

**AEMAC**

---

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

**ACTAS DEL IX CONGRESO NACIONAL DE  
MATERIALES COMPUESTOS**

Girona, 5, 6, 7 y 8 de julio de 2011

Editores:

Josep Costa Balanzat (Universitat de Girona)

Alfredo Güemes Gordo (Universitat Politècnica de Madrid)

Antonio Martínez Benasat (Universitat Politècnica de Catalunya)

Maria Lluïsa MasPOCH Ruldua (UPC, Centre Català del Plàstic)

Joan Andreu Mayugo Majó (Universitat de Girona)

## Junta directiva AEMAC

*Presidente:* Alfredo Güemes Gordo (Universidad Politécnica de Madrid)

*Secretario general:* Alberto Barroso Caro (Universidad de Sevilla)

*Vocales:*

Alejandro Ureña Fernández (Universidad Rey Juan Carlos)

Federico París Carballo (Universidad de Sevilla)

Carlos Navarro Ugea (Universidad Carlos III de Madrid)

Alfonso Corz Rodríguez (Universidad de Cádiz)

José Luis Pérez Aparicio (Universidad Politécnica de Valencia)

Iñaki Mondragón Egaña (Universidad del País Vasco)

Josep Costa Balanzat (Universitat de Girona)

José M. Pastor Barajas (Universidad de Valladolid)

Miguel Ángel López Manchado (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

Jaime A. Viña Olay (Universidad de Oviedo)

Depósito legal: B.22918-2011

ISBN: 978-84-8458-352-3

Imprime: Service Point F.M.I., S.A.



Año 2011

Esta publicación se encuentra bajo licencia *Creative Commons Attribution 3.0 Unported License*.

Para ver una copia de la licencia visitar: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> o enviar una carta a Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.

Ilustración de la portada: fotografía cedida per AMADE,UdG.

Caracterización mecánica multiescala de nanocomposites de polipropileno con adición de nanoarcillas modificadas	
<b>C. Domínguez, M. Acebes, I. Segura, J. M. Lloris, M. E. Rodríguez</b> .....	339
Study of the microwave radiation with the surface of a nanocomposite material used in a RAS	
<b>L.C. Folgueras, M.C. Rezende</b> .....	345
Polyelectrolytes with nanosized pores on the basis of nitrogen- and oxygen-bearing compounds and some polyamines	
<b>E.E. Ergozhin, T.K. Chalov, T.V. Kovrigina</b> .....	351
Liberación de medicamentos desde nanohíbridos LDHs soportados sobre APL	
<b>S. San Román, M.J. Holgado, V. Rives</b> .....	355

## PROPIEDADES MATERIALES COMPUESTOS

Probabilistic failure of composites considering long-term fatigue-based damage	
<b>M. Chiachío Ruano, J. Chiachío Ruano, G. Rus</b> .....	361
Nuevos métodos de ensayo a flexión para la determinación de propiedades a cortadura en el plano basados en efectos de acoplamiento elástico	
<b>G. Vargas, F. Mujika</b> .....	363
Análisis de las propiedades mecánicas interlaminares de composites de epoxi/fibra de carbono modificados con MWCNT	
<b>J. de Gracia, G. Vargas, J. Ibarretxe, F. Mujika</b> .....	369
Ultrasound inspections on glass fiber/phenolic resin and on carbon fiber/epoxy resin composites during flexural fatigue	
<b>V.G. García, J. Sala, L. Crispí, J.M. Cabrera, A. Istúriz, A. Sàez, M. Millán, C.Comes, D. Trias</b> .....	375
Nuevas aproximaciones para los ensayos de tracción y flexión de laminados multidireccionales	
<b>F. Mujika</b> .....	381
Determinación de $K_{Ic}$ en compuestos de fibra corta a 1 m/s	
<b>A.B. Martínez, D. Arencón, E. Franco-Urquiza, M. Antunes, V. Realinho</b> .....	387
Temperature Modulation in PDSC for monitoring the curing under pressure	
<b>C. Gracia-Fernández, J. Tarrío-Saavedra, J. López-Beceiro, S. Gómez-Barreiro, S. Naya, R. Artiaga</b> .....	393
Determinación del coeficiente de expansión térmica en materiales compuestos utilizando sensores de fibra óptica	
<b>C.E. García González, J.A. Güemes Gordo</b> .....	399
Resistencia a fractura y fatiga de materiales compuestos wc-co: influencia de la microestructura y sensibilidad a la presencia de entallas	
<b>D. Coureaux, A. Góez, A. Mestra, A. Mateo, L. Llanes</b> .....	405



Facultad de Letras de la Universitat de Girona-Sant Domènec | Girona, 5-8 de Julio de 2011

## CERTIFICADO DE ASISTENCIA

El Comité Organizador certifica que,

**David Arencón**

ha participado en el **IX Congreso Nacional de Materiales Compuestos**

**MATCOMP 2011**

Celebrado en Girona del 5 al 8 de Julio de 2011.



GRCT-64 AMADE

Josep Costa Balanzat  
En representación del Comité Organizador



**5-8 de julio IX CONGRESO NACIONAL DE MATERIALES COMPUESTOS**

## Determinación de $K_{Ic}$ en compuestos de fibra corta a 1 m/s

A.B. Martínez, D. Arencón, E. Franco-Urquiza, M. Antunes, V. Realinho  
Centre Català del Plàstic, Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria  
Metal·lúrgica, Universitat Politècnica de Catalunya, España

### RESUMEN

Se han llevado a cabo ensayos de impacto instrumentado a 1m/s sobre probetas prismáticas de poliamida 6,6 reforzada con fibra corta de vidrio obtenidas mediante distintas técnicas de procesado, con distinta orientación de las fibras y diversas metodologías de agudización de la entalla. Se ha observado la aleatoriedad en la presencia del fenómeno de "pop-in" en los registros  $F(t)$  experimentales, no observándose ninguna influencia de las variables de estudio. Asimismo se propone un criterio para la determinación del valor de fuerza en el inicio de propagación de la grieta, en aquellos registros  $F(t)$  en los que aparece el fenómeno de "pop-in".

### 1. INTRODUCCIÓN

La norma ISO 13586/2000 (1) permite la determinación de la tenacidad a la fractura de polímeros que siguen la Mecánica de la Fractura Elástico-Lineal (LEFM). Esta norma se completó con la ISO 17681/2002 para la determinación a moderadas velocidades de deformación de hasta 1 m/s. Sin embargo no existe ningún protocolo para la determinación de la tenacidad a fractura de materiales plásticos reforzados con fibra corta a pesar de su gran interés industrial. El Comité Técnico 4 (TC4) de la Sociedad Europea de Integridad Estructural (ESIS) decidió estudiar la posible propuesta de una norma con el fin de poder estudiar el comportamiento a la fractura de plásticos reforzados con fibra corta.

Estos polímeros reforzados con fibra corta, normalmente inyectados, son generalmente anisotrópicos, en los que la orientación de las fibras juega un papel decisivo sobre los valores de sus propiedades mecánicas y a fractura. En este trabajo, con el objetivo de estudiar la influencia de la orientación de las fibras, se prepararon dos tipos de materiales, uno con las fibras orientadas unidireccionalmente y el otro con la orientación de las fibras resultante de un proceso de moldeo por inyección.

### 2. MATERIALES

Se utilizó poliamida 6,6 como matriz termoplástica y un 30% en peso de fibra de vidrio como refuerzo. Este material fue procesado por dos distintas vías: extrusión y moldeo por inyección.

Por un lado se extruyeron delgados cilindros macizos en los que las fibras quedaron orientadas unidireccionalmente, paralelas al flujo de extrusión. Estos cilindros macizos se colocaron alineados en la misma dirección y mediante compresión en caliente se

moldearon placas de  $170 \times 189 \text{ mm}^2$ , con un espesor nominal de 5 mm. De la placa se mecanizaron 15 probetas prismáticas ( $57.2 \times 13 \times 5 \text{ mm}^3$ ); 5 probetas se cortaron a una dirección de  $0^\circ$  respecto a la dirección de los cilindros extraídos, otras 5 probetas se mecanizaron a  $45^\circ$  de la misma dirección y finalmente las últimas 5 probetas a  $90^\circ$ . Estas probetas se identificaron como A0, A45 y A90 respectivamente.

Por otro lado se inyectaron placas de  $150 \times 150 \times 5 \text{ mm}^3$ , en las que el punto de inyección estaba ubicado en el punto medio de uno de los lados de la placa. De cada placa se mecanizaron 8 probetas prismáticas con las mismas dimensiones que las probetas mecanizadas a partir de las placas moldeadas por compresión. Se mecanizaron 4 probetas perpendicularmente a la dirección de llenado del molde y las 4 restantes en dirección paralela a la de llenado del molde. Estas probetas se identificaron como B0 y B90 respectivamente.

Tanto las placas obtenidas por moldeo por compresión como las obtenidas mediante moldeo por inyección fueron facilitadas por el profesor A. Pavan del Politécnico de Torino, para el *round-robin* del TC4. Las probetas prismáticas de los materiales A y B tuvieron las mismas dimensiones definidas por la norma ISO 17281/2002, en las que  $W=2.5B$ ,  $L=4.4W$  y  $S/W=4$ , donde S es la distancia entre apoyos y W, B y L son la anchura, espesor y longitud de probeta respectivamente. Todas las probetas se secaron a  $80^\circ \text{C}$  en una estufa de vacío durante 48 h antes de ser ensayadas.

### 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Los ensayos de fractura se realizaron entre  $17\text{-}18^\circ \text{C}$  en un péndulo de impacto instrumentado (*Resil*, CEAST) con un martillo de masa equivalente de 3664 g a una velocidad en el instante de impacto de 0.99 m/s. Sobre las probetas prismáticas, en el punto de impacto, se colocó una capa de cinta adhesiva coarugada con el fin de reducir los efectos dinámicos y suficiente para identificar el punto de iniciación de la fractura a partir del diagrama Fuerza vs Tiempo registrado experimentalmente.

Los valores de tenacidad a la fractura ( $K_{Ic}$ ) se calcularon siguiendo el método descrito en la norma ISO 13586/2000 (2), donde se especifica que el cumplimiento de los requisitos de la LEFM se satisface cuando  $F_{ini}/F_{5\%} \leq 1.1\%$ . Si se satisface esta condición, puede calcularse el valor de  $K_{Ic}$  como:

$$K_{Ic} = f \frac{F_{ini}}{BW^{1/2}} \quad (1)$$

siendo f un factor que depende de la geometría de la probeta y  $F_{ini}$  la fuerza a la que se inicia la propagación de la grieta.

Las probetas se entallaron con una profundidad de entalla igual a la mitad de la anchura, y se agudizaron mediante tres métodos distintos. En el primer caso la agudización de la entalla se realizó presionando una hoja de afeitar, en el segundo caso se deslizó una hoja de afeitar y en el último caso se agudizó mediante ablación por femtoláser.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 1 se presenta una muestra representativa de las curvas experimentales registradas para los materiales A0, A45 y A90, así como las superficies de fractura. A partir de dichos registros se obtuvieron los valores de  $K_{Ic}$ , resumidos en la Tabla 1.

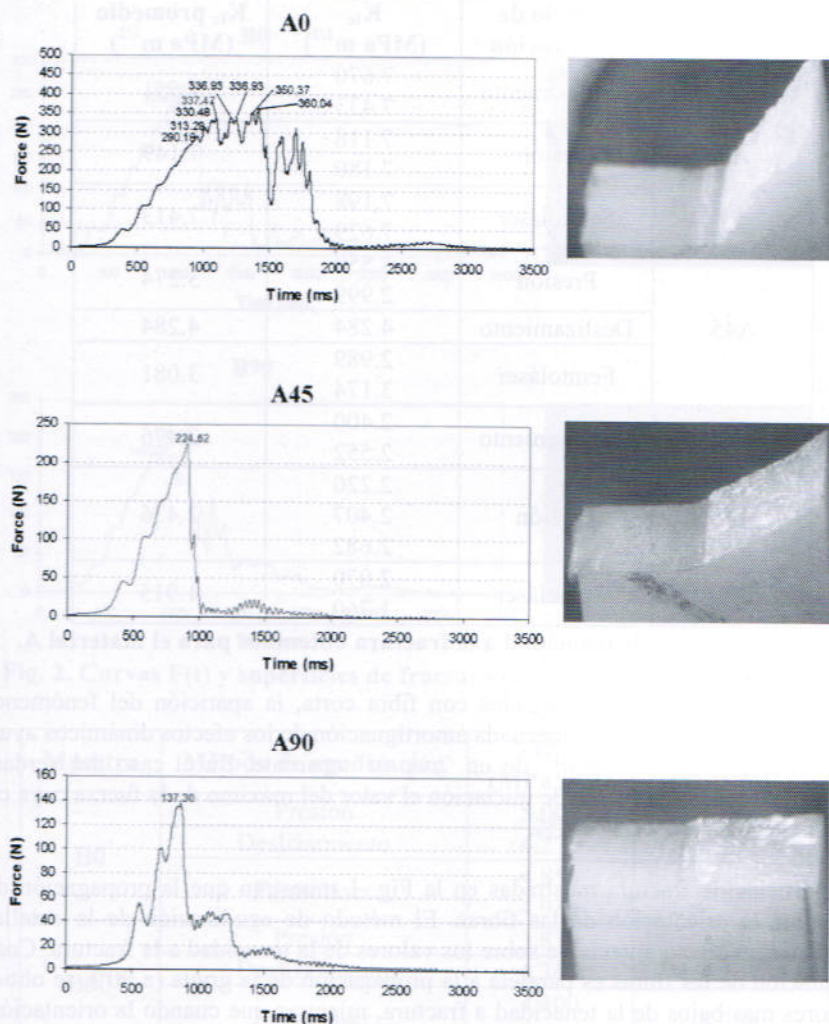


Fig. 1. Curvas  $F(t)$  y superficies de fractura representativas del material A.

Independientemente del método de agudización de la entalla y del ángulo de orientación de las probetas, se obtuvieron tanto curvas  $F(t)$  en las que es sencillo observar los valores de la fuerza de iniciación de propagación de grieta como curvas en las que se observan oscilaciones de tipo "pop-in".

En las probetas en las que la curva  $F(t)$  muestra un punto máximo de la fuerza perfectamente definido e identificado como punto de iniciación de la propagación ( $F_{ini}$ ), este valor se ha utilizado para el cálculo de  $K_{Ic}$ . El problema se presenta en las probetas que presentan curvas  $F(t)$  en las que se aprecian varios máximos sucesivos de la fuerza, lo que no permite identificar el punto de inicio de la propagación.

Muestra	Método de agudización	$K_{Ic}$ (MPa m <sup>1/2</sup> )	$K_{Ic}$ promedio (MPa m <sup>1/2</sup> )
A0	Deslizamiento	7.670	7.551
		7.433	
	Presión	7.118 7.180	7.149
A45	Femtoláser	7.198	7.413
		7.629	
	Presión	3.550 2.999	3.274
A90	Deslizamiento	4.284	4.284
		2.989	
	Femtoláser	3.174	3.081
A90	Deslizamiento	2.400	2.476
		2.552	
	Presión	2.220 2.407 2.682	2.436
A90	Femtoláser	2.070	1.915
		1.760	

Tabla 1. Valores de tenacidad a la fractura obtenidos para el material A.

En los materiales plásticos reforzados con fibra corta, la aparición del fenómeno de "pop-in" es muy frecuente, la adecuada amortiguación de los efectos dinámicos ayuda a distinguir el verdadero "pop-in" de un "pop-in" aparente. En el caso del verdadero "pop-in" se toma como fuerza de iniciación el valor del máximo de la fuerza cuya caída posterior es igual o superior al 5%.

Las superficies de fractura mostradas en la Fig. 1 muestran que la propagación de la grieta sigue la orientación de las fibras. El método de agudización de la entalla no parece tener un efecto apreciable sobre los valores de la tenacidad a la fractura. Cuando la orientación de las fibras es paralela a la propagación de la grieta (a 90°), se obtienen los valores más bajos de la tenacidad a fractura, mientras que cuando la orientación de las fibras está a 90° de la propagación de la grieta, se obtienen los mayores valores de  $K_{Ic}$ .

De manera análoga a lo observado en el material A, los registros  $F(t)$  del material B muestran una aleatoriedad en la presencia o no presencia de "pop-in", no observándose una influencia sobre dicho efecto debida al método de agudización de la entalla pero sí con respecto al ángulo de orientación de las probetas.



El método de agudización de la entalla no reveló diferencias significativas en los valores de tenacidad a la fractura. Debido a la mayor isotropía provocada por el proceso de moldeo por inyección en comparación a la mayor anisotropía inherente al proceso de extrusión + moldeo por compresión del material A, provocó que los valores de  $K_{Ic}$  se sitúen en una posición intermedia entre los valores de tenacidad a fractura de las probetas A0 y A90, y no se apreciaron diferencias significativas entre B0 y B90.

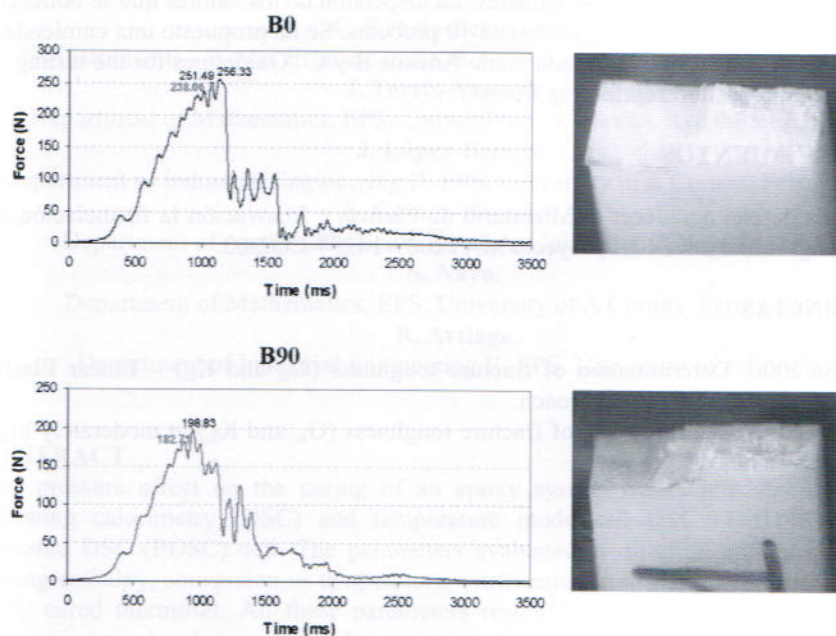


Fig. 2. Curvas  $F(t)$  y superficies de fractura representativas del material B.

Muestra	Método de agudización	$K_{Ic}$ ( $\text{MPa m}^{1/2}$ )	$K_{Ic}$ promedio ( $\text{MPa m}^{1/2}$ )
B0	Presión	5.009	5.009
	Deslizamiento	4.271	4.271
	Femtoláser	4.855 4.933	4.894
B90	Presión	3.830	3.830
	Deslizamiento	4.365	4.365
	Femtoláser	4.400 4.175	4.288

Tabla 2. Valores de tenacidad a la fractura obtenidos para el material B.

## 5. CONCLUSIONES

Como consecuencia de este análisis y del round-robin realizado por el grupo TC4-ESIS se han propuesto como valores de  $F_{ini}$  cuando existe "pop-in", al último valor del máximo de la fuerza que sufre una caída superior al 5%. Debido a los efectos de la orientación de la fibra incluso en las probetas obtenidas por inyección se recomienda ensayar en las dos direcciones ortogonales. La dispersión de los valores que se obtienen, hace recomendable ensayar un mínimo de 10 probetas. Se ha propuesto una enmienda a la norma ISO 17281:2002, tipificada como Anexos B y C "Guidelines for the testing of plastics containing short reinforcing fibers".

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación de esta investigación a través del proyecto MAT2009-14294-CO2-02.

## REFERENCIAS

- ISO 13586:2000. Determination of fracture toughness ( $G_{Ic}$  and  $K_{Ic}$ ) – Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) approach.  
 ISO 17281:2002. Determination of fracture toughness ( $G_{Ic}$  and  $K_{Ic}$ ) at moderately high loading rates (1 m/s).