

LA FRECUENCIA ESQUINA EN MICROSÍSMICA DE PROBETAS

L. Gaete Garretón¹, Y. Vargas Hernández¹, J. Sáez Garcés¹

¹ Laboratorio de Ultrasonidos, Departamento de Física, Facultad de Ciencia, Universidad de Santiago de Chile
Av. Ecuador 3493, Santiago 917-0124, Chile, luis.gaete@usach.cl

Resumen

En éste trabajo se presenta un estudio de las variables sísmicas aplicadas al estudio de las emisiones acústicas de una probeta de laboratorio sometida a un proceso de fractura.

Aparece evidencia de la existencia de la llamada frecuencia esquina pero no se confirma su posible utilidad a la evaluación del área de una grieta producida en la muestra. Se encuentra otras similitudes entre las técnicas sísmicas y los ensayos de laboratorio y se propone un método para estimar la longitud de una grieta producida en la muestra mediante el análisis de las señales que provienen de ésta.

Palabras-clave: frecuencia esquina, microsísmica, emisión acústica.

Abstract

In this paper an application of seismic theory to laboratory experiments of acoustic emission in laboratory probes it is presented. Evidence of corner frequency apparition it is shown. Other similitudes between the seismic and laboratory signal were found, the signal treatment theory allows the interpretation of obtained signals and suggest the power of seismic theory to calculate the crack size in a laboratory induced fault in brittle samples.

Keywords: corner frequency, micro seismic, acoustic emission

PACS no. 43.40La. 91.60Ba

1 Introducción

El Laboratorio de Ultrasonidos de la Universidad de Santiago de Chile realiza desde hace algún tiempo estudios conducentes a emplear las técnicas sísmicas en estudios de naturaleza micro-sísmica. Los experimentos que se realizan en probetas de laboratorio han presentado prometedores resultados iniciales [1] por lo que se ha continuado trabajando en la materia.

Con el sistema experimental que se muestra en la Figura 1, se ha realizado experimentos de laboratorio. En los experimentos de laboratorio se ha instrumentalizado diversas muestras sólidas especialmente construidas para que sean especialmente homogéneas y regulares. Las muestras se han fracturado comprimiéndolas en prensas hidráulicas especialmente preparadas para este trabajo. Para tener un mejor control de las variables del problema se ha preparado las muestras produciéndoles una entalladura en un sitio conveniente para inducir en ella el inicio del proceso de fractura. Como la técnica que se presenta en éste trabajo es muy similar a la que se empleó en la referencia [1], daremos una breve introducción a esta para discutir a continuación los nuevos resultados de éste trabajo.

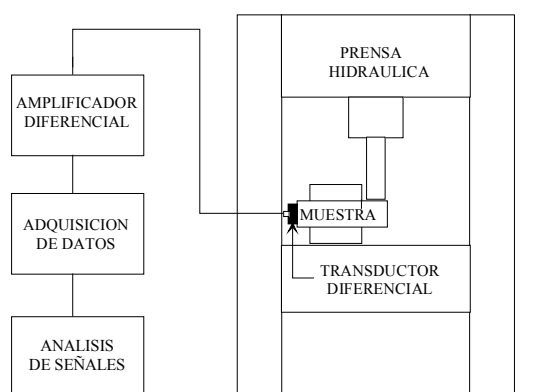


Figura 1 – Diagrama de bloques de sistema experimental para el estudio de EA en laboratorio.

Los experimentos iniciales permitieron obtener parámetros de fractura en términos de la teoría sísmica, en la Figura 2 se muestra una señal típica adquirida en un experimento de fractura de una probeta de concreto, el análisis de los datos adquiridos. Finalmente se muestra la forma en que se determina la frecuencia esquina.

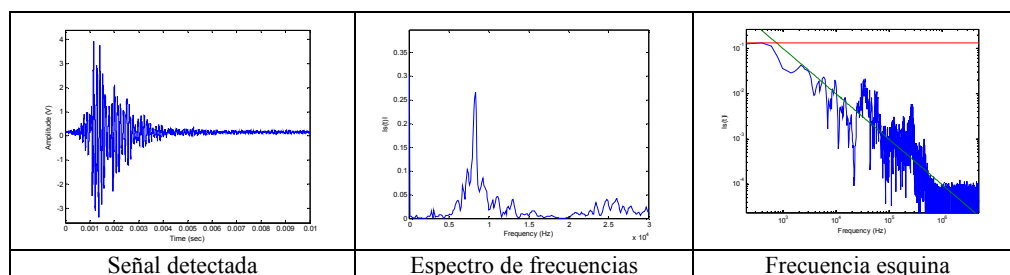


Figura 2 – Experimentos de detección de señales provenientes de probetas de laboratorio (concreto).

El análisis de los datos en un experimento como el que se está considerando es relativamente complejo. La frecuencia esquina aparece como el resultado de hacer una representación logarítmica del espectro de frecuencias de la señal detectada (Figura 2). La correlación entre el tamaño de la falla y la frecuencia esquina, proclamada por la teoría sísmica, es más bien compleja. Para aplicar ésta teoría a experimentos de laboratorio se hace necesario el ajuste de ciertos parámetros que no se obtienen directamente del experimento ni de la teoría, esto muestra que la técnica no está aun suficientemente madura como para ser aplicada directamente y sugiere la necesidad de continuar con la investigación para establecer la posibilidad de aplicación de esta valiosa herramienta a situaciones de laboratorio. Para realizar esta tarea se ha retomado el problema desde un punto de vista aún algo más básico que el inicial. A continuación se presentarán, como ilustración, algunas ideas de la teoría sísmica para intentar su aplicación a la situación en comento.

La mayoría de los sismos son generados por deslizamientos de placas terrestres contiguas. La fricción o roce generado por estos deslizamientos son las que provocan las ondas mecánicas que percibimos en la superficie terrestre. Esta fricción no se produce de forma simultánea en toda el área de la falla, comienza en un punto o zona y se propaga a través de la interfaz hasta cubrir todo el plano de fractura. Un modelo simple de terremoto, llamado el modelo de Haskell [2], supone que un sismo puede provenir de una falla rectangular en el que la fricción (ruptura) entre placas comienza en un extremo del área propagándose unidireccionalmente hasta el otro extremo a velocidad constante (Figura 3).

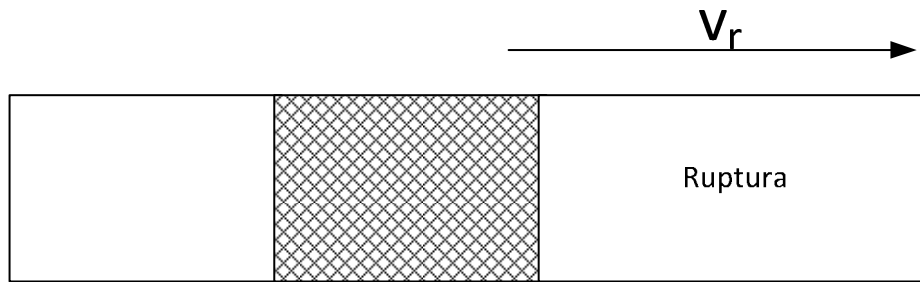


Figura 3 – Modelo de ruptura de Haskell: falla rectangular, zona de fricción y propagación de la ruptura unidireccional a velocidad constante.

Este modelo permite encontrar analíticamente, de forma simple el campo de desplazamientos generado por la ruptura. Para nuestro estudio, sólo nos interesa conocer la evolución temporal de las ondas sísmicas en el campo lejano, es decir, donde la amplitud de la señal cae como $1/r$, donde r es la distancia desde la zona de ruptura hasta la zona de observación. En el campo lejano la forma de onda, independientemente de la distancia y del ángulo de recepción, se mantiene constante.

En sismica se observa señales del tipo de las mostradas en la Figura 4. Las señales de desplazamiento obtenidas por integraciones sucesivas de las aceleraciones medidas por los instrumentos permiten una interpretación muy directa en términos de la teoría de señales:

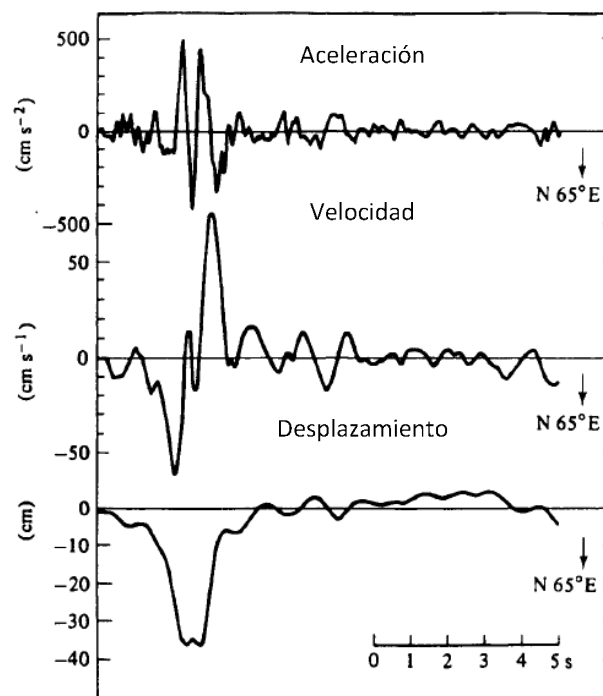


Figura 4 – Señales sísmicas reales (Aki, J. Geophys. Res 73 5359-5375, 1968)

El desplazamiento que se presenta como un trapezoide invertido, puede interpretarse como el producto de convolución de dos pulsos cuadrados asociados a dos tiempos característicos del sismo: el tiempo total de duración de la ruptura y el tiempo en que cada punto de la placa se desliza en relación a su punto opuesto (Figura 5) [3].

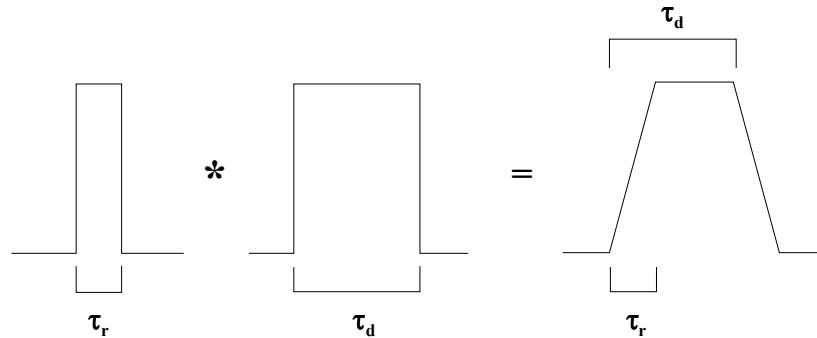


Figura 5 – Representación esquemática de una falla según Haskell.

Este tipo de señales sísmicas se ha observado en diversos terremotos (como el que se observa en la Figura 4) dando validez al modelo de Haskell. La factibilidad física de estas señales tipo caja se demuestra porque los desplazamientos en un movimiento sísmico toman un tiempo finito para alcanzar su valor final la forma en que el desplazamiento crece en el tiempo (rise time) es más o menos lineal y su derivada, es decir, la velocidad resulta una función aproximadamente tipo caja.

Nuestros experimentos de fractura tienen diferencias y similitudes con el modelo de ruptura sísmico de Haskell. Las diferencias radican en la naturaleza de las fuerzas involucradas en el proceso. Mientras que en un sismo se generan fuerzas tangenciales al plano de fractura provocando fricción en las placas, en el proceso de fractura las fuerzas son perpendiculares al plano y generan grietas. Sin embargo, en ambos procesos puede ocurrir que la propagación del fenómeno (fricción o grieta) ocurre en un plano rectangular de forma unidireccional (Modelo de Haskell).

Lo interesante de esto es que en la naturaleza de las fuerzas involucradas para este modelo, sólo influyen en los patrones de radiación de las ondas emitidas, pero no en la evolución temporal de las mismas. Esto significa que para ambos fenómenos, sismos y fractura (en este modelo particular) deberían observarse formas de ondas similares. A continuación mostraremos algunos resultados experimentales obtenidos durante la realización de esta investigación.

2 Desarrollo experimental

Para la realización de ésta investigación se construyó probetas de yeso rectangulares a las que se le practicó un entallamiento que facilita el proceso de fractura. Las fracturas se realizaron en una prensa de laboratorio equipada para tales efectos. Se midió la velocidad de propagación de las ondas P en la muestra obteniéndose un valor igual a 2323 m/s.

Las probetas de yeso son paralelepípedos de sección cuadrada cuyas dimensiones son arista 0.062 m y un largo de 0.2374 m. La entalladura ha sido puesta a 0.19 m del sensor. La fractura producida resultó de 0.025 m de ancho por 0.0474 m de largo.

En nuestros experimentos de fractura frágil se registraron las señales acústicas provocadas por éstas en probetas de laboratorio. El sistema fue preparado para que la fractura se produjera sobre un área rectangular y con propagación de grieta unidireccional. Las formas de ondas capturadas presentaron, en prácticamente todos los ensayos, los mismos patrones: una señal de alta frecuencia modulada por una de baja frecuencia (ver Figura 6).

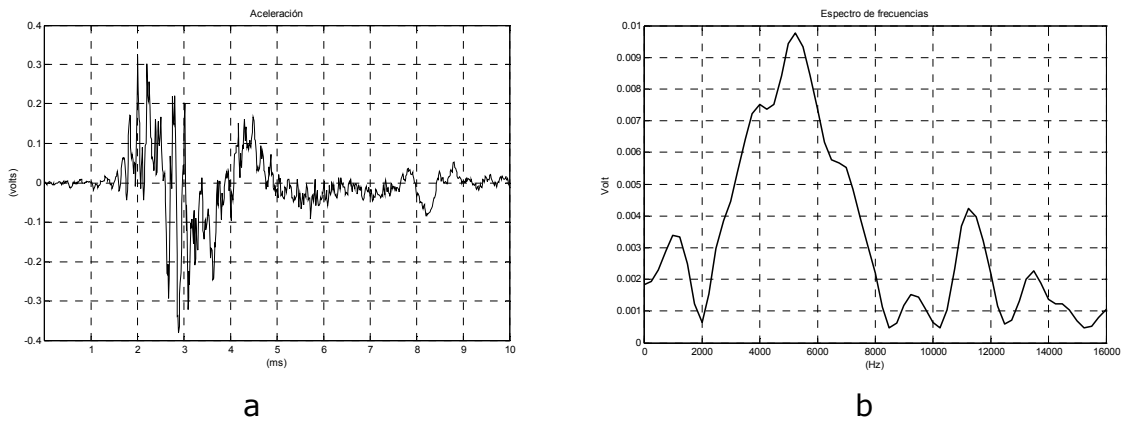


Figura 6 – (a) señal acústica detectada en el proceso de fractura, (b) Espectro de la señal.

Los máximos de altas frecuencias (5.2, 11.2 y 13.5 kHz) han sido identificados como los modos normales de la probeta, la señal de baja frecuencia (1kHz), ha sido identificada como proveniente de la propagación de la fractura.

En la Figura 7 (línea roja) se muestra una versión filtrada de la señal captada.

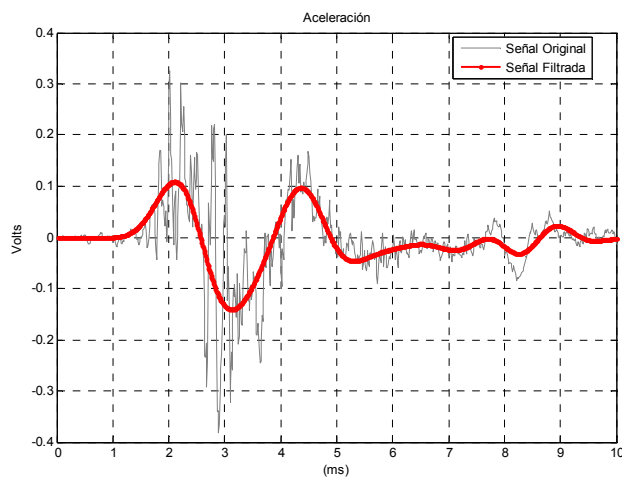


Figura 7 – Señal micro-sísmica con modos normales filtrados (curva roja).

Integrando la señal se ve que la evolución temporal del campo de desplazamiento (Figura 8) corresponde a un pulso muy similar al observado en señales sísmicas de rupturas que encajan con el modelo de Haskell, como el mostrado en la Figura 4.

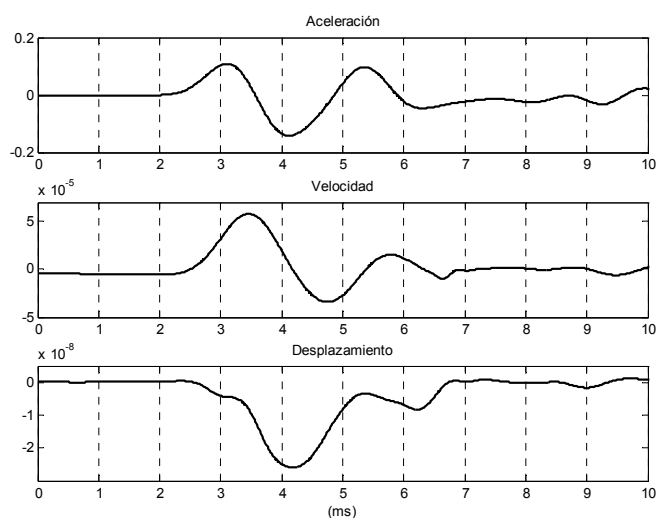


Figura 8 – Señal filtrada integrada dos veces.

3 Discusión

La duración del pulso en el campo de desplazamiento de la señal filtrada podría estar relacionada con el tiempo total de ruptura. Esto se deduce de que en el experimento, una parte de la probeta se desprende del cuerpo principal y las señales de alta frecuencia correspondientes al modo normal de esa parte de la muestra desaparecen junto al pulso de baja frecuencia. Por otra parte, las señales provenientes de los modos normales del sector de la probeta que se mantiene en la prensa continúan detectándose.

Para mejorar la interpretación de los resultados experimentales resulta extremadamente conveniente medir la duración y la velocidad de propagación de la fractura. Para esto hay propuestos diversos experimentos que se realizarán próximamente.

4 Conclusiones

La técnica de la frecuencia esquina continúa siendo una alternativa interesante para la evaluación de un proceso de fractura frágil, sin embargo, para evitar la necesidad de realizar ajustes a posteriori se requiere medir la velocidad de fractura.

Este nuevo enfoque sugiere que el tiempo de duración de un proceso de fractura se puede estimar directamente mediante un tratamiento de señales de las aceleraciones detectadas.

Conocidos los dos parámetros anteriores se podría determinar el tamaño de la grieta generada en el experimento de laboratorio.

Agradecimientos

Agradecemos al proyecto FONDEF D0911235 el soporte financiero para realizar investigación científica.

Referencias

- [1] L. Gaete-Garretón, Y. Vargas Hernández, and J. Sáez Garcés. Corner frequency in induced cracks in laboratory samples. *AIP Conf. Proc.* 1433, 39 (2012); doi: 10.1063/1.3703134.
- [2] Haskell, N. A. Total energy and energy spectra density of elastic waves from propagating faults. *Bull seismol. Soc. Am.* 54, 1968, pp. 1811-1841
- [3] Lay T. Wallace T. C. *Modern Global Seismology*, Academic Press, NY, 1995.