

Efecto del proceso de curado de una resina termofija sobre las propiedades mecánicas de un material compuesto

Ríos-Soberanis C. R.¹, Cruz-Estrada R. H.¹, Pérez-Pacheco E.², Rodríguez-Laviada. J.¹

Fecha de recepción: 27 de abril de 2011– Fecha de aprobación: 22 de marzo de 2012

RESUMEN

La relación existente entre la geometría de un tejido de refuerzo y los mecanismos de fractura bajo condiciones de tensión han sido analizados para un material compuesto reforzado con textil de arquitectura tipo petatillo. El uso de textiles con una estructura definida ha aumentado en el estudio de la manufactura de composites con el objeto de conocer con más detalle los mecanismos de fractura que los gobiernan. Estas investigaciones son importantes por dos razones esenciales: primeramente con el objeto de conocer sus aplicaciones potenciales y en segundo lugar, obtener información sobre el daño acumulado, el cual está relacionado con la capacidad de absorción de energía, una de las mayores ventajas que ofrecen estos materiales. En esta investigación se analizaron dos factores muy importantes que afectan las propiedades finales del material, el efecto del proceso de curado de la resina epóxica (matriz) y la dirección a la cual está sometida la carga de tensión en el material. Para este caso, tres orientaciones principales del textil fueron estudiadas (0°, 45° y 90°). Los resultados indican que los factores investigados están íntimamente relacionados con el comportamiento mecánico final del material compuesto demostrando que la orientación y la geometría del patrón formado por las fibras en el textil también son factores importantes que controlan tales mecanismos. De acuerdo a éstos, la dirección a 0° es la más resistente al contener la mayor cantidad de fibras unidireccionales paralelas al eje de la carga tensil y la dirección a 90° presenta propiedades mecánicas cercanas al de 0° mientras que a 45° se exhibió un comportamiento mecánico menor.

Palabras clave: materiales compuestos, textiles, propiedades mecánicas, matriz termofija.

Effect of curing process of a thermosetting resin on the mechanical properties of a composite material

ABSTRACT

The relationship between textile geometry and the mechanisms of failure under tensile loading has been analyzed for composite materials reinforced with woven architecture textile fiber. Composites of this type, based on textiles with a defined geometry, are being used increasingly for manufacturing a new class of materials. Extensive analysis in the area of damage development has not yet been carried out deeply for understanding the mechanism of failure. Such investigations are important for two reasons: firstly, in order to give confidence in the wider use or potential applications of these materials and, secondly, to gain a better understanding of damage accumulation which is intimately related to one of the major advantages of textile reinforced composite: energy-absorbing characteristics. In this research, two important factors that affect the final properties of the material intimately were examined, firstly the effect on the epoxy resin (polymer matrix) curing process and secondly the direction under the applied tensile stress, for this case three directions were analyzed (0°, 45° and 90°). Results indicated that the factors investigated are intimately related with the final mechanical behavior of the composite materials and have demonstrated that the arrangement of the fiber geometry is also an important factor which controls such mechanisms. According to these, 0° direction exhibits better properties for containing the higher amount of unidirectional fibers oriented parallel to the applied stress axis. On the other hand, 90° direction presented mechanical properties similar to that found at 0°; however, at 45° lower values in the mechanical behavior were exhibited.

Keywords: composite materials, textiles, mechanical properties, thermosetting resin.

¹ Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). Investigador Titular “A” Tel (52) 999 9428330, Ext. 229. Correo electrónico: rolando@cicy.mx

² Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche (ITESCAM)

Nota: El período de discusión está abierto hasta el 1° de noviembre de 2012. Este artículo de investigación es parte **Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán**. Vol. 16, No. 1, 2012, ISSN 1665-529X.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros reforzados tienen una historia que data de principios del siglo XX. Las fibras naturales obtenidas de madera o lino fueron las primeras usadas como refuerzos, preparadas en forma de papeles o redes y embebidas en resinas fenólicas. Estos compuestos presentaban considerables ventajas con respecto a los materiales no reforzados; los materiales compuestos así obtenidos competían con el acero y el aluminio debido a sus atractivas propiedades mecánicas. En los últimos años se ha notado un gran interés en el estudio de los materiales compuestos reforzados con fibras de diferentes tipos, de las cuales existen gran variedad, tanto naturales como sintéticas, que se han empleado con diferentes matrices termoplásticas y termofijas para la obtención de materiales de alto rendimiento (Anwar *et al.* 1997; Czigan *et al.* 1998). Los materiales compuestos de una matriz polimérica reforzada con fibras sintéticas han recibido mucha atención debido a la facilidad de obtención de éstos y a la regularidad de sus propiedades físicas (Leong *et al.* 1997; Ratna *et al.* 1994). Por otro lado, las fibras naturales, a pesar de sus enormes ventajas tales como excelentes niveles en el módulo elástico y en la resistencia a la tensión, peso ligero, obtención de fuentes renovables y características biodegradables, no han recibido la atención que se merecen debido a su pobre dispersión en la matriz, a su incompatibilidad con algunas matrices poliméricas y a su alta higroscopicidad. Es evidente por tanto, que tales desventajas se reflejan en una disminución de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos en los que se utilizan fibras naturales. Durante muchos años los materiales compuestos han sido manufacturados empleando partículas y fibras unidireccionales como refuerzo con el objeto de incrementar la resistencia del material en la dirección de las fibras, sin embargo el problema aparecía cuando el material necesitaba soportar esfuerzos multiaxiales (Verpoest *et al.* 1992; Rios *et al.* 2007a). La solución consistió en la elaboración de compuestos que unían diversas capas de textil uniaxialmente direccionados cuyas fibras de refuerzo se encontraban orientadas en diferentes planos (*cross-ply*). El resultado fue el incremento de las propiedades mecánicas en un plano multiaxial, sin embargo la elaboración de elementos de forma compleja continuaba siendo considerado exclusivo de los metales y cerámicos. En la manufactura de las preformas para materiales compuestos avanzados, la tecnología textil ha estado bajo intenso estudio debido al potencial de estos materiales para producir estructuras de alta calidad a bajo costo con gran mejora en las propiedades mecánicas en situaciones de esfuerzo multiaxial, además de su particular importancia para la elaboración de materiales

compuestos con formas complejas tridimensionales debido a que las estructuras con esta complejidad pueden ser muy difíciles y costosas de producir utilizando tecnologías estándares (Fujii *et al.* 1993). Por otro lado, la elección del agente de endurecimiento (curado) también es un factor muy importante que afecta las propiedades finales de la matriz epóxica en un material compuesto. Rios *et al.* (2007a, 2007b) determinaron las propiedades mecánicas de materiales compuestos reforzados con textiles tipo “*Knitted*” empleando NMA (*Nadic Methylene Anhydride*) como agente de curado obteniendo valores de resistencia tensil cercanos a los 7 GPa en la dirección a 0°; en esta investigación también se observa la influencia de la arquitectura del textil. Una variación en los porcentajes de NMA en resina epóxica fue empleado por Tripathi *et al.* (1997), con el objeto de normalizar los efectos de las propiedades mecánicas de la matriz plástica sobre el valor de corte interfacial en pruebas de fragmentación evaluando los efectos del endurecedor. Para apoyar al fabricante, las grandes empresas comerciales que suministran químicos establecen en su información las diversas opciones a elegir entre los agentes de curado y resinas epóxicas, sin embargo, esta información no contempla la infinidad de variantes mecánicas que pueden obtenerse con los diversos tipos de refuerzos existentes aunado a la complejidad de su geometría y arquitectura (Dow Plastics 1999). Por otro lado, el agente de curado Diaminodifenil Sulfona (DDS) es uno de los agentes entrecruzantes más empleados en la actualidad al otorgar altos niveles de rigidez en materiales compuestos avanzados de matriz epóxica (Cheng & Paik 1993; McIntyre *et al.* 2005; Whitea *et al.* 2002). Este estudio se enfoca en la determinación de los parámetros mecánicos en materiales reforzados con textiles tipo petatillo (*plain woven*) tomando como factor de variación tres diferentes procesos de curado de la resina epóxica empleada como matriz polimérica, así como la dirección del esfuerzo en relación con la geometría del textil en el material compuesto.

METODOLOGÍA

Materiales

Los materiales empleados para el desarrollo de este trabajo fueron: Resina Epóxica D.E.R. 331, de DOW Company, de baja viscosidad y un alto contenido de grupos epóxicos; agente de curado Ancamine 1784, de Air Products, la cual es una amina modificada con una viscosidad de 50 cps y densidad de 0.950 diseñado para curar el sistema epóxico a temperatura ambiente; agente de curado DDS, (4,4, Diamino difenil sulfona), de Aldrich, es una amina aromática con punto de fusión de 175° C diseñado para curar el

sistema epóxico a elevadas temperaturas; textil de refuerzo biaxial con arquitectura tipo petatillo de fibra de vidrio, con tenacidad de 0.4 N/tex de Norteen Fiberglass, Inc.

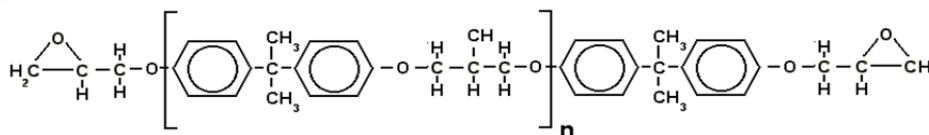
Experimental

Elaboración de muestras curadas con Ancamine 1784. Para la elaboración del sistema de resina se emplearon 137.45 g de resina epóxica y 62.55 g del agente de curado Ancamine 1784 los cuales se mezclaron hasta obtener un sistema homogéneo. La resina fue sometida a un proceso de desgasificación en una estufa de vacío a 50° C con el objeto de eliminar el contenido de aire para evitar burbujas en el material curado. El material compuesto se elaboró mediante un proceso en húmedo (*wet lay up*) de la siguiente manera: del total de la mezcla de resina, la mitad fue depositada sobre un molde en cuyo interior

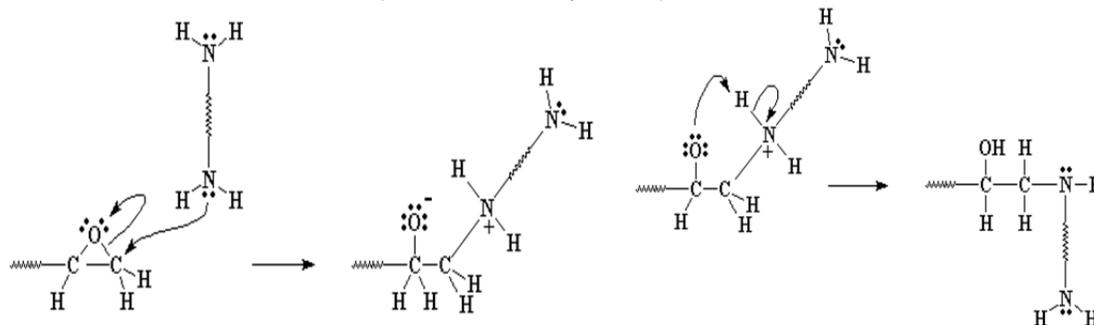
se encontraba una placa de vidrio cuya superficie se encontraba lubricada con cera y sobre ésta una capa de plástico antiadherente. Posteriormente se colocó una pieza de 30 x 30 cm del textil tomando en cuenta la dirección en que posteriormente se cortan las probetas: largo del textil (*warp a 90°*) y ancho del textil (*weft a 0°*) sobre la resina para después depositar el resto sobre la tela textil tratando de esparcirla uniformemente en toda el área del tejido. Finalmente fue cubierto con otra capa de plástico antiadherente esparciendo el exceso de resina con un rodillo hacia los extremos procediéndose al curado del material a temperatura ambiente sin ningún tipo de tratamiento posterior (es decir, un postcurado).

La reacción química entre la resina epóxica y la Ancamine 1784 se lleva al cabo de acuerdo al siguiente esquema:

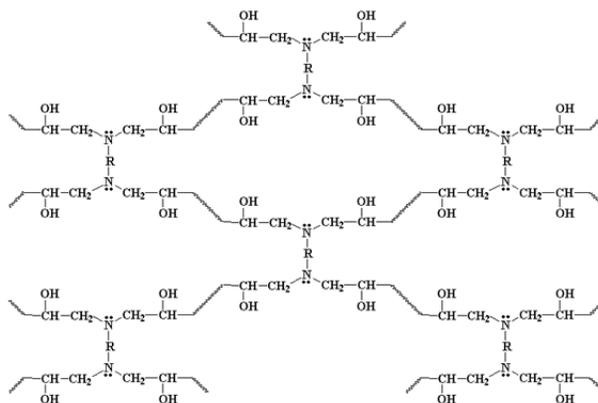
a) DER 331 (Bisfenol A)



b) Reacción con la Ancamine 1784 (diamina alifática primaria)



c) Resina epóxica entrecruzada.



El desmolde de la lámina de material compuesto se realizó una vez cumplido el tiempo de curado

respectivo; para después cortar de ella las probetas de acuerdo a la norma ASTM de tensión. Las probetas

para ensayos mecánicos de tensión fueron elaborados tomando en consideración las dos principales direcciones del tejido textil: largo del textil (*warp*, 0°) y ancho del textil (*weft*, 90°).

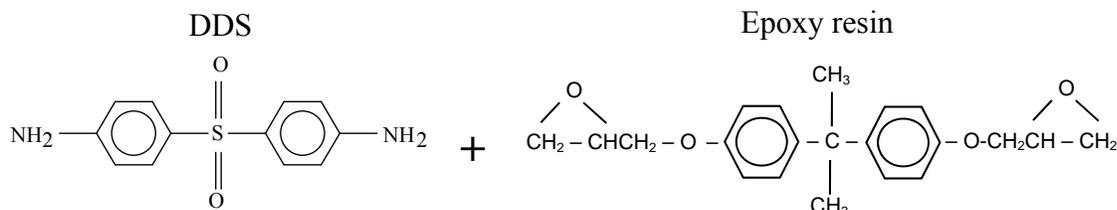
Así mismo, se elaboraron probetas de resina epóxica sin refuerzo con el objeto de evaluar la respuesta mecánica del termofijo la cual se analizó a tensión e impacto.

Elaboración de muestras curadas con DDS. Antes de agregar la amina DDS, la resina se mantuvo a una temperatura controlada de 135° C inmersa en un baño de glicerina para mantener un calentamiento uniforme. Al añadir la amina el sistema se agitó hasta

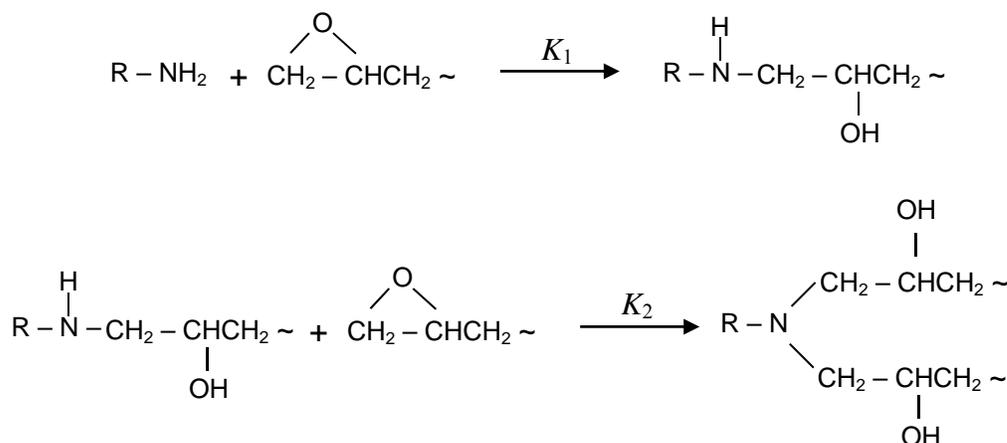
obtener una solución clara y libre de sólidos suspendidos, se procedió a manufacturar las laminas reforzadas con el textil siguiendo el mismo proceso en húmedo (*wet lay up*) que en el caso anterior con la única diferencia de que en este proceso se utilizó un molde cerrado dada la baja viscosidad del sistema después de realizada la mezcla. La etapa de curado de las placas con este sistema de resina se realizó por un proceso de calentamiento dentro de un horno de convección a 160° C por 2 horas. Este sistema se utilizó con el objeto de tener un material estructural de mayor rigidez para comparar con el de Ancamine 1784 curado al ambiente.

Reacción entre la resina epóxica y el agente DDS:

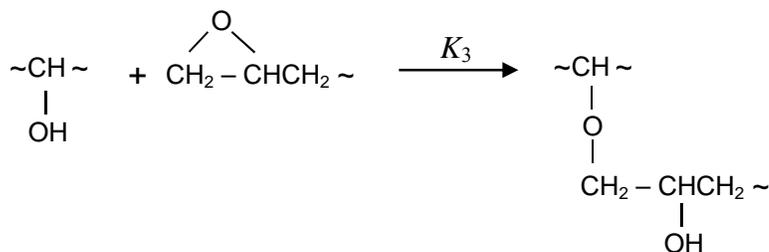
a) Primera reacción entre los componentes:



b).- El anillo del grupo epóxico es abierto por la amina primaria formando una amina secundaria y un grupo hidroxilo:



d).- Reacción entre el hidroxilo y el grupo epóxico:



El punto de gelación en el que la densidad del sistema comienza rápidamente a aumentar, es crucialmente

dependiente de la cantidad de amina presente en el DDS en relación con los grupos epóxicos, por lo tanto

la densidad final y la resistencia mecánica dependerán de la reacción estequiométrica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resina epóxica

Los primeros resultados se enfocan a la evaluación mecánica a tensión de ambos sistemas epóxicos

estudiados (sin refuerzo). Las probetas fueron sometidas a prueba de tensión en la maquina universal de pruebas Shimadzu modelo AG-I 100 KN usando una celda de carga de 5 kN y una velocidad de cabezal 0.5 mm/min. Los resultados se presentan en la Tabla 1 exhibiendo el modulo de rigidez (E), el esfuerzo máximo (σ) y la elongación (ϵ).

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros mecánicos a tensión.

Tensión		
	<i>Ancamine 1784</i>	<i>DDS</i>
<i>E</i> (MPa)	2123.13	2623.88
σ máx. (MPa)	21.85	55.63
ϵ máx. (%)	2.19	3.29

Es muy clara la superioridad mecánica del sistema epóxico DDS sobre el Ancamine 1784 exhibiendo un módulo superior así como un esfuerzo máximo mayor al doble. Aunque la deformación no fue muy alta en el DDS, éste presenta una resistencia y tenacidad (energía absorbida por el material durante el proceso de fractura) mayor. Es evidente el beneficio en la obtención de un material más rígido al ser manufacturado con un proceso de alta temperatura (DDS) que permite una velocidad de reacción mayor que, a su vez, incrementa el porcentaje de los nodos (enlaces químicos primarios) en la red tridimensional polimérica del sistema epóxico.

Así mismo, se realizaron pruebas de impacto Izod para comparar ambos sistemas de resina. La propiedad estudiada en esta prueba es la energía absorbida por la muestra al momento del impacto. En este análisis se observa la tendencia rígida de la

matriz polimérica curada con DDS la cual absorbe menos energía mientras que la curada con Ancamine a temperatura ambiente se aprecia más dúctil al absorber mayor cantidad de energía. Este comportamiento no es significativo cuando las muestras presentan muescas para iniciar una fractura ya que los valores observados no son muy distantes. La energía absorbida por probetas con muesca son menores si el material es sensible a las muescas. Sin embargo, cuando se realizaron las pruebas a las muestras sin muescas, los valores arrojados fueron significativamente diferentes evidenciando el comportamiento rígido/plástico de ambos sistemas. Los resultados para resistencia al impacto y energía absorbida presentados en la Tabla 2, indican que el sistema de resina con DDS es un material capaz de fracturarse con una energía menor que el material curado con Ancamine 1784 a temperatura ambiente, aproximadamente el 50% menos.

Tabla 2. Valores en promedio de energía obtenida en los ensayos de impacto Izod

Con muesca				
	Ancamine 1784		DDS	
	media	desv. estándar	media	desv. estándar
Resistencia al impacto (KJ/m ²)	2.84	0.56	3.38	1.52
Energía absorbida (J)	0.1	0.01	0.12	0.06

Sin muesca				
	Ancamine 1784		DDS	
	media	desv. estándar	media	desv. estándar
Resistencia al impacto (KJ/m ²)	17.88	4.93	8.17	2.53
Energía absorbida (J)	0.87	0.26	0.35	0.13

Material compuesto

El textil de refuerzo fue caracterizado en sus dos direcciones principales: *warp* y *weft* (terminología en inglés). Es muy importante enfatizar que la dirección *warp* se refiere a lo largo del textil (0°) y la dirección *weft* al ancho (90°). La Figura 1 presenta una

fotografía del textil original donde es posible identificar las dos principales direcciones y su arquitectura. Nótese que el petatillo empleado como refuerzo contiene aproximadamente 6 mechas a lo largo y 3 a lo ancho en un área aproximada de 2 cm^2 .

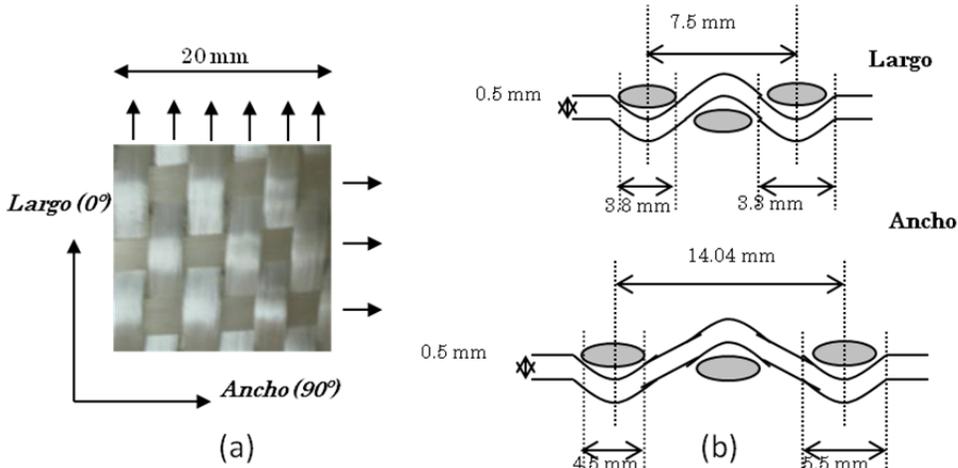


Figura 1. Arquitectura: (a) original, (b) dimensiones de las ondulaciones.

Las probetas obtenidas de los laminados fueron ensayadas a tensión para observar las posibles variaciones del comportamiento mecánico en función del proceso de curado del sistema epóxico y tomando

en cuenta la dirección a la cual el esfuerzo de tensión fue aplicado con respecto a la arquitectura del refuerzo textil (Figura 2).

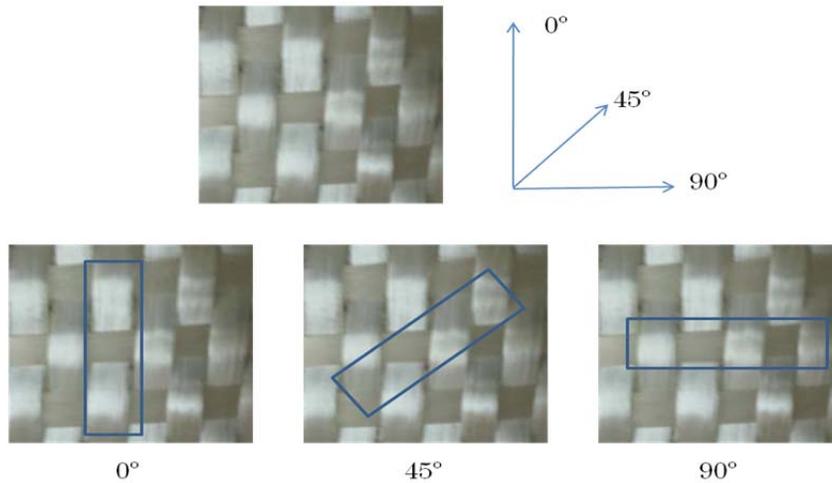


Figura 2. Dirección de las muestras respecto a la arquitectura del textil.

Los resultados obtenidos se presentan examinando y discutiendo el comportamiento mecánico tomando en cuenta los valores de los parámetros. La Figura 3 exhibe los valores obtenidos del módulo de elasticidad en relación con el tipo de sistema epóxico empleado (RA=Ancamine, DDS=Diaminodifenil Sulfona) y la orientación del textil con respecto al eje

del esfuerzo de tensión aplicado (0° , 45° , 90°). Es posible observar un aumento del módulo de elasticidad en los materiales curados con DDS al aumentar el ángulo de orientación del textil. Por otro lado los materiales elaborados con Ancamine no presentan variaciones significativas al variar la orientación del textil.

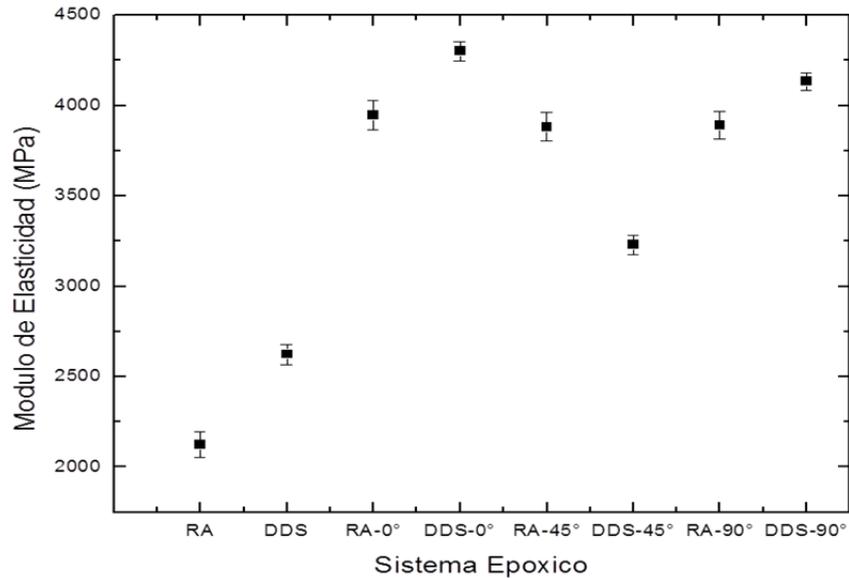


Figura 3. Valores del módulo de elasticidad con respecto a la orientación de la muestra y sistema epóxico empleado.

El esfuerzo máximo tolerado por los materiales analizados se presenta en la Figura 4. En esta gráfica es evidente la superioridad de los materiales cuyo sistema epóxico se encuentra manufacturado con agente DDS. El esfuerzo máximo indica el punto de la resistencia a la tensión máxima que un material es

capaz de desarrollar, es decir, los materiales con mayor esfuerzo son capaces de resistir y oponerse a las deformaciones plásticas. Esta propiedad fue exhibida con mayor valor por los materiales compuestos cuyo refuerzo textil se encontraba en dirección de los 90°.

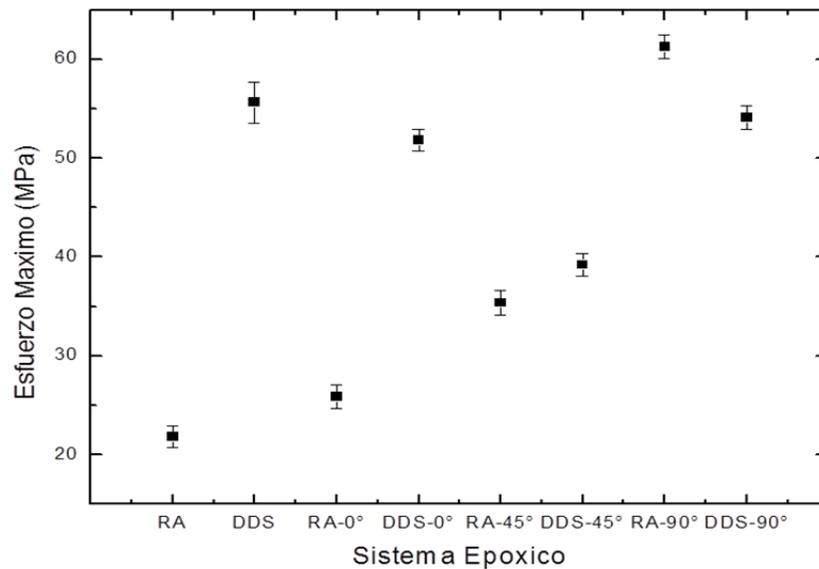


Figura 4. Valores del esfuerzo máximo con respecto a la orientación de la muestra y sistema epóxico empleado.

En la Figura 5 se observan los resultados de la deformación máxima obtenida para cada uno de los sistemas epóxicos. El parámetro mecánico correspondiente a la deformación, límite de la fractura total del material, indica nuevamente un ligero

aumento para los materiales elaborados con DDS. Estos exhibieron una mayor tenacidad que les permite una absorción de energía mayor antes de presentar fractura total. Respecto al efecto mecánico por la orientación del textil en referencia al eje del esfuerzo

aplicado, la dirección a 90° exhibe una mayor deformación tanto para materiales con DDS y con Ancamine. Esto indica una relación directa de la

orientación de las fibras unidireccionales paralelas al esfuerzo de tensión que soportan la carga aplicada.

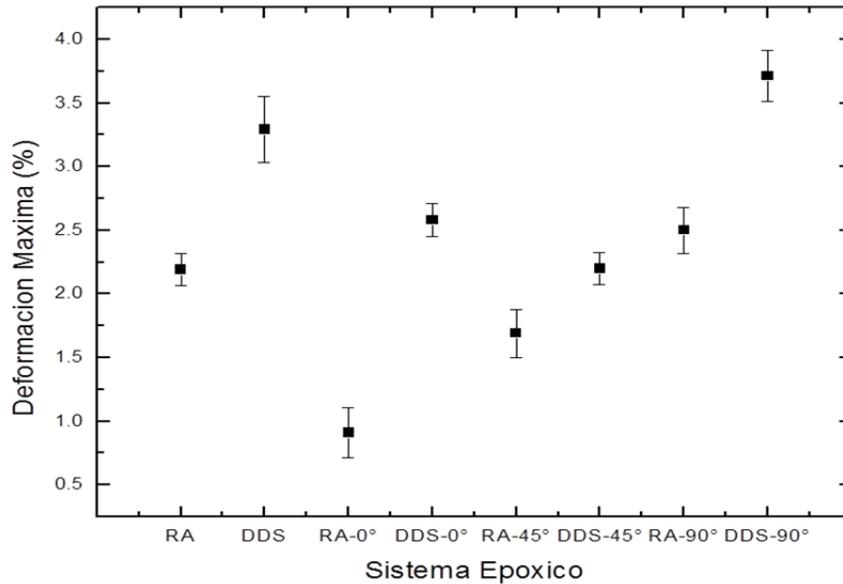


Figura 5. Valores de deformación con respecto a la orientación de la muestra y sistema epoxico empleado.

Las muestras fracturadas fueron analizadas a través de estudios de fractografía para analizar las zonas de fractura del material compuesto. Este estudio permite relacionar los efectos íntimos del modo de fractura con la geometría o arquitectura del textil tipo petatillo con respecto a la generación y propagación de las grietas.

sufren una falla interfacial entre la fibra y la matriz, posteriormente se genera la grieta, se propaga y coalesce transversalmente originando la fractura total. En la Figura 6 se observa la muestra completamente fracturada y algunas pequeñas grietas que alcanzaron a formarse antes de fracturarse. De acuerdo a la geometría del textil la grieta aparentemente se forma en la interfase fibra/matriz de los filamentos transversales señalados por la línea segmentada (Figura 6a).

Las muestras ensayadas en la dirección a 0° fallaron sobre las mechas transversales que inicialmente

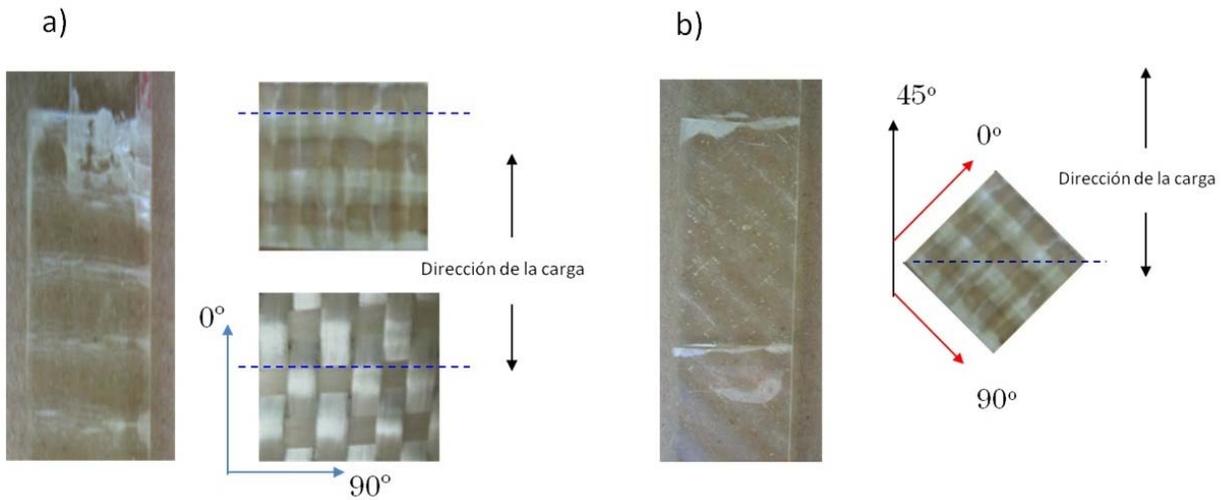


Figura 6. a) Muestra fracturada en dirección 0°. b) Muestra fracturada en dirección 45°.

De los resultados obtenidos en los parámetros mecánicos a tensión, se determina que las muestras elaboradas a 45° son las menos resistentes. Esto se debe a la posición de las fibras del textil de refuerzo en relación con la dirección del esfuerzo de tensión aplicado ya que no existen fibras unidireccionales orientadas en la dirección de la carga lo cual disminuye su resistencia. Aparentemente, la primera falla se desarrolla en la región interfacial fibra/matriz y se propaga en las zonas “ricas en resina” situadas en donde las mechas se cruzan haciendo un ángulo de

45° y colaescen perpendicularmente a la dirección de la carga aplicada (Figura 6b).

Para las muestras ensayadas en dirección a 90° el comportamiento de la zona de fractura fue muy semejante a la observada a 0°, es decir el progreso de la grieta se desarrolló en dirección de los filamentos de la mecha que corren transversalmente originado por la delaminación de la interfase fibra/matriz (Figura 7).

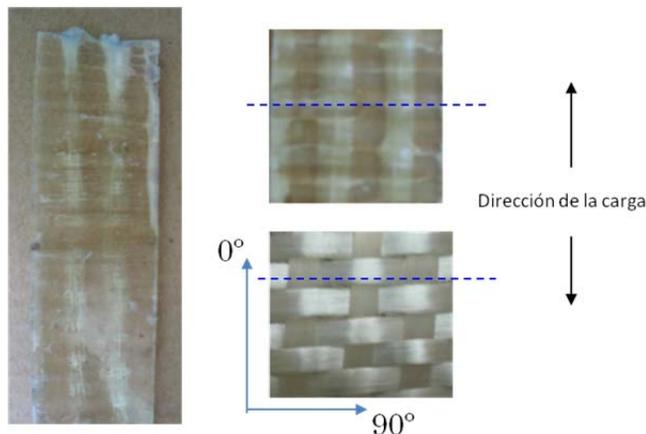


Figura 7. Muestra fracturada en dirección *weft* (90°).

Con el simple análisis de fractura anterior es posible afirmar que la geometría/arquitectura del refuerzo de textil tipo petatillo confiere el medio para el desarrollo transversal del daño generado por la carga sobre el material, efectos que son observados tanto en los valores de los parámetros mecánicos como en la forma de desarrollo y progreso de las grietas y la falla final del material compuesto. Estos mecanismos y modos de fractura fueron observados en todos los materiales sin importar la naturaleza del sistema de resina.

CONCLUSIONES

Un material compuesto reforzado con fibra textil de arquitectura tipo petatillo fue estudiado y caracterizado para evaluar el efecto del sistema de resina empleado para su elaboración, el proceso de curado y la orientación angular del textil en tensión. Se optimizó el proceso para la elaboración del material compuesto analizando dos agentes de curado cuya diferencia fue la temperatura de fraguado. Al emplear DDS (Diaminodifenilsulfona) como agente de curado a altas temperaturas, se obtuvo un material mucho más rígido con mejores propiedades mecánicas que el utilizado por el Ancamine 1784. Sin embargo, éste presenta buen comportamiento mecánico con la ventaja de no necesitar consumo de energía adicional (calor) para su curado. La

temperatura en el proceso de curado influye directamente en la cinética de reacción, es decir, en la velocidad de entrecruzamiento durante la formación de la red tridimensional de las cadenas poliméricas de la matriz epóxica; si la temperatura es alta, la reacción será más rápida lo que conllevará a un mayor porcentaje de entrecruzamiento final, esto finalmente se verá reflejado en la rigidez y resistencia del material. La capacidad de absorber energía (tenacidad) por medio de la deformación plástica es mayor al emplear DDS aunque se obtiene un material más rígido.

El material curado con Ancamine 1784 presenta valores mecánicos menores porque su proceso de curado a temperatura ambiente no le permite incrementar el nivel de entrecruzamiento reticular de la matriz epóxica como ocurre en un curado a altas temperaturas. Por otro lado, con respecto a la orientación de las fibras en relación con la dirección de la carga aplicada, las muestras a 0° (*warp*) presentaron mejor transferencia y soporte de la carga al encontrarse una mayor cantidad de fibras paralelas a la dirección del esfuerzo. Esto permite que el desarrollo de las grietas sea mucho más claro de tal manera que la densidad de las grietas puede ser evaluada en función de la deformación a lo largo de la muestra.

Finalmente los estudios de fractura indican la influencia de la geometría de las fibras y entramado del textil petatillo en los mecanismos de fractura del

material compuesto sin importar el sistema epóxico al presentar un desarrollo del daño transversal a la muestra siguiendo la interfase fibra/matriz epóxica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado a través del proyecto. 2002-CO1-40140/A1

BIBLIOGRAFÍA

Anwar K.O., Callus P.J., Leong K.H., Curiskis J.I., Herszberg I. (1997) *The Effect of Architecture on the Mechanical Properties of Knitted Composites*. Textile Composites and Characterisation. 328 –337.

Cheng Song J. & Paik Sung C.S. (1993) *Fluorescence Studies of Diaminodiphenyl Sulfone Curing Agent for Epoxy Cure Characterization*. Macromolecules, 26 (18) 4818–4824.

Czigany T, Ostgathe M, Karger-Kocsis J., (1998) *Damage Development in GF/PET Composite Sheets with Different Fabric Architecture Produced of a Commingled Yarn*. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 17 (3) 251-267.

Dow Plastics (1999) *Dow Liquid Epoxy Resins*. Manual informativo, Dow Chemicals Group. Disponible en la Red: <https://dow-answer.custhelp.com/app/home/>

Fujii T., Amijima S. & Okubo K., (1993) *Microscopic Fatigue Processes in a Plain-Weave Glass-Fibre Composite*. Composites Science and Technology. 49, 327-333.

Leong K.H., Ramakrishna S., Hamada H. (1997) *The Potential of Knitting for Engineering Applications*, 5th Japan SAMPE Symposium. Tokyo, Japan. 623-632.

McIntyre S., Kaltzakorta I., Liggat J.J. Pethrick R.A. & Rhoney, I. (2005) *Influence of the Epoxy Structure on the Physical Properties of Epoxy Resin Nanocomposites*. Industrial and Engineering Chemistry Research. 44 (23) 8573–8579.

Ratna D., Chongdar T.K., Chacaborty B.C. (1994) *Mechanical Characterization of New Glass Fiber Reinforced Epoxy Composite*. Polymer Composite. 25, 165 –171.

Rios C.R., Ogin S.L., Lekakou C., Leong K.H. (2007a) *A Study of Damage Development in a Weft Knitted Fabric Reinforced Composite: Part 1 - Experiments Using Model Sandwich Laminates*. Composite Part – A. 38, 1773-1793.

Rios C.R., Ogin S.L., Lekakou C., Leong,K.H. (2007b) *A Study of Damage Development in a Weft Knitted Fabric Reinforced Composite: Part 2: Stress-Strain and Early Cyclic Behaviour in a Commercial Material*. “Composite Part – A”. 38, 1794-1808.

Tripathi, D., Turton, T., Chen, F. and Jones, R. (1997) *A New Method to Normalize the Effect of Matrix Properties on the Value of Interfacial Shear Strength Obtained from the Fragmentation Test*. Journal of Materials Science, 32, 4759-4765.

Verpoest I., Dendauw J. (1992) *Mechanical Properties of Knitted Glass Fibre/Epoxi Resin laminates*. 37th International SAMPE Symposium, March 9-12, 367-377.

Whitea S.R., Matherb P.T. & Smith M.J., (2002), *Characterization of the Cure-State of DGEBA-DDS Epoxy Using Ultrasonic, Dynamic Mechanical, and Thermal Probes*. Polymer Engineering and Science, 42 (1) 51–67.

Este documento debe citarse como: Rios-Soberanis, C. R., Cruz-Estrada, R. H., Perez-Pacheco, E., Rodríguez-Laviada. J. (2012). **Efecto del proceso de curado de una resina termofija sobre las propiedades mecánicas de un material compuesto**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 16-1, pp 33-42, ISSN 1665-529-X.