

# Técnicas de Emisión Acústica en ensayos destructivos de materiales compuestos.

Celina Bernal<sup>1</sup>, Mariano M. Escobar<sup>1</sup>, Rodrigo Saura<sup>2</sup>, Luis Fernandez Luco<sup>2</sup>, María C. Lucchetta<sup>2</sup>, Ramiro Méndez<sup>2</sup>, Mariana Mollo<sup>3</sup>, Carlos M. Ortega<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Tecnología en Polímeros y Nanotecnología ITPN (UBA-CONICET)

Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires

[cbernal@fi.uba.ar](mailto:cbernal@fi.uba.ar), [mescobar@fi.uba.ar](mailto:mescobar@fi.uba.ar)

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires

[lfernandez@fi.uba.ar](mailto:lfernandez@fi.uba.ar)

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Tecnología Industrial

[mmollo@inti.gob.ar](mailto:mmollo@inti.gob.ar)

<sup>4</sup>VN Acoustic Emission Buenos Aires - Argentina

[cortega@vn-amps.com.ar](mailto:cortega@vn-amps.com.ar)

## Resumen

*La Emisión Acústica se ha vinculado tradicionalmente a los ensayos no destructivos. Este vínculo se debe al amplio campo de aplicación de la AE en el estudio de integridad de recipientes sometidos a presión y tanques de almacenamiento de hidrocarburos. Sin embargo la AE permite también determinar los mecanismos de falla intervinientes en diferentes materiales compuestos que son sometidos a ensayos destructivos. Se presentan dos casos de estudio desarrollados en el marco de tesis de grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, por un lado se investiga la consolidación y los mecanismos de falla de compuestos auto-reforzados basados en PP y por el otro lado, se utilizó como técnica complementaria al ensayo de placa ASTM C1550 aplicado a hormigón con refuerzo de fibras poliméricas. A través de análisis de EA se pretende estudiar la potencialidad de la técnica para obtener información sobre los mecanismos de falla del material. Se describe también el equipamiento utilizado, las técnicas de adquisición de datos, los informes generados durante los ensayos y la proyección de la Emisión Acústica en este campo.*

## 1. MECANISMOS DE FALLA DE COMPUESTOS AUTO-REFORZADOS BASADOS EN PP.

### 1.1 Introducción

En los últimos años el uso de materiales compuestos basados en Polipropileno (PP) ha avanzado exponencialmente en diversas aplicaciones, y su demanda ha crecido en gran medida debido a sus buenas propiedades mecánicas.

Sin embargo, los materiales compuestos poseen varios inconvenientes, entre ellos, la pobre resistencia interfacial entre el refuerzo y la matriz, por lo cual, en muchos casos es necesario utilizar un agente de acoplamiento adicional. Otra desventaja de los compuestos tradicionales es su difícil reciclabilidad, ya que el refuerzo no puede ser recuperado, y la separación entre el refuerzo y la matriz no ha sido resuelta aún. Finalmente, los compuestos, pierden sus propiedades mecánicas después del reprocesamiento debido a la rotura de las fibras.

Para evitar todos estos problemas se opta por la aplicación de compuestos poliméricos auto-reforzados, los que se componen de una matriz y un refuerzo de la misma familia de polímeros (por ejemplo, PE, PP, PA y PET). Aún así, el desafío es encontrar el procesamiento adecuado para mantener el refuerzo intacto, al ser unido a la matriz. En la actualidad existen tres formas básicas de procesamiento de compuestos auto-reforzados: consolidación de cintas coextruidas (*consolidation of coextruded tapes*); apilamiento de láminas (*film-stacking*); y compactación en caliente (*hot compaction*).

Por otro lado, la emisión acústica (EA) es una técnica utilizada para estudiar el comportamiento de un material ante sollicitaciones térmicas o mecánicas. Un área con defectos, es un área con concentración de tensiones en la que, una vez estimulada, se produce una redistribución de estas tensiones con liberación de energía en forma de ondas mecánicas transitorias. Por medio de este método, es posible detectar perturbaciones del medio, utilizando sensores que transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

Estas señales se detectan, digitalizan y almacenan para su posterior análisis.

El material reforzado, al ser sometido a una carga externa, genera EA a partir de la fisuración de la matriz, del despegue en la intercara refuerzo/matriz, y la fractura de la fibra en materiales compuestos. Es importante identificar la fuente de emisión para obtener información acerca de mecanismos de fractura.

En la figura 1 se presentan las curvas teóricas de número de eventos de EA acumulados en función del desplazamiento en tracción correspondientes a distintos grados de consolidación junto con los resultados obtenidos por Izer y col. [1].

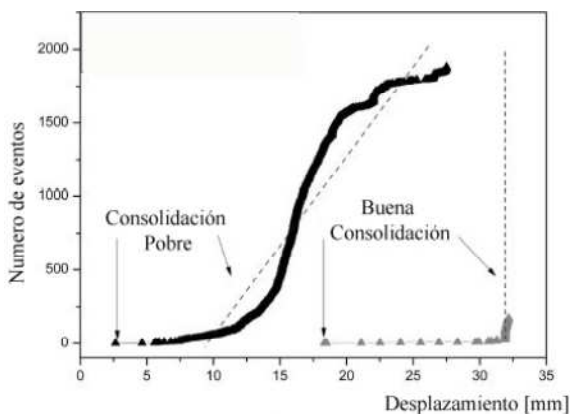


Figura 1. Curvas de eventos acumulados para compuestos con diferente grado de consolidación [1]

Para el material compuesto con una consolidación deficiente, la forma de la curva de eventos acumulados de EA se eleva abruptamente a una pequeña deformación, y aumenta de forma continua a partir de ese momento. En el caso del material bien consolidado, en cambio, el comienzo de los eventos se produce cerca de la fractura final. Por lo tanto, la calidad de la consolidación se refleja por el curso de los eventos de EA. Izer y col. [1] concluyeron que a medida que mejora la adhesión entre la matriz y el refuerzo, el número de eventos de EA disminuye y a su vez, estos aparecen más tarde.

### 1.2. Análisis por emisión acústica.

Con el fin de obtener información sobre el modo de falla y la calidad de consolidación de los compuestos auto-reforzados, durante los ensayos de tracción se utilizó la técnica de emisión acústica (EA) con un equipo VN525 Single channel Time Domain AE Analyzer en la gama de frecuencias de 100...600 kHz. La ganancia total del sistema se estableció 46dB, y el nivel de umbral (trigger) del dispositivo fue de -36dBAE. El sensor se fijó en la zona central de la superficie de la muestra. Para mejorar el registro de eventos, sin posibles perturbaciones del ambiente, se utilizó grasa siliconada como vínculo acústico entre la superficie de la muestra y el sensor de AE. La configuración del ensayo se presenta en la Figura 2.

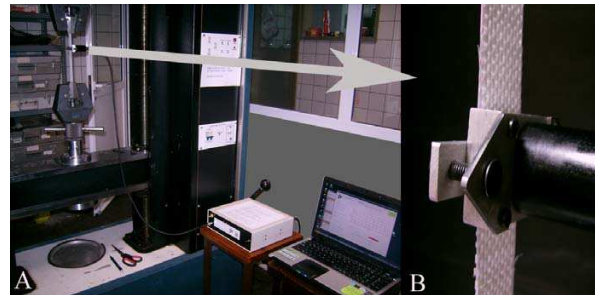


Figura 2. A) Equipo de emisión acústica conectado al sensor sobre la probeta de ensayo. B) Detalle del soporte del sensor

### 1.3. Materiales

Se emplearon 3 sistemas diferentes como matrices de los compuestos auto-reforzados basados en un copolímero al azar de Polipropileno comercial (rPP) (CUYOLEN HT3240H, índice de fluidez de 1,5 g/10 min) (Petroquímica Cuyo, Argentina) reforzado con partículas de cuarzo de origen nacional. Las matrices utilizadas fueron: i) PP\_1 Copolímero al azar de polipropileno, ii) PP5\_1 Copolímero al azar de Polipropileno con 5 % en peso de cuarzo, iii) PP20\_2 Copolímero al azar de Polipropileno con 20 % en peso de cuarzo. Como refuerzo de los polímeros auto-reforzados se utilizó una tela tejida plana (producida por Politejidos SRL), con un gramaje de 190g/m<sup>2</sup>, con temperatura de fusión de  $T_f=175,5^\circ\text{C}$ , y temperatura de cristalización de  $T_c = 119^\circ\text{C}$  (determinadas por calorimetría diferencial de barrido, DSC). También se utilizó malla comercial (Rafia) como refuerzo, se denominó Rafia 1.

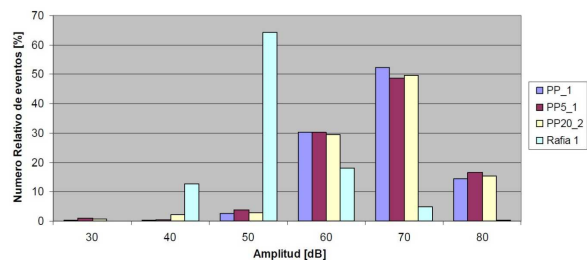


Figura 2. Número relativo de eventos en función de la amplitud para la fractura típica de los compuestos autoreforzados desarrollados.

### 1.3. Resultados

Se observó que a medida que aumenta el contenido de cuarzo en la matriz, cambia cualitativamente la forma de las curvas de número de eventos acumulados en función de la deformación (los eventos comienzan más tarde cerca de la fractura final) y el número total de eventos disminuye. Por lo tanto, el agregado de cuarzo condujo a compuestos auto-reforzados con mejor consolidación lo que también se vio reflejado en sus propiedades últimas en tracción. Sin embargo, todos los materiales presentaron buena calidad de consolidación. En base a lo reportado en la literatura de que los eventos de baja amplitud (40-50 dBAE) se generan por el

movimiento de las hebras de la tela y la pérdida de adhesión entre fibra-matriz, mientras que los eventos de gran amplitud (más de 70-80 dBAE) están asociados con la rotura de la fibra, se mostró que los eventos de mayor amplitud dominantes en los compuestos desarrollados en este trabajo, se corresponden con una buena calidad de consolidación (fig. 2). Los resultados revelaron que la técnica EA es una opción viable para cuantificar la adhesión matriz/refuerzo y para identificar los mecanismos de falla en los compuestos auto-reforzados obtenidos en correspondencia con resultados previos de la literatura.

## 2. EA COMO TÉCNICA COMPLEMENTARIA AL ENSAYO DE PLACA ASTM C1550 APLICADO A HORMIGÓN CON REFUERZO DE FIBRAS POLIMÉRICAS.

### 2.1. Introducción

Dentro de la gama de ensayos normalizados para evaluar las propiedades del hormigón reforzado con fibras, el ensayo de disco es el que posee mejores críticas en la bibliografía de consulta [2]. Además, esta geometría de probeta refleja mejor el comportamiento tipo placa, o sea, aquél que presentan las estructuras en las que el uso de fibras es más difundido.

### 2.2. Materiales

El método descrito en la norma ASTM C1550 consiste en moldear paneles circulares de hormigón reforzado con fibras con un diámetro de  $800 \pm 10$  mm y altura de  $75 \pm 15$  mm con un desvío estándar para 10 mediciones menor a 3 mm.

La carga es aplicada en forma centrada a través de un cabezal metálico hemisférico ubicado en el extremo de un pistón de carga que avanza a una velocidad tal que el pistón avance a  $4 \pm 1$  mm/min hasta un desplazamiento central predeterminado.

### 2.3. Resultados

En la **Figura 4A** se muestra la disposición del ensayo según la norma ASTM 1550. Luego de la carga de los discos se observa que el mismo se rompe en tres partes con un ángulo de  $120^\circ$ . Se muestra que el sensor de EA se coloca sobre la superficie superior del disco. Entre el pistón de carga y la probeta se interpuso una lámina de neopreno para evitar el daño localizado producto de la carga puntual del pistón. La **Figura 4B** presenta la parte inferior de la probeta. En la misma se observan distintas fibras de polipropileno que fueron incorporadas durante la preparación de los discos de hormigón en distintos porcentajes. En particular, esta imagen es representativa de los distintas formas de falla que se pueden dar en este tipo de fibras: a) deslizamiento/arrancamiento, que se da cuando la fibra se despegue de la matriz cementicia sin llegar a romperse producto de una mala adherencia entre la fibra y la matriz, y b) rotura de

fibra, cuando la tensión de adherencia entre ambos componentes es superior a la tensión de rotura de la fibra. Una característica de este tipo de fibras es que poseen un gran alargamiento a la rotura. La **Figura 4C** muestra la curva de carga a medida que el desplazamiento del pistón avanza. Se observa un crecimiento lineal de la carga en función del tiempo. Casi llegando a la carga de rotura se dividió al gráfico en 4 zonas para hacer una correlación con la curva de emisión acumuladas. Se observa que en la zona 2, que corresponde a unos instantes previos a la rotura, la curva de emisiones acumuladas aumenta levemente la pendiente. Si el ensayo se hiciera a una velocidad de carga más lenta se podría utilizar este cambio de pendiente para predecir el momento de la rotura con bastante antelación. Cuando se produce la rotura de la probeta la cantidad de emisiones acumuladas aumentan notablemente debido a la gran cantidad de eventos que se suceden. El objetivo para el trabajo futuro es intentar correlacionar la señal de emisiones acumuladas con el tipo de mecanismo de rotura de las fibras.

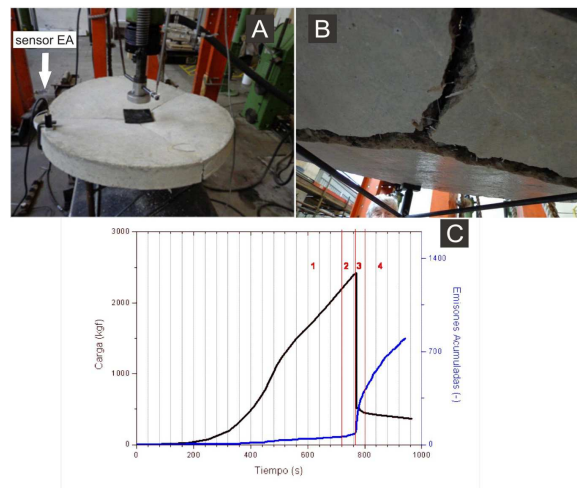


Figura 4. A) Fin del ensayo con la probeta rota. Se muestra la posición en la cual se coloca el sensor de EA; B) Imagen de la parte inferior de la probeta; C) Evolución de la carga (eje izquierdo) y cantidad de emisiones acumuladas (derecha) en función del tiempo.

## 3. SISTEMA DE MEDICIÓN

### 3.1. Introducción

A partir de las necesidades del Instituto de Tecnología en Polímeros y Nanotecnología ITPN (UBA-CONICET) Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires se desarrolló el sistema VN525. Este sistema es un equipo monocal diseñado para registrar en el tiempo señales de Emisión Acústica. La unidad consta de un sensor AE, preamplificador, filtro, amplificador principal, detector de umbral, conversor analógico/digital y microprocesador cuyo diagrama en bloques puede

verse en la figura 5. El sistema VN525, figura 6, es un equipo de los denominados “basados en parámetros” [4] ya que el registro de las emisiones se basa en sus parámetros, Hits, Máximo, Counts, Energía en términos de MARSE, tiempo de detección y variables analógicas asociadas al ensayo.

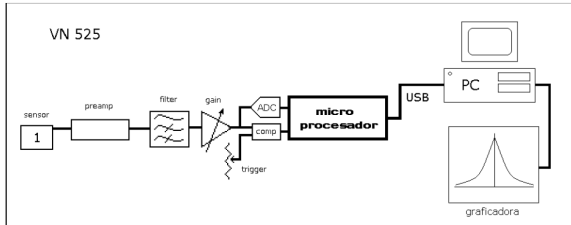


Figura 5. Diagrama en bloques del sistema VN525

La unidad VN525 se comunica con una PC o Laptop por medio de una conexión USB. Un software a medida de las necesidades del usuario, figura 7, controla el equipo y registra en el disco duro de la PC toda la información durante la medición.



Figura 6. Unidad VN525

Posee hasta 2 entradas analógicas para registrar magnitudes físicas durante la medición. Estas magnitudes en general son la presión, fuerza de tracción o compresión, desplazamiento, fuerza de flexión, etc, que excita la probeta bajo prueba. Con este registro de magnitudes físicas se pueden correlacionar las emisiones con el esfuerzo.



Figura 7. La aplicación para Windows **VNCapture** que controla la unidad VN525

El sistema permite visualizar la envolvente de la señal de AE, conocida como MARSE, lo que facilita la calibración del sistema para optimizar la medición frente al ruido.

Su software de postproceso permite graficar los parámetros de la señal de AE en función del tiempo. Tales parámetros son Hits, Máximo, MARSE, Counts y las entradas analógicas y sus acumulados.

El sistema puede registrar hasta 40 emisiones por segundo en una PC con procesador de un solo núcleo, lo que permitiría usarlo para pequeños recipientes y aplicar el código ASME Section V Title 12 [4].

### 3.2. El sistema VN525 en laboratorio

El sistema puede realizar una variedad de ensayos de laboratorio. Desde ensayo de tracción y flexión de materiales compuestos, fig. 2 y 4, como ensayos de flexión “four points bending” para análisis de propiedades superficiales, ensayos de compresión de hormigón, cerámicos, de arranque de adhesivos y otros que el usuario deba realizar.

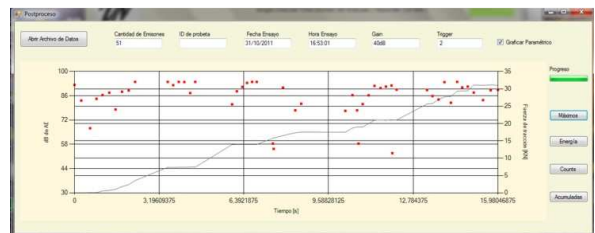


Figura 8. Material en ensayo de tracción. Los puntos rojos indican el parámetro “Máximo” de cada señal de AE. La línea gris representa la “Fuerza de tracción” muestreada durante cada emisión.

#### 4. REFERENCIAS

- [1] A. Izer, Stocchi A., Bárány T., Pettarin V., Bernal C., Czigány T. “*Effect of the consolidation degree on the fracture and failure behavior of self-reinforced polypropylene composites as assessed by acoustic emission*”. Polymer engineering and science. 2010.
- [2] E.S. Bernard, “Behaviour of round steel fibre reinforced concrete panels under point Loads”, Mater. Struct. (RILEM). 33, 2000, 181–188.
- [3] J H Kurz, S Köppel, L Linzer, B Schechinger, C U Grosse, ‘Acoustic Emission Testing’, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 42, 2008.
- [4] The American Society of Mechanical Engineers, ‘ASME Boilers and Pressure Vessels Code’, Sección V, Artículo 12, párrafo T1244.3.3, 2007