

## EFFECTO DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LA FIBRA SOBRE LAS PROPIEDADES DE FRACTURA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON REFUERZO LIGNOCELULÓSICO

**P. J. Herrera-Franco<sup>1\*</sup>, A. Valadez-González<sup>1</sup>, A. May-Pat<sup>1</sup>**

<sup>1\*</sup>*Centro de Investigación Científica de Yucatán, Unidad de Materiales  
Calle 43 # 130 Col. Chuburná de Hidalgo. C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México.*

**Abstract-** Se estudió la mecánica de fractura de dos tipos de material compuesto a base de una resina de polietileno de alta densidad con fibra de henequén continua y corta con tratamientos superficiales, aplicando el método del trabajo esencial de fractura sobre probetas de geometría DENT (Double Edge Notched Tensión) sometidas a modo de fractura I. Este método es adecuado para caracterizar la fractura de materiales con un comportamiento de tipo elasto-plástico en estado de esfuerzo plano. El comportamiento mecánico del material compuesto con refuerzo con fibras de henequén tanto en forma de fibras continuas como de fibras cortas fue estudiado promoviendo una modificación en la superficie de la fibra, usando un tratamiento alcalino, un tratamiento con un agente de acoplamiento de tipo silano y una impregnación de la matriz. Existen diferencias notorias en el trabajo de fractura entre los materiales que han sido sometidos a un tratamiento superficial y las que no tienen tratamiento alguno. Se notó un incremento de aproximadamente un 50% en el trabajo esencial tanto para las fibras cortas como para las fibras continuas. Entre un material compuesto elaborado con fibras continuas y uno elaborado con fibras cortas se tienen diferencias también significativas. La orientación de las fibras resulta en una resistencia a la fractura aproximadamente cuatro veces mayor respecto al material elaborado con fibras cortas orientadas al azar.

### Introducción

El refuerzo de polímeros termoplásticos con fibras naturales se ha vuelto muy atractivo debido a las buenas propiedades mecánicas y el bajo costo de los materiales compuestos que se obtienen. Las fibras naturales se usan comúnmente en forma de refuerzo discontinuo, de modo que los compuestos que se obtienen, no exhiben valores de resistencia y módulo tan altos como los de los compuestos reforzados con fibras largas continuas. Sin embargo, los bajos precios y la facilidad de procesamiento de estos compuestos los hacen atractivos para muchas aplicaciones tecnológicas. Por otro lado, este tipo de material compuesto posee una microestructura compleja como consecuencia de la distribución de la longitud de las fibras, así como la existencia de una interfase y de concentraciones de esfuerzos en los extremos de las fibras [1, 2]. Para estudiar el comportamiento a fractura del material compuesto a base de una resina de polietileno de alta densidad con fibra de henequén corta, se utilizó el método del trabajo esencial de fractura (TEF) sobre probetas de geometría DENT (Double Edge Notched Tension) sometidas a modo de fractura I y pruebas mecánicas de impacto. Durante el proceso de fractura, una gran parte de la energía involucrada no se asocia directamente a dicho proceso, únicamente el trabajo que se invierte en la zona interna es una constante propia del material, por lo cual es necesario separar el trabajo total de fractura  $W_f$  en dos términos: el trabajo esencial de fractura ( $W_e$ ) y el trabajo no esencial de fractura, también llamado trabajo plástico de fractura ( $W_p$ ) [3, 4]. El comportamiento mecánico del polietileno de alta densidad reforzado con fibras de henequén cortas fue estudiado modificando la superficie

de la fibra, usando un tratamiento alcalino, un tratamiento con un agente de acoplamiento silano y una impregnación de la matriz con el objeto de mejorar la adherencia entre la fibra y la matriz.

### Sección experimental

#### Materiales.

Para la elaboración de los materiales compuestos se utilizó polietileno de alta densidad (PEAD) de la Quantum Chemical Co. Con una densidad de  $0.95 \text{ g/cm}^3$ , un índice de fluidez de  $0.3 \text{ g/cm}^3$  ( $190^\circ \text{C}$  y  $2.16 \text{ Kg}$ ) y un punto de fusión de  $135^\circ \text{C}$ . La fibra de Henequén (*Agave fourcroydes*) fue obtenida de DESFIYUSA (Desfridadora Yucateca, S.A.) de Mérida Yucatán. Para los diversos tratamientos superficiales de la fibra se utilizaron: hidróxido de sodio, grado reactivo de Técnica Química. El agente acoplamiento utilizado fue el viniltri(2-metoxietoxi)silano (silano A-172 de Union Carbide).

#### Tratamientos superficiales

Para mejorar la adhesión entre la fibra y la matriz, se realizaron diferentes tratamientos superficiales a las fibras cortas de henequén:

- Fibra de Henequén sin tratamiento.
- Fibra de henequén tratada con hidróxido de sodio y silano.
- Fibra de henequén tratada con hidróxido de sodio, silano e impregnada con polietileno de alta densidad.

#### Tratamiento con NaOH.

Las fibras fueron tratadas con una solución acuosa de NaOH al 2 % w/v, durante una hora, luego fueron lavadas con agua destilada y secadas a  $60^\circ \text{C}$  durante 24 h.

#### Tratamiento con silano.

Se utilizó un tratamiento en medio acuoso. El silano al 1 % y el peróxido de dicumilo al 0.5 %, con respecto a la fibra, son disueltos para su hidrólisis en agua destilada, con un pH a 3.5 y se pone en agitación durante 10 minutos. Después de transcurrido este tiempo se agrega la fibra y se deja en agitación durante 1 h. Finalmente las fibras fueron secadas a  $60^\circ \text{C}$  por 24 h.

#### Preimpregnación de la fibra.

El PEAD fue depositado en las fibras de henequén a partir de una solución diluida de xileno/PEAD (20 % p/p respecto a la fibra) a  $115^\circ \text{C}$ . Las fibras permanecieron en la solución durante 1 h bajo agitación. Posteriormente la solución se decantó y las fibras se secaron a  $60^\circ \text{C}$  durante 24 h.

#### Materiales compuestos.

Se realizaron mezclas de PEAD con fibra de henequén corta en una cámara de mezclado modelo Brabender, utilizando 20 % en volumen de fibra. Se utilizó moldeo a compresión para obtener las laminas del material compuesto, en una prensa modelo carver aplicando una presión de 5 toneladas.

#### Pruebas mecánicas a fractura.

El comportamiento del material compuestos a fractura se estudió usando el método del trabajo esencial de fractura (TEF) sobre probetas de geometría DENT (Double Edge Notched Tension) sometidas a modo de fractura I, bajo condiciones de esfuerzo plano, aplicando la carga a dos diferentes velocidades, a 1 mm/min y a 20 mm/min.

Pruebas mecánicas a impacto.

Para las pruebas de impacto se utilizaron probetas de acuerdo a la norma ASTM D 256, utilizando un impactómetro CEAST tipo Izod a una velocidad de impacto de 3.46 m/s.

### Resultados y Discusión

El objetivo de tratar superficialmente las fibras de henequén con soluciones alcalinas diluidas ya ha sido reportado en trabajos anteriores. Se utiliza para eliminar ceras, lignina y hemicelulosas en dicha superficie, buscando con ello, exponer la porción celulósica de la fibra y así facilitar la adhesión entre fibra-matriz. La exposición de la parte celulósica ocasiona que durante el tratamiento con silano, éste reaccione con los grupos hidroxilo de la celulosa, en tanto que cuando la fibra es tratada por el método de preimpregnación, al eliminar las sustancias antes mencionadas (ceras, lignina y hemicelulosa), se crean pequeñas imperfecciones en la superficie de la fibra, por las cuales el polímero en solución puede penetrar produciendo un mayor amarre mecánico, sin necesidad de una reacción química como el caso del silano, ya que las elevadas viscosidades del polímero durante el procesamiento de la fibra sin tratar da como resultado una pobre impregnación obteniéndose una baja interacción mecánica con la matriz [5, 6].

En la figura 1 se puede observar el comportamiento a fractura del material compuesto con diferentes tratamientos superficiales en la fibra. Los dos tratamientos realizados a la superficie de la fibra mejoran el comportamiento a fractura del material compuesto, aumentando el trabajo específico de fractura del 19 % de la fibra tratada con NaOH y silano, mientras que el tratamiento de NaOH, silano e impregnación de la fibra refleja un aumento en el trabajo específico de fractura de aproximadamente el 70 % con respecto al material compuesto con fibra sin tratamiento.

En la figura 2 se muestra el comportamiento a fractura del material compuesto a una velocidad de deformación de 20 mm/min, y se puede apreciar que también los tratamientos realizados a la superficie de la fibra mejoran el trabajo específico de fractura, aumentando en un 90 % para la fibra tratada con NaOH y silano con respecto a la de sin tratamiento, mientras que la fibra tratada con NaOH, silano e impregnada aumenta un 100 % del trabajo específico de fractura en comparación a la de sin tratamiento. También se puede observar que la velocidad de deformación no produce un aumento significativo en el trabajo específico de fractura del material compuesto con fibra sin tratamiento, mientras que para los dos tratamientos realizados a la fibra si se refleja el efecto de la velocidad de formación. Además se puede observar que la componente plástica del trabajo de fractura del material compuesto disminuye al aumentar la velocidad de deformación en los dos tratamientos llevados a cabo, como se muestra en la tabla 1. El comportamiento del material compuesto en forma general mejora al realizar los tratamientos superficiales a la fibra, esto podría atribuirse a que los mecanismos de absorción de energía mejoran debido a la buena interacción entre fibra-matriz, tanto para velocidades de deformación bajas como altas [2]. Los mecanismos de disipación de energía en materiales compuestos a base de fibra corta

más relevantes están bien establecidos como son el despegue, deslizamiento y deformación plástica de la matriz que forma puentes entre las fibras, pull-out y fractura frágil o dúctil de la matriz [7]. La figura 3 presenta los resultados obtenidos de las pruebas a impacto del material compuesto y como se puede apreciar, los tratamientos realizados a la superficie de la fibra, mejoran la resistencia al impacto de éste. La resistencia al impacto del material con la fibra tratada con NaOH y silano aumenta un 17 % de, mientras la resistencia al impacto de aquella con la fibra tratada con NaOH, silano e impregnada aumenta un 60 % con respecto a la fibra sin tratamiento. De nuevo, esto es debido a que hay una buena adherencia interfacial entre la fibra y la matriz por lo cual la transferencia de carga se lleva a cabo en forma mas efectiva [6].

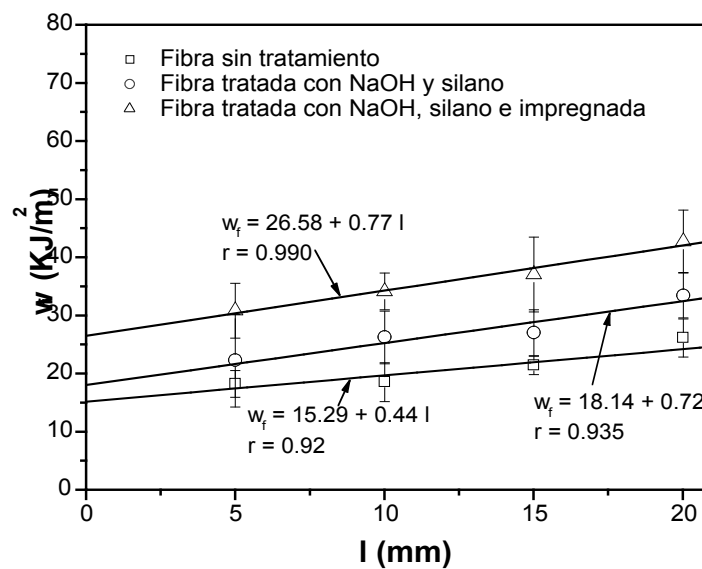


Figura 1. Gráfica de trabajo esencial específico de fractura del material compuesto con fibra corta de henequén a una velocidad de deformación de 1 mm/min.

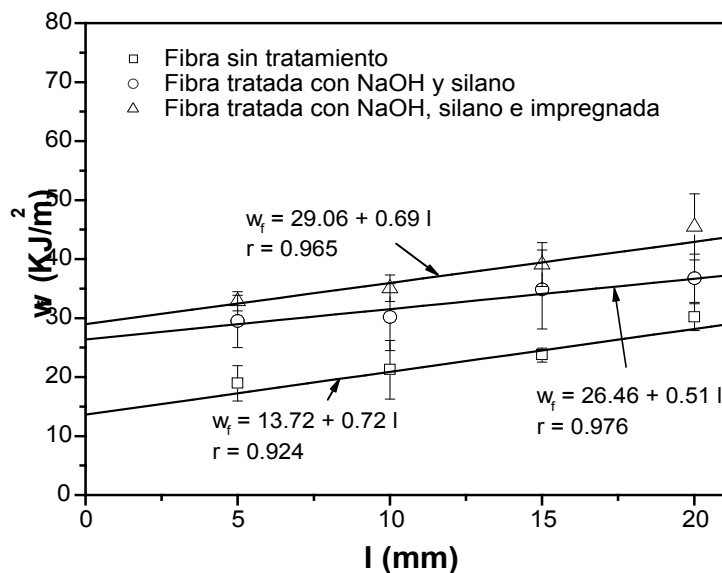


Figura 2. Gráfica de trabajo esencial específico de fractura del material compuesto con fibra corta de henequén a una velocidad de deformación de 20 mm/min.

Tratamiento superficial de la fibra	Velocidad de deformación (1 mm/min)		Velocidad de deformación (20 mm/min)	
	Trabajo elástico $W_e$ ( $\text{KJ/m}^2$ )	Trabajo plástico $\beta w_p$ ( $\text{KJ/m}^2$ )	Trabajo elástico $W_e$ ( $\text{KJ/m}^2$ )	Trabajo plástico $\beta w_p$ ( $\text{KJ/m}^2$ )
Fibra sin tratamiento	15.29	0.44	13.72	0.72
Fibra tratada con NaOH y silano	18.14	0.72	26.46	0.51
Fibra tratada con NaOH, silano e impregnada	26.58	0.77	29.06	0.69

Tabla 1. Resultados de las pruebas de trabajo de fractura del material compuesto a 2 velocidades de deformación.

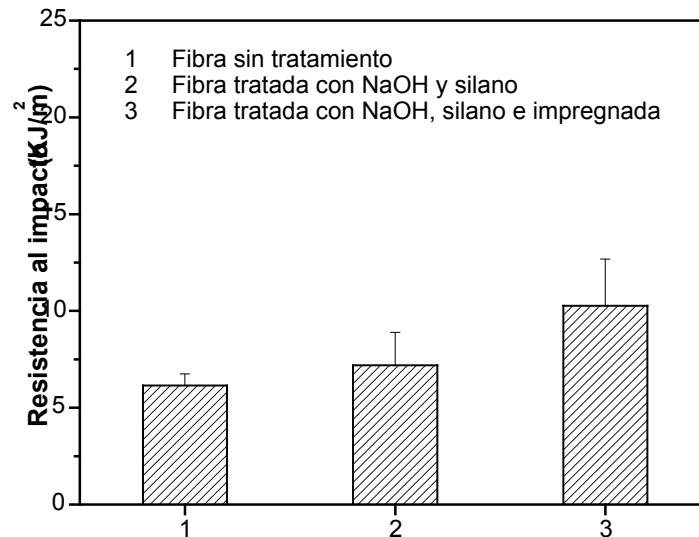


Figura 3. Resistencia al impacto del material compuesto a base de fibra corta de henequén.

### Conclusiones

- Se estudio el comportamiento de un material compuesto a base de fibra corta de henequén con una resina de polietileno de alta densidad usando dos tipos de tratamiento superficial.
- De los dos sistemas estudiamos podemos concluir que el comportamiento al trabajo de fractura mejora en comparación con la fibra sin tratamiento. Presentando un mejor comportamiento del material compuesto con fibra tratada superficialmente con NaOH, silano e impregnada.
- También se pudo observar que los dos tratamientos realizados a la fibra se comportan de manera diferente al variar la velocidad de deformación, aumentando el trabajo de fractura del material al aplicar una velocidad de deformación de 20 mm/min.
- Las pruebas mecánicas de impacto (velocidades altas de deformación) el comportamiento del material compuesto a fractura disminuye en comparación a velocidades de deformación bajas. También se pudo observar que los tratamientos superficiales realizados a la fibra mejoran el comportamiento del material compuesto cuando se aplica velocidades altas de deformación (impacto).

### Referencias

1. A. Vera, C. Bernal y A. Vazquez. Conamet/simposia materia 2003
2. Wong. Shing-Chung and M. Yiu-Wing. *Polymer Engineering and Science*. 1999, 39, 356-364.
3. S.C. Tjong, S.A. Xu, Y.M. Mai. *Materials Science and Engineering A*. 2003, 347, 338-345.
4. G.X. Sui, S.C. Wong, C.Y. Yue. *Composites Science and Technology*. 2001, 61, 2481-2490
5. A. Valadez-Gonzales, J.M. Cervantes-Uc, R. Olayo, P.J. Herrera-Franco. *Composites Part B: engineering*. 1999, 30, 321-331.
6. A. Valadez-Gonzales, J.M. Cervantes-Uc, R. Olayo, P.J. Herrera-Franco. *Composites Part B: engineering*. 1999, 30, 309-321.
7. W. Grellmann and S. Seidler. *Polymer Composites*. 1991, 12, 320-326