Regresa al Indice

"ESTUDIO INTERFACIAL FOTOELASTICO DE LA GEOMETRIA DE *PULL-OUT* EN SISTEMAS RESINA EPOXIDICA/FIBRA DE POLIESTER"

E. A. Flores Johnson, P. I. González Chi*
Unidad de Materiales
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
Calle 43 No. 130 Col. Chuburná de Hidalgo 97200, Mérida, Yucatán, México.
*Email: ivan@cicy.mx

INTRODUCCION

El presente trabajo estudió la adhesión y la transferencia de esfuerzos interfaciales entre una matriz epoxídica y una fibra de Poliéster por medio de la técnica experimental de fotoelasticidad [1, 2] la cual se basa en el hecho de que ciertos materiales transparentes sometidos a un esfuerzo o deformación tienen un efecto óptico sobre la luz con que son iluminados. Las resinas epoxídicas son ópticamente isotrópicas en condiciones normales, pero cuando son sometidas a un esfuerzo se convierten en materiales con dos índices de refracción o birrefringentes. Los índices de refracción debido a esta birrefringencia temporal inducida tienen una relación directa con los esfuerzos en el material por lo que es posible estudiar la distribución de esfuerzos analizando la luz que atraviesa un material con estas características Se usó la prueba micromecánica de *Pull-out* la cual ha sido usada ampliamente en el estudio de materiales compuestos debido a que su geometría y procedimiento de prueba son simples [3, 4]. Esta prueba consistió en embeber parcialmente un monofilamento en un bloque de resina y por medio de una fuerza aplicada sobre la parte libre de la fibra en la dirección axial, la fibra se extrae hacia afuera de la resina. Durante la prueba, la distribución de esfuerzos en el material generada por la carga aplicada se monitoreó fotoelásticamente hasta que la interfase o la fibra fallaron.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Materiales

- Resina epoxídica 331 de Dow Chemical.
- Agente entrecruzante Ancamine 1784 de Air Products en una proporción de 78 partes por cada 100 partes de resina.
- Fibra de Poliéster modelo Super Smash de 1.3 mm de diámetro proporcionada por Kirschbaum.

Calibración fotoelástica

Las probetas (Fig. 1a) fueron probadas a flexión de 4 puntos en un polariscopio circular (Fig. 2) usando luz de vapor de sodio. Esto se hizo incrementando la carga P de 100 en 100 g hasta 500 g. En ese momento se tomó una foto y se registró la carga aplicada. Se continuó incrementando el peso hasta 1000; se registró el peso y se tomó la imagen. Así sucesivamente hasta una carga de 1500 g. Para obtener el valor de franja f_σ se utilizó la fórmula [5]:

Regresa al Indice

$$f_\sigma = \frac{6Pay}{h^3 N} \tag{1}$$

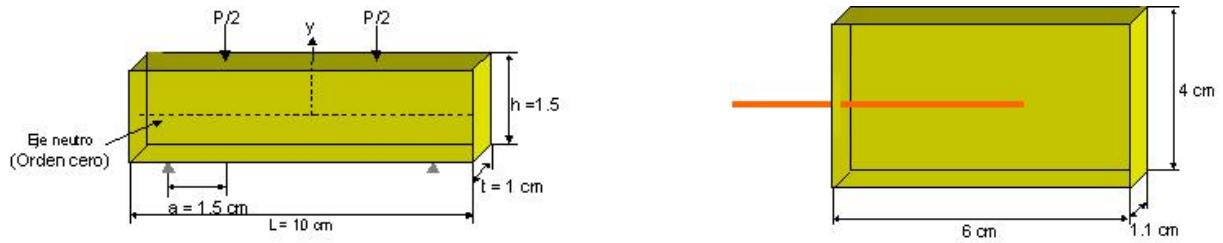
donde P es la carga aplicada, a es la distancia entre puntos de carga (1.5 cm) en flexión de 4 puntos, N es el orden de franja (banda oscura), h es la altura de la probeta, y *y* es la distancia desde el eje neutro (centro de la probeta) hasta el punto donde se forma el orden de franja.

En las fotografías tomadas, para cada orden de franja N formado, se registró la carga aplicada y se midió la distancia *y*; usando la Ecuación 1 se calculó f_σ para cada lectura y se promediaron los resultados.

Para calcular el esfuerzo cortante máximo τ_{max} [5], se usó la Ecuación:

$$\tau_{max} = \frac{Nf_\sigma}{2t} \tag{2}$$

donde N es el orden de franja y t es el grosor de la probeta. Esto se hizo dando valores a N (0, 1/2, 1, 3/2, 2....). De esta manera para cada orden de franja (bandas oscuras) se calculó un valor de esfuerzo cortante τ_{max}.



a) b)

Fig. 1 Probetas: a) Flexión a 4 puntos, b) *Pull-out*.

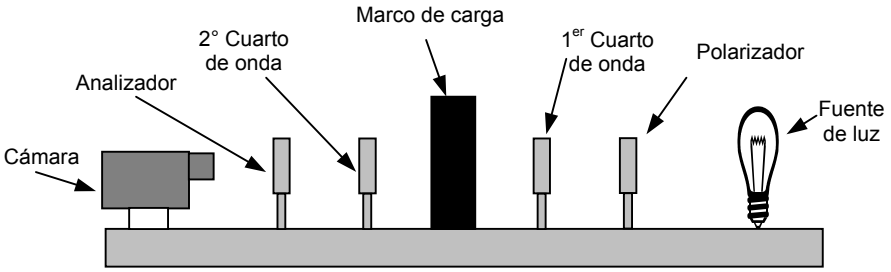


Fig. 2 Polariscopio circular para pruebas de fotoelasticidad.

Prueba de *Pull-out*

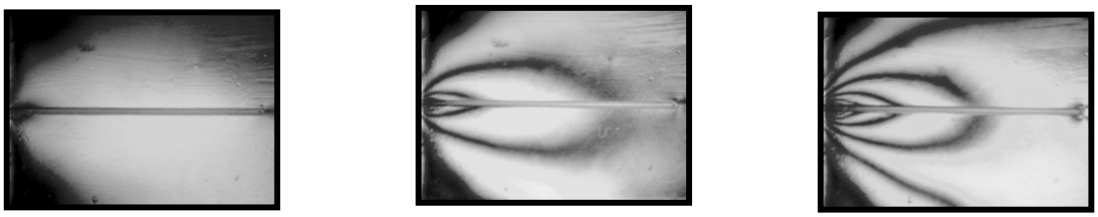
Antes de elaborar las probetas de *Pull-out* la superficie de la fibra fue lijada uniformemente con una lija calibre 2000. Las probetas ya listas (Fig. 1b) se colocaron en el

Regresa al Indice

marco de carga del polariscopio. La probeta se cargó gradualmente hasta extraer la fibra de la matriz. Se tomaron fotos cada 6250 g. En las fotos se observó el orden de franja y se calculó el valor de esfuerzo cortante correspondiente (Ecuación 2). Además se midió la posición del orden de franja sobre la fibra embebida, midiendo a partir del punto donde la fibra entra a la matriz ($x = 0$) hasta el punto sobre la fibra ($0 < x \leq 40$ mm) donde se encuentra el centro del orden de franja observado (centro de la banda oscura sobre la fibra).

DISCUSION DE RESULTADOS

Las fotografías de la Figura 3 muestran la evolución de los ordenes de franja con el aumento de la carga aplicada P. Se puede observar que a mayor carga aparecen más ordenes de franja (halos oscuros, 7.5 ordenes en la carga máxima) los cuales se desplazan hacia la punta embebida de la fibra. La Figura 4 muestra las curvas Esfuerzo Cortante *vs* Posición a cinco niveles de carga diferentes. Se pudo observar que al aumentar el nivel de carga, la curva Esfuerzo Cortante *vs* Posición, se desplaza a la derecha y hacia arriba. Esto indica que a mayor carga, la transferencia de esfuerzos se propaga a lo largo de la fibra embebida, cada vez más hacia la punta de la fibra, además, la zona cercana a la orilla del bloque es sometida a esfuerzos cada vez más altos (2426 MPa), los cuales decaen al avanzar hacia el interior del bloque sobre la fibra.



a) b) c)

Fig. 3 Evolución del orden de franja a diferentes cargas en la prueba de *Pull-out.* Carga aplicada: (a) 6250 g, (b) 18750 g, (c) 31250.

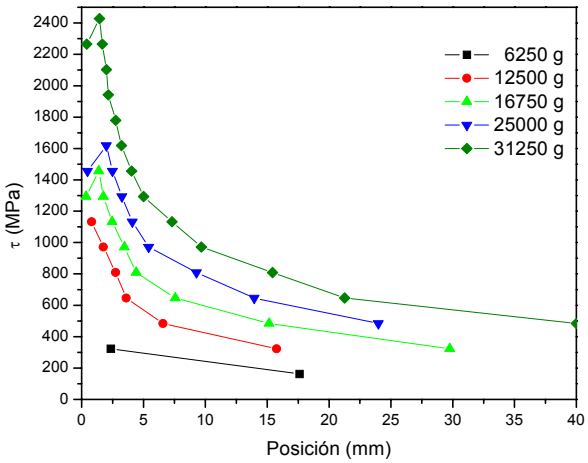


Fig. 4 Curvas Esfuerzo cortante *vs* Posición a cinco niveles de carga.

Regresa al Indice

CONCLUSION

Por medio de la prueba micromecánica de *Pull-out* y la técnica de fotoelasticidad fue posible la medición del esfuerzo cortante sobre la fibra que corresponde a la adherencia interfacial.

El material Epoxi/Fibra de Poliéster lijada mostró una buena interfase con respecto a la fibra sin lijado [6] ya que soporto cargas de hasta 31250 g y la transferencia de carga de la fibra a la matriz fue buena pudiéndose observar ordenes de franja de hasta N = 7.5 correspondiente a un esfuerzo cortante de 2.426 GPa (2426 MPa).

El esfuerzo cortante fue mayor en la zona cercana a donde entra la fibra y disminuyó a lo largo de la fibra embebida ya al aumentar el nivel de carga el nivel de esfuerzo cortante aumenta en toda la fibra, transfiriéndose la mayor parte de éste en las zonas cercanas a donde entra la fibra a través de la interfase.

BIBLIOGRAFIA

1. G. Cloud, "Optical Methods of Engineering Analysis", Cambridge University Press, 1998, pp. 57-76.
2. M. M. Frocht, "Photoelasticity", Vol. 1, Wiley and Sons, New York, 1941, pp 129-139.
3. A. N. Gent, G. L. Liu, "Pull-out and Fragmentation in Model Fiber Composites", *J. Mater. Sci.* **26** (1991) 2467-2476.
4. P. J. Herrera-Franco and L T. Drzal, "Comparison of Methods for the Measurement of Fibre/Matriz adhesion in Composites", *Composites* **23** (1992) 2-28.
5. C. P. Burger, "Handbook on Experimental Mechanics", SEM, New York, 1993, pp 165-266.
6. J. M. Vázquez, "Análisis Micromecánico en Materiales Compuestos de Fibra Termoplástica y Matriz Termofija por Medio de la Técnica de Fotoelasticidad", Tesis Doctoral (en proceso), Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).