

Evaluación de fracturas en rocas a partir de la Detección de Emisión Acústica

Fracture in rocks evaluation from the detection of Acoustic Emission

Presentación: 4 y 5 de Octubre de 2022

Doctoranda:

Alejandra Vesga-Ramírez

International Center for Earth Sciences (ICES) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) & Grupo de Emisión Acústica, Facultad Regional Delta, Universidad Tecnológica Nacional-Argentina
mvesga@frd.utn.edu.ar

Director:

Martín Gómez

Codirector:

Emilio Camilión

Resumen

Los eventos de emisión acústica (EA) también denominada microsísmica de alta frecuencia son generados en la roca por la formación de fisuras sometidas a alta tensión mecánica. Éste fenómeno ha proporcionado la base de un método que permite detectar áreas de micro fisuras y de macro fisuración o zonas de alto estrés en rocas sin conocer las propiedades mecánicas o el estado de esfuerzos. Esta tesis apunta a desarrollar una metodología de análisis de datos que combine el estudio de los parámetros clásicos de EA, la localización de fuentes emisoras de ondas elásticas y el análisis de las señales detectadas en tiempo y frecuencia para evaluar la severidad del daño (fracturamiento) de rocas en laboratorio. Este método generalizable tendrá aplicaciones para el monitoreo de fracturas en macizos rocosos bajo diferentes esfuerzos tal como ocurre en túneles en montañas bajo la acción de sollicitaciones sísmicas, en las paredes de roca de los pozos de perforación petrolera sometidos a cambios en la carga por inyección de fluidos o en volcanes donde la roca está sometida a la presión del sistema magmático. En este trabajo se presentan los avances relacionados a la adquisición de las señales recibidas de EA en un ensayo de compresión uniaxial de roca sometida cerca de la rotura. Se muestran los diferentes parámetros adquiridos por el equipo de EA durante el ensayo y se determinaron cuáles son los más representativos para evaluar el fracturamiento de la muestra.

Palabras clave: Emisión Acústica, fractura de rocas, Compresión

Abstract

Acoustic emission (AE) events, also called high-frequency microseismic events, are generated in rocks by the formation of cracks under high mechanical stresses. This phenomenon has provided the basis for a method to detect areas of microcracks and macrocracks or high stress zones in rocks without knowing the

mechanical properties or stress state. This thesis aims to develop a data analysis methodology that combines the study of classical AE parameters, the localization of elastic wave emitting sources and the analysis of the detected signals in time and frequency to assess the severity of damage (fracturing) of rocks in the laboratory. This generalizable method will have applications for fracture monitoring in rock masses under stress, such as in mountain tunnels under the action of seismic stresses, in the rock walls of oil drilling wells subjected to load changes by fluid injection or in volcanoes where the rock is subjected to the pressure of the magmatic system. In this work we present the advances related to the acquisition of the signals received from AE in a uniaxial compression test of rock subjected in proximity to rupture. The different parameters acquired by the AE equipment during the test are shown and it is determined which are the most representative to evaluate the fracturing of the sample.

Keywords: Acoustic Emission, rock fracturing, Compression

Introducción

La Emisión Acústica (EA) es un fenómeno en el cual, a expensas de una sollicitación, un material libera energía en forma de ondas elásticas. Estas ondas son producidas por un mecanismo, denominado fuente de EA, activado al recibir alguna clase de energía. De esta manera, al inducir inestabilidades dentro de un material, por ejemplo, mediante una carga mecánica, pueden ocurrir efectos como la reactivación de fracturas/fallas, propagación de fracturas y nucleación de microfracturas. El estudio y detección de EA en condiciones controladas de laboratorio ha permitido comprender la nucleación, crecimiento y predicción del daño en diversos materiales y rocas (Ono et al., 2014; Wang et al., 2021). Trabajos recientes también muestran cómo se ha empleado la detección de EA en la investigación de fracturas causadas como resultado de los cambios de presión de poro y la inyección de fluido (Benson et al., 2020; Zhao et al., 2022).

Este estudio tiene como objetivo investigar las características mecánicas y las propiedades de Emisión Acústica (EA) bajo condiciones de carga variable en ensayos de compresión de rocas. Las rocas circundantes de macizos rocosos bajo tensión tales como túneles en montañas, paredes de roca en pozos de perforación petrolera o en volcanes están generalmente sometidas a diferentes condiciones de esfuerzos, entre estos de compresión. Por tanto, estudiar las propiedades de rotura de las rocas bajo diferentes condiciones de esfuerzos es de gran importancia para comprender los mecanismos de fractura y realizar predicciones de fallos en rocas sometidas a compresión.

Desarrollo

Se utilizó un sistema de carga mecánica y un sistema de adquisición de datos EA. El sistema de carga es una máquina de ensayos de compresión uniaxial con capacidad de carga máxima de 40 tnF. Además, la máquina tiene dos modos de control, de desplazamiento y de fuerza, que pueden utilizarse para ensayos mecánicos con diversos fines de investigación.

Para la adquisición de las señales de EA se utilizaron dos equipos, uno marca Applied Seismology Consulting con cuatro sensores tipo VS150-M de Vallen System. Su respuesta de frecuencia se caracteriza por un pico a 150 kHz donde exhibe una resonancia. El segundo equipo marca PAC con dos canales fue utilizado para el monitoreo de los parámetros de EA durante la carga. Las señales de EA fueron amplificadas con un amplificador de 40dB, filtradas por un filtro pasa bajo de 20kHz y un filtro pasa alto de 1MHz. Una frecuencia de 5000 muestras por segundo fue usada. El umbral de detección fue fijado en un valor de 42 dB basado en el ruido ambiental. Los parámetros de la señal digital y los datos se almacenaron continuamente en el buffer y luego se transmitieron al ordenador para su posterior procesamiento. El diagrama esquemático y las fotos del equipo del sistema de adquisición se ilustran en la figura 1.

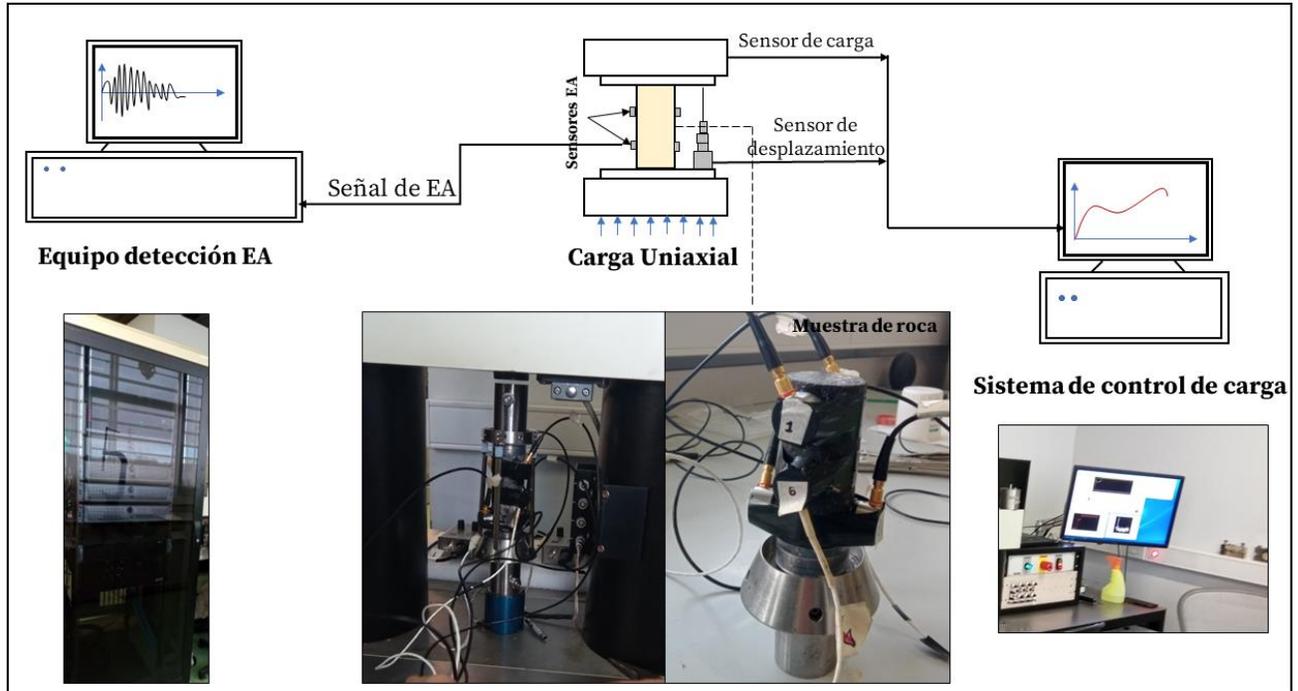


Figura 1. Diseño experimental para la adquisición de señales de Emisión Acústica durante el ensayo de rotura de roca controlado por carga uniaxial

Resultados

Para la adquisición de los datos se utilizó una PC con el software AEWIn. Entre los parámetros extraídos de los eventos de EA se registraron: amplitud, RMS, energía, cuentas, rise time, frecuencia media, duración, entre otros, ver figura 2.

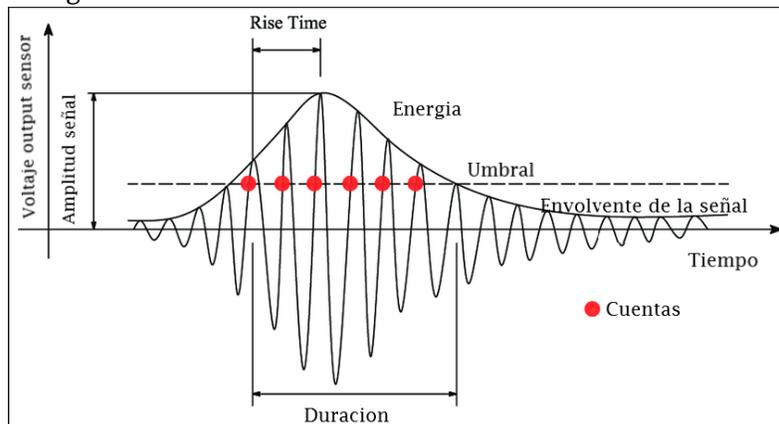


Figura 2. Parámetros típicos asociados a la señal transitoria de EA. Modificado de (Jiao, 2020)

A continuación, el análisis post-procesamiento de los parámetros más representativos de EA que mostraron variabilidad a medida que se acerca la rotura de la roca en el ensayo.

Amplitud

Este parámetro se refiere al valor máximo valor de amplitud de la señal de EA para cada hit. Se representa en dB. En la figura 3 se observan las amplitudes registradas en cada sensor para cada evento de EA detectado. El momento de la rotura de la probeta o de la propagación inestable de la fisura se da en coincidencia con la máxima fuerza aplicada. Al superponer en el gráfico de la curva de aplicación de la Fuerza sobre la probeta se observa cómo el valor de la amplitud de los hits de EA va aumentando correlacionado con el aumento de la fuerza, y así mismo se observa como disminuye la cantidad de hits registrados de EA cuando la fuerza se mantiene constante, ver figura 3.

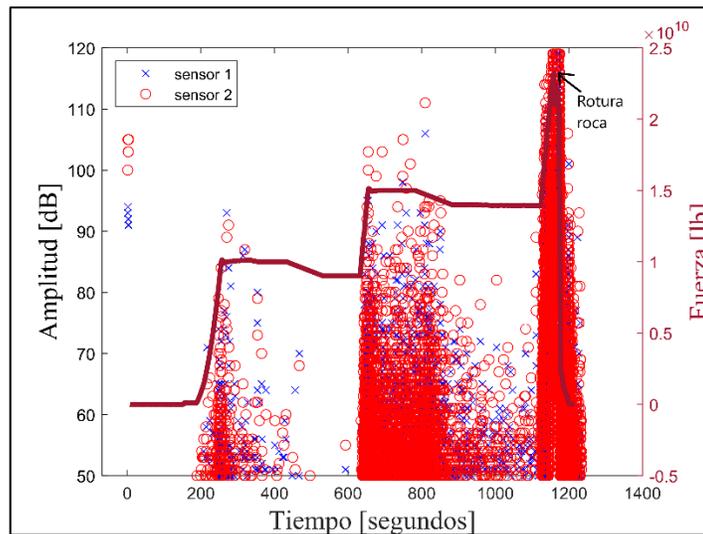


Figura 3. Fuerza aplicada sobre la roca (línea roja) y amplitud de los hits de EA (marcador azul y rojo) registrados en el ensayo en función del tiempo.

Hits acumulados vs Tiempo

El tiempo de ocurrencia ('hit time') se refiere al tiempo en el cual se considera que comienza un evento de EA. Esto ocurre cuando la señal de cada hit supera por primera vez el umbral. En la figura 4 se muestran los hits acumulados (la suma acumulada de los hits a lo largo del tiempo) de los dos canales de adquisición. Se observa su relación en función de la fuerza aplicada. Los hits acumulados no muestran con tanto detalle los momentos de avance de las fisuras, pero si la forma exponencial creciente de la curva entre los 1000 y los 1100 segundos sería un indicio de un fenómeno de daño incremental sobre el material hasta su fase final entre los 1100 y los 1200 segundos.

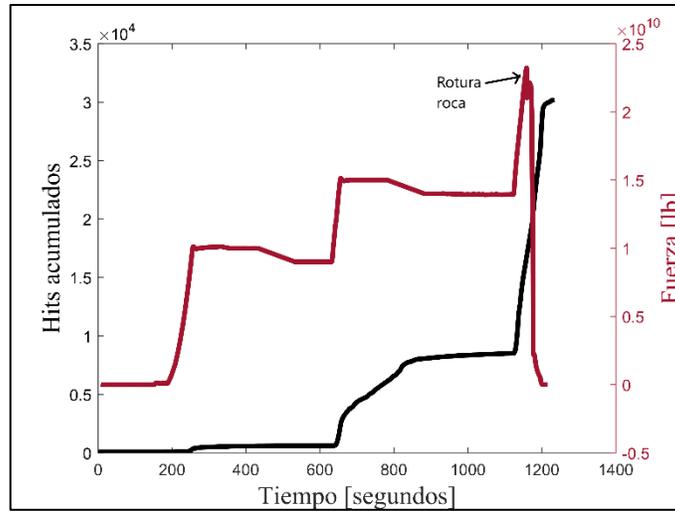


Figura 4. Hits acumulados en función del tiempo

Cuentas

El parámetro número de cuentas se refiere al número de veces que la amplitud de una señal excede un cierto umbral de voltaje predefinido para cada hit de EA. En la figura 5 de la izquierda se observa el número de cuentas registrados para cada canal de EA en función del tiempo de ensayo. En la figura 5 derecha se muestra la cantidad de cuentas acumuladas, superpuesta a la curva de fuerza aplicada durante el ensayo. A partir de aproximadamente los 600 segundos las cuentas acumuladas de EA muestran un incremento en forma de escalones, compatibles, según estudios de EA en la literatura, con la aparición y crecimiento de fisuras dentro de la probeta de roca. Luego aproximadamente a los 1100 segundos donde se produce el mayor salto en las cuentas acumuladas correspondiéndose a la rotura final y coincidente con la máxima fuerza aplicada a la roca.

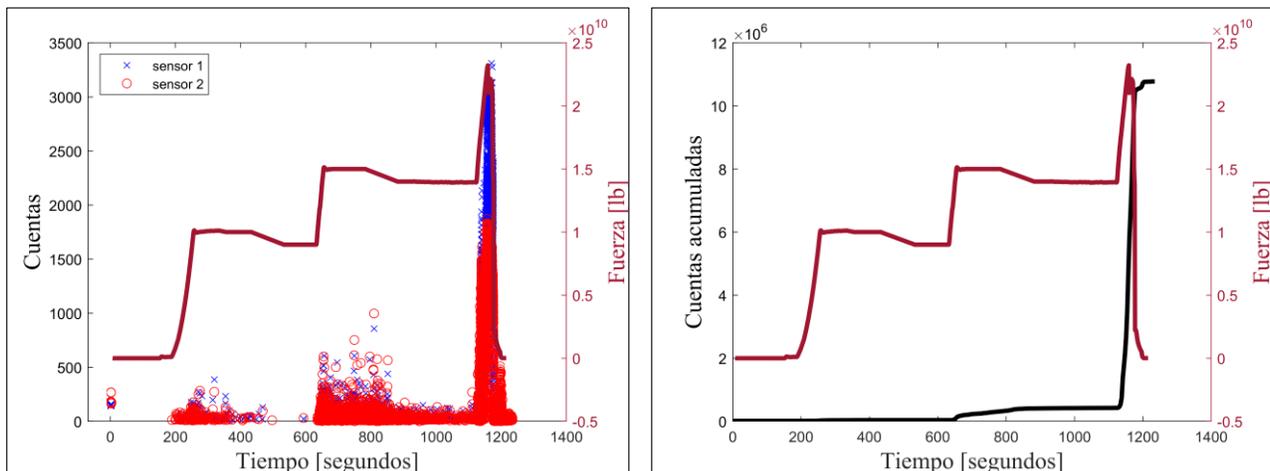


Figura 5. A la izquierda las cuentas registradas por cada sensor en función del tiempo. A la derecha las cuentas acumuladas de los dos sensores. La línea roja representa la curva de fuerza aplicada en el ensayo

Energía

Este parámetro se define como el área bajo la envolvente de la señal de EA. En la figura 6 se observa como la Energía acumulada aumenta notoriamente al final del ensayo cuando se produce la fractura de la

probeta. La figura muestra como la Energía acumulada aumenta cerca del límite de la Fuerza máxima aplicada. Se observa también que si bien, en este caso, este parámetro es sensible a los procesos de deterioro gradual, lo es en menor grado que las cuentas acumuladas.

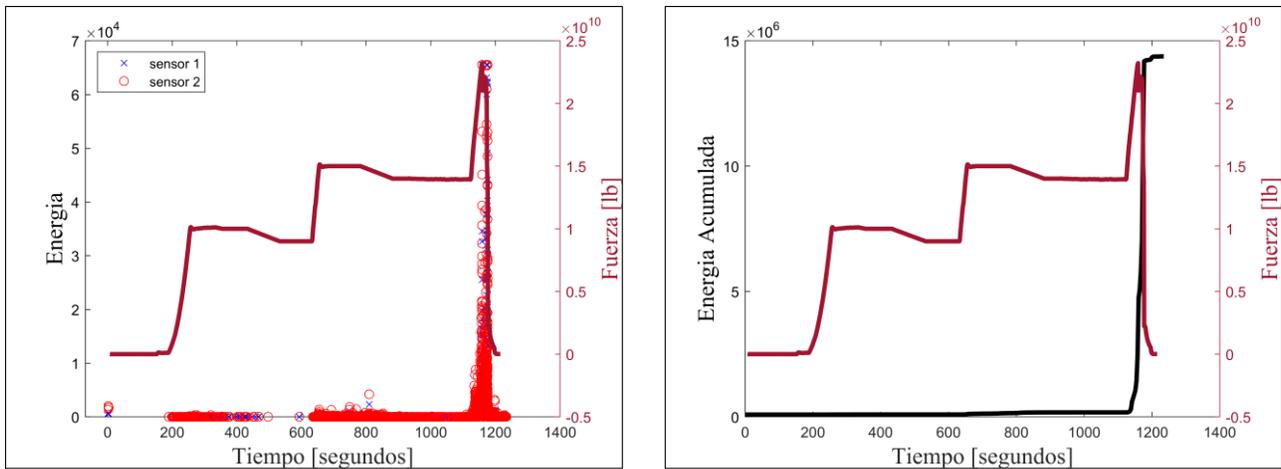


Figura 6. A la izquierda la energía recibida por los dos canales en función del tiempo y a la derecha la energía acumulada por todos los sensores en función del tiempo.

Conclusiones

Considerando el número de hits acumulados de EA y su vinculación con la curva de Fuerza aplicada, ambos en función del tiempo, se puede observar un incremento de la emisión tanto en la tasa como en la energía que podría ser indicio de un proceso de deterioro creciente de la probeta a partir de los 620 s, el cual también es posible que esté vinculado con la microfisuración de la roca, y el avance de estas fisuras posiblemente indicado por un incremento en forma de escalones de la cantidad de cuentas acumuladas de la EA, hasta llegar al máximo escalón coincidente con la rotura final catastrófica. También se observa una disminución de la tasa de eventos de EA cuando la fuerza permanece constante. Las cuentas acumuladas mostraron para este caso ser posiblemente mejores indicadores que la energía acumulada del daño intermedio que se va produciendo por el incremento de la compresión sobre la roca.

Referencias

Benson, P. M., Austria, D. C., Gehne, S., Butcher, E., Harnett, C. E., Fazio, M., ... & Tomas, R. (2020). Laboratory simulations of fluid-induced seismicity, hydraulic fracture, and fluid flow. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 24, 100169.

Ono, K. (2014). *Acoustic Emission. Handbook of Acoustics*. Springer, New York, NY, 1209-1229).

Jiao, Y., Zhang, Y., Shan, W., Han, Q., Zhao, Y., & Liu, S. (2020). Damage fracture characterization of reinforced concrete beam subjected to four-point bending with parametric analysis of static, dynamic, and acoustic properties. *Structural Health Monitoring*, 19(4), 1202-1218.

Wang, T., Wang, L., Xue, F., & Xue, M. (2021). Identification of crack development in granite under triaxial compression based on the acoustic emission signal. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 17(1), 1550147720986116.

Zhao, X., Huang, B., Chen, B., & Hou, M. (2022). Experimental Investigation of the Effect of Evenly Distributed Pore Pressure on Rock Damage. *Lithosphere*, 2021(Special 4), 1759146.