



## **ANÁLISIS DE LA EMISIÓN ACÚSTICA EN PERFORADO DE MATERIALES GEOLOGICOS CON DIFERENTE GRANULOMETRIA**

**Guido Ferrari** <sup>(1)\*</sup>, **Angel Basgall** <sup>(1)</sup>, **Martín P. Gómez** <sup>(1,2)</sup>

- (1) *Laboratorio de Emisión Acústica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, San Martín 1163, Campana, Buenos Aires*
- (2) *Departamento ICES, GAIyANN, CAC, Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Gral. Paz 1499, San Martín, 1650, Argentina*

\* Correo Electrónico (autor de contacto): [guicferrari@gmail.com](mailto:guicferrari@gmail.com)

---

En el presente trabajo se aplica la técnica de Emisión Acústica como herramienta de análisis del proceso de corte en materiales geológicos realizado con una máquina perforadora de mediana escala. La generación de las ondas elásticas durante el corte es dependiente del material cortado y de las características mecánicas del proceso, entre otras cosas. El monitoreo de las ondas elásticas en el rango del ultrasonido permitió extraer información y clasificar los dos diferentes tipos de materiales geológicos perforados. Para esto, se entrenó una red neuronal tipo Kohonen que pudo clasificar rápidamente y con bajo error la información obtenida en los ensayos.

---

La Emisión Acústica (EA) es un método de ensayos no destructivos que se basa en la liberación de ondas elásticas que se originan en un material al sufrir algún tipo de sollicitación. Se utiliza típicamente para el control de recipientes, tanques y tuberías a presión, tanques de almacenamiento a presión atmosférica. También para el monitoreo de la estabilidad y salud estructural de estructuras civiles metálicas y de hormigón (p.ej. puentes). Adicionalmente existen trabajos donde se manifiesta la gran potencialidad de la técnica para la evaluación del desarrollo de diferentes procesos dinámicos tales como la fricción, la propagación de fisuras en metales, materiales compuestos y rocas; y procesos de deformación plástica. También la EA se ha utilizado desde la década del 70 en el análisis de procesos de maquinado, por ejemplo analizando la condición de herramientas en procesos metalmecánicos, ya que la variación de la geometría de la herramienta debido al desgaste, produce una modificación en la dinámica del proceso que permite clasificar y reconocer diferentes estados de la herramienta. [1-4].

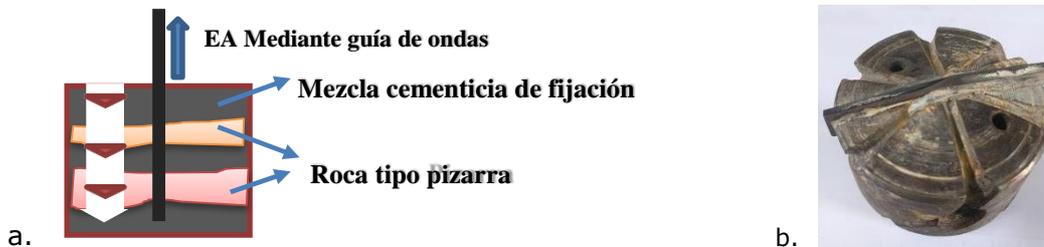
En los procesos de perforación petrolera, gas y minería extractiva, la herramienta se encuentra fuera del alcance del operador, y el control del proceso de taladrado se realiza de manera indirecta analizando variables como la fuerza de empuje, el torque, las rpm y la tasa de penetración entre otros factores para determinar la eficiencia del proceso. Adicionalmente debe realizarse la corrección de estas variables respecto a la información sísmica brindada por un perfil estratigráfico de la zona y el análisis de los fragmentos cortados en pie de pozo, ya que diferentes capas de roca (con desiguales propiedades mecánicas) deben ser perforadas con diferentes configuraciones mecánicas para obtener el menor costo por metro de profundidad taladrado [5].

La selección de una óptima condición de operación para el caso de una herramienta y una litología específicas implica mucho conocimiento empírico del proceso, así como la utilización de metodología de prueba para verificar los resultados. Debido a lo anterior, continuamente se están generando modelos de perforación cuyo objetivo es el de simular configuraciones óptimas de proceso [6].

En el presente trabajo se propone la utilización de la EA como técnica o herramienta adicional de análisis que potencialmente puede mejorar la toma de decisión a la hora de establecer los parámetros de perforación. En los ensayos de perforación a mediana escala, realizados en nuestros laboratorios sobre probetas de hormigón y roca, se ha podido establecer una relación

entre la emisión acústica proveniente del proceso de perforación en estos dos sustratos. Posteriormente mediante la utilización de una Red Neuronal (RN) tipo Kohonen se pudieron clasificar los tipos de sustratos perforados únicamente ingresando valores paramétricos de la EA.

Las probetas de material geológico consistieron en paralelepípedos rectangulares con dimensiones de 320 mm en dos lados iguales y 400 mm de alto. Dentro de la probeta se dispusieron horizontalmente dos placas de roca inmersas en un cementicio que actuó como unión. Las placas eran de una roca metamorfofísica, comercialmente llamada pizarra, de unos 12 mm de espesor (**Fig. 1a**), que luego fue cementada con una mezcla de arena, cemento y cal en proporciones 3/0.8/0.2, simulando otra roca de diferente composición y tamaño de grano. Estas probetas fueron curadas durante un mínimo de 35 a 40 días antes de ser ensayadas.

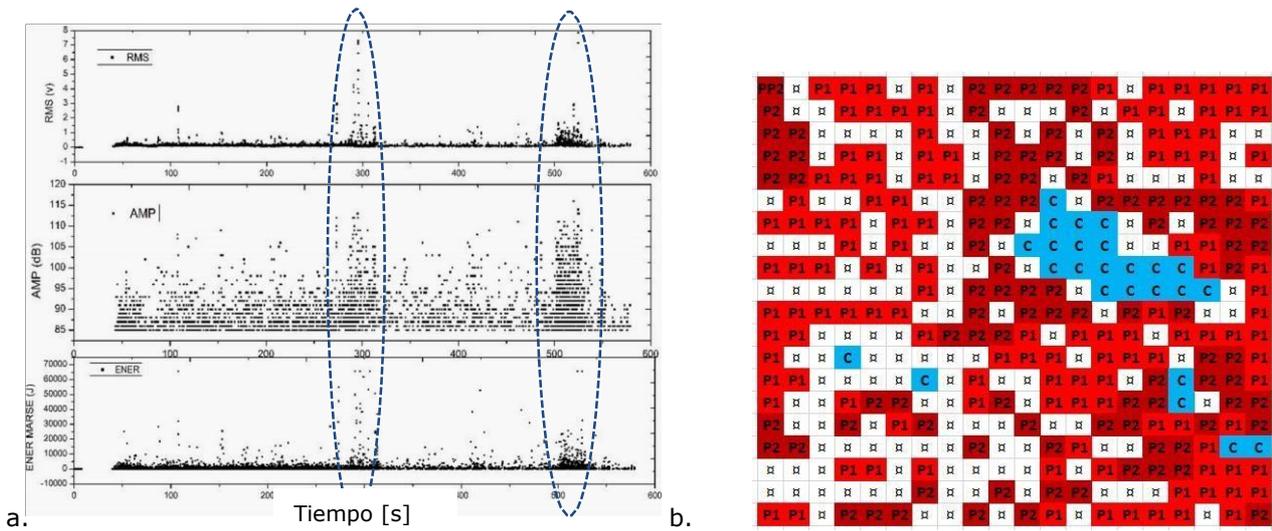


**Figura 1:** (a).Detalle de la colocación de las placas de rocas, mezcla cementicia y guía de ondas de EA. (b) Broca de perforación de dos filos e inyección de agua.

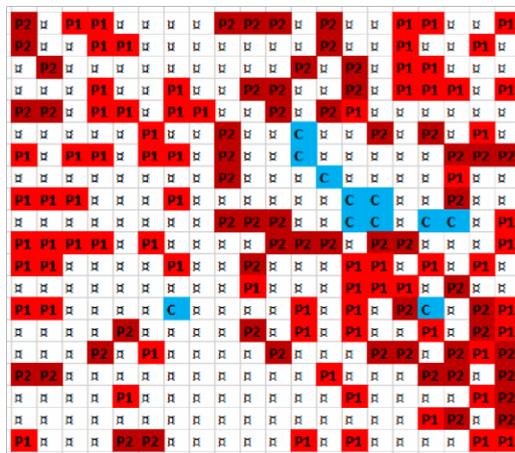
La máquina utilizada para taladrar tiene 4 HP de potencia y 20 rpm de velocidad de giro a la salida de la caja de reducción. Cuenta con avance hidráulico (hasta 6000 kgf), sistema de medición de la fuerza de empuje, e inyección de agua para refrigeración y extracción de material cortado. La broca utilizada tiene 60 mm de diámetro con un inserto de carburo de tungsteno con dos filos de corte, con ángulo de ataque y de punta de 0° y 168° respectivamente (**Fig. 1b**). La duración de cada ensayo fue de aproximadamente 10 minutos. El equipo de EA utilizado para el monitoreo es de marca Physical Acoustic Corp. (PAC) modelo DISP-4 de cuatro canales con posibilidad de grabar forma de onda y calcular los parámetros de las mismas. Los sensores piezoeléctricos son marca PAC modelo WD (banda ancha) con una pre amplificación de 20 dB y un ancho de banda de 100 kHz a 800 kHz. Para cada ensayo se obtuvieron las formas de onda y parámetros característicos de EA tales como amplitud máxima de la señal, duración, rise time, cuentas, energía MARSE, frecuencia promedio y RMS, entre otros.

La arquitectura de la RN Kohonen creada consta de 400 neuronas dispuestas en forma de grilla plana de 20 x 20 neuronas, con una cantidad de 4 vecinos por neurona y una función topológica de ajuste de vecindad tipo gaussiana. El criterio de neurona ganadora se definió como *“la entrada más parecida al peso de una neurona, resulta como ganadora”*, con ajuste de pesos por datos y por época y con una duración de entrenamiento de 400 épocas. El error de mezclado y de norma alcanzados en la etapa de entrenamiento fue del 5.9 % y 0.09 respectivamente. La red fue alimentada con un vector dato (VD) multiparamétrico de cinco componentes. [Amplitud, Energía MARSE, RMS, rise time, Frecuencia promedio]. La cantidad de vectores datos utilizada fue de 400 para el entrenamiento y 196 para la predicción. Estos VD fueron seleccionados gráficamente respecto de las señales de EA pertenecientes a la perforación de las dos rocas de pizarra (513 VD) y al material cementicio (83 VD).

Los resultados mostrados en la **Fig. 2a** resumen algunos de los parámetros analizados donde se observa un aumento del RMS, de la amplitud y de la energía de la señal en función del tiempo cuando la broca atraviesa el material de pizarra. Los parámetros de EA pudieron ser correlacionados temporalmente con la posición de la broca ya que se conoce la posición de los sustratos taladrados y la profundidad de la broca a medida que perfora. Se observa también un aumento de la tasa de emisión cuando la broca realiza un cambio de sustrato. El mapa de entrenamiento Kohonen (**Fig. 2b**) realizado muestra una buena separación de las señales del material cementicio (C) respecto del material de pizarra (P1 y P2). Adicionalmente la red tuvo la capacidad de diferenciar las señales provenientes de las dos rocas del mismo material (P1 y P2). En la **Fig. 3** se observa el resultado del lote de simulación el cual contiene datos que nunca fueron procesados por la red hasta el momento de la simulación. Estos fueron clasificados con un error de mezclado y de norma inferior al 5% y 0.04 respectivamente, donde se respetan las zonas topológicas delimitadas por las neuronas que clasifican los datos de las señales C respecto de las P1 y P2. También se observa la formación de sub clusters entre P1 y P2 a pesar de ser el mismo material.



**Figura 2** (a) Valores de los parámetros RMS, rise time y energía MARSE para las rocas de pizarra y material cementicio respecto del tiempo [s]. (b) Resultado de mapa de entrenamiento (400 VD).



**Figura 3:** Mapa de simulación realizado con los datos del lote de predicción (196 VD).

Los resultados indican que la EA tiene la capacidad de proveer información útil para distinguir diferentes materiales geológicos, en esta escala de ensayo, mediante la variación de amplitud y energía de la señal. Estas variaciones posiblemente estén asociadas con la energía necesaria para realizar el corte en cada material, la cual depende en principio de la composición y morfología del material. Con la información paramétrica de la EA, la cual es económica respecto a su manejo y procesamiento, se logró entrenar una RN que mostro capacidad de clasificar la información perteneciente a cada tipo de material por separado.

**Agradecimientos:** A la empresa CARSOL S.R.L y su director Domingo Enrique Vidal.

**Referencias**

[1] R. Teti, K. Jemielniak, G. O'Donnell and D. Dornfeld, "Advanced monitoring of machining operations", CIRP Annals-Manufacturing Technology, 59 (2010) 717-739.  
 [2] K. Jemielniak, O. Otman, "Tool failure detection based on analysis of acoustic emission signals", Journal of Materials Processing Technology, 76 (1998) 192-197.  
 [3] B. Mascaró, et al. "Acoustic Emission of the drilling of carbon/Epoxy composites", Forum Acusticum 2005 Budapest (2005) 2823-2827.  
 [4] S. Ravishankar, C. Murthy, "Characteristics of AE signals obtained during drilling composite laminates", NDT&E International, 33 (2000) 341-348.  
 [5] A. Bourgoyne Jr., K. Millheim, M. Chenevert, F. Young Jr., "Applied Drilling Engineering", Society of petroleum Engineers, Richardson, TX, 1991.  
 [6] E. Poletto, F. Miranda, "Seismic While Drilling – Fundamentals of Drill-Bit Seismic for Exploration", Handbook of geophysical exploration – Seismic Exploration, Vol.35, Klaus Helbig and Sven Treitel Editors, 2004, Elsevier.