

# Improvement of the polyurethane foam's physical properties with the incorporation of sugarcane bagasse fiber

Yorwi Medina-Malla<sup>1</sup>, Jhoctan Rodríguez-Luicho<sup>1</sup>, Emzon Murga-Torres<sup>1</sup>, Eduar Rodríguez-Beltrán<sup>1</sup>, Moisés Gallozzo-Cárdenas<sup>2</sup>, Renny Nazario-Naveda<sup>3</sup> and Luis Angelats-Silva<sup>4</sup>,

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Civil, Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, Perú, emurgato@ucvvirtual.edu.pe

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, Perú; mmgallozzo@ucvvirtual.edu.pe

<sup>3</sup> Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Perú, renny.nazario@autonoma.pe

<sup>4</sup> Laboratorio de Investigación Multidisciplinario, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo 13008, Perú; langelatss@upao.edu.pe

*Abstract— In the following investigation, polyurethane compounds, and sugarcane bagasse fibers (SCBF) were developed and analyzed to determine their mechanical and physical properties. SCBF was incorporated in different concentrations (2, 4, 6 and 8%) in polyurethane foam. The morphological characteristics were evaluated by Scanning Electron Microscopy (SEM), the foams were subjected to compression tests to study their deformation behavior, their water absorption capacity, and their thermal behavior to transfer and store heat through diffusivity were studied. thermal. A good integration of SCBF in the polyurethane foams was observed,*

*lightening the compounds, and increasing the pore size. The absorption capacity is also increased until reaching a retention of almost 4 times its weight for polyurethane foams with 4% SCBF. A decrease in the deformation caused by compressive forces is observed with increasing SCBF content. On the other hand, the SCBF content has a great influence on the thermal diffusivity of the compounds, decreasing until reaching a value of  $1.54 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{s}$  in materials with 4% SCBF.*

*Keywords— Natural fibers, polyurethane foam, sugarcane bagasse fibers, water absorption, thermal diffusivity.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Mejora de las propiedades físicas de la espuma de poliuretano con la incorporación de fibra de bagazo de caña de azúcar

Yorwi Medina-Malla<sup>1</sup>, Jhoctan Rodríguez-Luicho<sup>1</sup>, Emzon Murga-Torres<sup>1</sup>, Eduar Rodríguez-Beltrán<sup>1</sup>, Moisés Gallozzo-Cárdenas<sup>2</sup>, Renny Nazario-Naveda<sup>3</sup> and Luis Angelats-Silva<sup>4</sup>,

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Civil, Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, Perú, emurgato@ucvvirtual.edu.pe

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, Perú; mmgallozzo@ucvvirtual.edu.pe

<sup>3</sup> Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Perú, reddy.nazario@autonoma.pe

<sup>4</sup> Laboratorio de Investigación Multidisciplinario, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo 13008, Perú; langelatss@upao.edu.pe

**Resumen—** En la siguiente investigación se desarrollaron y analizaron compuestos de poliuretano y fibra de bagazo de caña de azúcar (SCBF) para determinar sus propiedades mecánicas y físicas. La SCBF se incorporó en diferentes concentraciones (2, 4, 6 y 8%) en espuma de poliuretano. Las características morfológicas fueron evaluadas mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), las espumas fueron sometidas a pruebas de compresión para estudiar su comportamiento bajo deformación, su capacidad de absorción de agua y su comportamiento térmico para transferir y almacenar calor a través de la difusividad térmica. Se observó una buena integración de la SCBF en las espumas de poliuretano, aligerando los compuestos y aumentando el tamaño de los poros. Se aumentó la capacidad de absorción hasta alcanzar una retención de casi 4 veces su peso para espumas de poliuretano con 4% de SCBF. Se observó también una disminución en la deformación causada por fuerzas de compresión al aumentar el contenido de SCBF. Por otro lado, el contenido de SCBF tiene una gran influencia en la difusividad térmica de los compuestos, disminuyendo hasta alcanzar un valor de  $1.54 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{s}$  en materiales con 4% de SCBF.

**Palabras clave—** Fibras naturales, espuma de poliuretano, fibras de bagazo de caña de azúcar, absorción de agua, difusividad térmica.

## I. INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos formados por matrices poliméricas y fibras naturales están siendo ampliamente investigados. El poliuretano destaca, en particular, debido a su versatilidad estructural y sus propiedades elastoméricas y termoplásticas [1,2]. Este material es ampliamente utilizado en la reparación de grietas, expandiéndose en su interior y formando una espuma rígida que sella la abertura y mejora el aislamiento de una estructura. El uso de poliuretano es altamente recomendado debido a su fácil aplicación y baja demanda de mano de obra; además, tiene una excelente capacidad de adherencia y se adapta de manera efectiva a paredes y laminados, a diferencia de otros materiales que requieren más tiempo y esfuerzo para su instalación [3]. Por otro lado, este material presenta la particularidad de ser más compatibles con las fibras vegetales en relación a otros

compuestos, debido a la posible reacción de los grupos hidroxilo de las fibras y los grupos isocianato del poliuretano [4].

La fibra natural se ha convertido en una fuente renovable y una alternativa prometedora para reforzar y complementar los materiales basados en polímeros, entre los más usados tenemos al coco, bambú, kenaf, lino, entre otros [5-8]. Las fibras naturales son consideradas como materiales que eventualmente pueden reemplazar a los materiales sintéticos y sus productos asociados en aplicaciones que requieren menor peso y mayor eficiencia energética [9]. Las fibras se distinguen por su flexibilidad, delgadez y una relación elevada entre su longitud y su diámetro máximo, lo cual las hace idóneas para emplearse en la fabricación de materiales de construcción [3,9]. En comparación con las fibras sintéticas, las fibras naturales son menos costosas, más fáciles de manejar, tienen altas cualidades mecánicas, usan menos energía durante la producción y son biodegradables [10]. Entre las fibras con más potencial, debido a su disponibilidad y características físicas, tenemos a la fibra de bagazo de caña de azúcar (SCBF) [11]. El bagazo de caña de azúcar, es un subproducto de la industria azucarera obtenido luego del proceso productivo de azúcar que termina como desecho orgánico sin ninguna función aprovechable o en algunos casos incinerado.

Así, el desarrollo de compuestos ecológicos o materiales compuestos con fibras naturales ha ganado mucha atención en los últimos tiempos debido al creciente enfoque en la sostenibilidad ambiental [5]. Ref. [12] investigó compuestos fabricados de ácido poliláctico/fibra de bagazo de caña de azúcar (PLA/SCBF), las propiedades de los compuestos de PLA fueron evaluadas mediante pruebas de impacto, microscopía electrónica de barrido de emisión de campo y análisis mecánico dinámico (DMA). Los resultados de DMA mostraron que la adición de SCBF aumentó el módulo de almacenamiento de PLA. También, Ref. [13] desarrolló compuestos de bajo costo de poliuretano y fibras naturales renovables para determinar sus propiedades mecánicas y físicas, el compuesto se creó reemplazando hasta un 20% p/p de polietilenglicol, con una o una mezcla de tres fibras naturales: caña de azúcar, sisal o cascarilla de arroz. El

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Obtención de fibra de bagazo de caña de azúcar (SCBF)

La recolección del bagazo de caña de azúcar se llevó a cabo en el distrito de Laredo, Trujillo, Perú, donde abunda debido a la presencia de fábricas azucareras. Las fibras fueron secadas al sol durante aproximadamente una semana, permitiendo reducir la humedad del bagazo y facilitar su procesamiento posterior. Después de este tiempo, el bagazo fue triturado para reducir su tamaño, pasando luego por un proceso de tamizado con malla 50 (300  $\mu\text{m}$ ). La fibra obtenida se reservó para su posterior incorporación en las diferentes mezclas.

### B. Preparación de PUF/SCBF

Se sintetizaron espumas de poliuretano con polioli e isocianato (EasyFlo 90) mediante mezcla en volumen igual a 1:1. Las fibras se añadieron al polioli y se mezcló manualmente, las concentraciones de fibra añadida fueron 2, 4, 6 y 8% de la masa final del polímero. A continuación, se añadió el isocianato. El tiempo de homogeneización fue de 60 s y la temperatura de la reacción de polimerización exotérmica fue de aproximadamente 45°C. La mezcla fue vertida en un molde de 9x17 cm<sup>2</sup>. Después del endurecimiento de las espumas, estas fueron retiradas de los moldes. También se preparó la espuma de poliuretano sin adición de refuerzos de fibra. Todo el proceso se realizó a temperatura ambiente.

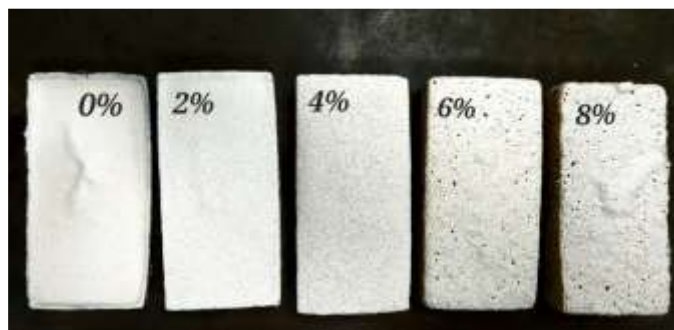


Fig. 1 Muestras obtenidas de espuma de poliuretano/SCBF.

### C. Métodos de Caracterización

Para determinar la densidad se utilizó la norma ASTM D 1622-14, el ensayo se realizó por triplicado. La morfología de las espumas se obtuvo en un microscopio electrónico de barrido SEM Tescan Vega 3 LMU, las muestras se observaron utilizando un voltaje acelerado de 5 kV. Para determinar la capacidad de absorción de agua de las espumas y compuestos de poliuretano, las muestras fueron cortadas en dimensiones de 2x2x0,5 cm<sup>3</sup>, se secaron a 50° durante 24 horas y se midió el peso con una balanza. Las espumas se sumergieron en agua destilada a temperatura ambiente durante 30 min. Después se

material compuesto híbrido resultante muestra una ductilidad de hasta el 32 %, un módulo de elasticidad de 0,1 GPa y una deformación permanente del 7,32 %. Por su parte, Ref. [14] preparó compuestos de poliuretano con bagazo de caña de azúcar en diferentes proporciones, el comportamiento térmico de estos composites se ensayó por método calorimétrico (TG/DTG). Se estudió el efecto de la concentración de fibra sobre los parámetros cinéticos del compuesto y se propuso una mejor interacción con 5% p/p. de fibra. Mientras, Ref. [15] obtuvo compuestos de poliuretano de aceite de ricino reforzado con fibras de celulosa provenientes de residuos de caña de azúcar. La incorporación de fibras de celulosa en la matriz mostró un aumento en la rigidez del compuesto, el módulo de Young también aumentó en comparación con la matriz pura. El análisis SEM de las superficies fracturadas mostró una pobre dispersión de las fibras en la matriz y una alta interacción fibra-matriz. Mientras tanto, Ref. [16] utilizó fibras de bagazo de caña de azúcar como refuerzo en espuma de poliuretano para mejorar la eliminación de aceite vegetal del agua. La capacidad de sorción de los compuestos se evaluó en función del contenido de fibra insertada en la matriz, se encontró que los compuestos reforzados con fibras pretratadas presentaron mejores resultados debido a la desfibrilación de la fibra y al aumento de su área de contacto dispersa en el polímero. Por otro lado, Ref. [17] estudió espumas de poliuretano preparadas (PUF) a base de melaza de caña de azúcar reforzadas con fibra de bagazo del mismo biorresiduo. Los resultados mostraron que la muestra compuesta de PUF con un 10% de fibra de caña de azúcar agregada como refuerzo tenía la densidad aparente más baja. Asimismo, su análisis térmico TGA mostró una tendencia general hacia la reducción tanto de la temperatura inicial de descomposición, como de la temperatura a la velocidad máxima de degradación, en comparación con el PUF de referencia sin fibra añadida. Finalmente, sus propiedades mecánicas mostraron un valor máximo tanto para el esfuerzo a compresión como para el módulo de compresión.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la adición de fibras naturales al poliuretano para formar un compuesto no solo podría ayudar a reducir el impacto ambiental, sino que también podría reducir el costo de fabricación y posiblemente mejorar las propiedades mecánicas y térmicas del producto, es por eso que el objetivo de este estudio fue de evaluar las propiedades mecánicas, térmicas y de absorción del compuesto de espuma de poliuretano/fibra de bagazo de caña de azúcar (PUF/SCBF). Para su elaboración se incorporó la SCBF en diferentes concentraciones en la matriz polimérica del poliuretano, se evaluaron las características morfológicas mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), la deformación y recuperación de forma ante cargas de compresión, la cinética de absorción de agua y su comportamiento al conducir y almacenar energía térmica. El material obtenido es económico, ecoamigable y con un gran potencial para aplicaciones de amortiguación, biorremediación o aislamiento térmico.

retiró la espuma empapada y se midió nuevamente su peso. La capacidad de absorción se calculó con la ecuación:

$$Q = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

donde,  $m_i$  y  $m_f$  son los pesos de la espuma antes y después de la prueba de absorción, respectivamente [18]. El procedimiento se repitió hasta alcanzar la saturación del material. Para evaluar la deformación por compresión y su recuperación de forma se realizó un ensayo de compresión usando una prensa de compresión de la marca Forney aplicando una carga de  $12.5 \pm 0.2$  Ton para todas las muestras. Las muestras usadas tenían dimensiones de  $9 \times 8$  cm<sup>2</sup>. Se midió el espesor de las muestras sin comprimir, el espesor deformado por compresión y el espesor luego de la recuperación de forma usando un calibrador Vernier digital con  $\pm 0.01$  mm de precisión. Finalmente; se evaluó las propiedades térmicas de las espumas calculando la difusividad considerando un modelo de conducción de calor mediante el análisis de sistemas concentrados [19], ajustando las curvas de temperatura medidas en las muestras de espuma con la siguiente ecuación:

$$T = T_i + (T_\infty - T_i) e^{-\frac{\alpha t}{L^2}} \quad (2)$$

donde T es la temperatura en cualquier punto a lo largo del espesor del sólido,  $T_i$  es la temperatura de la fuente de calor,  $T_\infty$  es la temperatura del medio, L es el espesor de la muestra y  $\alpha$  es la difusividad del material. Para este ensayo se usó una pistola de calor Dewalt D26411 con una temperatura  $T_i$  de 400 °C, la temperatura fue medida mediante un sensor de temperatura Vernier y registrada mediante el software Logger Pro.

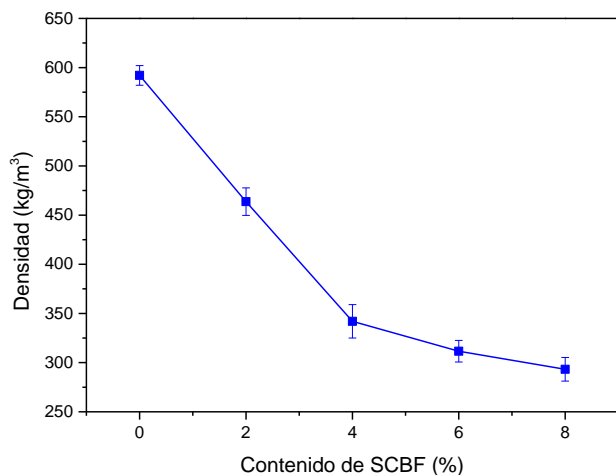


Fig. 2 Densidad de la espuma de poliuretano pura y los compuestos con SCBF.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La incorporación de SCBF al poliuretano influyó directamente en la densidad de las espumas fabricadas. La Figura 2 muestra la curva de densidad obtenida de las espumas de poliuretano incorporadas con las fibras de bagazo de caña de azúcar. Se observa que el incremento de SCBF aligera los compuestos al incorporar burbujas de aire resultando en materiales con diferentes volúmenes de poros, reflejándose directamente en la densidad, la cual disminuye, pero no de manera lineal ni gradual. Resultados similares fueron encontrados por [13], por otro lado, otros trabajos encontraron un aumento de la densidad [16,17] posiblemente a diferencias en los procesos de fabricación de los compuestos.

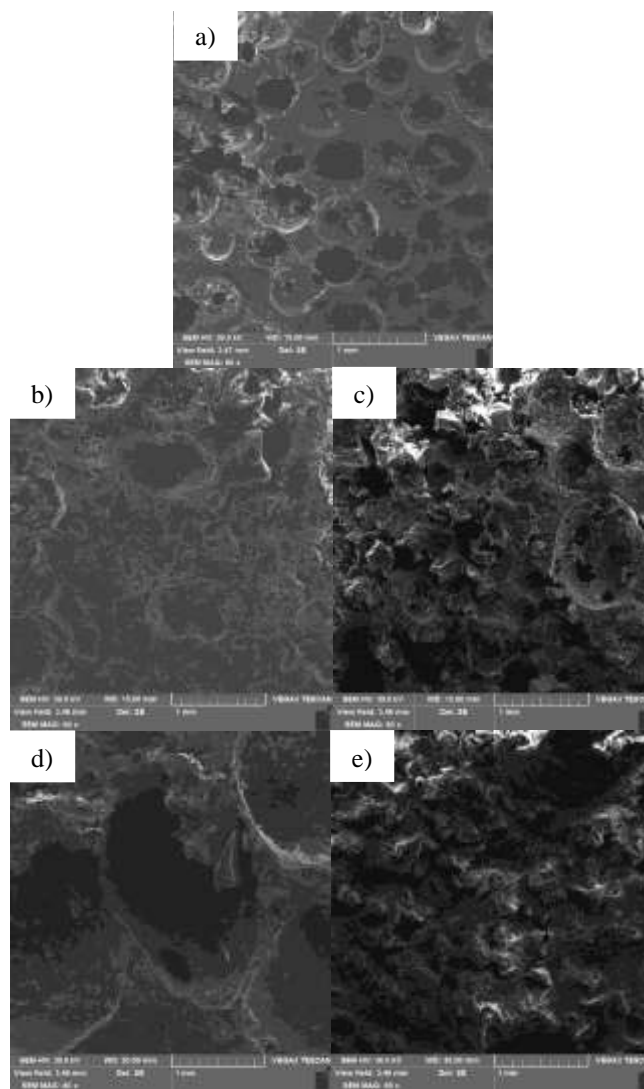


Fig. 3 Microscopía electrónica de barrido de a) poliuretano puro, compuestos con b) 2% SCBF, c) 4% SCBF, d) 6% SCBF y e) 8% SCBF.

Los cambios morfológicos debido a la incorporación de las fibras en el poliuretano fueron evaluados mediante

microscopía electrónica de barrido (MEB). Las imágenes de MEB en 60x se muestran en la Figura 3. En la Figura 3a se observa las micrografías de la espuma de poliuretano sin SCBF, estas muestran una superficie relativamente lisa, con poros con una media de 500  $\mu\text{m}$  de diámetro. Se puede observar cambios significativos en la morfología de los compuestos de PUF/SCBF al incrementar el contenido de fibra. Las Figuras 3b), 3c), 3d) y 3e) muestran la morfología de los compuestos de PUF/SCBF, se evidencia una superficie porosa heterogénea con espacios intersticiales [20,21]. Se observa, además, diferencias en tamaño y distribución de los poros, incrementando el volumen de los vacíos con el aumento de la cantidad de fibra; por otro lado, la integración de las fibras provoca deformaciones en la superficie. Se determinó que las fibras fueron adheridas eficientemente al polímero, esto significa una buena integración con la red polimérica en el compuesto posiblemente debido al pequeño tamaño de las fibras que producen un incremento en el área de contacto y a la naturaleza hidrofílica de las mismas [5].

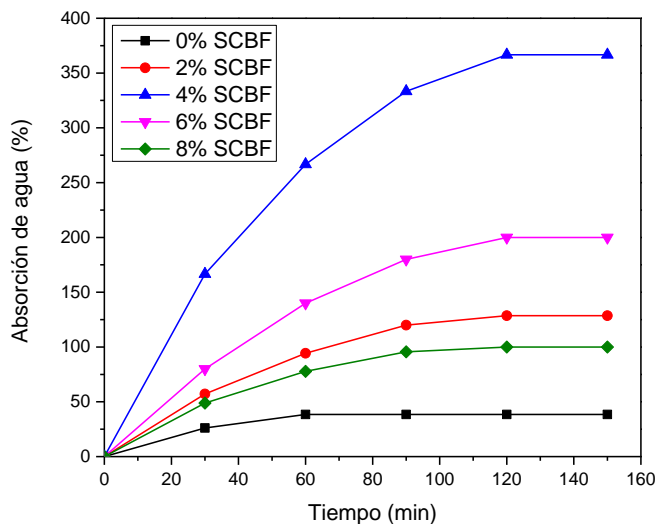


Fig. 4 Cinética de absorción de agua.

La cinética de absorción de agua evidencia el transporte y almacenamiento de agua en los compuestos poliméricos. La Figura 4 muestra los resultados del experimento, se observa que el bloque de poliuretano sin fibra no tiene mucha capacidad absorbente ya que alcanza la saturación en 60 min acumulando 38% de su propio peso en agua. La presencia de las fibras de bagazo de caña de azúcar afecta la capacidad de absorción, aumentando hasta lograr una retención de casi 4 veces su peso para las espumas de poliuretano con 4% de SCBF, este efecto se reduce con cantidades mayores de fibra. Al parecer la incorporación de las fibras no solo crea vacíos dentro de la matriz polimérica, si no que las mismas fibras permiten una interconexión entre las burbujas lo que hace posible que estén sean ocupadas por agua, resultados similares fueron encontrados por otros autores [18,22]. Sin embargo, la incorporación con más de 4% de SCBF genera espacios cada

vez más grandes, haciendo que el material no logre retener el agua con la misma facilidad. Estos resultados sugieren que las espumas de poliuretano con 4% de SCBF pueden servir como materiales absorbentes de líquidos como aceites, petróleo u otros y usarse en bioremediación [23,24].

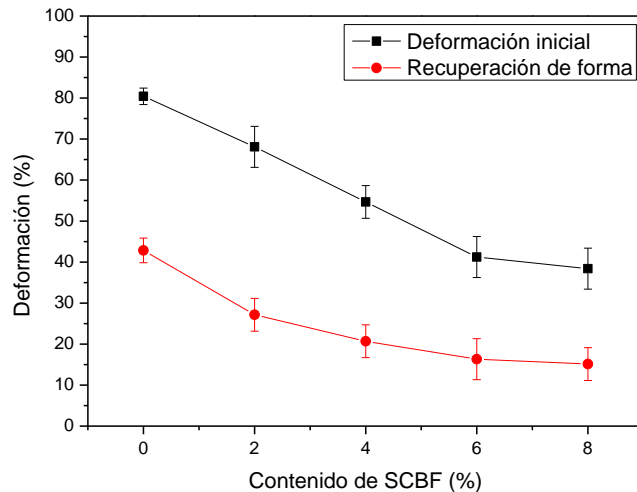


Fig. 5 Espesor de las muestras de espuma en diferentes etapas del proceso de compresión.

Las variaciones unitarias del espesor de los bloques de espuma de poliuretano incorporadas con SCBF medidos al finalizar la compresión y luego de recuperarse durante 24 horas se muestran en la Figura 5. Se observa una disminución en la deformación causada por fuerzas de compresión al aumentar el contenido de SCBF, las fibras aportan una mayor rigidez de la estructura polimérica restringiendo el estiramiento de los compuestos [18,25,26]. Por otro lado, no se observa una mejora significativa en la capacidad de recuperar el espesor original; sin embargo, la deformación máxima alcanzada fue de alrededor del 15% para las muestras con 8% de SCBF. Esta propiedad sugiere que el material podría usarse como amortiguador mecánico en diferentes aplicaciones. Además, se debe mejorar el proceso de evaluación de recuperación de forma en próximos trabajos para un mejor entendimiento del proceso mecánico [13, 27,28].

El comportamiento térmico de las espumas de poliuretano incorporados con SCBF es presentado en la Figura 6, las muestras fueron expuestas a una temperatura de 400°C en uno de sus extremos, mientras que el otro extremo permanecía a temperatura ambiente. Se midió la temperatura en el extremo alejado de la fuente de calor. Se ajustaron las curvas de temperatura de acuerdo a la ecuación (2) y se calculó la difusividad térmica de los materiales. La difusividad térmica es definida como la razón entre la capacidad de conducir y la de almacenar energía térmica [29]. Los resultados obtenidos indican que el contenido de fibra de bagazo de caña de azúcar tiene una gran influencia en la difusividad térmica de los

compuestos. La difusividad térmica de los compuestos decrece hasta alcanzar un mínimo valor de  $1.54 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{s}$  en los materiales con 4% de SCBF. Esto quiere decir que estos materiales requieren más tiempo para ser calentados o enfriados que un material puro o con otros porcentajes de contenido de SCBF, por lo que sería muy recomendado su uso como aislante térmico en paredes. Este comportamiento, podría ser explicado con la conectividad interna lograda dentro de la matriz polimérica por la incorporación de las fibras; sin embargo, existe una saturación en donde el aumento progresivo de fibra genera una desconexión reflejado en el cambio de las propiedades como se observó también en la capacidad de absorción de agua [30,31]. En este trabajo no se evaluó la influencia de la temperatura sobre la difusividad térmica de los biocompuestos. No es posible apreciar diferencias dentro de rangos de temperaturas pequeños, sin embargo, es una tarea pendiente, ya que la densidad cambia con la temperatura e influirá en la difusividad térmica de los materiales [32].

#### IV. CONCLUSIONES

Se fabricó exitosamente espuma de poliuretano incorporado con fibra de bagazo de caña de azúcar y se evaluó su efecto en sus propiedades físicas. Se observó que el incremento de SCBF en las espumas de poliuretano aligera los compuestos, reduciendo su densidad. El análisis por microscopía electrónica de barrido muestra la buena integración de las fibras en la matriz polimérica y el incremento del tamaño de los poros. Se incrementó la capacidad de absorción de agua hasta lograr una retención de casi 4 veces su peso para las espumas de poliuretano con 4% de SCBF. También se observó una disminución en la deformación causada por fuerzas de compresión al aumentar el contenido de SCBF. Por otro lado, el contenido de SCBF tiene una influencia en la difusividad térmica de los compuestos, esta disminuye hasta alcanzar un mínimo valor de  $1.54 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{s}$  en los materiales con 4% de SCBF. El material obtenido es económico, eco-amigable y con un gran potencial para aplicaciones en reparación, amortiguación, biorremediación o como aislante térmico.

#### REFERENCIAS

- [1] Luz SM, Gonçalves AR, Del'Arco Jr AP. "Mechanical behaviour and microstructural analysis of sugarcane bagasse fibers reinforced polypropylene composites", *Compos Part A*, vol. 38, pp. 1455-1461, 2007.
- [2] Wu, B., Fu, W., Kong, B., Hu, K., Zhou, C., & Lei, J. "Preparation and characterization of stearic acid/polyurethane composites as dual phase change material for thermal energy storage". *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 132, pp. 907-917, 2018.
- [3] Calderón, V., Gutiérrez-González, S., Gadea, J., Rodríguez, Á., & Junco, C. "Construction applications of polyurethane foam wastes". En *Recycling of Polyurethane Foams*, William Andrew Publishing, pp. 115-125, 2018.
- [4] Silva RV, Spinelli D, Bose Filho WW, Claro Neto S, Chierice Go, Tarpani JR. "Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites". *Compos Sci Tech*, vol. 66, pp. 1328-1335, 2006.
- [5] Bax B and Mu'ssig J. "Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites". *Compos Sci Technol*, vol. 68, pp. 1601-1607, 2008.
- [6] Kinoshita H, Kaizu K, Fukuda M, et al. "Development of green composite consists of woodchips, bamboo fibers and biodegradable adhesive". *Compos B Eng*, vol. 40, pp. 607-612, 2009.
- [7] Khieng, T. K., Debnath, S., Ting Chaw Liang, E., Anwar, M., Pramanik, A., & Basak, A. K. "A review on mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites under various strain rates". *Journal of Composites Science*, vol. 5, no. 5, pp. 130, 2021.
- [8] Herrera-Franco, P. J., & Valadez-Gonzalez, A. "Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites". *Composites Part A: applied science and manufacturing*, vol. 35 no. 3, pp. 339-345, 2004.
- [9] Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., Naik, L. L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. J. N. R. (2016). "Applications of natural fibers and its composites: an overview". *Natural Resources*, vol. 7, no. 3, pp. 108-114, 2016.
- [10] Kicińska-Jakubowska, A., Bogacz, E., & Zimmiewska, M. "Review of natural fibers. Part I—Vegetable fibers". *Journal of Natural Fibers*, vol. 9, no. 3, pp. 150-167, 2012.
- [11] Loh, Y. R., Sujjan, D., Rahman, M. E., & Das, C. A. "Sugarcane bagasse—The future composite material: A literature review". *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 75, pp. 14-22, 2013.

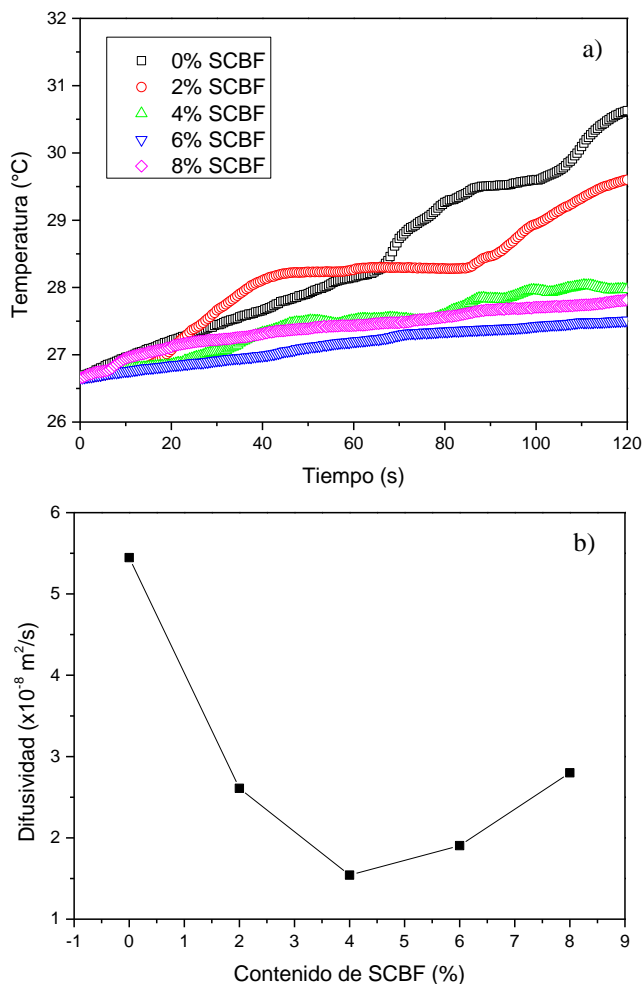


Fig. 6 a) Curvas de temperatura y b) difusividad térmica de los compuestos PUF/SCBF.

- [12] Khoo, R. Z., & Chow, W. S. "Mechanical and thermal properties of poly (lactic acid)/sugarcane bagasse fiber green composites". *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 30, no. 8, pp. 1091-1102, 2017.
- [13] Otto, G. P., Moisés, M. P., Carvalho, G., Rinaldi, A. W., Garcia, J. C., Radovanovic, E., & Fávaro, S. L. "Mechanical properties of a polyurethane hybrid composite with natural lignocellulosic fibers". *Composites Part B: Engineering*, vol. 110, pp. 459-465, 2017.
- [14] Mothé, C., de Araujo, C., De Oliveira, M., & Yoshida, M. "Thermal decomposition kinetics of polyurethane-composites with bagasse of sugar cane". *Journal of thermal analysis and calorimetry*, vol. 67, no. 2, pp. 305-312, 2002.
- [15] Miléo, P. C., Mulinari, D. R., Baptista, C. A. R. P., Rocha, G. J. M., & Gonçalves, A. R. "Mechanical behaviour of polyurethane from castor oil reinforced sugarcane straw cellulose composites". *Procedia Engineering*, vol. 10, pp. 2068-2073, 2011.
- [16] Gandara, M., Mulinari, D. R., Monticeli, F. M., & Capri, M. R. "Sugarcane bagasse fibers reinforced in polyurethane for sorption of vegetal oil". *Journal of Natural Fibers*, vol. 18, no. 12, pp. 1983-1994, 2021.
- [17] Vega Baudrit, J., Delgado Montero, K., & Madrigal Carballo, S. "Biodegradable polyurethanes from sugar cane biowastes". *Cellulose Chem. Technol.*, vol. 45 no. 7-8, pp. 507-514, 2011.
- [18] Ismail, N. I., & Ishak, Z. A. M. "Effect of fiber loading on mechanical and water absorption capacity of Poly(lactic acid)/Poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyhexanoate)/Kenaf composite". *En IOP Conference Series: materials science and engineering*. IOP Publishing, vol. 368, pp. 012014, 2018.
- [19] Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. *Transferencia de calor y masa*. McGraw-Hill Interamericana, vol. 53, 2007.
- [20] Miléo, P. C., Oliveira, M. F., Luz, S. M., Rocha, G. J., & Gonçalves, A. R. "Thermal and chemical characterization of sugarcane bagasse cellulose/lignin-reinforced composites". *Polymer Bulletin*, vol. 73, pp. 3163-3174, 2016.
- [21] Chen, Y., Zhao, X., Li, Y., Jin, Z. Y., Yang, Y., Yang, M. B., & Yin, B. "Light-and magnetic-responsive synergy-controlled reconfiguration of polymer nanocomposites with shape memory assisted self-healing performance for soft robotics". *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 9, no. 16, pp. 5515-5527, 2021.
- [22] Bollino, F., Giannella, V., Armentani, E., & Sepe, R. "Mechanical behavior of chemically-treated hemp fibers reinforced composites subjected to moisture absorption". *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 22, pp. 762-775, 2023.
- [23] Mondal, M. I. H., Haque, M. O., Ahmed, F., Pervez, M. N., Naddeo, V., & Ahmed, M. B. "Super-Adsorptive biodegradable hydrogel from simply treated sugarcane bagasse". *Gels*, vol. 8, no. 3, pp. 177, 2022.
- [24] Liu, J., Chang, M. J., Tenggeer, M., & Du, H. L. "Fabrication of highly hydrophobic polyurethane foam for the oil-absorption application". *En Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, vol. 809, pp. 169-174, 2015.
- [25] Mohammed, L., Ansari, M. N., Pua, G., Jawaid, M., & Islam, M. S. "A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications". *International journal of polymer science*, vol. 2015, 2015.
- [26] Shesan, O. J., Stephen, A. C., Chioma, A. G., Neerish, R., & Rotimi, S. E. "Improving the mechanical properties of natural fiber composites for structural and biomedical applications". *Renewable and sustainable composites*, pp. 1-27, 2019.
- [27] Pantoja, M., Alvarado, T., Cakmak, M., & Cavicchi, K. A. "Stearic acid infused polyurethane shape memory foams". *Polymer*, vol. 153, pp. 131-138, 2018.
- [28] García-Huete, N., Cuevas, J. M., Laza, J. M., Vilas, J. L., & León, L. M. "Polymeric shape-memory micro-patterned surface for switching wettability with temperature". *Polymers*, vol. 7, no. 9, pp. 1674-1688, 2015.
- [29] Alazzam, M. B., Hajje, F., AlGhamdi, A. S., Ayouni, S., & Rahman, M. A. "Mechanics of materials natural fibers technology on thermal properties of polymer". *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2022, pp. 1-5, 2022.
- [30] Coulson, M., Dantras, E., Olivier, P., Gleizes, N., & Lacabanne, C. "Thermal conductivity and diffusivity of carbon-reinforced polyetherketoneketone composites". *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 136, no. 38, pp. 47975, 2019.
- [31] Ramlee, N. A., Jawaid, M., Ismail, A. S., Zainudin, E. S., & Yamani, S. A. K. "Evaluation of thermal and acoustic properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibres based hybrid composites for wall buildings thermal insulation". *Fibers and Polymers*, vol. 22, no. 9, pp. 2563-2571, 2021.
- [32] Li, X., Tabil, L. G., Oguocha, I. N., & Panigrahi, S. "Thermal diffusivity, thermal conductivity, and specific heat of flax fiber-HDPE biocomposites at processing temperatures". *Composites science and technology*, vol. 68, no. 7-8, pp. 1753-1758, 2008.