



**III Simposio
DE MATERIALES
POLIMÉRICOS**



Ingeniería de Polímeros, Procesamientos y Reología

Revista Informador Técnico, Volumen 81 n2 - Suplemento I- 2017

III Simposio de Materiales Poliméricos - del 30 de Agosto al 1 de Septiembre de 2017, Cali - Colombia

III SIMPOSIO DE MATERIALES POLIMÉRICOS

Suplemento I • e-ISSN 2256-5035

CONTENIDO

Aumento de productividad en la obtención nanofibras poliméricas, mediante validación experimental del proceso de Electrohilado por centrifugación.....	53
David Fernando Nieto, Andrés Ferney Largo, Edwin Yesid Gómez	
Selección del plastificante según sus propiedades de barrera en la formulación de un Polímero Biodegradable.....	56
Ahudrey Leal Quintero, J. Xiomara Salazar Perdomo, Luz Stella Henao Díaz	
Modelos reológicos asociados a la sangre.....	59
Luis Carrasco, Eduardo Molina, Rosa Rojas, Luz Castañeda	
Caracterización mecánica y física de fibra de iraca y Carbonato de Calcio como aditivos en un compuesto de matriz polimérica.....	63
Nicolás Macías, Oscar Cadavid, Luz M. Flórez, José H. Mina	
Desarrollo de adhesivos termofusibles de poli(estireno-isopreno-estireno) y sus caracterizaciones físico-químicas.....	66
Giovanni Ponce A., Luz Castañeda P.	

Aumento de productividad en la obtención nanofibras poliméricas, mediante validación experimental del proceso de electrohilado por centrifugación

Modalidad: Póster

Resumen

En la actualidad se han realizado estudios y avances en el desarrollo de nanofibras poliméricas, las cuales impactan en el sector industrial a través de sus múltiples aplicaciones como materiales compuestos, biomedicina, liberación de fármacos, regeneración de tejidos, textiles, entre otras. Estas fibras pueden obtenerse a través de la técnica de electrohilado y su método de aguja como el más convencional, que a pesar de su versatilidad, tiene como inconveniente la baja productividad (v/t) en la obtención de dichas fibras. Por esta razón se propuso el desarrollo de un equipo de electrohilado por centrifugación que combina las características del método convencional con la aplicación de fuerza centrífuga, el cual superó su productividad en una relación de 200 a 1.

Palabras claves: Centrifugación, Diseño, Electrohilado, Nanofibras, Polímeros.

Introducción

Se tiene registro que en los últimos 20 años a nivel mundial se vienen desarrollando nanofibras poliméricas, las cuales están impactando en diferentes áreas industriales a través de productos como cosméticos, sensores, dispositivos para la liberación controlada de medicamentos, materiales para regeneración de tejidos, condensadores, transistores, separadores de baterías, almacenamiento de energía, prendas para vestir y tecnología de la información, entre otros (Agarwal, Wendorff & Greiner, 2008).

Estas aplicaciones tratan de aprovechar las excelentes propiedades físicas, químicas, mecánicas y biológicas de las nanofibras debido a su diámetro nanométrico, su alta

David Fernando Nieto¹
Andrés Ferney Largo²
Edwin Yesid Gómez³

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Duitama, Escuela de Diseño Industrial Colombia. david.nieto_23@hotmail.com

² Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Duitama, Escuela de Diseño Industrial Colombia. andresferney@hotmail.com

³ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Duitama, Escuela de Diseño Industrial Colombia. edwin.gomez02@uptc.edu.co

relación superficie/volumen y al perfeccionamiento que se logra en su estructura interna.

Existen diferentes procesos para preparar nanofibras, algunas de estos son: auto ensamble, extrusión continua, sol-gel, electrohilado, entre otras. El proceso del electrohilado es el método más usado en la actualidad a nivel de laboratorio, especialmente el electrohilado por aguja, debido a sus ventajas en la fabricación de las nanofibras y en el control de los parámetros que inciden en las propiedades de las mismas. Este proceso se basa en la aplicación de una diferencia de potencial entre el sistema inyector del polímero, que se encuentra en estado líquido y el sistema colector, que depositará el producto final en forma de fibras; esta diferencia de potencial hace que el polímero se estire por la superación de su tensión superficial debido a la acción del campo eléctrico y se transforme en fibras que se coleccionan en estado sólido. (Fig. 1) Las fibras conforman membranas que corresponden a la clase denominada andamios celulares, conformada por redes porosas de fibras superpuestas muy delgadas (Gómez Pachón, et al., 2010).

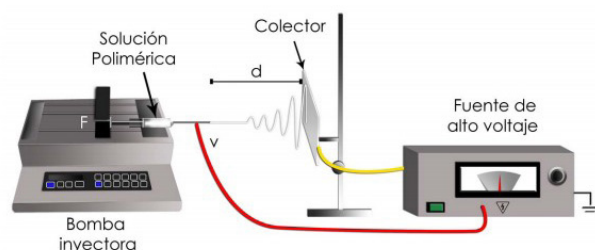


Figura 1. (Representación esquemática del sistema de electrohilado) (s.f) tomado de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20837/Antecedentes.pdf>

Según las investigaciones correspondientes a conocer, medir y analizar la productividad del proceso de obtención de las nanofibras en un equipo de electrohilado horizontal por aguja con el que cuenta la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) se llegó a saber que para la obtención de una membrana de nanofibras de 50 micras de espesor y 100 cm² demanda hasta 4 horas de trabajo continuo.

Por esta razón es necesario adelantar los estudios tanto en las nanofibras, como en sus técnicas de producción de forma simultánea, lo cual implica analizar el proceso actual, proponer su mejora, renovación y perfeccionamiento; incrementando la productividad, eficiencia y así mismo las posibilidades en variedad de propiedades de los materiales.

Parte Experimental

Por medio de documentación, observación, análisis y desarrollo experimental, se planteó la hipótesis, “a mayor número de capilares, mayor volumen de fibras procesadas y al aplicar fuerza centrífuga, mayor fuerza en contra de la tensión superficial del polímero”; Posteriormente se propuso un dispositivo dosificador del polímero de tipo rotatorio con 8 capilares y un sistema colector de tipo anular, ambos concéntricos, para esto se construyó un banco de pruebas (Fig. 2) donde se realizaron las comprobaciones de tipo funcional necesarias para la validación de la técnica de electrohilado por centrifugación.

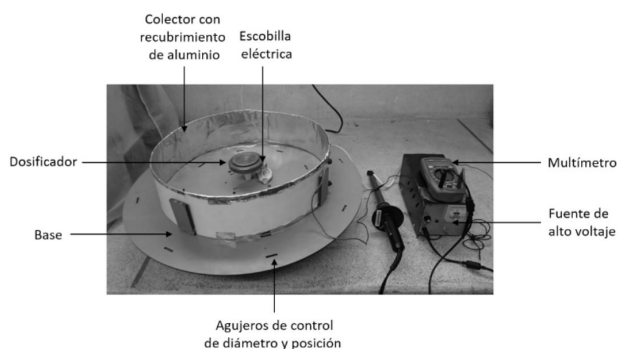


Figura 2. Primer banco de pruebas construido para la realización de pruebas y comprobaciones funcionales (2015). UPTC, Facultad seccional Duitama.

Resultados y discusiones

En la primera etapa de pruebas se obtuvo una membrana de fibras de 35cm de diámetro, resultado de 20 ml de solución polimérica procesada en 6 minutos; la cual fue sometida a análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM) para ver su apariencia a mayor escala y mediante software (Image J) realizar la medición del diámetro de las fibras obtenidas (Fig. 3) donde se obtuvo en primera instancia un diámetro promedio de 0.85µm ó 8500 nm.

Todo esto con el fin de comprobar el funcionamiento, su capacidad de transformar el polímero en fibras y los diámetros de las mismas, así como el volumen de fibras procesadas en relación al tiempo demandado, con el fin de tener mayor certeza en el aumento de la productividad en el proceso antes de un prototipo final.



Luego al poder controlar la variabilidad de los parámetros determinantes como fuerza centrífuga en relación a las rpm del dosificador, la intensidad del campo eléctrico, solución polimérica, entre otras, se logró obtener una serie de muestras donde las fibras alcanzaron diámetros muy similares a los del método convencional (Fig. 4).

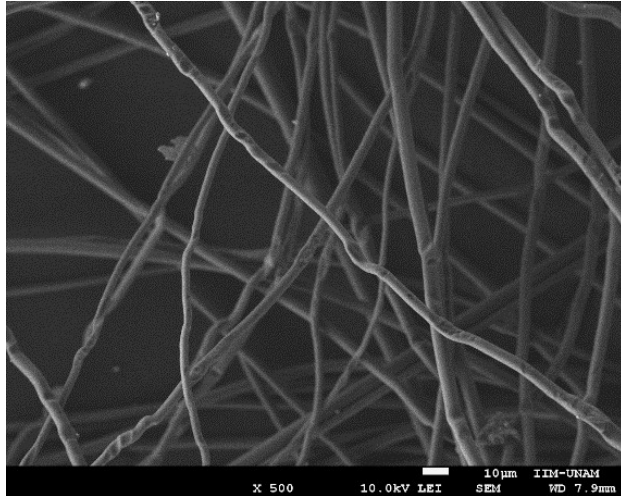


Figura 3. Microscopía (SEM) de membrana de PLA obtenida en la primera etapa de prueba funcional del banco de pruebas #1 (2015). UPTC, Facultad Seccional Duitama.

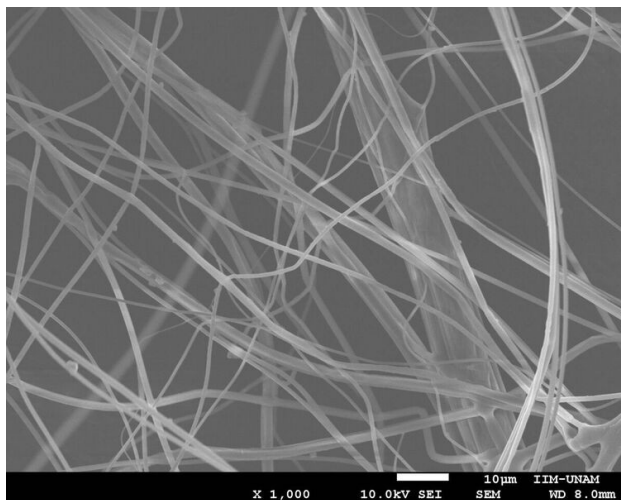


Figura 4. Microscopía (SEM) de la Muestra DB1 – 04 membranas de PLA obtenida en la fase de pruebas del prototipo final.

Lo cual significa la implementación de un equipo de electrohilado por centrifugación competente, que aumenta la productividad en 200 veces a 1 comparado con el electrohilado por aguja convencional y abre campo a futuras investigaciones en las propiedades, aplicaciones y procesos de obtención de las nanofibras poliméricas.

Conclusiones

Se validó y comprobó el funcionamiento de la fuerza centrífuga en combinación a los parámetros convencionales de un equipo de electrohilado.

La implementación de la fuerza centrífuga y el dosificador rotatorio influyen en el aumento de la producción de nanofibras poliméricas.

Controlando la variabilidad de los parámetros determinantes en la producción de las nanofibras se pueden lograr múltiples configuraciones y diámetros de fibras.

El prototipo de electrohilado por centrifugación construido supera en nivel de productividad (v/t) al electrohilado por aguja en 200 veces a 1.

Referencias

- Agarwal, S., Wendorff, J. H., & Greiner, A. (2008). Use of electrospinning technique for biomedical applications. *Polymer*, 49(26), 5603-5621. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2008.09.014>
- Gómez-Pachón, E. Y. y colaboradores. 2010. Diseño de un equipo para la fabricación de andamios de nanofibras para aplicaciones biomédicas. *Memorias del XV Congreso Internacional Anual SOMIM*, 1-10 .

Selección del plastificante según sus propiedades de barrera en la formulación de un polímero biodegradable

Ahundrey Leal Quintero¹
J. Xiomara Salazar Perdomo²
Luz Stella Henao Díaz²

¹ Tecnoparque SENA, Calle 54 # 10 - 39, Bogotá, Colombia. ahudrey18@gmail.com

² Centro agroindustrial SENA, Km. 12 vía a Puerto López, Villavicencio, Colombia.

Modalidad: Póster

Resumen

En esta investigación se estandarizan los factores de extracción de pectina de alto metoxilo e identificación del tipo y concentración de plastificante en la formulación de un biopolímero. La metodología para la obtención de pectina incluyó procedimientos químicos, tales como hidrólisis ácida con un proceso de sonicación, el producto final fue a un porcentaje de 60- 90 en grado de esterificación, caracterizado por métodos de titulación. Al obtener la matriz estructural, se procedió a evaluar tipo y concentración de plastificante, se identificó que las menores concentraciones de alcohol polivinílico y glicerina influyen sobre la masa solubilizada en agua, y a mayor concentración de plastificante el efecto se reflejó beneficiando la permeabilidad al vapor de agua pero afectando la capacidad de generar zona elástica y plástica.

Palabras claves: *pectina, plastificante, permeabilidad, solubilidad, esterificación, agro-polímero.*

Introducción

Con la nuevas medidas ambientales en Colombia que buscan cumplir los estándares de países desarrollados, es necesario dar nuevas alternativas a la disposición de residuos que generan en su proceso de industrialización pequeñas y medianas empresas, entre ellas las despulpadoras de frutas. Una de las propuestas es el desarrollo de polímeros biodegradables a partir de desechos agroindustriales ricos en polisacáridos como la pectina que se encuentran en la mayor parte de los tejidos vegetales (Chariguamán, & Jimmy, 2015). Se planteó aprovechar los residuos de cáscara de frutas ricos en pectina para la formulación de un agro-polímero con la visión de ir desplazando el uso de plástico tradicional. En los biopolímeros se debe analizar varias características, la disponibilidad, propiedades mecánicas, calidad óptica, requisitos de barrera (Vieira,



da Silva, dos Santos, & Beppu, 2011), siendo afectadas por parámetros como el tipo de material utilizado como matriz estructural, condiciones de fabricación de película y la concentración de aditivos (Imre B, 2013). En este sentido, los aditivos plastificantes son utilizados para mejorar la flexibilidad, resistencia y permeabilidad a gases, lo que refuerza la importancia de iniciar la investigación de nuevas formulaciones de termoplásticos biodegradables identificando la concentración y tipo de plastificante a utilizar.

Parte Experimental

Fase 1. Disponibilidad de Materia Prima. Se realizó una encuesta de tipo personal en donde se indagó sobre el uso final de los residuos en la planta agroindustrial a empresarios de pulpa de fruta en Bogotá D.C. quienes fueron seleccionados mediante una búsqueda online.

Fase 2. Extracción de Pectina. La cáscara fue desinfectada, escaldada durante 15 minutos a 95°C. Posteriormente se inició la hidrólisis donde el material troceado es calentado a 70°C en agua acidulada (1g / 2 ml) a pH de 2,5 a 3,0 por 120 min. Se determinó: grado de esterificación por el método de titulación de Food Chemical Codex, grupos metoxilo y ácido galacturónico como lo especifica Alfonso, (2010).

Fase 3. Producción de películas. Mediante la metodología de casting se elaboraron las películas plásticas desarrollando una mezcla de pectina con el plastificante a concentraciones de 5 al 15 en porcentaje a temperatura de $\pm 70^\circ\text{C}$ por 30 min con agitación constante. Posteriormente se vierte la solución en moldes a una relación de 0,6 g/cm² para el secado de las películas a $\pm 30^\circ\text{C}$ y 65% HR durante 72hr.

Propiedades de barrera de películas plásticas

Solubilidad en agua. Se determinó según con la metodología de (Gontard, Guilbert, & CUQ, 1993) con adaptación. Las láminas cortadas circularmente con un diámetro de 20mm, sumergidas en beakers con 50ml de agua destilada y agitada a 25°C por 24h. Después las muestras se secaron ($105 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24h) para determinar el peso del material que no fue solubilizado. La solubilidad se expresa de acuerdo con la ecuación 1.

$$\%S = (1 - (p_i - p_f/p_f)) \times 100$$

Permeabilidad al vapor de agua (Pva): Se determinó de acuerdo con el método agua descrito por la norma ASTM E96 en circunferencias con un diámetro de 30 mm. Se evaluó cada 24 horas durante seis días. Según la ecuación 2.

$$Pva = \left(\frac{g}{tA}\right) \times \left(\frac{x}{\Delta p}\right).$$

Resultados y discusiones

Disponibilidad de Materia Prima. En la figura 1, se presenta la cantidad de cáscara de *Pasiflora edulis Sims* como fuente de pectina disponible por cada empresa, para un total de 29571 kg/mes.

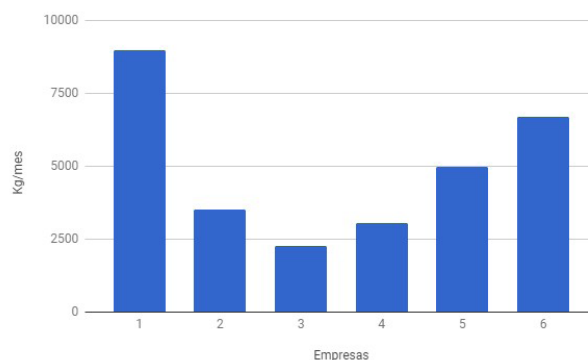


Figura 1. Cáscara de *Pasiflora edulis Sims* disponible por empresa

Extracción de Pectina. El análisis estadístico arrojó que: la interacción de factores Frecuencia-tiempo de ultrasonido/ph tienen un efecto significativo en grado de esterificación de la pectina. Para grupos metoxilo y ácido galacturónico la interacción de frecuencia ultrasonido/ph si arroja diferencias significativas en sus propiedades. En la figura 2 se muestra el tratamiento 20 khz por 15 min a ph 2,5 generó una pectina de alto metoxilo 90% y 80% ácido galacturónico.

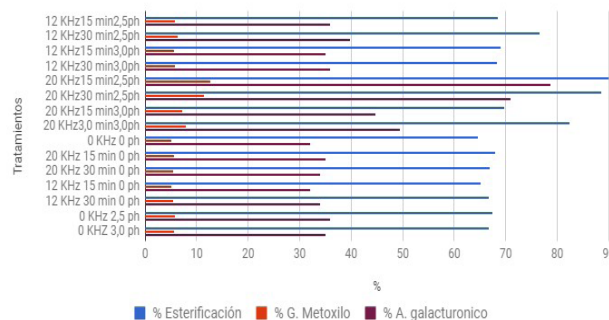


Figura 2. Caracterización de Pectina

Selección del Plastificante. En la tabla 1 se presenta solubilidad en agua y permeabilidad al vapor de agua para cada tratamiento siendo, pectina mezclada con glicerina y/o alcohol poli vinílico a diferentes concentraciones 5, 10 y 15 %. Los resultados obtenidos muestran al tratamiento PVA a 5% de concentración donde se presentó menor material

solubilizado en agua (40% masa no diluida) y al tratamiento glicerina 10% con menor valor a permeabilidad al vapor de agua. Las mezclas de plastificante afectaron la solubilidad pero mantienen las propiedades en permeabilidad.

Tabla 1. Propiedades de Barrera en las películas plásticas

Tratamientos %	solubilidad [%]	Permeabilidad [kg/(m ² h*pa)]
G5	22,031	2,04E-10
G10	17,125	1,37E-10
G15	12,343	3,28E-10
P5	40,084	5,36E-11
P10	21,848	2,74E-10
P15	11,843	9,59E-07
A15	23,347	8,69E-11
G5P5	19,269	7,01E-11
G10P10	6,593	1,09E-06
G10P5	9,894	3,31E-07

La figura 3 muestra al tratamiento P5 y G5P5 con un strain entre 2 a 4% donde se logró identificar la zona plástica y la zona elástica. G10P10 presenta un strain de 20% perdiendo esfuerzo y deformación a la rotura, lo que indica no entrar en la zona plástica.

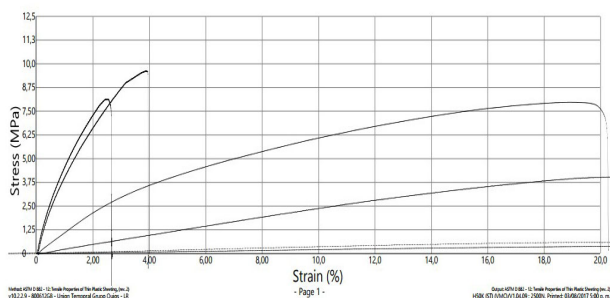


Figura 3. Diagrama esfuerzo deformación

Conclusiones

Se identificó la disponibilidad de cáscara de *pasiflora edulis Sims* para la extracción de pectina dando factibilidad del desarrollo de agro-polímeros biodegradables. Los resultados obtenidos permitieron estandarizar los factores de operación para la hidrólisis ácida asistida por ultrasonido lo cual genera una pectina de alto metoxilo (90%). Se detectó que las propiedades físicas de barrera son inversamente proporcional, a mayor concentración menor permeabilidad al vapor de agua y mayor solubilidad de

masa en agua, por tanto se debe identificar un plastificante y/o compuesto que reduzca la solubilidad del biopolímero en contacto con el agua sin afectar sus propiedades de permeabilidad y propiedades mecánicas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Jugos Naturales Mandarin SAS, Tecno parque Bogotá, Centro agroindustrial del Meta, Centro Manufactura, Textil y Cuero Bogotá.

Referencias

- Alfonso, E. (2010). Estudio del comportamiento reológico de las pectinas con diferente grado galacturonico obtenida a partir de Citrus paradisi (gray fruit). El Salvador, Centro América: Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.
- Chariguamán, C., & Jimmy, A. (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.).
- Gontard, N., Guilbert, S., & CUQ, J. L. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science*, 58(1), 206-211. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x>
- Imre B., Pukánsky, B. (2013). Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer. *European Polymer Journal*, 49, 1215-1233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.01.019>
- Vieira, M. G. A., da Silva, M. A., dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, 47(3), 254-263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>

Modelos reológicos asociados a la sangre

Modalidad: Comunicación Oral

Resumen

Este es un estudio exploratorio del comportamiento reológico de tipo de sangre humana a temperaturas de 15, 20, 28, 37 y 45 °C, usando un reómetro rotacional Rheolab QC. Se obtuvieron datos de esfuerzo de corte en Pa y velocidad de corte en (1/s), estos datos fueron correlacionados con los modelos reológicos de Herschel Bulkley I, Casson I, Ostwald de Waele, Sisko, Steiger Ory y Ellis de Haven, para obtener sus respectivos parámetros. Su validez fue comprobada a través de los indicadores estadísticos como el índice de correlación múltiple y la varianza. Se comprobó que para cada una de las temperaturas estudiadas la sangre es un fluido no newtoniano con características de un plástico real; por otro lado, dado que la reología de la sangre está relacionada con la circulación de los glóbulos rojos, estos estudios podrían utilizarse para identificar enfermedades ante cualquier cambio en la viscosidad de la sangre.

Palabras Claves: *fluidos no newtonianos; reología; sangre.*

Introducción

La sangre humana es un fluido constituido por diversos componentes en una fase “continua” denominada plasma que está formada por agua, iones, proteínas, nutrientes, desechos, gases y diversos componentes en suspensión como los glóbulos rojos, los glóbulos blancos, las plaquetas, el colesterol, entre otros. Las cantidades relativas de estos constituyentes definen la reología de una muestra de sangre (Ortiz-León, Araya-Luna & Vílchez-Monge, 2014; Berga, 1980). En tal sentido, en este fluido, existe una relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte, se ha comprobado experimentalmente que dicha relación es no lineal. Este hecho caracteriza a la sangre como un fluido no newtoniano.

Los fluidos no newtonianos se clasifican en dos tipos: los independientes y los dependientes del tiempo. Una serie de fluidos, entre ellos la sangre está clasificada dentro

Luis Carrasco¹
Eduardo Molina¹
Rosa Rojas¹
Luz Castañeda²

¹ Universidad Nacional del Callao, Av. Saenz Peña 1060, Callao, Perú, clave012@yahoo.es

² Universidad Nacional Federico Villarreal, Jr. Carlos González 285, San Miguel, Perú.

de los fluidos no newtonianos independientes del tiempo; estos a su vez, se subclasifican en fluidos pseudoplásticos, los cuales se caracterizan por la disminución de la viscosidad al aumentar la velocidad de corte y en fluidos dilatantes caracterizados por el aumento de la viscosidad a medida que se aumenta la velocidad de corte. En ambos casos, los valores comienzan a reportarse desde el origen de coordenadas (Carrasco Venegas, 2011).

Dentro de los fluidos no newtonianos independientes del tiempo, se encuentran los fluidos denominados plástico ideal y plástico real, el primero tiene un valor de esfuerzo de cedencia, τ_s y a partir de este valor la relación entre el esfuerzo de corte y velocidad de corte, sigue una relación lineal. El fluido denominado plástico real, también tiene un esfuerzo de cedencia, a partir de este punto existe una relación no lineal entre el esfuerzo de corte y velocidad de corte (Carrasco Venegas, Castañeda Pérez, & Altamirano Oncoy, 2015; Rojas, 1999). Los modelos de fluidos no newtonianos que fueron utilizados son:

$$\text{Modelo de Herschel-Bulkley I: } \tau = \tau_0 + \mu_c (\dot{\gamma})^{1/m} \quad (1)$$

$$\text{Modelo de Casson I: } \tau^{1/n} = \tau_0^{1/n} + \mu_c (\dot{\gamma})^{1/m}, \quad n > 1 \quad m > 1 \quad (2)$$

$$\text{Modelo de Ostwald de Waele-Nutting: } \tau = k (\dot{\gamma})^n \quad (3)$$

$$\text{Modelo de Sisko: } \tau = A \dot{\gamma} + B (\dot{\gamma})^n \quad (4)$$

$$\text{Modelo de Steiger-Ory: } \dot{\gamma} = C \times \tau + A \times \tau^3 \quad (5)$$

$$\text{Modelo de Ellis de Haven: } \tau = \frac{\mu_0}{1 + c\tau^{n-1}} \dot{\gamma}, \quad n > 1 \quad (6)$$

En cada caso se aplica una regresión no lineal para encontrar los parámetros respectivos que correlacionen adecuadamente con los datos experimentales, ello se realiza con la ayuda del software Polymath 6.

Parte experimental

El estudio reológico se realizó en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, siguiendo el siguiente procedimiento:

1.- Se tomó 200 mL. de una muestra de sangre (según análisis clínicos correspondía a la de una persona sana), y se colocó en el porta muestra del reómetro Rheolab QC (marca Antón Para).

2.- Las temperaturas de trabajo se van fijando y se ponen en marcha el reómetro, obteniendo los datos de esfuerzo de corte vs velocidad de corte y, opcionalmente la viscosidad aparente.

3.- Se realizó el tratamiento estadístico de los datos obtenidos ajustándolos a cada uno de los modelos utilizados en este estudio.

Resultados y discusiones

Los resultados obtenidos de la lectura del reómetro se reportan en las tablas 1, 2, 3 y 4, a continuación.

Tabla 1. Datos experimentales de esfuerzo de corte y velocidad de corte

	Esfuerzo de corte (Pa)	Velocidad de corte (1/s)				
		15 °C	20 °C	28 °C	37 °C	45 °C
1	1	7.33	4.71	4.2	6.72	3.78
2	1.5	17.4	14.2	12.3	14.7	13.1
3	1.99	30.6	26.1	24.1	26.1	24.3
4	2.49	47.1	40.9	38.8	40.5	38.9
5	2.99	66.3	59	56.6	58	56.6
6	3.49	87.9	80.3	77.5	78.5	77.7

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1 se observa el esfuerzo de corte y velocidad de corte aplicado a la sangre a 15°C, 20°C, 28°C, 37°C y 45°C.

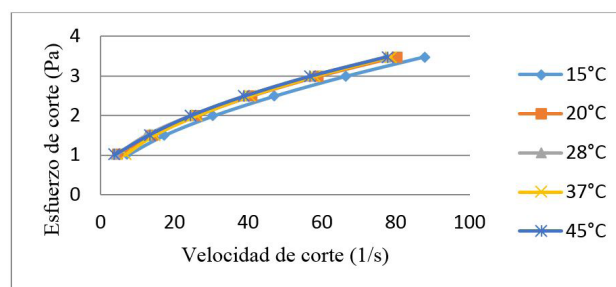


Figura 1. Esfuerzo de corte y velocidad de corte aplicado a la sangre

En las Tablas 2, 3 y 4 se presentan los parámetros de dos modelos obtenidos por el método de regresión no lineal. También, con los parámetros se obtienen los reogramas respectivos en las figuras 2, 3 y 4.

Tabla 2. Modelo de Herschel-Bulkley I

	15 °C	20 °C	28 °C	37 °C	45 °C
A	0.257132	0.4351388	0.4197392	0.0113791	0.5114224
B	0.2293223	0.2191854	0.2565153	0.3756052	0.2128055
C	0.5909976	0.6014206	0.5707111	0.5100339	0.6071641
R ²	0.9999955	0.9998451	0.999978	0.9999713	0.9997047
R ² adj	0.9999926	0.9997419	0.9999634	0.9999522	0.9995079
Rmsd	0.0007337	0.0043183	0.0016266	0.0018594	0.0059629
Variance	6.46E-06	0.0002238	3.18E-05	4.15E-05	0.0004267

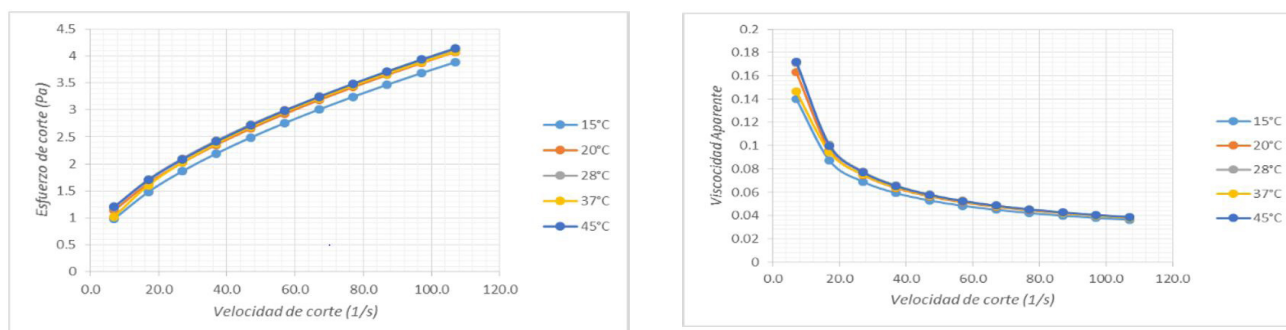


Figura 2. Esfuerzo de corte y viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Herschel-Bulkley I
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Modelo de Casson

	15°C	20°C	28°C	37°C	45°C
A	0.2952584	0.4748685	0.4364669	0.0138818	0.6099531
B	0.304568	0.0419146	0.2759012	0.4590128	0.029272
C	0.421527	1.630014	0.4986589	0.4030528	1.946386
n	1.49638	0.3137394	1.193486	1.268225	0.2527464
R ²	0.9999986	0.9999928	0.9999789	0.9999714	0.9999989
R ² adj	0.9999965	0.9999819	0.9999471	0.9999286	0.9999973
Rmsd	0.0004118	0.0009338	0.0015957	0.0018551	0.0003589
Variance	3.05E-06	1.57E-05	4.58E-05	6.20E-05	2.32E-06

Fuente: Obtenida por regresión no lineal de los datos experimentales

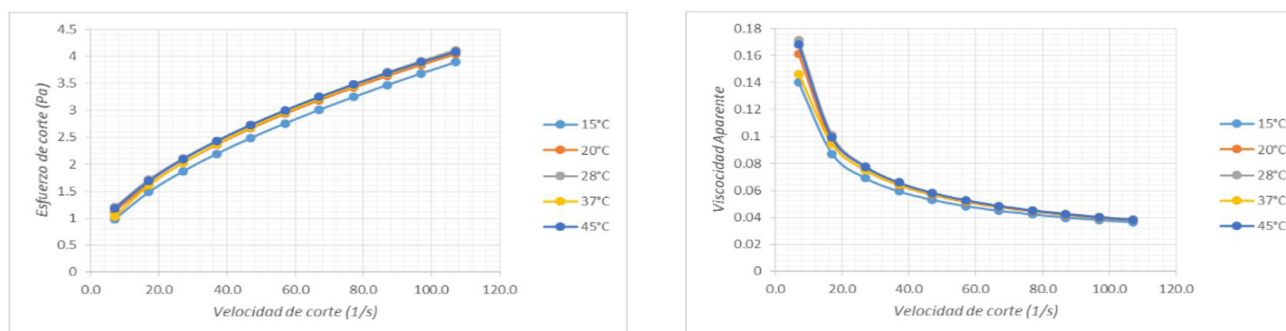


Figura 3. Esfuerzo de corte y viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Casson I
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Modelo de Ellis de Haven

	15°C	20°C	28°C	37°C	45°C
C	5.29059	3.114924	2.213742	3.778535	2.332569
A	4.039951	3.910964	3.864807	3.804791	3.868901
n	2.287848	2.309605	2.324169	2.280532	2.319594
R ²	0.9981002	0.9980385	0.9981768	0.9994647	0.9979238
R ² adj	0.9968336	0.9967308	0.9969614	0.9991079	0.9965397
Rmsd	0.4957401	0.4699704	0.4425925	0.2347852	0.4724671
Variance	2.949099	2.650466	2.350657	0.6614892	2.678701

Fuente: Obtenida por regresión no lineal de los datos experimentales

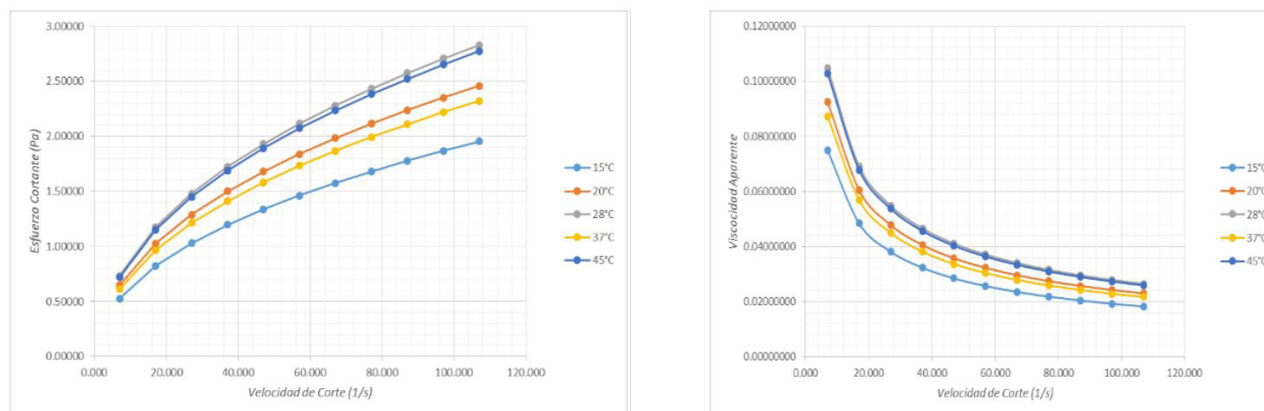


Figura 4. Esfuerzo de corte y viscosidad aparente vs velocidad de corte para el modelo de Ellis de Haven

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

1.-De los modelos utilizados para la regresión no lineal de los datos experimentales, el de Casson 1, seguido de Herschel-Bulkley 1 y finalmente el modelo de Sisko, en ese orden precisión, dieron los mejores resultados. Los modelos de Ostwald de Waele – Nutting y Steiger-Ory, nos dieron resultados con precisión moderada. Resultados menos precisos se encontraron con el modelo de Ellis de Haven, tal como se deduce en los Gráficos 2, 3 y 4.

2.- Con el uso de los modelos reológicos y con los datos experimentales obtenidos del reómetro, se ha demostrado que la muestra de sangre utilizada es un fluido no newtoniano tipo plástico real, con un esfuerzo de cedencia o umbral antes de iniciarse el flujo, este valor según el Modelo de Herschel-Bulkley I es la constante A para cada temperatura (Tabla 2). Se observa además que la viscosidad aparente presentan gran estabilidad frente a los cambios de temperatura.

3.- Esta evaluación inicial hecha a una muestra de sangre de una persona clínicamente sana, servirá de base para posteriores estudios reológicos de la sangre encaminados a identificar enfermedades ante cualquier cambio en su reología.

Agradecimiento

Los investigadores agradecen las facilidades prestadas en el Laboratorio de I+D+i “Mario Molina” de la Universidad Nacional del Callao.

Referencias

- Berga, L. (1980) Comportamiento reológico de la sangre humana a pequeñas velocidades de deformación. *Revista de Obras Públicas*, 127(3178), 207-214.
- Carrasco Venegas, L. (2011). Fenómenos de transporte. Lima: Empresa Editora Macro.
- Carrasco Venegas, L., Castañeda Pérez, L., & Altamirano Oncoy, K. (2015). Determinación de los parámetros reológicos de un champú con el modelo de Carreau-Yasuda. *Campus*, 20(20), 21-37.
- Ortiz-León, G., Araya-Luna, D., & Vílchez-Monge, M. (2014). Revisión de modelos teóricos de la dinámica de fluidos asociada al flujo de sangre. *Revista Tecnología En Marcha*, 27(1), 66. doi: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v27i1.1697>
- Rojas, O. (1999) *Introducción a la Reología*; Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Mérida, Venezuela.

Caracterización mecánica y física de fibra de iraca y Carbonato de Calcio como aditivos en un compuesto de matriz polimérica

Nicolás Macías¹
Oscar Cadavid¹
Luz M. Flórez²
Luz Castañeda¹

¹ Universidad del Valle, Calle 13 # 100-00, Cali, Colombia. E-mail: macias.nicolas@correounivalle.edu.co

² Universidad Autónoma de Occidente, Calle 25 # 115-85, Cali, Colombia. E-mail: lmflores@uao.edu.co

Modalidad: Comunicación Oral

Resumen

Los compuestos fibroreforzados de matriz polimérica han sido ampliamente utilizados en varios sectores industriales, dadas sus propiedades específicas mejoradas, su bajo costo y menor energía de producción, sobre todo cuando las fibras son naturales. En este caso, se presenta el desarrollo de un compuesto de matriz de resina poliéster con carbonato de calcio y fibras de iraca, una fibra natural usada tradicionalmente para tejido artesanal, presentando la caracterización física, mecánica y morfológica de los componentes y del compuesto. Como resultado, se observó un efecto negativo de la adición de iraca en términos mecánicos por la adhesión pobre, sin embargo, la resistencia a la flexión de compuestos laminados fue muy similar a la resistencia de la matriz.

Palabras claves: *adhesión; densidad; distribución; morfológica; volumen crítico.*

Introducción

Los compuestos de matriz polimérica fibroreforzados tienen aplicación extendida por la combinación de resistencia mecánica relativamente buena y bajas densidades, más aún, el uso de fibras naturales ha impulsado el desarrollo de estos materiales con resistencias específicas altas, de costo bajo, con cierto grado de biodegradabilidad y menor energía para su obtención. (Alkbir, Sapuan, Nuraini & Ishak, 2016)

En particular, la Iraca (Carludovica Palmata) también conocida como jipijapa, toquilla, palmiche, nacuma, entre otros, es una planta silvestre de tallo fibroso y delgado, de hojas abiertas como abanico, muy utilizada tradicionalmente para el tejido de sombreros y otras artesanías de tejido fino. De esta planta, la

parte aprovechable es el cogollo u hoja joven, que después de un tratamiento de secado y cocción, es fácil de trabajar y resistente. Por lo que se podría plantear como un refuerzo natural para una matriz polimérica.

Este es el primer reporte de caracterizaciones mecánicas y morfológicas de la fibra de iraca, así como de su incorporación como agente reforzante en matrices poliméricas, en combinación con una carga de carbonato de calcio. Se presentan ensayos de tensión, flexión, impacto y adhesión, y se hacen inferencias iniciales de la influencia de la introducción de estas fibras naturales en el compuesto.

Parte Experimental

Materiales

Las fibras usadas fueron obtenidas con extracción mecánica de cultivos de La Cruz, Nariño. Las fibras fueron hervidas en agua por 2 h para la extracción de materia extraña. Como carga se usó carbonato de calcio y como matriz resina poliéster, ambos de uso comercial.

Caracterización física y morfológica y mecánica

La densidad de las fibras se determinó con la Norma Técnica Colombiana NTC 907 (1996). La caracterización morfológica se hizo con biomasa húmeda por medio del método de tinción, reportado por (López, Cuarán, Arenas, & Flórez, 2014). Brevemente, diferentes reactivos son usados en función del componente a determinar, como celulosa, lignina, almidón, etc. Por último, la fibra se observó con estereoscopio y MEB.

La resistencia a la tracción de la fibra se determinó según ASTM C1557 (2014), a razón de 2 mm/min, mientras que el compuesto se caracterizó según las normas ASTM D638 (2008), D256 (2006) y D7264 (2015), para tracción, impacto y flexión. Además, se realizaron ensayos de Pull out ASTM C900 (2015).

Resultados y discusiones

La densidad de la fibra es muy baja ($0,938 \pm 0,002$) g/cm³, dada su porosidad en sección transversal. La iraca está compuesta de fibras gruesas (3 mm entre una y otra aprox.)

interconectadas por fibras más delgadas, separadas entre sí 0,25 mm en una lámina delgada. Esta estructura confiere cierta irregularidad superficial (Fig. 1). Su microestructura es típica de un tejido vegetal con células equiaxiales producidas por el meristemo apical. En la prueba de tinción, se notó la presencia de celulosa (resistencia mecánica) y de lignina (canales de alimentación, color rosa, Fig. 1). (Alkbir et al., 2016; Defoirdt et al., 2010). En cuanto a propiedades mecánicas de la fibra, se observaron similitudes a las fibras como la palma de aceite, la fibra de coco y algodón, en términos de resistencia mecánica y módulo elástico específicos, y elongación. (Alkbir et al., 2016)

Por otro lado, al realizar los ensayos de Pull-out se halló una longitud crítica de 4 mm, con un valor de trabajo promedio asociado para la extracción de 18,97 mJ. Para la realización del material compuesto de fibra discontinua se escogió una longitud de 5 mm, de manera que el esfuerzo soportado en el centro de la fibra correspondiera a su resistencia máxima.

La resistencia a la tracción disminuyó con todas las adiciones de fibra y carbonato, siendo más perjudicial la fibra (Tabla 1). Este tipo de comportamiento de disminución de resistencia mecánica por adición de la fibra natural se puede atribuir a tres aspectos: la distribución y la alineación de la fibra, la compatibilidad y adherencia y el volumen adicionado. Cuando la fibra se adicionó, la distribución no fue totalmente homogénea, debido a la diferencia de densidades que obligó a la fibra a flotar. En segundo lugar, la naturaleza hidrofóbica de la matriz e hidrofílica de la fibra condiciona el enlace interfacial y no permite buena adherencia y, tercero, es posible que el volumen de fibra estuviese muy por debajo del volumen crítico del compuesto (condicionado por la adhesión). Teniendo en cuenta los resultados, se determinó un volumen óptimo de fibras del 2% y de CaCO₃ de 4,8%. (Zampaloni et al., 2007)

La resistencia a la flexión se analizó con fibras alineadas de manera biaxial, y con fibras entretejidas, disponiendo tres capas en cada caso. El mejor resultado se obtuvo con la fibra entretejida, dado que la resistencia apenas cayó un 15% respecto a la muestra de sólo resina.

Conclusiones

Se observó una microestructura típica de tejido vegetal tipo hoja de la fibra de iraca, con propiedades mecánicas similares a la palma de aceite o fibra de



coco. Cuando se incorporó con CaCO_3 en resina poliéster, se determinaron volúmenes óptimos de 2 y 4,8%, respectivamente. Además, la resistencia a la flexión del compuesto con fibra entretejida fue muy similar a la de la matriz, proponiendo una aplicación de la fibra en este sentido. Se debe considerar, sin embargo, tratamientos superficiales para mejorar la adhesión fibra- matriz.



Fig. 1. Resultados de la caracterización de la adición de fibra de iraca en un sistema compuesto polimérico.

Tabla 1. Resultados de caracterización mecánica de los sistemas compuestos; C: CaCO_3 ; F: Fibra; R: Resina. Los números indican el contenido en volumen.

Tipo	(MPa)	(%)	Impacto (KJ/m^2)
Resi- na	41,35±4,30	14,67±3,28	1,032±0,479
RC2,3	26,87±5,95	5,03±2,11	1,694±0,837
RC4,8	33,91±0,98	5,33±0,58	2,206±0,490
RC7,4	33,86±0,65	5,69±1,37	1,644±0,365
RF2	9,49±2,90	4,08±2,59	
RF5	4,94±1,67	3,78±3,60	
	11,69±1,05	3,96±2,01	0,855±0,196

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. Mónica Villaquirán y a los laboratoristas July Manquillo e Irwin Castro (Univalle), por su colaboración en el proyecto.

Referencias

Alkbir, M., Sapuan, S., Nuraini, A., & Ishak, M. (2016). Fibre properties and crashworthiness parameters of natural fibre-reinforced composite structure: A literature review. *Composite Structures*, 148, 59-73. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.01.098>

ASTM D256 (2006). Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. American Society for Testing Materials ASTM.

ASTM D638 (2008). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. American Society for Testing Materials ASTM.

ASTM C1557 (2014). Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers. American Society for Testing Materials ASTM.

ASTM D7264 (2015). Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. American Society for Testing Materials ASTM.

ASTM C900 (2015). Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete. American Society for Testing Materials ASTM.

Defoirdt, N., Biswas, S., Vriese, L., Tran, L., Acker, J., & Ahsan, Q. et al. (2010). Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre. *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 41(5), 588-595. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.01.005>

López, J., Cuarán, J., Arenas, L., & Flórez, L. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banana: elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1, 7-21.

Norma Técnica Colombiana NTC 907 (1996). Plásticos. Determinación del peso específico (densidad relativa) y de la densidad. Método de desplazamiento. Editado por Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC.

Zampaloni, M., Pourboghrat, F., Yankovich, S., Rodgers, B., Moore, J., & Drzal, L. et al. (2007). Kenaf natural fiber reinforced polypropylene composites: A discussion on manufacturing problems and solutions. *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 38(6), 1569-1580. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.01.001>

Desarrollo de adhesivos termofusibles de Poli(Estireno-Isopreno-Estireno) y sus caracterizaciones físico-químicas

Giovanni Ponce A.¹
Luz Castañeda P.¹

¹ Universidad Nacional Federico Villarreal,
Facultad de Ciencias Naturales y
Matemática, Jr. Río Chepén 290, El Agustino,
Lima, Perú.

Modalidad: Comunicación Oral

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar adhesivos termofusibles, a partir de las resinas de colofonia, hidrocarbonada C5 y el copolímero de Estireno-Isopreno-Estireno (SIS) a escala laboratorio. Se analizó las propiedades térmicas de los materiales de partida, utilizando Análisis Termogravimétrico con Termogravimetría Derivativa (TGA-DTG) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Las propiedades térmicas permitieron establecer óptimamente los parámetros de temperatura de mezclado (200-215°C), velocidad de giro (30 rpm) y tiempo de mezclado (5 minutos). Los compuestos de partida fueron introducidos en la tolva de un reómetro de torque, para la preparación de los adhesivos, logrando ensayarse 26 mezclas de las cuales cuatro presentaron las mejores características para ser utilizadas como adhesivos hot melt, es decir: transparencia, flexibilidad y pegajosidad al tacto. El análisis por espectroscopia infrarroja se utilizó para verificación de grupos funcionales de los cuatro mejores productos elaborados. Los adhesivos fueron probados en diferentes sustratos, mostrando una fuerza adhesiva promedio de 3,2 Kgf, lo cual comparado con un adhesivo de una marca muy conocida en el mercado, cuya fuerza adhesiva es de 2,08 Kgf, nos indica que los productos formulados tienen buena perspectiva en el mercado de los adhesivos. Los resultados de los estudios reológicos y térmicos realizados permitirán diseñar adecuadamente su producción a mayor escala.

Palabras claves: SIS, DSC, TGA-DTG, sustrato, reología..

Introducción

En el Perú, más del noventa por ciento de los adhesivos utilizados en la industria son en base a disolventes orgánicos volátiles. La exposición a estos químicos tóxicos afecta al sistema inmune, y a largo plazo pueden contribuir al desarrollo del cáncer, malformaciones congénitas y



otras enfermedades. Los síntomas pueden variar desde dolor de cabeza, depresión, estados gripales continuos, entre otros (Castañeda, 2012).

Una alternativa al uso de adhesivos en base a disolventes orgánicos son los adhesivos termofusibles, los cuales son cien por ciento sólidos y están exentos de disolventes, por lo tanto, producirlos asegurará reducir considerablemente la emanación de gases tóxicos al ambiente y a evitar el riesgo ocupacional de los operarios y usuarios, por ello se justifica el desarrollo de estos adhesivos. Estos adhesivos, conocidos como hot melt, se funden a determinadas temperaturas, se adhieren a diversas superficies y pueden ser utilizados en sectores como la construcción, como cintas adhesivas, industria alimentaria, colchones, tapicería, entre otros (Castañeda, Lazo Manrique, Córdova Huamán & Briceño Flores, 2013). En esta investigación se pretende desarrollar prototipos de adhesivos termofusibles en base a Estireno-Isopreno-Estireno (SIS, figura 1), teniendo como criterio para sus formulaciones, sus propiedades térmicas, de movimiento y de masa. Los productos que se obtuvieron serán caracterizados mediante sus propiedades fisicoquímicas, los cuales a la vez, permitirán definir su estructura química, su fuerza adhesiva, propiedades reológicas, entre otros (Castañeda, 2015).

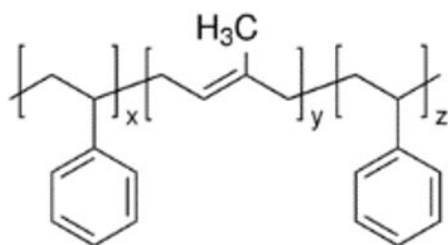


Figura 1. Estructura química del copolimero de estireno-isopreno-estireno.

Parte Experimental

Desarrollo de los adhesivos

Se formularon 26 mezclas a escala laboratorio, a partir de copolimero SIS, resina colofonia, resina hidrocarbonada C5, plastificante DOP, cera amarilla y antioxidante BHT. El proceso fue realizado mediante mezclado en caliente, utilizando un reómetro de torque de doble tornillo que simulaba un reactor con su mini tolva. Previamente se caracterizó térmicamente los siguientes insumos a fin de establecer las condiciones óptimas de procesamiento: copolimero

SIS, resina colofonia y resina hidrocarbonada C5. El equipo utilizado se muestra en la Figura. 2.

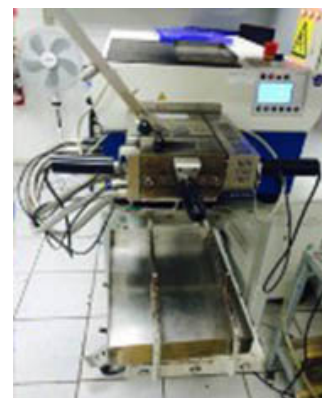


Figura 2. Reómetro de torque

Caracterización térmica mediante Análisis Termogravimétrico con Termogravimetría Diferencial (TGA-DTG)

Se trabajó bajo atmosfera de nitrógeno de 20 ml/min, velocidad de calentamiento de 10°/min, empezando desde temperatura ambiente hasta 500°C para todos los materiales de partida con excepción de la resina hidrocarbonada C5 que se evaluó desde temperatura ambiente hasta 600°C, el equipo utilizado se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Equipo de análisis TGA-DTG

Caracterización térmica mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La temperatura de transición vítrea (T_g), punto de cristalización (T_c) y punto de fusión (T_m) se estudió mediante análisis DSC, bajo atmosfera de nitrógeno entre 20 y 350°C para las resinas naturales y para el copolímero SIS, con velocidad de calentamiento de

10°/min, el equipo utilizado se muestra en la Figura 4.



Adhesivos desarrollados en base a SIS

Luego de 26 ensayos se establecieron 4 formulaciones: SIS A1-c; SIS A1-cc; SIS A2-c y SIS A2-cc, las que se muestran respectivamente en la figura 5.



Figura 5. Adhesivos desarrollados en base a SIS

Caracterización

A los productos obtenidos se les realizó análisis reológicos, análisis mediante espectroscopia infrarroja (FTIR) y análisis de resistencia al desgarro para medir la adhesividad.

Resultados y discusiones

Respecto al análisis previo mediante termogravimetría diferencial la resina colofonia experimenta 1% de pérdida de masa desde los 175°C, el copolímero SIS experimenta 0,25% de pérdida de masa a 292,7°C (Véase figura 6) y la resina hidrocarbonada C5 desde los 45°C experimenta 1,79% de pérdida de masa (Sivakumar, 2016).

Respecto al análisis previo por Calorimetría Diferencial de Barrido, la resina de colofonia presenta punto de fusión a 164,4°C y punto de autoignición a 323°C, aunque según la Corporación Química venezolana C.A., (2007), esta debió expresar autoignición a los 390°C, el

copolímero SIS presentó pico de estado fundido a 203,1°C (Véase figura 7) y la resina hidrocarbonada C5 muestra punto de fusión a 160°C.

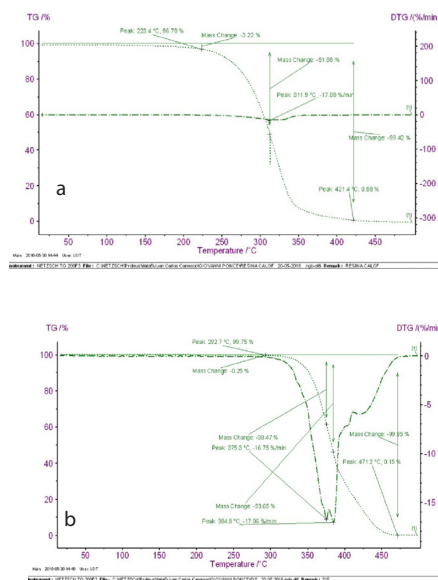


Figura 6. Resultado TGA-DTG: a) la resina de colofonia; b) copolímero SIS

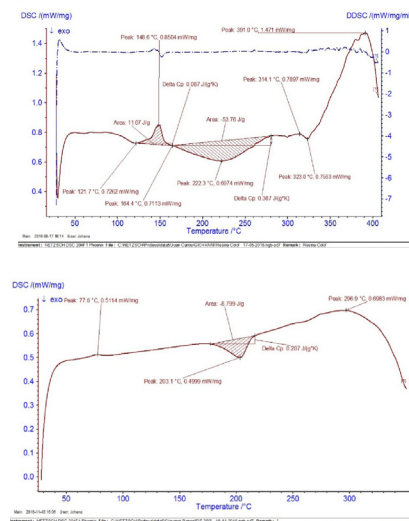


Fig 7. Resultados DSC: a) resina de colofonia; b) copolímero SIS

Los resultados obtenidos mediante los análisis TGA y DSC se utilizaron para establecer las condiciones de mezclado tales como: Temperatura (T°), velocidad de giro (γ) y tiempo de mezclado (t) para la elaboración de los adhesivos. Los parámetros óptimos de trabajo que permitían un mezclado homogéneo de los materiales de partida, sin generarse burbujas ni experimentando degradación térmica, fueron hallados y se especifican en la tabla 1.



Tabla 1. Parámetros de mezclado hallados a escala laboratorio para desarrollar adhesivos termofusibles SIS

Parámetros	SIS A1-cc	SIS A1-c	SIS A2-cc	SIS A2-c
Temperatura	215°C	215°C	215°C	215°C
Velocidad de giro	30 rpm	30 rpm	30 rpm	30 rpm
Tiempo	5 min	5 min	5 min	5 min

Respecto al análisis reológico, las propiedades viscoelásticas determinarán la efectividad y el comportamiento de los adhesivos termofusibles cuando son sometidos a una fuerza de corte (τ) expresada en N/m² a una velocidad de giro ($\dot{\gamma}$) expresada en s⁻¹. En estos análisis se midieron las siguientes variables, g_c , K, n y μ , donde: Factor de conversión gravitacional (g_c); Índice de consistencia (K); Índice de comportamiento reológico (n) y Viscosidad (μ). Se eligió como rango de trabajo entre 230-260°C (Figura 8) para estudiar la influencia de la temperatura sobre el comportamiento viscoelástico.

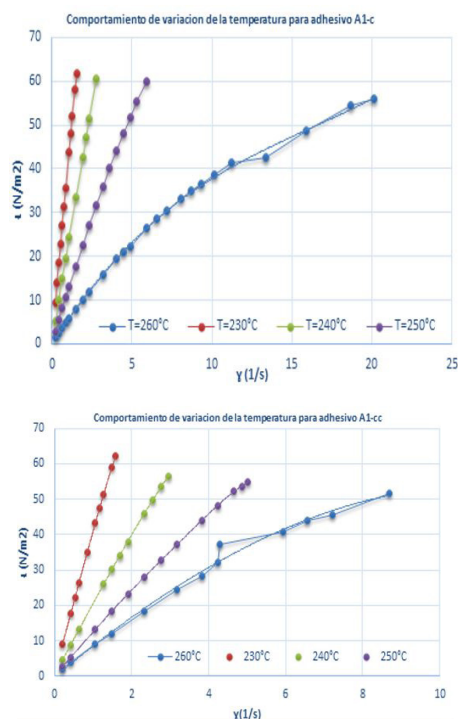


Figura 8. Comportamiento viscoelástico: a) Formulación SIS A1-c; b) Formulación SIS A1-cc

Respecto a los espectros infrarrojos se determinó que los pegamentos no alteraron su composición química durante el procesamiento, comprendiéndose que la elaboración de los mismos comprende un proceso difusional, en la figura 9 se observa los espectros infrarrojos de dos productos finales.

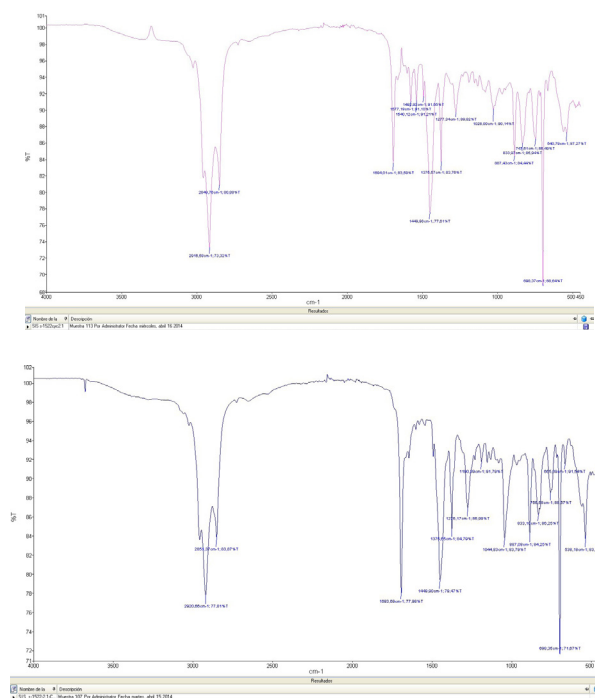


Figura 9. Comportamiento viscoelástico: a) Formulación SIS A1-c; b) Formulación SIS A1-cc

Respecto a los análisis de resistencia al desgarre, se muestran los resultados de resistencia al desgarre obtenidos entre una muestra testigo de una reconocida marca comercial y el adhesivo termofusible SIS A1-c elaborado a escala laboratorio. Las pruebas fueron realizadas sobre los sustratos mayólica-PVC, eligiendo como temperatura de aplicación 260°C, porque los sustratos eran lisos y se necesitaba baja fluidez del adhesivo. En la Figura 10 se muestra el gráfico comparativo de la fuerza adhesiva, el adhesivo SIS A1-c se indicó como SIS, tiene mayor fuerza adhesiva que el adhesivo similar de la reconocida marca comercial.



Figura 10. Resultados comparativos de resistencia al desgarre entre el producto desarrollado a escala laboratorio vs producto testigo indicado como 3M

Conclusiones

Al conocer las propiedades térmicas de los materiales de partida fue posible predecir las condiciones de procesabilidad de las mezclas, incluso estimar si se pueden dar reacciones de oxidación debido a las altas temperaturas.

Las mezclas realizadas con DOP y cera amarilla indicaron falta de afinidad química con el copolímero SIS, el cual impedía realizar mezclas homogéneas, por ello, los adhesivos que incluyeron estos compuestos en su formulación, no presentaron buenas propiedades físicas.

Los análisis por Espectroscopia Infrarroja de los cuatro adhesivos finales determinaron que los pegamentos no alteraron su composición química durante el procesamiento, el proceso constituye únicamente transferencia de masa y no reacciones químicas.

Los estudios reológicos de los cuatro adhesivos elaborados demuestran que a 260°C de temperatura, la curva pseudoplástica es más semejante a la curva teórica en estos productos, pero esta forma ideal se comienza a deformar desde los 12 s⁻¹ de velocidad de cizalladura durante el análisis reológico, concluyéndose con los estudios reológicos que la velocidad de mezclado y el tiempo de mezclado afectan a los tiempos de procesamiento de estos adhesivos desde 260°C.

El adhesivo de la formula SIS A1-c demostró tener mayor pegajosidad que el adhesivo de una reconocida marca de prestigio, pues al realizarse el estudio comparado de resistencia al desgarre, se obtuvo 3,1957 Kgf de adhesión frente a 2,0835 Kgf del adhesivo comercial, concluyéndose que el mejor adhesivo desarrollado en esta investigación tiene 1,53 veces mayor fuerza adhesiva, que el adhesivo comercial de una reconocida marca con el que se comparó.

Los adhesivos preparados en esta investigación dado que son sólidos no generan emisiones al ambiente como los adhesivos preparados en base disolvente orgánico y por eso son considerados de baja toxicidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa HAC Comercio y Manufactura S.A y a la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción en Chile, donde se llevó a cabo este trabajo de investigación.

Referencias

- Castañeda. L. (2012). Vigilancia Tecnológica de los adhesivos en el Perú, Informe de Investigación para Hacs y Fincyt.
- Castañeda Pérez, L., Lazo Manrique, A., Córdova Huamán, J., & Briceño Flores, E. (2013). Síntesis y caracterización de un adhesivo acuoso de poliuretano: Un aporte a la producción nacional de adhesivos ecológicos. *Cátedra Villarreal*, 1(2). doi: <http://dx.doi.org/10.24039/cv20131216>
- Castañeda. L. (2015). Desarrollo y caracterización de nuevos adhesivos "hot melt", Ponencia presentada en el XVI congreso de adhesión y adhesivos, Alicante, España. Libro de resúmenes.
- Corporación Química Venezolana. (2007). Colofonia hoja de seguridad. (Recuperado de: <http://www.corquiven.com.ve/PDF/MSDS-COLOFONIA.pdf>)
- Sivakumar. K. (2016). Thermal Analysis Syllabus: Theory and applications of TGA – Thermogravimetric Analysis DTG – Derived Thermogravimetry DTA-Differential Thermal analysis. (Recuperado de: <http://slideplayer.com/slide/2928694/>)