

# Influencia del envejecimiento higrotérmico en el comportamiento a fractura de compuestos de matriz termoplástica

R. ZENASNI<sup>1</sup>, A.S. BACHIR<sup>1</sup>, M.A. GARCÍA<sup>2</sup>, J. RIBA<sup>2</sup>, A. ARGÜELLES<sup>2</sup>, J.VIÑA  
<sup>1</sup>Dpto. Física, Universidad de Ciencias y de Tecnología de Orán, 1505 El Menaour (Argentina)  
<sup>2</sup>E. P. Superior de Ingeniería de Gijón, Campus Universitario de Viesques, 33204 Gijón

En este trabajo se realiza un estudio sobre la influencia del envejecimiento higrotérmico en el comportamiento a fractura interlaminar de tres tipos de compuestos, dos de ellos reforzados con tejido de fibra de vidrio (2/2 Twill, y 8H Satin) y otro con fibra de carbono (8H Satin). El envejecimiento se realizó manteniendo, durante diferentes periodos de tiempo, probetas en una cámara climática bajo unas determinadas condiciones de temperatura y humedad relativa. La determinación de la tenacidad a fractura interlaminar se realizó utilizando probetas de modos I (DCB) y II (ENF). El análisis realizado consistió en poner de manifiesto los diferentes mecanismos de rotura a fractura que se generan tras someter las probetas a la exposición higrotérmica. De los resultados de los ensayos se concluye un diferente comportamiento a fractura según el refuerzo existente y también a igual refuerzo, según la trama del tejido

*Palabras clave:* fibra vidrio, fibra carbono, PEI, modo I, modo II, envejecimiento higrotérmico.

## Effect of hygrothermal aging on the interlaminar fracture behaviour of thermoplastic matrix composite materials

Aging was carried out by introducing the materials into a climatic chamber under appropriate conditions of temperature, humidity and time. The materials are made of two types of weaving (2/2 Twill, 8H Satin) glass fibre, and (8H Satin) carbon fibre. The matrix was polyetherimide (PEI). In order to characterize the interlaminar fracture a mechanical test was carried out using the mode I Double Cantilever Beam (DCB) and mode II End Notched Fixed (ENF) tests. The analysis consists of knowing the different failure mechanisms which have generated the hygrothermal aging.

*Keywords:* glass fibre, carbon fibre, PEI, mode I, mode II, hygrothermal aging.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la vida diaria los materiales compuestos están sometidos a una amplia gama de condiciones de cargas diferentes principalmente derivadas de solicitaciones mecánicas y los ataques medioambientales. Los ataques medioambientales principales se relacionan con la temperatura, la humedad, las radiaciones y el contacto con diferentes tipos de productos químicos. Estos factores pueden afectar las propiedades térmicas y mecánicas de los compuestos de diferentes maneras. La absorción de humedad induce principalmente: a) hinchamiento de la intercara fibra-matriz, b) fractura interlaminar.

La deslaminación de las estructuras a base de composites (1) es una forma de fallo subcrítico, que produce los siguientes efectos:

- una pérdida de rigidez, que tiene una repercusión menor desde el punto de vista del colapso total de la estructura.
- Una concentración local de tensiones en las capas que soportan las cargas.
- Una inestabilidad local, que puede ser el origen de un fallo a compresión.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiales

Se han estudiado tres compuestos de matriz termoplástica PEI. El primero de ellos denominado ST220, está reforzado con tejido de fibra de vidrio en forma 2/2 Twill (fig. 1). El segundo, cuyo nombre es SS303, también tiene refuerzo de vidrio, pero en este caso 8H Satin (fig. 1) y por último, se encuentra el CD342 con la misma configuración que el anterior, pero con fibra carbono (2).

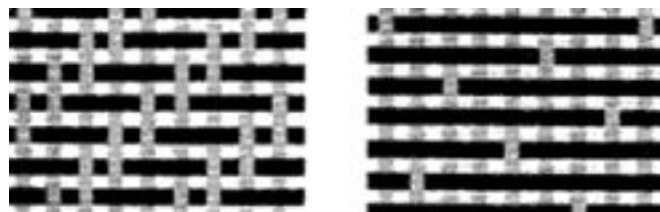


Figura 1. Refuerzos de tejido 2/2Twill y 8H Satin.

### 2.2. Preparación de las probetas

En la primera fase, las probetas se han secado en un horno a la temperatura de 70°C durante 12 horas hasta que ha desaparecido la humedad completamente. En la segunda fase se introdujeron las muestras en una cámara climática bajo una temperatura de 70 °C y 95% de humedad relativa.

### 2.3.- Ensayo en modo I

De cada material se han efectuado tres ensayos de fractura interlaminar usando probetas de tipo DCB, según la norma ASTM D5528. La velocidad de carga utilizada fue de 0.5 mm/min. La aplicación de la carga se realizó por medio de dos finas bisagras de metal, la figura 2 muestra la probeta y la configuración de carga. Los valores de la tasa de la energía crítica  $G_{IC}$  fueron calculados en los tres puntos característicos: NL, 5%,  $P_{max}$  mostrados en el gráfico usando la teoría de viga

corregida:  $G_{lc}=(3P\delta)/[2B(a+\Delta)]$ . Donde P es la fuerza,  $\delta$  el desplazamiento, a la longitud de grieta y B el ancho de la probeta. La teoría de la viga corregida requiere la determinación del factor de corrección  $\Delta$ , para lo que se hace preciso tener en cuenta la rotación de la punta de grieta, para ello se dibuja la tercera raíz cúbica de la flexibilidad en función de la longitud de grieta ( $C^{1/3}-a$ ).

**2.4. Ensayo en modo II**

De cada material han sido ensayadas tres probetas para caracterizar la tenacidad de fractura interlaminar en modo II, que se determina mediante el ensayo de tipo ENF con la norma ASTM D790. La velocidad de carga fue de 0.5 mm/min, la figura 4 muestra el ensayo de modo II. Los valores críticos de la energía  $G_{IIC}$  de deslaminación (4) fueron calculados en los tres puntos característicos según la teoría de viga corregida:  $G_{IIC}=(9P^2a^2)/(16B^2Eh^3)$ .

**3. RESULTADOS**

**3.1. Absorción de humedad**

Los tres materiales compuestos han sido sometidos a un envejecimiento higrotérmico a una temperatura de 70°C y 95% HR (3). El porcentaje de aumento de peso se ha calculado usando la formula siguiente:  $W_g = 100(W_w - W_{seco})/W_{seco}$ , siendo  $W_g$  el peso de probetas

húmedas y  $W_{seco}$  el peso de probetas secas.

La figura 5 muestra las curvas de absorción de humedad para los tres materiales. A partir de estas figuras se puede comprobar que en el entorno de los 40 días los materiales alcanzan el punto máximo de saturación. En este punto el material de fibra de carbono posee un porcentaje de aumento en peso del 0.295, por contra en el caso de los materiales de fibra de vidrio es bastante menor 0.2087. Los tres materiales compuestos fueron sometidos a exposición higrotérmica durante 30, 60,120 y 180 días.

**3.2. Resultados de fractura en modo I.**

En la figura 6 se representan las curvas de las energías de deslaminación en el punto de carga máxima según la teoría de la viga corregida para los tres materiales ensayados ST 220 (tejido 2/2 Twill), SS303 (tejido 8H Satin) y CD 342 (tejido de carbono 8H Satin).El primero de ellos presenta una pérdida importante de energía durante los primeros 30 días de exposición ( $\approx 20\%$ ) para en los siguientes cinco meses mantenerse con variaciones en torno al 10%. El segundo muestra un mantenimiento inicial (primer mes) para posteriormente aumentar (segundo mes) hasta un 17% del valor inicial. Esta situación se conserva hasta los 4 meses, momento en el que se inicia un descenso para situarse en unas pérdidas del 8%.El tercero ofrece desde el primer mes una disminución importante(12%) que aumenta siendo al cabo de los 6 meses aproximadamente un 25%.

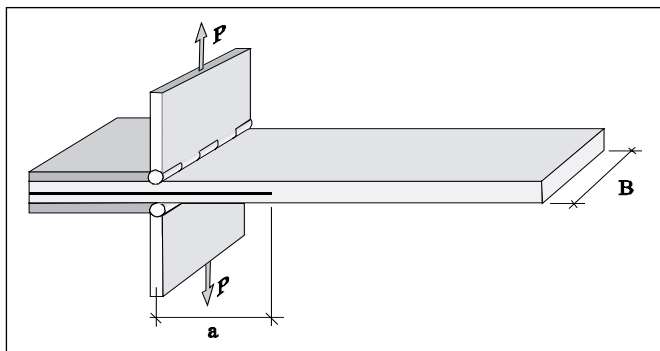


Figura 2.- Ensayo tipo DCB.

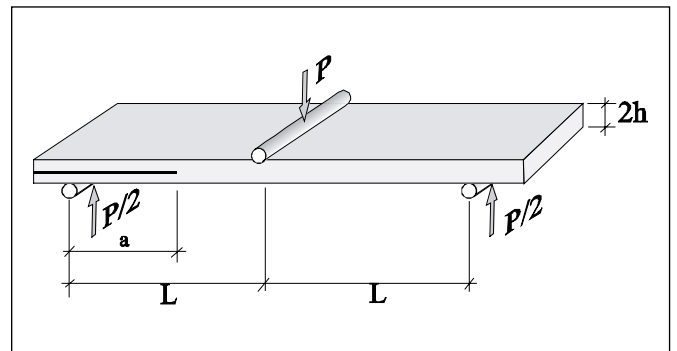


Figura 4. Ensayo tipo ENF.

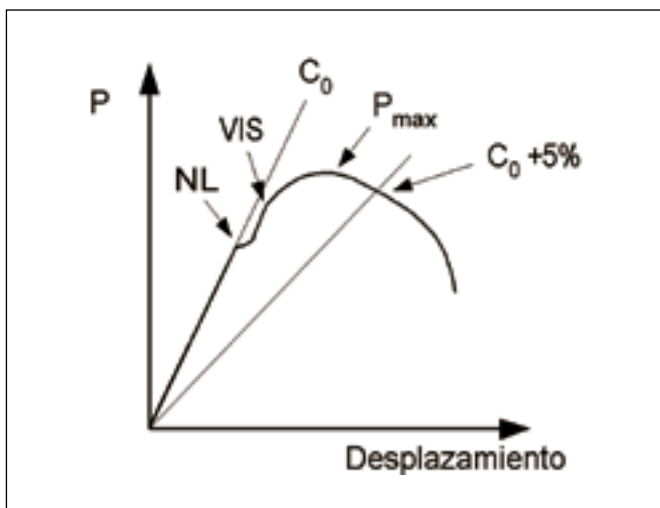


Figura 3. Gráfico carga-desplazamiento.

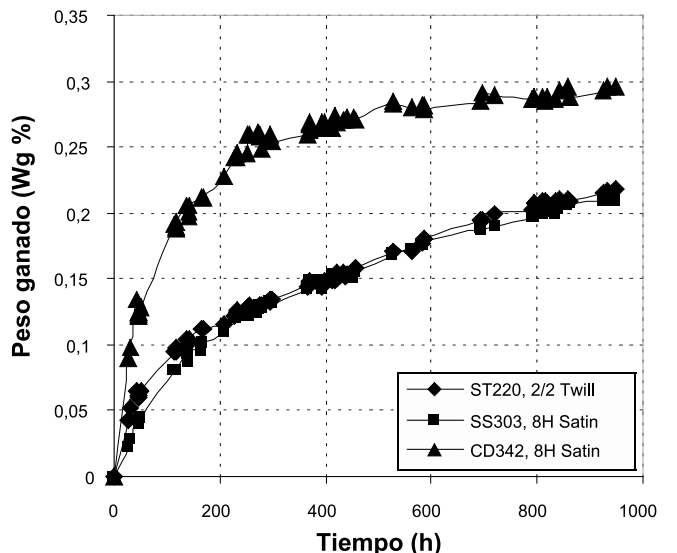


Figura 5. Representación de la ganancia de peso con la temperatura.

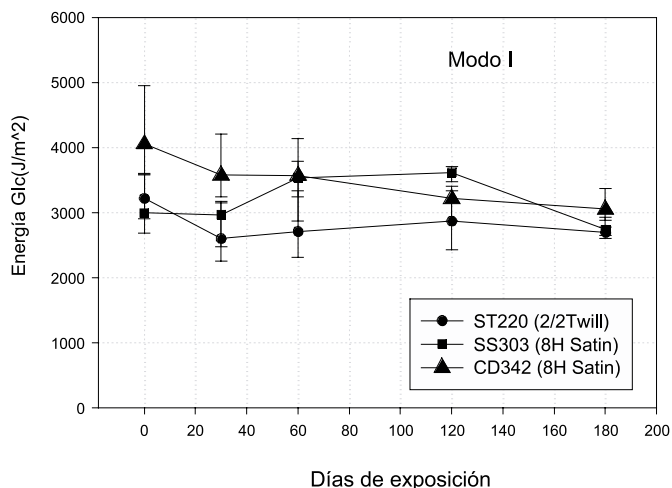


Figura 6.- Energía  $G_{Ic}$  en el punto de carga máxima según la teoría de viga corregida.

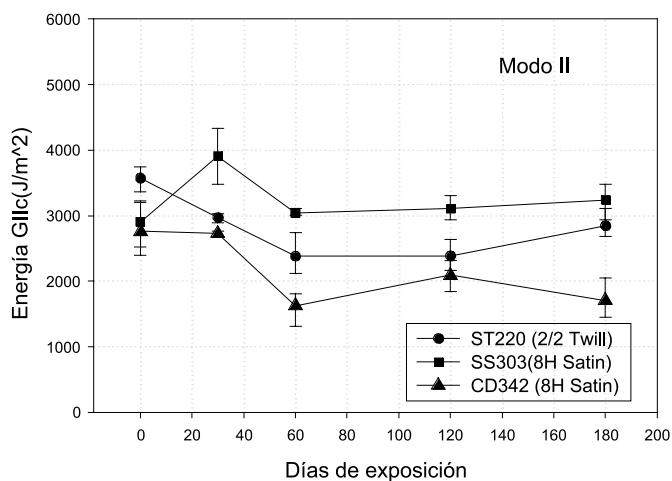


Figura 7.- Energía  $G_{IIc}$  en el punto de carga máxima según la teoría de viga corregida.

### 3.3. Resultados de fractura en modo II

En la figura 7 se representan las curvas de las energías de deslaminación en el punto de carga máxima según la teoría de viga corregida para los tres materiales.

El ST220 muestra una disminución durante los primeros 60 días del 36% para luego recuperar parcialmente hasta situarse en un 20%. El SS303 presenta un mantenimiento casi constante de la energía a lo largo de los 6 meses. En el CD342 se aprecia una disminución (42%) en el periodo comprendido entre los 30 y 60 días que luego se mantiene constante hasta los 180 días.

#### 4.- Conclusiones.

En el modo I la energía de deslaminación sufre, con el paso del tiempo de envejecimiento, menos pérdidas cuanto el tejido es 8H Satin que si es 2/2 Twill. Asimismo, la energía de deslaminación disminuye, con el paso del tiempo de exposición siendo menores las pérdidas si el refuerzo es de vidrio que si es de carbono. En el modo II de fractura ocurre lo mismo que en el modo I, es decir, la disposición 2/2 Twill es menos resistente a fractura que la 8H Satin y el refuerzo de carbono se comporta más frágilmente que el de vidrio. Tanto en el modo I como en el modo II el material reforzado con vidrio en disposición 8H Satin tiene una mejora inicial de resistencia a la deslaminación. Los otros

dos materiales presentan desde el inicio una pérdida importante de la energía crítica, tanto para el modo I como para el modo II.

### 5. AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido financiado por CICYT dentro del proyecto de investigación MAT 2000-0416.

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- O'Brien, T. K. "Delamination of composite materials", *Fatigue of Composite Materials*, Elsevier Science Pub., 181-198 (1990).
- Naik, N. K., Reddy, K. S., Meduri, S., Raju, N. B., Prasad, P. D., Azad, N. M., "Interlaminar fracture characterization for plain weave fabric composites", *J. Mat. Sci.* 37, 2983-2987 (2002).
- Scida, D., Aboura, Z., "The effect of aging on the damage events in woven-fibre composite materials under different loading conditions", *Comp. Sci. & Tech.* 62, 551-557 (2002).
- Bullions, T. A., Mehta, R. H., Tan, B., McGrath, J. E., Kranbuehl, D., loos, A. C., "Mode I and Mode II fracture toughness of high-performance 3000 gmole-1 reactive poly(etherimide)/carbon fiber composites" *Comp.* 30A, 153-162 (1999).

Recibido: 1.2.03  
Aceptado: 30.11.03