

DIAGNOSTICO GLOBAL DE FALLAS EN VIGAS DE ALUMINIO USANDO NIVELES DE PRESIÓN SONORA

**Adriana Zapico^{a,b}, Leonardo Molisani^c, Ronald O'Brien^c, Juan Carlos del Real^d,
Yolanda Ballesteros^d y Nicolás Ponso^c**

^a*Dpto de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nacional 36 Km. 601, X5800BYA, Río Cuarto, Argentina, adrianazapico@gmail.com*

^b*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) Avda. Rivadavia 1917, CP C1033AAJ, Ciudad de Buenos Aires, Argentina*

^c*Grupo de Acústica y Vibraciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto Ruta Nacional 36 Km. 601, X5800BYA, Río Cuarto, Argentina*

^d*Universidad Pontificia Comillas de Madrid, Alberto Aguilera, 23, 28015 Madrid, España*

Palabras Clave: Redes Neuronales, Nivel de Presión Sonora, Diagnostico de Fallas

Resumen. El uso de medios acústicos para diagnosticar fallas data de la antigüedad, dado que con un golpe en la estructura se podía detectar por su sonido si la pieza era defectuosa. En un trabajo previo hemos mostrado como es posible realizar diagnostico global no destructivo de fallas en vigas de aleación de aluminio EN AW 7075 clasificando con una red neuronal las Funciones de Respuesta en Frecuencia obtenidas con de un ensayo de vibración. En ese trabajo las fallas están simuladas mediante la unión de dos vigas de aluminio que están pegadas con epoxi, donde la superficie que se solapa está totalmente adherida para simular la viga en perfectas condiciones o está solo parcialmente adherida con un 25%, 50% o un 75% para simular diferente tamaño de daño. Los resultados fueron altamente positivos con una red neuronal backpropagation que clasifica según el tamaño de daño. El problema es que la metodología de Funciones de Respuesta en Frecuencia requiere para sus mediciones sensores que tienen un aporte significativo en el peso de la estructura a ensayar. Las mediciones se realizaron a través del uso de un soporte universal de cuerdas y un sensor de presión de tipo micrófono para medir los niveles de presión sonora y clasificar las vigas según el tamaño del daño usando una red neuronal cuya entrada serán valores de niveles de presión sonora para un rango de frecuencias determinado. Con esta metodología se elimina la influencia del aporte del peso del sensor en la estructura y de esa forma se evita modificar la dinámica de la estructura a medir para diagnosticar posibles fallas.

1 INTRODUCCION

Desde la antigüedad se ha utilizado la acústica para diagnosticar fallas en objetos, ya que los objetos al ser golpeados y estar dañados producen diferentes sonidos que son detectables por el oído humano. Los métodos convencionales de diagnósticos de fallas en general no son globales, es decir requieren numerosas mediciones en pequeñas secciones, incrementando la dificultad y el costo de las mediciones y por ende del diagnóstico de fallas. En este trabajo utilizaremos diagnóstico global no destructivo de fallas, con lo cual a través de una única evaluación global de la estructura es posible establecer el nivel de daño de las vigas adheridas.

En un trabajo previo, (Zapico, Molisani et al. 2011) una técnica de Análisis Modal para establecer las Funciones de Respuesta en Frecuencia (FRF) fue utilizada para determinar el tipo de falla que tienen las vigas de aluminio. Las FRF caracterizan unívocamente la dinámica de la estructura si es sujeta a pequeñas deformaciones. Una selección adecuada del rango de frecuencia es utilizado como entrada de una red neuronal de tres capas con conexiones hacia adelante (feedforward) entrenada con backpropagation a la Levenberg–Marquardt que clasifica las vigas según el tipo de daño. En la literatura existen otros trabajos (Zang y Imregun 2001; N Mohamad, Hafizawati et al. 2009; Zapico y Molisani 2009a; Zapico y Molisani 2009b; Zapico, Molisani et al. 2010) que clasifican daño utilizando FRF como entrada de una red neuronal para vigas de acero o vigas de material compuesto de fibra de vidrio o de fibra de carbono. En el trabajo de (Zapico, Molisani et al. 2011), la red es eficiente en su clasificación, el problema con esta metodología es que se aporta masa a la estructura y modifica la dinámica de la misma y por ende las FRF obtenidas. En este trabajo nos proponemos obtener una metodología alternativa cuyas mediciones no sean influenciadas por el efecto de masa agregada de los sensores y que pueda ser utilizada, una vez desarrollada, en lugares de difícil acceso. Para desarrollar la técnica recurriremos inicialmente a un equipo de medición de Niveles de Presión Sonora y un Soporte Universal de Cuerdas (ver Figura 1) con un software que realice el tratamiento de datos y un micrófono como sensor. En este esfuerzo se utilizan los niveles de Presión sonora en lugar de las FRF para clasificar las vigas según su tamaño de daño.

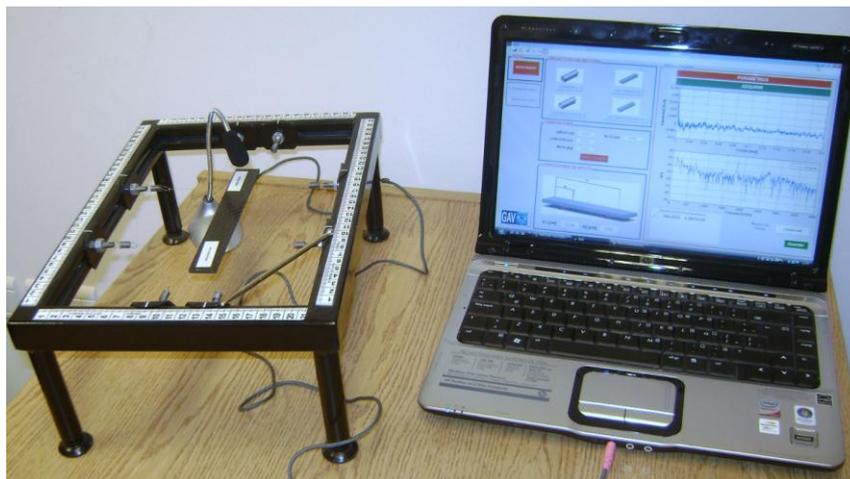


Figura 1: Soporte universal de cuerdas y sistema para medir la presión sonora.

Las vigas ensayadas son de aleación de aluminio EN AW 7075 adheridas en su superficie de solapamiento con epoxi. Las fallas se simulan experimentalmente en la unión de las dos vigas de aluminio. Dicha unión adherida se realiza con pegamento tipo epoxi y la superficie de la unión que se solapa está totalmente adherida para simular la viga en perfectas condiciones o esta sólo parcialmente adherida con un 25%, 50% o un 75% de su superficie para simular

diferente tipo de daño (ver Figura 2).

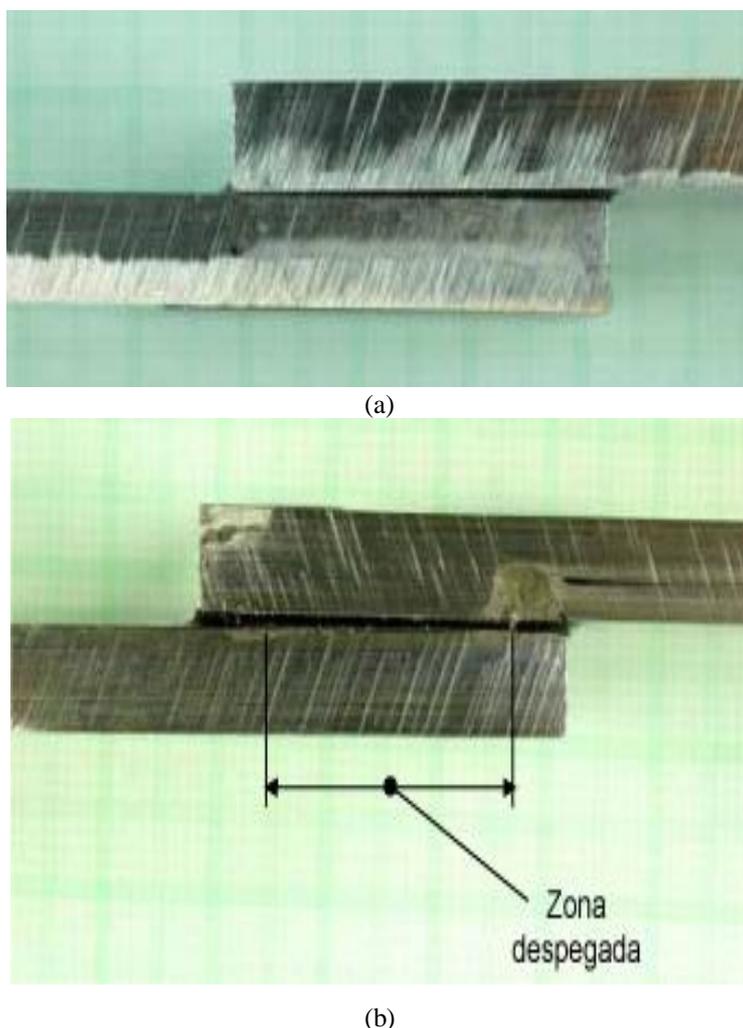


Figura 2 : (a) Viga con 100% de adherencia, (b) Viga con 25% de superficie adherida.

Las vigas tienen una dimensión de 225 mm de largo, 25 mm de ancho y 6 mm de espesor. El área de solapamiento donde se lleva a cabo la unión de las vigas tiene 30 mm de longitud y 25 mm de ancho, el espesor del pegamento es de 0.5 mm (ver Figura 3). La condición de apoyo para realizar los ensayos de las vigas es libre-libre. Este tipo de apoyo permite evitar la interacción propia de la viga con la dinámica del área de contacto con el entorno o apoyo. Entre los efectos adversos del área de contacto o apoyo se encuentra el bloqueo de modos de vibrar de la estructura, lo cual fue evitado mediante el uso de un soporte universal de cuerdas.

En la próxima Sección introduciremos los conceptos básicos de niveles de presión sonora, mientras que en la Sección 3 se presentará la red neuronal que se utiliza para clasificar los daños de las vigas teniendo en cuenta los niveles de presión sonora. Finalmente en Sección 4, resumiremos algunas conclusiones.

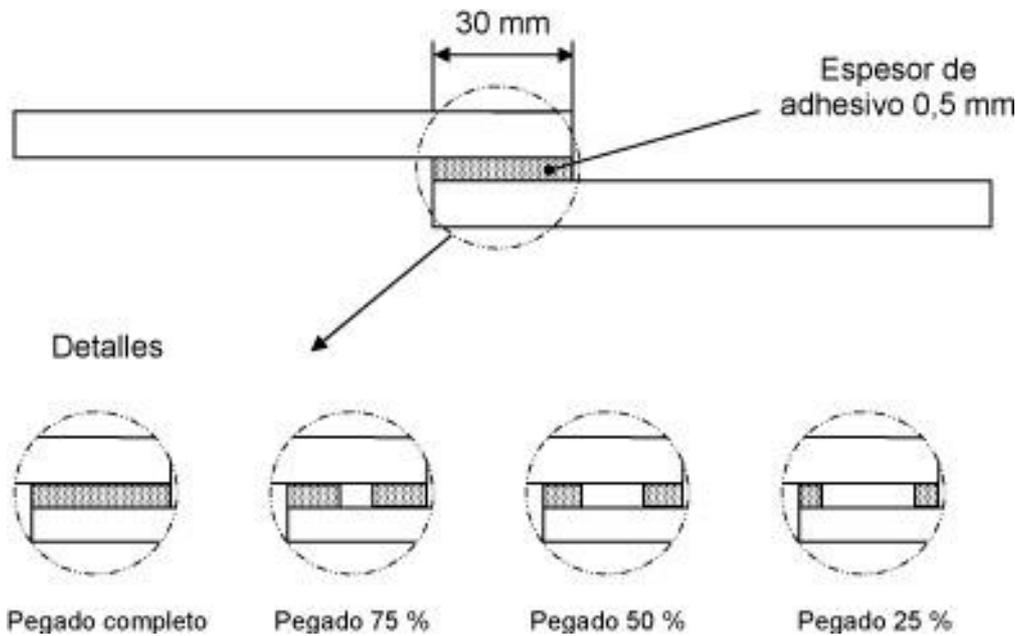


Figura 3 : Esquema de las vigas de aluminio EN AW 7075 total y parcialmente adheridas con epoxi.

2 NIVELES DE PRESION SONORA: INTRODUCCION

Durante el proceso de adquisición, la señal acústica proveniente de la estructura radiante es captada por un micrófono y a partir de esta se determina el nivel de presión sonora, el cual es definido por:

$$L_p = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{P_{rms}^2}{P_{ref}^2} \right) \quad (1)$$

Siendo P_{rms} la raíz cuadrática media de la presión acústica y P_{ref} la presión de referencia de $20 \mu Pa$ definida como la mínima variación de presión acústica que distingue el oído humano. La carga aplicada a la estructura es de tipo impulsiva y puntual, siendo de estas características para minimizar la influencia del entorno sobre la estructura.

Debido a que no se cuenta con la posibilidad de medir la intensidad del golpe impulsivo no es posible obtener unicidad en los diferentes ensayos medidos. Entonces fue necesario que los datos se normalizaran con respecto al valor máximo obtenido en una medición sobre la viga sana. La forma de normalización es mostrada en la ecuación (2)

$$\bar{L}_p^{(i)}(\omega) = \frac{L_p^{(i)}(\omega)}{\max_{\omega} [\bar{L}_p^{(1)}(\omega)]} \quad (2)$$

En la Figura 4 se observa como las frecuencias de los modos de vibrar se encuentran modificadas teniendo en cuenta la presencia de daño y tamaño de la falla. Así las curvas azules representan la viga completamente pegada y las líneas verdes representan la viga con la menor porcentaje de superficie pegada. Siendo las curvas rojas y cian tamaños de falla intermedios.

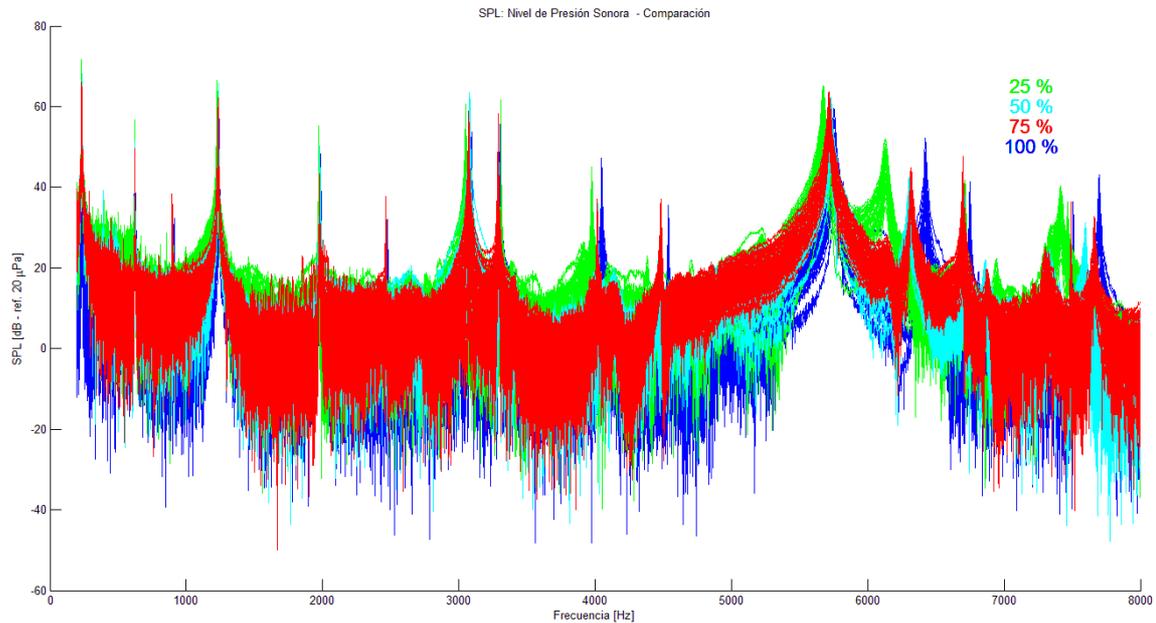


Figura 4 : Nivel de Presión Sonora L_p .

Se puede observar en la Figura 4 que en el intervalo de frecuencias entre 3000Hz y 7000Hz son notables las variaciones de niveles de presión sonora asociados a los cambios en la dinámica de la estructura debido al daño que tengan. Es por ello que se seleccionó este rango de frecuencias como el intervalo en que se centrará el análisis de la red neuronal.

3 UNA RED NEURONAL COMO CLASIFICADOR DE NIVELES DE PRESION SONORA

Se utilizan Redes Neuronales en distintos aspectos dentro del campo de uniones adhesivas. Por ejemplo, son utilizadas para predecir la capacidad de tensión adhesiva o para recuperar las constantes elásticas (Sakla y Ashour 2005). También son capaces de predecir la capacidad máxima de flexión de tubos circulares de acero con un alto grado de precisión (Shahin y Elchalakan 2008).

En este trabajo las Redes Neuronales fueron utilizadas como un método de estimación de fallas globales analizando datos acústicos. Las fallas en la unión adhesiva se simulan mediante diferentes porcentajes de superficie adherida, así se consideran el 25%, el 50%, el 75 % de adhesión para simular fallas y el 100% para simular la unión de la viga totalmente adherida o sana.

Los niveles de presión sonora L_p emitidos por las vigas bajo una carga impulsiva son ligeramente alterados cuando se introducen fallas en las vigas, como se menciona en la sección anterior. Luego una selección de los niveles de presión sonora fue utilizada como entrada de la red neuronal supervisada. Al ser la red supervisada se la proveerá de ejemplos de entrenamiento donde no solo se encuentran las entradas sino también los objetivos. Se realizó una red de tres capas feedforward entrenada con backpropagation a la Levenberg–Marquardt. Las funciones de transferencia utilizadas en la red neuronal son la sigmoidea y la lineal que ayudan a garantizar la continuidad y diferenciabilidad de la función de error.

La estructura de la red es de 400-8-2 neuronas en sus distintas capas. La entrada de las neuronas es una selección (con un paso de 10 Hz) de las líneas espectrales de las curvas de

nivel de presión sonora en el rango de frecuencia entre 3000 y 7000 Hz. En la capa de salida la red tiene dos neuronas, de las cuales una es utilizada para clasificar según estén dañadas o totalmente pegadas y la otra, en caso de haber establecido que hay daño, determina el tamaño de la superficie adherida. La red converge (en un promedio de 10 épocas) con un error medio promedio (MSE) del 1%.

4 CONCLUSIONES

Se ha obtenido una red neuronal feedforward que clasifica las vigas de aluminio pegadas según el porcentaje de superficie de adherencia en la unión. El procedimiento fue establecido con éxito. La técnica solo requiere de un micrófono como sensor de presión y de un soporte universal de cuerdas con su correspondiente software de adquisición de la señal acústica. Con el sistema utilizado se eliminó el efecto de masa agregada en las vigas, ya que no es necesario montar sensores en las vigas adheridas que aporten peso adicional. Se corrigió el problema de falta de unicidad en la obtención de los resultados de los ensayos mediante una normalización de la presión acústica. La red neuronal es efectiva en los casos considerados en este trabajo ya que tiene un error del orden del 1%.

La metodología presentada en este esfuerzo permite realizar un diagnóstico global de la unión adherida con ahorro de tiempo de ensayo. Es importante destacar que esta metodología apunta a ser implementada en un sistema de monitoreo en tiempo real, permitiendo así evitar accidentes y reducir considerablemente el costo de ensayos no destructivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento brindado por la Secretaria de Ciencia y Técnica de la UNRC a través del programa PPI 2009-2011.

REFERENCIAS

- N Mohamad, Hafizawati, et al.. "Artificial Neural Network for the Classification of Steel Hollow pipe". *International Conference on Applications and Design in Mechanical Engineering*, Penang, Malasya, 2009.
- Sakla, S. S. S. y A. F. Ashour. "Prediction of tensile capacity of single adhesive anchors using neural networks." *Computers and Structures* **83**(21-22): 1792-1803, 2005.
- Shahin, M. y M. Elchalakan . "Neural networks for modelling ultimate pure bending of steel circular tubes." *Journal of Constructional Steel Research* **64**(6): 624-633, 2008.
- Zang, C. y M. Imregun . "Structural damage detection using artificial neural networks and measured frf data reduced by principal component projection." *Journal of Sound and Vibration* **24**(5): 813-827, 2001.
- Zapico, A. y L. Molisani . "Fault Diagnosis on steel structures using artificial neural networks." *Mecánica Computacional XXVIII*: 181-188, 2009a.
- Zapico, A. y L. Molisani . Uso de Redes Neuronales para la detección de fallas en vigas de Acero, *II Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Ind.*, Rosario, 2009b.
- Zapico, A., L. Molisani, et al. . Determinación No Destructiva de Fallas en Materiales Compuestos Utilizando Redes Neuronales. *XI Congreso de Adhesión y Adhesivos*, Madrid, 2010.
- Zapico, A., L. Molisani, et al. . "Global Fault Detection Using Artificial Intelligence." *Journal of Adhesion Science and Technology* **in press.**, 2011.