, pero esta dosificación al 15% tiene una mayor temperatura de reticulación de 137 °C. Posteriormente se realizó un análisis termodinámico mecánico (DMTA) con el objetivo de conocer y de caracterizar al material viscoelástico elaborado, en este análisis se comparó los resultados del DMTA de la resina sin dosificar con la resina dosificada con fibra de banano; esto evidenció que al adicionar mayor cantidad de fibra la pendiente del módulo de almacenamiento decrece por lo que pasa de estado vitroso a gomoso; en general, como resultado la resina dosificada al 7% presenta un estado menos gomoso que la resina dosificada al 15%.

Palabras Clave: resina epóxica, fibra, análisis.

STUDY OF THE DOSAGE OF BANANA FIBER IN A POLYMERIC RESIN OF TYPE EPOXY

ABSTRACT

The need to generate new materials dosage with naturals fibers has been of interest to the science of materials with the main contribution to the environment. This paper consists of the study of a dosification banana fiber in an epoxy type resin; the formula of this resin consists of an 828 lvel epoxy resin, phthalic anhydride as a crosslinking agent and the tertiary amine N, N-dimethylbenzoamine (N, N-DMBA) as a catalyst in 2%; to this formulation was added banana fiber in 7 and 15% with a certain granulometry, to subsequently perform differential analysis scan DSC in which it was observed that the dosage of resin with 7% has better thermal behavior resulting AH 201 J / g, which is lower than the dosification to 15% fiber; but this dosage at 15% has a higher crosslinking temperature of 137 °C. Subsequently, was carried out a mechanical

*jamaya@ups.edu.ec

Nota: Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 22, No. 3, 2018, ISSN: 2448-8364

thermodynamic analysis (DMTA) with the objective of knowing and to characterize the material viscoelastic elaborated, in this analysis were compared the results of the DMTA of the resin without dosed with the resin dosed with banana fiber; this evidenced that when adding more fiber, the slope of the storage module decreases, so it goes from a vitrous to a gummy state, as a result, the resin dosed at 7% has a less gummy state than the resin dosed at 15%.

Key words: epoxy resin, fiber, analysis.

INTRODUCCION

Uno de los principales productores de banano a nivel mundial es el Ecuador, en el cual, en éste país el cultivo de banano es de tipo tradicional y mayoritariamente en la región de la costa (AGUILAR RAMÓN, 2015). En el año 2016 según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura el Ecuador ha producido alrededor de 6529676 toneladas de Banano (FAOSTAT, 2018). En la investigación realizado por (Meneses, Agatón, Gutiérrez, Mendieta, & López, 2010), explica de que en la cosecha solo el 30% de su biomasa es aprovechable restando un 70% de la planta por utilizar y este porcentaje genera en un futuro importantes impactos ambientales debido al arrojamiento de estos residuos al ecosistema.

Estos residuos desechados son una fuente sustancial para la obtención de fibra y en especial de los pseudotallos que físicamente son muy similares a las fibras textiles (Rodríguez, Sarache, & Orrego, 2014). Las fibras vegetales obtenidas de este tipo de residuos orgánicos y al ser de origen natural, están constituidos por elementos fibrosos cuya estructura están constituidas por componentes de tipo polisacáridos tales como la celulosa, lignina y hemicelulosa (López - Matinez et al., 2016). Las fibras de la celulosa esta alineadas a lo largo de la fibra, por lo que proporciona una alta rigidez y una alta tracción cuando es adicionado a una matriz polimérica (John & Thomas, 2008).

En la investigación realizado por (Páez & Zarate, 2012) alegan que estas fibras naturales tienen varias propiedades muy

útiles para adicionar como refuerzo a una matriz polimérica, siendo una excelente alternativa en el costo de estos materiales. Además, hay que considera que las propiedades tales como: el bajo costo, la biodegradabilidad del material, bajo peso, aumento de la resistencia al impacto y a la tensión; es considerada la fibra natural como un aditivo de beneficio a la matriz polimérica

Dentro de los recientes estudios realizados en materiales dosificados con fibras naturales; las propiedades mecánicas son parámetros que no se desea que varíe por la adición de las fibras naturales, así como la posibilidad de reciclado de dicho material al final de vida (Amigó, Salvador, Llorens, Martí, & Sahuquillo, 2008). Por lo que el estudio detallado de todas sus propiedades es de vital importancia para la dosificación.

En el trabajo realizado por (Ramírez-Palma, Gutiérrez-Ramírez, Mojica-Gómez, & Hernández-Padrón, 2010) explican que en la industria electrónica, eléctrica, mecánica y metal mecánica es de gran utilidad el uso de resinas epóxicas modificadas, las cuales, confiere al material plástico con una alta resistencia mecánicas, térmicas y abrasivas. Sin embargo, las cualidades de una resina epóxica se ven afectadas por el curado de la resina (Jaramillo, Morales, Betancur, Cruz, & Gañán, 2004) y por ende a los componentes que intervienen en la mezcla de la resina, tal es el caso de fibras naturales.

En general, una resina epoxi puede considerarse como una molécula que contiene un grupo de éteres cíclicos con un átomo de oxígeno y dos átomos de carbono, pudiendo estos éteres reaccionar con grupos amino, carboxílico y oxhidrilo con el objetivo

de tener una mejor estabilidad. El grupo epoxi define el tipo de resina, pero la cadena a la que está unida puede cambiar considerablemente, formando así una amplia gama de resinas epoxi. Los materiales de partida más importantes para la producción de resinas epoxi (aproximadamente el 90%)

son las epiclorohidrinas (ECH), utilizada como precursor de casi todas las resinas epoxídicas disponibles en el mercado, y el bisfenol A (BPA) y que posteriormente mediante reacción de adhesión nucleófila se obtiene el BPA (ver figura N°1).

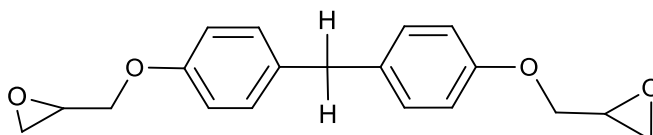


Figura N° 1 Estructura del BPA (Bisfenol A)

Luego del proceso de curado de estas resinas epóxica no presentan ningún subproducto ya una vez endurecidos, debido a la buena adhesión de esta resina con otros materiales y además presenta buenas propiedades químicas y mecánicas (Jaramillo et al., 2004). Con base a lo anterior podemos considerar que la biodegradabilidad de la resina aumenta notoriamente.

Como agente reticulante, en este trabajo se utilizó el anhídrido ftálico y como catalizador se usó una amina terciaria aromática N,N – DMBA (dimetil benzoamida) (ver figura N° 2); con estos dos componentes se conformó el polímero para su posterior cálculo de peso equivalente epóxico y además para la dosificación con la fibra de banano.

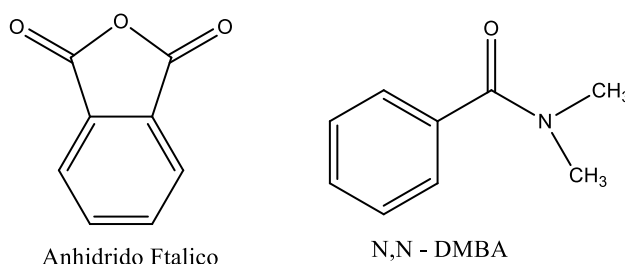


Figura N° 2 Agente reticulante el Anhídrido Ftálico y como catalizador el N,N - DMBA

En el presente trabajo pretende estudiar la reticulación de la resina epóxica 828 lvel en dosificación con la fibra de banano en distintos porcentajes y además realizar pruebas dinámicas mecánicas para estudiar el comportamiento de dicha mezcla.

METODOLOGIA

Obtención de la fibra de banano

La fibra de banano se obtuvo de la planta de banano también conocida como Musa paradisíaca, esta planta se produce en la región de la costa perteneciente al Ecuador. Una de las características principales de esta planta es que conformada por raquis

(pseudotallo) o también llamado simplemente Raquis, que es el tallo del fruto que contiene el grupo de la fruta. Para el desarrollo de este procedimiento se recolecto los raquis de la planta de banano de la hacienda "Nueva Esperanza" que se encuentra en la provincia de El Oro, del Cantón Santa Rosa

La característica física de estos raquis, es que están constituidas de fibra, a su vez compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina; estos biopolímeros naturales son útiles en el desarrollo de nuevos materiales, debido a su alta compatibilidad con otros polímeros sintéticos.

Para la obtención de la fibra de los raquis de banano, se procedió a procesar esta fibra siguiendo algunas metodologías, tales como:

- *Procesamiento de la fibra*

Los raquis fueron cortados de tal manera que estos quedaran de un ancho aproximado de 1cm, para facilitar su posterior proceso de secado en la estufa. Posteriormente se procedió al secado de estos raquis colocándolos en una estufa de marca memmert a 70 °C durante tres días para el secado hasta obtener un valor de humedad de 7%. Para la determinación de la humedad se siguió la NORMA TAPPI 264 cm - 97 según TAPPI (1999), en este método se describe un método para determinar el contenido de humedad en la madera.

- *Trituración de la fibra*

Una vez obtenida la humedad requerida se procedió a triturar la fibra seca con la ayuda de una licuadora industrial durante 5 minutos.

Análisis granulométrico de la fibra extraída

El análisis del tamaño de partícula (granulométrico) de las fibras de los raquis del plátano se realizó de acuerdo a la norma ASTM D 1921-06 "Métodos de prueba estándar para el tamaño de partícula de los plásticos" (método A). En una muestra de 100 g de fibra, la distribución granulométrica promedio se determinó usando tamices de malla con tamaños que varían de 1 mm a <100 µm.

Este análisis es importante para conocer el tamaño de las partículas que se dispersan en las matrices como termoendurente, ya que pueden influir significativamente en las propiedades termo mecánicas de las matrices poliméricas utilizadas. En la tabla N°1 se muestra las condiciones del análisis.

Tabla 1 Condiciones de análisis granulométrico

Condiciones	Fibra de banano
Cantidad analizada	100 gr
Amplitud de oscilación	3 mm
Tiempo de tamizado	30 min
Tamaño de malla de tamiz	1 mm a <100 µm.

Termoendurente a base de resina epóxica

Para la elaboración de la resina epóxica se realizó una dosificación a base del Bisfenol A denominada epikote 828 lvel, el agente reticulante anhídrido ftálico y el catalizador N,N – DMBA. Para esto es necesario conocer el peso equivalente epoxi (EEW), esta propiedad es característica de la resina epoxi, que representa la cantidad de gramos / mol de

resina necesaria para tener un grupo reactivo de oxirano.

El EEW se obtuvo dividiendo la masa molecular de las moléculas de epoxi por el número de grupos epoxi que contienen y es un parámetro que cuantifica la aptitud de las moléculas de epoxi para establecer enlaces con otras moléculas. EL EEW se usó para calcular posteriormente la cantidad de reticulante necesario para lograr la

reticulación estequiométrica de la resina epoxi. El equivalente epoxi también determina el estado físico y la reactividad de la resina. Para el presente estudio se calculó el EEW resultando un valor de 172 y a partir

de este valor se determinó la cantidad de agente reticulante con un 2% de catalizador. La formulación resultante se observa en la Tabla 2:

Tabla 2 Formulación de la resina usada

Componente	Cantidades (g)
Anhídrido Ftálico	2,04
Resina 828 lvel	1
Catalizador N,N -DMBA	0,041

A partir de la resina epóxica Epikote 828lvel, se han realizado diferentes análisis DSC en diferentes proporciones entre el anhídrido ftálico y la resina con el objetivo de evaluar cuál es la mejor relación entre la resina y el anhídrido y a partir de estos análisis se calculó el valor de entalpía reticulada.

Considerando la formulación de la resina epoxi resultante (ver tabla 2) se consideró dosificar con fibra de banano en un porcentaje del 7 y del 15% del peso total de resina y esto para las posteriores pruebas. La dosificación mencionada se aprecia en la Tabla 3.

Dosificación de la resina epóxica con la fibra de banano

Tabla 3 Formulación de la resina con fibra de banano a distintos porcentajes

Formulación	Fibra al 0%		Fibra al 7%		Fibra al 15%	
	Porcentaje (%)	Cantidad (g)	Porcentaje (%)	Cantidad (g)	Porcentaje (%)	Cantidad (g)
Anhídrido Ftálico	66,75	2,09	62,07	1,862	56,73	1,702
Resina 828 lvel	31,93	1	29,69	0,891	27,14	0,814
Catalizador	1,31	0,041	1,21	0,037	1,113	0,033
Fibra de banano	--	--	7	0,210	15	0,45

Análisis diferencial de barrido DSC

En este trabajo de investigación se utilizó una instrumentación de flujo de calor DSC. En este tipo de DSC, la muestra y la referencia reciben calor del mismo elemento de calentamiento y la diferencia de temperatura medida se convierte en un flujo de calor diferencial utilizando la sensibilidad calorimétrica.

El análisis DSC se realizó previamente calibrando con patrón de indio puro (con 99,9% de pureza, temperatura de fusión $T_f =$

156,4 ° C, entalpía de fusión igual a 28,4 J / g). La muestra de aproximadamente pesa 10 - 13 mg, se colocó en un crisol de Al con un volumen de 40 ml, después de lo cual el crisol se cerró no herméticamente con una tapa de Al, y finalmente se colocó en el calorímetro. El tratamiento térmico al que se ha sometido la muestra tanto para el análisis de las materias primas como para la cinética de reticulación es el siguiente:

- Calefacción: de -70 a 200 ° C a 10 ° C min⁻¹

- Enfriamiento: de 200 a -70 ° C a 10 ° C min⁻¹
- Calefacción II: de -70 a 200 ° C a 10 ° C min⁻¹

La atmósfera se mantuvo inerte mediante un flujo constante de N₂ de 50 ml*min⁻¹.

Análisis termodinámico mecánico

Este análisis termodinámico mecánico (DMTA), se aplicó a la muestra una deformación sinusoidal con amplitud y frecuencia constantes. La respuesta del

material polimérico también se moduló a lo largo del tiempo, y en fase o fuera de fase con respecto a la deformación aplicada. A partir de la respuesta de la muestra, se obtuvo un módulo complejo.

Las configuraciones de prueba DMTA son tracción, compresión, flexión (flexión en un punto, flexión en tres puntos: haz apoyado y haz hiper estático). Las pruebas se realizaron con un analizador DMTA de Triton mod. 2000 DMA (Triton Technology) con las condiciones mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4 Condiciones para el análisis mecánico dinámico

Configuración	Flexión en el punto
Frecuencia de oscilación	1,10 Hz
Amplitud de oscilación	10 µm constante
Temperatura de inicio de prueba	T _i = -120 °C
Temperatura final de prueba	T _f = 150°C
Velocidad de calentamiento	180 °C/h
Desplazamiento	0,8%

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Análisis granulométrico de la fibra extraída

En este análisis se realizó con el objetivo de conocer el tamaño de la partícula y saber cuál es la cantidad con mayor retención y se observa en la Tabla 5.

Tabla 5 Análisis granulométrico de la fibra de banano

	PRUEBA N° 1		PRUEBA N° 2		PRUEBA N° 3	
TAMIZ	DIAMETRO DE LA PARTICULA		DIAMETRO DE LA PARTICULA		DIAMETRO DE LA PARTICULA	
Di (µm)	Dm=P*Di	Dm2=P*Di	Dm=P*Di	Dm2=P*Di	Dm=P*Di	Dm2=P*Di
1000	24,53	-	18,25	-	35,75	-
710	19,51	-	17,73	-	36,00	-
600	18,25	-	16,71	-	26,32	-
500	22,08	22,08	19,21	19,21	25,35	25,35
425	20,85	20,85	18,78	18,78	22,24	22,24
355	27,52	27,52	25,24	25,24	29,88	29,88
300	24,73	24,73	23,63	23,63	25,25	25,25
250	27,23	27,23	26,18	26,18	23,48	23,48
212	22,05	22,05	21,99	21,99	17,91	17,91

150	26,05	26,05	25,94	25,94	18,18	18,18
100	11,78	11,78	12,01	12,01	10,04	10,04
100	16,00	16,00	19,50	19,50	19,82	19,82
TOTAL	260,60	198,30	245,17	192,47	290,23	192,16
Σ (Dm)	260,60	198,30	245,17	192,47	290,23	192,16

Como se observa en las estadísticas de la granulometría de la tabla 5, el tamiz con una mayor retención es del 355 μm , por lo que el diámetro de la partícula considerado para este estudio a las condiciones establecidas serán las referentes al tamiz 355 μm .

Análisis diferencial de barrido (DSC) de la resina epoxi y en dosificación con la fibra

A continuación, se presenta los termograma DSC de la resina sin dosificar con el objetivo de determinar su grado de reticulación.

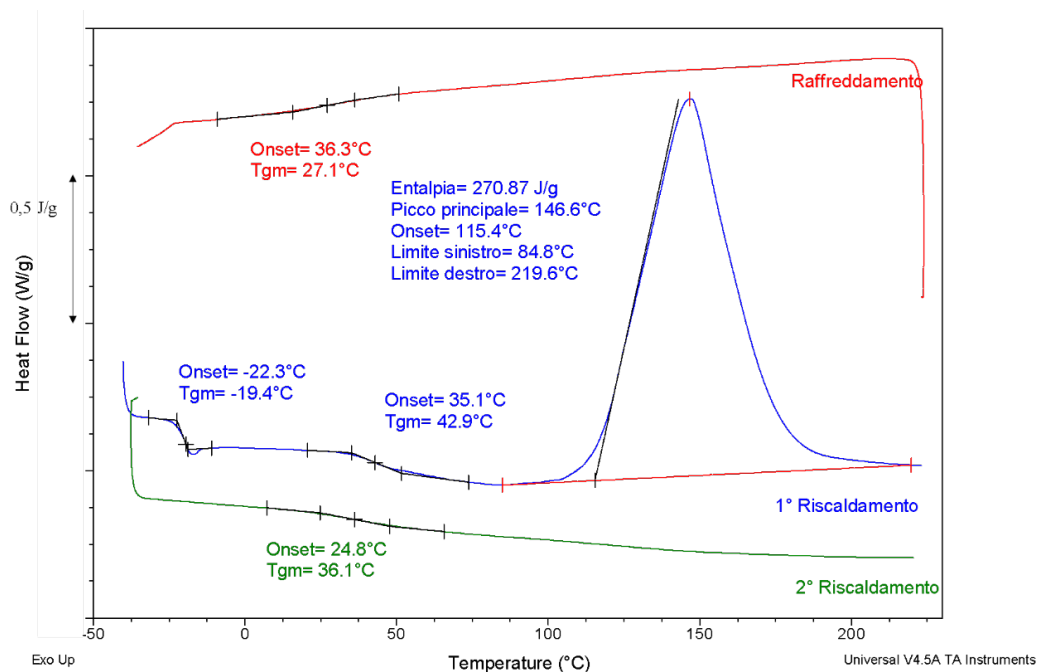


Figura N° 3 Análisis DSC de la formulación de la resina epóxica sin dosificar con la fibra de banana

Con la formulación explicada en la tabla N° 2 se realizó el DSC observándose un grado de reticulación de 270, 87 J/g como se observa en la figura N°3, correspondiente a 172 de

EEW de la resina formulada. Además, se puede apreciar que su temperatura d transición vítrea Tg comienza a 42,9 °C por lo que es una característica muy importante.

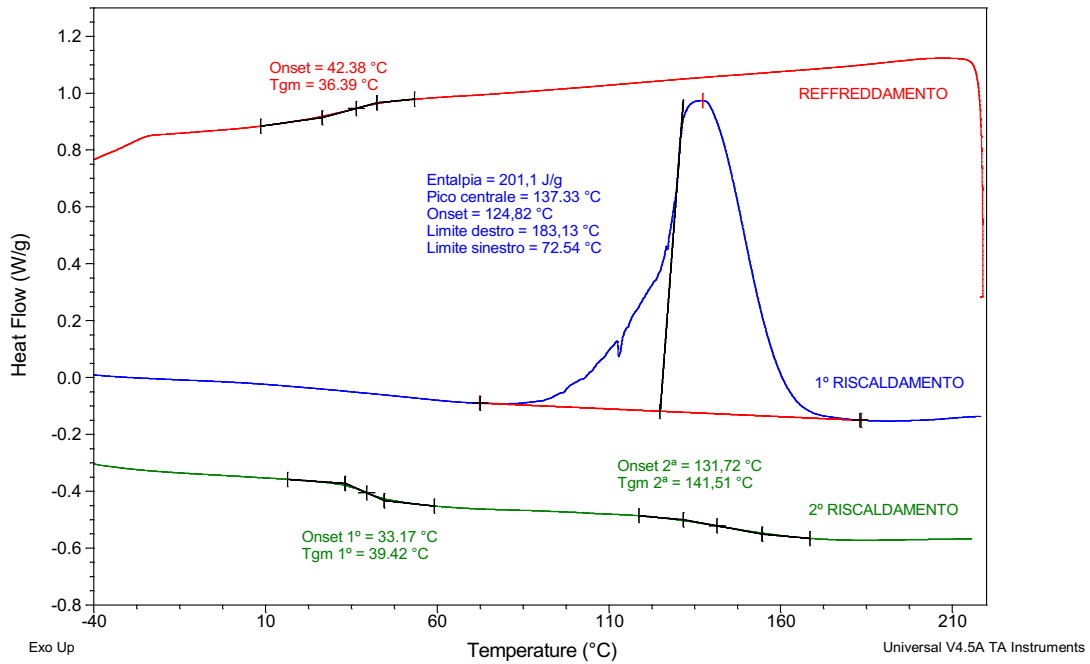


Figura N° 4 Análisis DSC de la dosificación de la resina epoxi con la fibra de banano al 7% en peso

En la figura N° 4 se observa el primer análisis DSC de la resina epoxi con la fibra de banano en una dosificación del 7%; este grafico

muestra que existe un grado de reticulación de 201 J/g que es inferior a la resina sin dosificar.

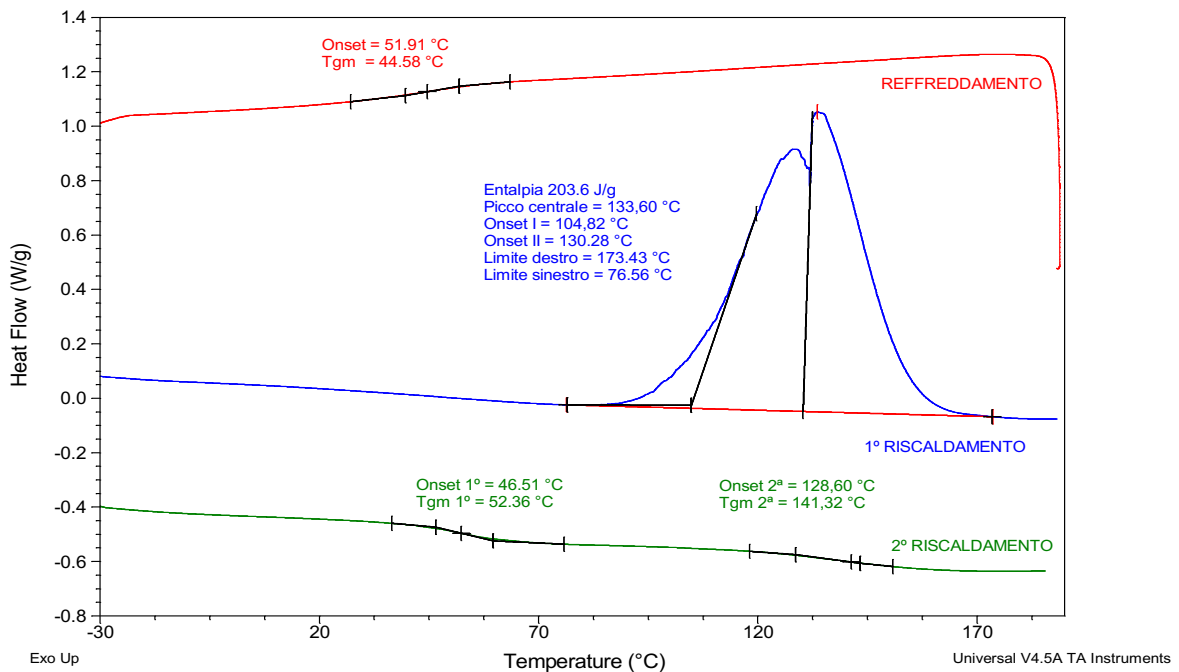


Figura N° 5 Análisis DSC de la dosificación de la resina epoxi con la fibra de banano al 15% en peso

En la figura N° 5 se muestra la dosificación de la resina con la fibra de banano al 15% en peso obteniéndose una energía que provoca

la reticulación de 203 J/g, siendo más inferior que la dosificación al 7%.

Tabla 6 Principales valores del análisis DSC de la resina dosificada con la fibra de banano

MEZCLA	I CALENTAMIENTO					II CALENTAMIENTO		ENFRIAMIENTO
	ΔH_{ret} (J/g)	ΔH_{ret}^* (J/g)	Onset ret (°C) 1ª	Onset ret (°C) 2ª	Pico Ret (°C)	Tg 1ª onset (°C)	Tg 2ª onset (°C)	Tg Onset (°C)
Epikote 828 lvel +AN ftl+cat (0% fibra de banano)	216,9	-	96,65	-	122,81	37,8	134,01	46,03
Epikote 828 lvel +AN ftl+cat (7% Banano)	201,1	216,24	124,82	-	137,33	33,17	131,72	42,38
Epikote 828 lvel +AN ftl+cat (15% Banano)	203,6	239,53	104,82	130,28	133,6	46,51	128,6	51,91

ΔH_{ret}^ : Variación de entalpía en función de la cantidad de fibra adicionada a la resina.*

En la tabla 6 se observa la variación de la reticulación de la mezcla de la fibra con la resina; como es evidente la inclusión de la fibra en la resina disminuye la reticulación de la mezcla, sin embargo, se evidencia que la temperatura del pico de reticulación aumenta considerablemente por la presencia de la fibra, demostrando que la adición de este material beneficia a la reacción de reticulación.

Análisis dinámico mecánico

Este análisis DMTA permite estudiar el comportamiento viscoelástico de la resina según el contenido y tipo de fibra utilizada, y

en particular, permite determinar el módulo elástico antes y después de la transición vítrea (Tg). Las figuras siguientes muestran el comportamiento del módulo conservador (elástico) en función de la temperatura. En particular, en la Figura N°6, muestra el análisis de la resina epoxi sin fibras; aquí se observa una transición vítrea de 65 ± 5 °C. En cambio, el Tan delta (δ) que representa la energía disipada durante el esfuerzo mecánico a 1 y 10 Hz en el proceso viscoelástico, es un pico entre 60 y 70 °C asignado a la Tg y un segundo pico a aproximadamente 125 °C atribuido al calor post-reticulación del material.

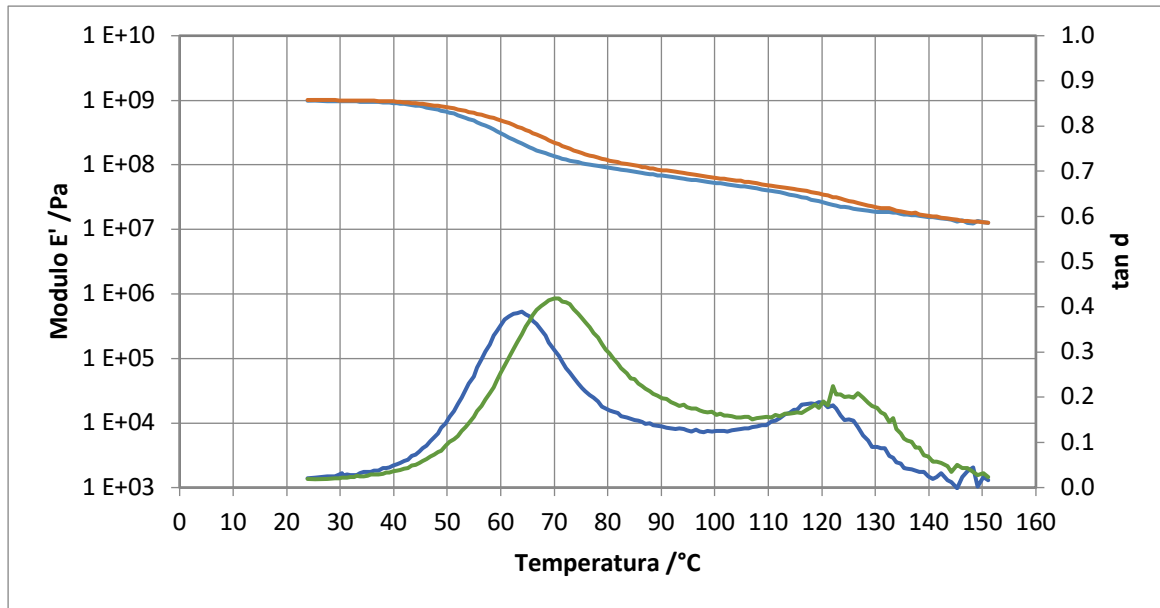


Figura N° 6 Resina sin dosificar. Donde. — es el Modulo 1 Hz, — es el Modulo 10 Hz, — es el Tan Delta 1 HZ, y — es el Tan Delta 10 HZ

En la misma figura N°6 que pertenece a la resina sin dosificar, se puede notar que la caída del módulo de almacenamiento E' no es tan drástica y el pico del módulo de pérdida E'' , no es alto por lo que el comportamiento del polímero es bastante cristalino. También hay que considerar que estos módulos ocurren a la misma temperatura, que es la de transición vítrea.

Observando el comportamiento DMTA de la dosificación con el 7% de fibra, se nota que la caída del módulo de almacenamiento E' es más pronunciado, sin embargo, los módulos de pérdida E'' y el tan delta ($\tan \delta$) tiene un pico más alto a una temperatura de 90 °C, por lo que su comportamiento es más elástico; esto se observa en la figura N° 7.

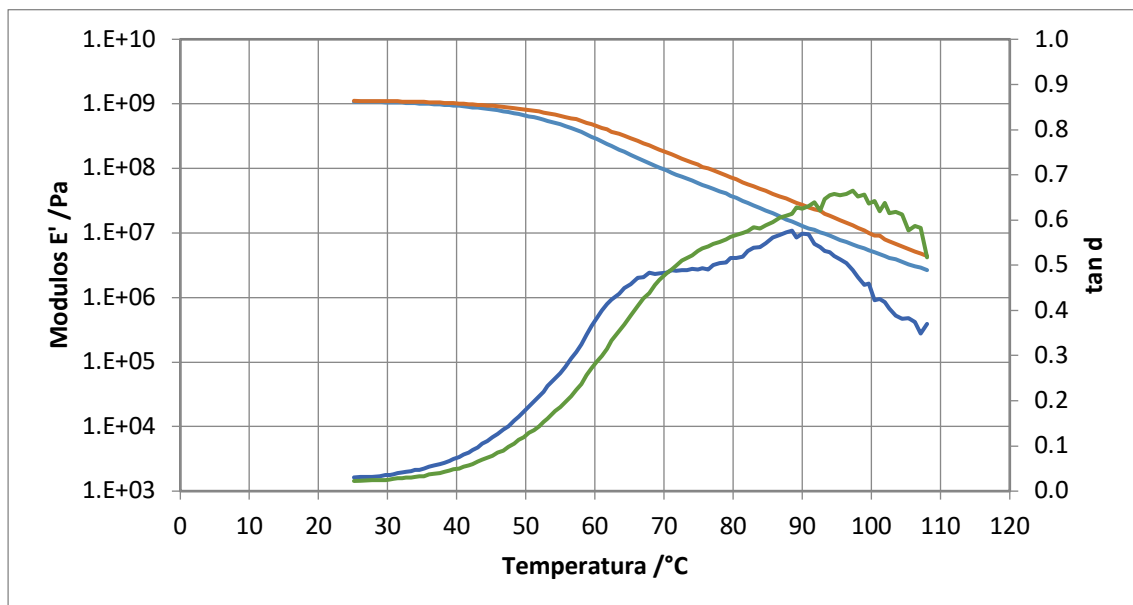


Figura N° 7 Resina dosifica con fibra de banana al 7%. Donde. — es el Modulo 1 Hz, — es el Modulo 10 Hz, — es el Tan Delta 1 HZ, y — es el Tan Delta 10 HZ

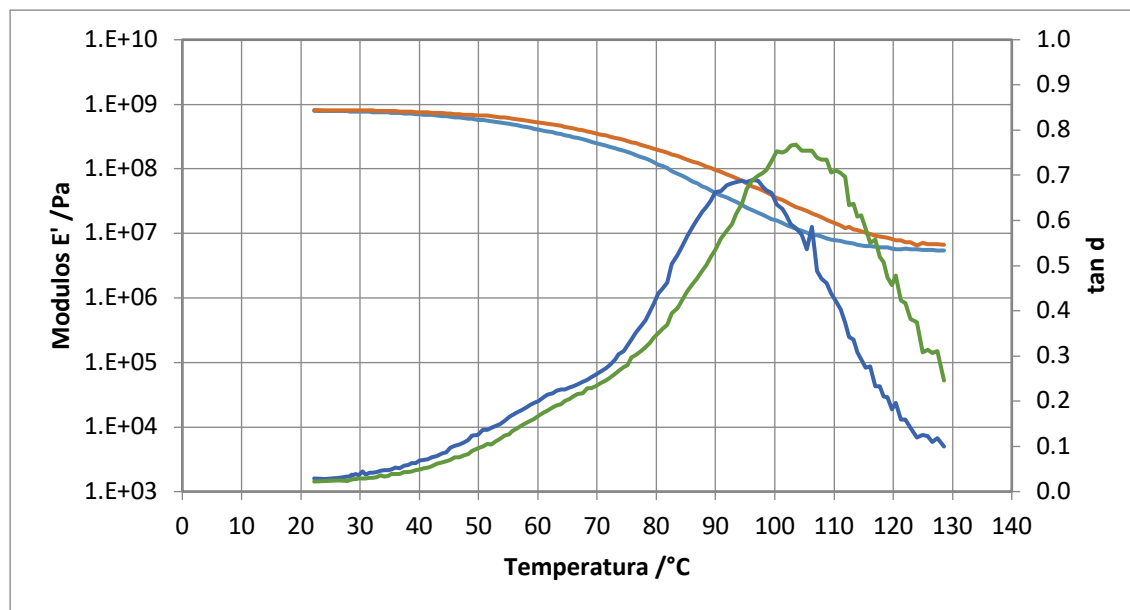


Figura N° 8 Figura N° 7 Resina dosifica con fibra de banano al 15%. Donde. — es el Modulo 1 Hz, — es el Modulo 10 Hz, — es el Tan Delta 1 HZ, y — es el Tan Delta 10 HZ

Para la dosificación con el 15% de fibra, se observa un movimiento segmental dentro del material, es decir, el módulo de pérdida E'' es más pronunciado y el pico tan delta ($\tan \delta$) ocurre a una ligera temperatura superior indicando que existe un punto medio de transición entre el estado vítreo y gomoso (ver figura N°8)

En general, los resultados DMTA se puede apreciar que el agente endurecedor anhídrido ftálico mejora la viscoelásticidad, sin embargo, al comparar las curvas en función de las cantidades de fibras de banano añadidas, denota que la dosificación al 7% tiene el mejor comportamiento mecánico dinámico. En todos los análisis DMTA se evidencia que las temperaturas disminuyen conforme se aumenta la adición de la fibra

CONCLUSIONES

La adición de la fibra de banano a una matriz polimérica tipo epóxica ha influenciado notoriamente en el comportamiento térmico y mecánico pasando de un estado vítreo a gomoso, sin embargo, se pudo evidenciar que al añadir una cantidad del 7% de fibra existe una disminución en la reticulación de la

resina desde un valor de entalpía de 217 J/g hasta 201 J/g y además aumentando la temperatura de transición vítrea, resultando la mejor dosificación en comparación con el 15% añadido; una causa por disminución es el tamaño de la partícula, puesto que la influencia de la granulometría se evidencia en la reticulación de la resina. Seguidamente a esto hay que considerar que en el análisis termodinámico se observa, que al dosificar en un 7% de fibra existe una ligera variación en sus módulos en comparación con el polímero sin dosificar, provocando esto que su cristalinidad no disminuya notablemente. En base a esto podemos concluir que la adición de la fibra de banano a un matriz tipo epóxica beneficia en un 7% y además considerando el tamaño de la partícula.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca – Ecuador y también en los laboratorios de Advanced Polymer Materials (APM) ubicada en la ciudad de Ferrara – Italia.

REFERENCIAS

- AGUILAR RAMÓN, R. (2015, octubre). LA PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DEL BANANO Y SU INCIDENCIA EN LA ECONOMÍA ECUATORIANA EN EL PERIODO 2008 - 2013. Recuperado 13 de marzo de 2018, a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8766/1/TRABAJO%20DE%20TITULACION%20ROBERT%20AGUILAR.pdf>
- Amigó, V., Salvador, M. D., Llorens, R., Martí, F., & Sahuquillo, O. (2008). CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MECÁNICA DE PE-HD RECICLADO REFORZADO CON RESIDUOS DE FIBRAS DE SISAL, 19.
- FAOSTAT. (2018). Organización de las naciones unidas para la alimentacion a la agricultura. Recuperado 13 de marzo de 2018, a partir de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Jaramillo, I., Morales, C., Betancur, A., Cruz, J., & Gañán, P. (2004). Estudio del curado de resinas epóxicas empleando espectroscopía infrarroja. Dyna, 71(143). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=49614307>
- John, M. J., & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. Carbohydrate Polymers, 71(3), 343-364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>
- López - Matinez, A., Bolio, G., Veleza, L., M, S.-V., G, A.-T., Hernandez Villegas, M. M., ... S, C.-S. (2016). Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (Saccharum spp.), Agroproductividad. Agroproductividad (Revista CONACYT, ISSN-0188-7394), 9, 41-45.
- Meneses, M. M., Agatón, L. L., Gutiérrez, L. F. M., Mendieta, L. E. G., & López, J. D. B. (2010). APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE RESIDUOS DE COSECHA Y POSCOSECHA DEL PLÁTANO EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS. Revista Educación en Ingeniería, 12.
- Páez, D. A. P., & Zarate, M. Á. S. (2012). DESARROLLO MATERIAL POLIMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES, 90.
- Ramírez-Palma, M. T., Gutiérrez-Ramírez, J., Mojica-Gómez, J., & Hernández-Padrón, G. (2010). Evaluación anticorrosiva de una resina epóxica funcionalizada y depositada sobre placas de cobre. Superficies y vacío, 23. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=94248264035>
- Rodríguez, L. J., Sarache, W. A., & Orrego, C. E. (2014). Compuestos de Poliéster Reforzados con Fibra de Plátano/Banano (Musa paradisiaca) Modificada Químicamente: Comparación con Fibra de Vidrio y Fique (Furcraea andina).

Información Tecnológica, 25(5), 27-34. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500005>