



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A031

Estudio de la emisión ecústica en el Cerro Blanco, San Juan, Argentina

Miguel Ángel Sabio Montero^(a),
Susana Isaacson^(b),
María Isabel López Pumarega^(c),
María Armeite^(c),
Gabriele Paparo^(d),
Giovanni Gregori^(e),
José E. Ruzzante^(c, f),
Martín Pedro Gómez^(c, g).

(a) Instituto de Materiales y Suelos, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina. E-mail: sabio@ims.unsj.edu.ar

(b) Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina. E-mail: sisaacs@fi.uba.ar

(c) Gerencia de Área Investigaciones y Aplicaciones No Nucleares, ICES (“International Centre for Earth Sciences”), Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina. E-mail: lopezpum@cnea.gov.ar; armeite@cnea.gov.ar; ruzzante@cnea.gov.ar; mpgomez@cnea.gov.ar

(d) Embajada de Italia, Buenos Aires, Argentina.

(e) ICES, Istituto di Acustica O. M. Corbino, Roma, Italia.

(f) Universidad Tecnológica Nacional, Regional Delta, Buenos Aires, Argentina.

Abstract

Acoustic Emission (AE) and sound have the same nature, they are elastic waves, but the AE has highest frequencies and it is not “audible”, it is an ultrasound. The analysis of data collected at the Cerro Blanco AE Station, San Juan, Argentina, is presented. The EA is produced by the change in the stress field on a rocky outcrop, showing us the status of this structure. Daily RMS values of AE signals are presented and related with local seismic information. Statistics Distributions of AE parameters and temporal evolution are studied. Results are discussing compared with previous papers.

Resumen

La Emisión Acústica (EA) tiene, la misma naturaleza que el sonido, ondas elásticas, pero a diferencia de éste, debido a su muy alta frecuencia, no pertenece al rango “audible”, sino que es un “ultrasonido”. Se presenta un análisis de los datos generados en la estación de EA instalada en el Cerro Blanco, San Juan, Argentina. La EA es generada por el cambio en el estado de tensiones de un afloramiento rocoso, revelando el estado en que se encuentra la estructura.. Se presentan: las variaciones diarias del valor RMS de las señales y su relación con los sismos detectados; la estadística de los distintos parámetros de las señales de EA y su evolución temporal. Se analizan los resultados sobre la base de trabajos ya publicados.

1 Introducción

1.1 Emisión Acústica

Cuando un material sufre algún tipo de sollicitación externa, las grietas o microfisuras existentes en él, pueden crecer, si así lo hacen, generan ondas elásticas, Emisión Acústica (EA), que viaja a través del sólido. Esta puede ser detectada por sensores piezoeléctricos distribuidos en la estructura, dando cuenta de la existencia y crecimiento de las fisuras. El estudio de la EA se inició como técnica de Ensayos No Destructivos, teniendo en la actualidad un amplio campo de aplicación en la industria Petroquímica y extendiéndose a otros campos como la minería y la geofísica. (Bernal M. T. y otros, 2000; Seto M. y otros, 2002; Ruzzante J. y otros, 2005, 2005; Carpinteri, A. y otros, 2007; Ruzzante, J. E. y otros Ed., 2008).

En el año 2003, el grupo de investigación argentino, en colaboración con colegas italianos, comenzó la instalación de la Primera Estación de EA en la Cordillera de los Andes, en el volcán Peteroa de la provincia de Mendoza, Argentina (Ruzzante, J. y otros, 2005). La Segunda Estación de EA se instaló en el Cerro Blanco (CB), San Juan, Argentina, en el año 2005 (Sabio Montero, M. A. y otros, 2008).

En este trabajo se presentan los primeros resultados obtenidos en esta Segunda Estación de EA en la Cordillera de Los Andes. La Estación se encuentra instalada en el CB, dentro de un pequeño habitáculo para albergar el equipamiento de EA. El equipo posee dos canales de EA, utilizando sensores sintonizados con frecuencias de resonancia de 25 kHz y 150 kHz respectivamente, colocados sobre sendas barras de vidrio de 60 cm aproximadamente, que actuando como guías de onda están sólidamente insertadas en el afloramiento rocoso (ver figuras 1 a), b) y c).

La propagación de fisuras habitualmente genera ondas discontinuas, tipo pulso o evento, que luego de un crecimiento rápido llega a un máximo para posteriormente decaer. La señal es amplificada y procesada electrónicamente. Teniendo en cuenta una tensión eléctrica de referencia, llamada “umbral”, se definen los siguiente parámetros que caracterizan a la señal de EA: Amplitud (A), Duración (D), Tiempo de Subida o “Rise Time” (RT) y Número de Cuentas o “Ring Down” (RD). También se determina el valor RMS (valor cuadrático medio de la señal) y el tiempo de ocurrencia o aparición de la señal (T). Cada 15 días aproximadamente, los datos son transferidos en forma manual, a otro dispositivo para su posterior análisis. Si bien el sistema de EA fue instalado en noviembre de 2006, no siempre se pudieron registrar los datos, ya que en varias ocasiones hubo necesidad de hacer ajustes en el sistema, se interrumpió la adquisición de datos por cortes en la tensión eléctrica, o por dificultades de funcionamiento de la PC que requirieron volver a configurar todo el sistema.

Es importante destacar que los datos aquí analizados corresponden a “escuchar” las variaciones en el campo de tensiones del CB, producidas por todas las fuerzas que actúan sobre las placas tectónicas de esa zona de la corteza terrestre.

1.1 Cerro Blanco

El CB se encuentra ubicado en la provincia de San Juan, concretamente en la depresión de Ullúm-Zonda, en el borde oriental de la Precordillera Andina, a la altura del río San Juan, a 31o30' latitud S y 68o 50' longitud O. Este cuerpo es un lacolito compuesto por dacitas y andesitas, correspondiente a un evento de vulcanismo mesosilícico (Leverato, M. A., 1968; 1976; Ahumada Cuello, M. N., 2004). En planta, el cuerpo del CB tiene forma elíptica con su eje mayor de 3000 m de longitud, orientado en dirección norte-sur. En el extremo sur tiene un ancho (afloramiento) de 800 m, engrosándose hacia el norte donde alcanza 2200 m; su profundidad es estimada en 2,4 km. En total la superficie expuesta es de 4,5 km². En conjunto

el CB es asimétrico, con una porción más elevada en su extremo occidental, 800 m por encima del nivel del río San Juan, disminuyendo la altura suavemente hacia el este.

El cuerpo principal del CB se puede interpretar como una serie de lacolitos superpuestos con techos convexos hacia arriba y conectados entre sí (canales de alimentación), dando la apariencia de “Árbol de Navidad”. La roca que constituye el CB, ha sido considerada por diversos autores, de composición dacita. El estudio de la roca no ha revelado la presencia de cuarzo. La clasificación de la roca como andesita debe ser aclarada por cuanto esta última, tiene un mayor contenido de feldespato potásico.

Existe bibliografía específica de trabajos sobre EA en andesita (Gaete, L. y otros, 2006; Ruzzante, J y otros, Ed., 2008). En estos trabajos la probeta, generalmente un cilindro extraído de la roca, es solicitada en laboratorio, por medio de una máquina de ensayos (generalmente bajo compresión uniaxial) para obtener la EA. Sin embargo, es importante destacar, que en el trabajo que aquí se presenta, la sollicitación es únicamente realizada por la estructura geológica que confina al CB. En este caso la probeta es el afloramiento rocoso y la “máquina de ensayos” es la corteza terrestre.

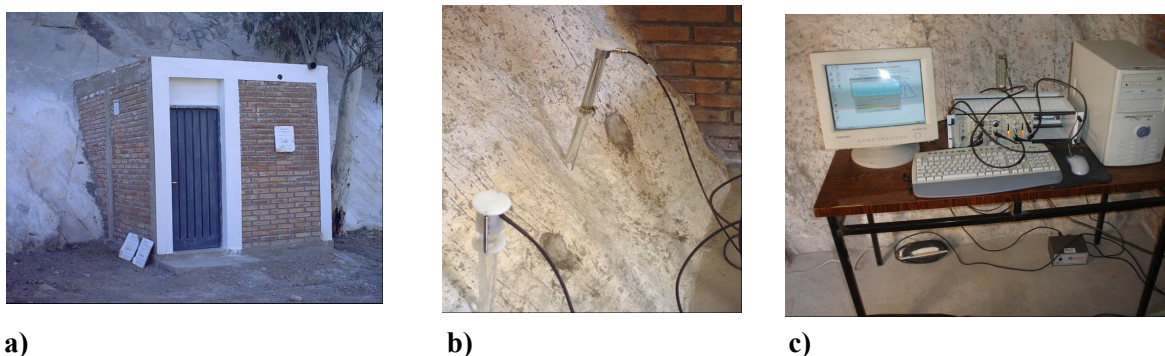


Figura 1. a) Recinto con el equipo de EA; b) Sensores instalados en la roca; c) Equipo de EA.

2 Resultados obtenidos

Si bien existen otras estaciones de EA en zonas sísmicamente activas de Italia (Poscolieri, M. y otros, 2006), los datos del CB son los primeros que permiten obtener los valores de los parámetros de las señales de EA (A, D, RT y RD). Se considera aquí el período del 1/02/07 al 24/04/07 y, dado que el tiempo de observación del comportamiento del CB y la EA registrada hasta el momento es relativamente corto, los resultados presentados son preliminares. Los datos de A, D y RT son sólo tomados en el canal 1 que es el de baja frecuencia de resonancia. Se presenta un primer análisis estadístico de los parámetros A, D, RT, RD y T en el período en que el valor RMS fue importante (Feller, W., 1968; 1971; Cramer, H. 1963).

2.1 RMS

Los datos de los valores RMS de EA son tomados cada 0,01 s, promediándose luego las 3000 muestras obtenidas, es decir, se registra un valor de RMS cada 30 s. Observando a simple vista la evolución de este valor, a lo largo de todos los días en los que se pudieron registrar los datos, se vio que en general el valor tenía pequeñas oscilaciones de muy baja amplitud, pero que en fechas cercanas al 8 de febrero de 2007, aumentaba considerablemente manteniéndose su actividad muy alta durante casi 15 días. Luego disminuía para volver a

aumentar entre el 7 y el 10 de marzo del mismo año. Analizando estas observaciones junto con la información suministrada por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES, acerca de todos los sismos que ocurren en la Argentina, se observó que el aumento del RMS de EA podría correlacionarse en forma anticipada, con la producción de alguno de los sismos con epicentro cercano al CB: a) dos sismos el mismo día 21/2/07, a las 21:34:7 h. y a las 22:15:44 h., con 3,9 y 4,7 de magnitud, a 9 km y 13 km de profundidad respectivamente; b) el 4/3/07 a las 23:26:52 h, con 4,2 de magnitud y a 110 km de profundidad y c) el 20/3/07 a las 14:59:45 h, con 4,8 de magnitud y a 147 km de profundidad.

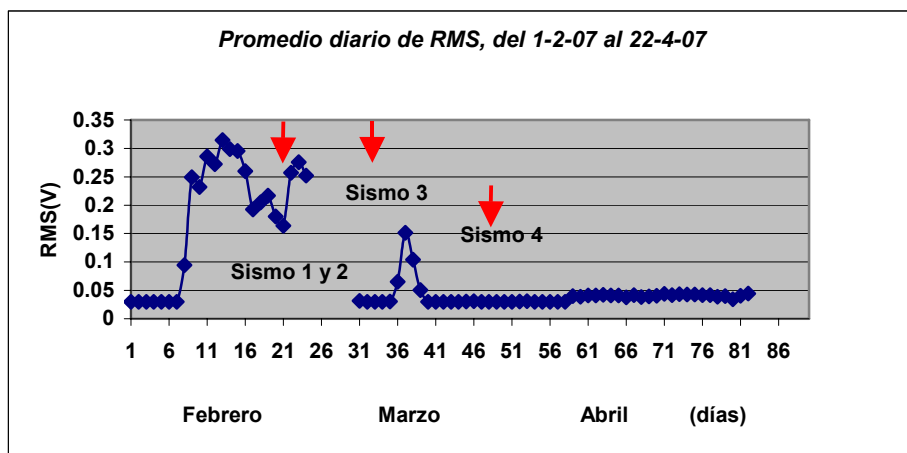


Figura 2. Promedio diario del valor RMS de EA y ocurrencia de los sismos.

Para poder representar en un mismo gráfico la evolución temporal del valor RMS de la EA, se decidió promediar las mediciones, obteniéndose sólo un punto por día, ya que aún así se podía ver claramente el incremento en la actividad de EA. En la figura 2 se observa la correspondencia entre el aumento previo del promedio diario del RMS y la ocurrencia de alguno de los sismos mencionados.

2.2 Correlación

Estudios de la correlación lineal entre los distintos parámetros arrojan los resultados que se observan en la tabla 1. En ella se percibe una regular correlación sólo entre la D y RD, como es lógico esperar. Sin embargo es muy pobre la correlación entre A y D, que en ensayos en metales es significativamente mayor (López Pumarega y otros, 2003).

Tabla 1. Correlación entre los diferentes parámetros

	T	RT	D	RD	A
T	1	-0,009	-0,002	0,003	0,060
RT	-0,009	1	0,277	0,343	0,519
D	-0,002	0,277	1	0,951	0,263
RD	0,003	0,343	0,951	1	0,321
A	0,060	0,519	0,263	0,321	1

2.3 Amplitud

Dado que en estudios anteriores (Erlenskaämper, 1979; López Pumarega, M. I. y otros, 1999; 2003) realizados sobre datos de EA en ensayos en metales, se obtuvo una distribución Log-Normal para la A, se analizaron los datos medidos mediante dicha distribución. En la figura 3 se muestra la comparación de la distribución de probabilidades de A obtenida de los datos correspondientes al período estudiado y la distribución Log-Normal. Se calculó el estadístico de Kolmogorov-Smirnov y se obtuvo un valor de $KS = 0,166$, lo que demuestra que no hay un buen ajuste, siendo similares los resultados para cada uno de los días de ese período.

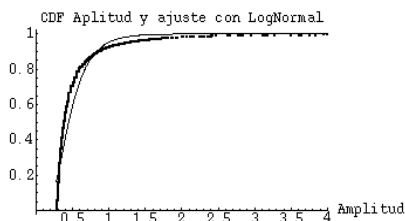


Figura 3. CDF Amplitud y Distribución Log-Normal (todos los datos).

2.4 Duración y Ring Down

Los datos de D y RD correspondientes al período analizado y a cada día por separado, fueron analizados con el “software” Matlab. Para D, los mejores ajustes se obtuvieron con las distribuciones Log-Normal y Gamma. En la figura 4 podemos observar el buen ajuste de la distribución de probabilidades de D con la Distribución Gamma para los datos correspondientes a febrero ($KS=0.037$).

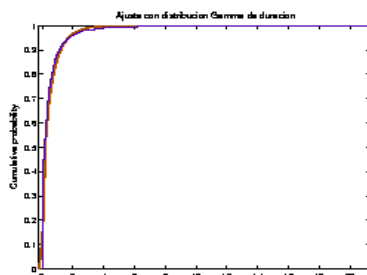


Figura 4: Distribución de probabilidades del parámetro D y ajuste con Distribución Gamma, febrero.

Para RD se obtuvo un excelente ajuste, mediante la distribución Binomial Negativa como lo muestra la figura 5 (febrero 2007, $KS=0.041$).

2.5 Rise Time

El estudio de este parámetro no permitió encontrar ninguna función de distribución de probabilidades que ajustara a los datos medidos.

2.6 Temporalidad

La figura 6 muestra los tiempos de aparición (T) de los sucesos (cada una de las señales de EA) para todo el período febrero 2007. Se observó que el patrón de arribos individual para cada uno de los días del total del período considerado, es muy similar al presentado.

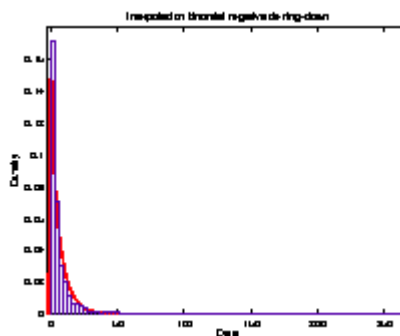


Figura 5. PDF (Función de Densidad de Probabilidad) para el RD y ajuste con Binomial Negativa (febrero 2007).

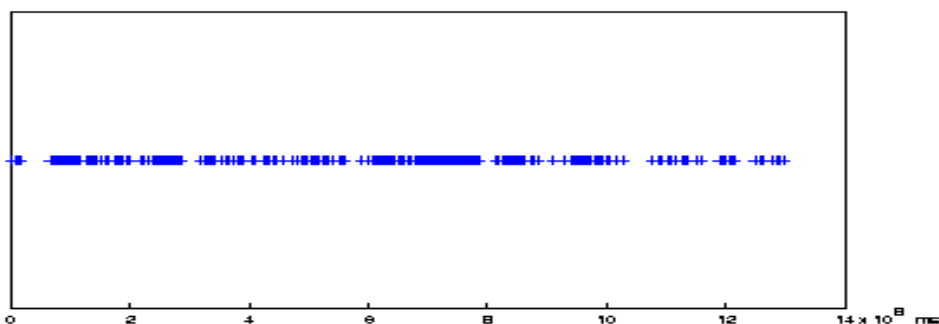


Figura 6. Tiempo de aparición de las señales (en ms, febrero 2007).

Siguiendo estudios previos sobre datos experimentales en metales (Erlenkämper, 1979; Armeite M. y otros, 1999; López Pumarega M. I. y otros, 2000), se analizó la posibilidad de que los datos de los tiempos de aparición correspondieran a una Distribución de Poisson. Cuando un patrón de arribos es de Poisson, se verifica que la diferencia entre tiempos de arribos consecutivos, está distribuida exponencialmente. El análisis se realizó de varias maneras como se indica a continuación.

a) Se calcularon las diferencias de tiempos de arribos consecutivos (ΔT) para datos correspondientes a los registros diarios y para el total de los datos del período considerado. Se construyó la función de distribución de probabilidades exponencial empírica y se comparó con la función de distribución teórica:

$$F(x) = (1 - e^{-\lambda x}), \text{ si } x > 0 \tag{2}$$

donde μ es la media del ΔT y $\lambda = 1/\mu$.

En la figura 7 se muestra gráficamente el resultado de la comparación considerando los datos correspondientes a febrero 2007, siendo el comportamiento similar para el caso de los datos diarios. Se calculó el estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS), obteniéndose: $KS=0,695$, lo cual sugiere que el ajuste no es bueno

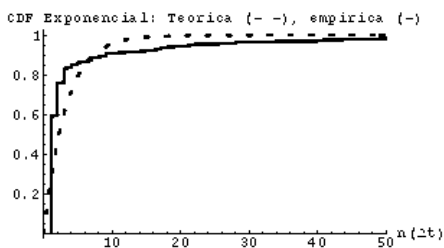


Figura 7. DCF (Función de Densidad) Exponencial Teórica (línea punteada) y Empírica (línea llena).

b) Se construyó una nueva serie a partir de la serie de los ΔT , contando la cantidad de sucesos consecutivos con ΔT dentro de un determinado intervalo de longitud fija y nuevamente se analizó la posibilidad de que correspondieran a una distribución exponencial. En la figura 8 se muestra el resultado de dicho análisis para un intervalo de 0,5 min considerando el total de los datos de febrero, siendo similar el comportamiento para diferentes intervalos y para los datos diarios.

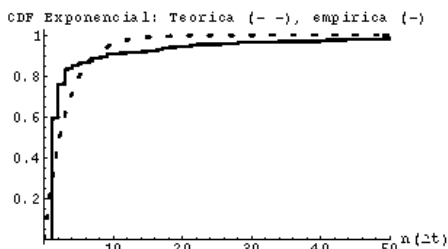


Figura 8. CDF Exponencial Teórica y Empírica del número de ΔT con longitud menor a 0,5 min.

En este caso se obtuvo $KS = 0,368$, que sugiere un ajuste no satisfactorio.

c) Se analizó la probabilidad de ocurrencia de “ n ” sucesos (cantidad de “tiempos de inicio” de las señales de EA), dentro de un intervalo de tiempo de longitud fija T_b , para diferentes longitudes. Los datos obtenidos con $T_b = 500$ s, se ajustaron utilizando Matlab y se obtuvo la mejor aproximación mediante la distribución Binomial Negativa. En la figura 9 se muestra el resultado de dicho ajuste a los datos correspondientes al día 11/02/2007 mediante la gráfica de PDF, obteniéndose resultados similares para los demás datos. Puede observarse que el ajuste es muy bueno.

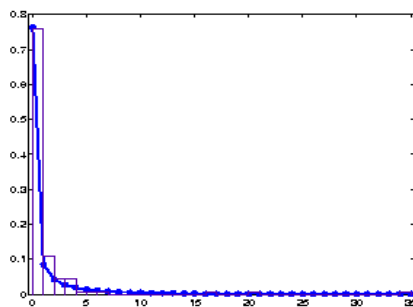


Figura 9. PDF de tiempos de inicio por intervalos y Binomial Negativa, ($T_b=500$ s, 11/02/2007).

d) Finalmente y teniendo en cuenta que según estudios previos, procesos estadísticos con eventos dependientes, son conocidos en sismología como procesos de Polya (Schneider, G., 1975; Erenkämper, S., 1979) se realizó un análisis de la distribución de los tiempos de inicio en intervalos de tiempo constantes, mediante la distribución de Polya:

$$P(n, \mu, b) = \frac{\mu^n}{n!(1 + b\mu)^{\frac{1}{b} + n}} \prod_{j=1}^{n-1} (1 + jb) \quad (3)$$

Donde μ es la media del número de eventos consecutivos, $m(n)$, dentro de cada intervalo de longitud fija T_b (cantidad de sucesos consecutivos en cada intervalo de observación).

El parámetro b es considerado como un “factor de contagio” y calculado teniendo en cuenta la media μ y la desviación estándar σ de $m(n)$.

Cuando se consideraron todos los datos de febrero, se obtuvo un excelente resultado como lo muestra la figura 10, siendo el error en la aproximación de 0,042.

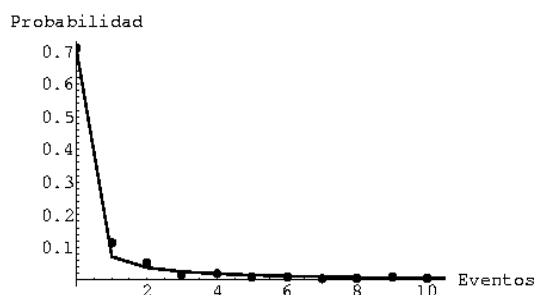


Figura 10: Distribución medida de $m(n)$ (puntos) y distribución de Polya (línea continua).

Sin embargo no fue posible hallar un factor de contagio b que ajustara razonablemente a todos los datos, incluso analizando los datos separadamente, el resultado obtenido no fue satisfactorio como lo muestra la figura 11 para los datos correspondientes al día 16/02/2007.

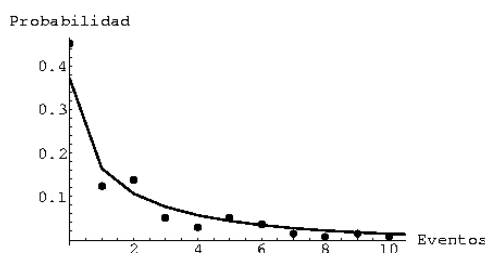


Figura 11. Distribución de $m(n)$ (puntos) y distribución de Polya (línea continua) (16/02/07).

3 Conclusiones

Se analizaron datos de los valores RMS de EA recogidos en el CB, en el período del 1/02/07 al 22/04/07. Por primera vez, para datos obtenidos en un afloramiento rocoso, se obtuvieron valores de los parámetros de las señales de EA, estudiándose sus estadísticas en el mismo período y en cada día por separado.

Para el RMS se observó que en general el valor tenía pequeñas oscilaciones de muy baja amplitud, pero que en fechas previas a algunos sismos próximos al CB aumentaba considerablemente manteniéndose su actividad alta durante varios días. Los resultados presentados son preliminares, dado que el tiempo de observación del comportamiento del CB y la EA registrada hasta el momento es relativamente corto.

Con respecto a la temporalidad de las señales de EA, se encontró buen ajuste con la Distribución de Polya, cuando se consideraron todos los datos del período estudiado; no así cuando se analizaron las mediciones diarias separadamente, dado que además de no lograr una relación coherente para el parámetro de contagio, en algunos casos el ajuste no fue bueno. Se obtuvo un muy buen ajuste mediante la Distribución Binomial Negativa cuando se consideró la probabilidad de ocurrencia de “n” tiempos de inicio dentro de un intervalo de observación fijo.

En cuanto al análisis estadístico de los parámetros de las señales de EA, para A, el ajuste con la distribución Log Normal no resultó satisfactorio. Para D se obtuvieron muy buenos ajustes con las distribuciones Log-Normal y Gamma. Para RD se obtuvo un ajuste óptimo mediante la distribución Binomial Negativa. Para RT no se encontró ninguna función de distribución de probabilidades que ajustara los datos obtenidos.

Referencias

- Ahumada Cuello, M. N. (2004), “Litofacies y Paleoambientes de Unidades sedimentarias y piroclásticas del complejo subvolcánico Neógeno Río Blanco, Ullúm-San Juan”. Trabajo final de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan.
- Armeite, M.; López Pumarega, M. I.; Pérez, L. V.; Ruzzante, J. (1999), “Temporalidad de Eventos de Emisión Acústica”, “Primer Encuentro del Grupo Latinoamericano de Emisión Acústica, E-GLEA 1”, Buenos Aires, Argentina, Actas E-GLEA 1, 21-30.
- Bernal, M. T.; Capporaletti, G.; Rebollo, M. E.; Pérez Quintián, F. P.; Raffo, C. A.; Ruzzante, J. E.; López Pumarega, M. I., (2000), “Determination of rocks porosity by means of nondestructive technique that uses ultrasound generated by laser”, “15th World Conference on Non-Destructive Testing, 15th WCNDT, CD Rom.
- Carpintieri, A.; Lacidogna, G.; Niccolini, G., (2007), “Acoustic Emission Monitoring of medieval towers considered as sensitive earthquake receptors”, *Nat. Hazard Earth Sys. Sci.*, 7, 251-261.
- Cramer, H. (1963), “Mathematical Methods of Statistics”, Princeton University Press.
- Erlenkämper, S., (1979), “Time and Amplitude Statistics of Acoustic Emission Signals in Fracture Mechanic Experiments”, *Batteelle-Institute e.V., Frankfurt/Main, Germany*, 165-188.
- Feller, W., (1968; 1971), “An introduction of Probability Theory and Its Applications I and II”, Jhon Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney.
- Gaete, L.; Gatica, N.; Alarcón, S.; Vargas, Y.; Ruzzante, J.; Frontini, G.; Orlande, H., (2006), “Emisión Acústica en Andesita”, V Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2006, ID: A037, 1-10, Santiago de Chile, Chile.
- Levaratto, M. A. (1976). “Edad de los intrusitos cenozoicos en la Precordillera. San Juan y su implicancia estratigráfica”, *Asociación Geológica Argentina, Revista*, Tomo 24.
- Levaratto, M. A., (1968), “Geología de la zona oeste de Ullúm-Zonda, borde oriental de la Precordillera de San Juan, eruptividad subvolcánica y estructura”, *Asociación Geológica Argentina*, Tomo 23.
- López Pumarega, M. I.; Armeite, M.; Ruzzante, J.; Pérez, L. V., (2000), “Poisson Temporal Processes in Acoustic Emission Tests”, “15th World Conference on Non-Destructive Testing, 15th WCNDT, CD Rom.

- López Pumarega, M. I.; Armeite, M.; Ruzzante J. E.; Piotrkowski, R. (2003), "Relation Between Amplitude and Duration of Acoustic Emission Signals, "29th. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation (29th QNDE)", AIP Conference Proceedings, (22B), 1431-1438.
- López Pumarega, M. I.; Piotrkowski, R.; Ruzzante, J., (1999), "Discussion of the Log-normal Distribution of Amplitudes in Acoustic Emission Signals", Journal of Acoustic Emission, (17, No. 1-2),. 61-67.
- Poscolieri, M.; Gregori, G. P.; Paparo, G.; Zanini, A., (2006), "Crustal deformation and AE monitoring: annual variation and stress-soliton propagation, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 6, 11-11.
- Ruzzante, J. E.; López Pumarega, M. I. Editors, (2008), "Acoustic Emisión, Vol. 1, Microseismic , Learnig to lisent to the earth...", CNEA, Buenos Aires, Argentina.
- Ruzzante, J. E.; Paparo, G.; Gregori, G; López Pumarega, M. I.; Armeite, M.; Piotrkowski, R., (2005) "Multiparametric Stations for Continuous Monitoring of Seismic and Volcanic Zones", Actas Primer Encuentro Científico del ICES, E-ICES 1",. 57-59.
- Ruzzante, J.; López Pumarega, M. I.; Gregori, G.P.; Paparo, G.; Zanini, A., (2005),"Acoustic Emission, Tides, and Degassing on the Peteroa Volcano", "4th Meeting of the Latin American Acoustic Emission Group, E-GLEA 4, Taormina, Italia.
- Ruzzante, J.; Paparo, G; Piotrkowski, R.; Armeite, M.; Gregori, G; López Pumarega, M. I., (2005), "Proyecto Peteroa, primera estación de emisión acústica en un volcán de los Andes, Revista Española de Física, (1, 19), 1, 12-18.
- Sabio Montero, M. A.; Ruzzante, J. E.; Paparo, G.; Armeite, M.; López Pumarega, M. I.; De Paula, E., (2008), "Estación de Emisión Acústica en el Cerro Blanco", Actas 2^o Encuentro del International Center for Earth Sciences, E-ICES 2, CD Rom, Buenos Aires, Argentina.
- Schneider, G., (1975) "Erdbeben", F. Enke-Verlag, Stuttgart.
- Seto, M.; Utagawa, M.; Katsuyama, M. (2002), "Some fundamental studies on the AE methods and its application to in-situ stress measurements in Japan", Prcoc. 5th International Workshop on the Application of Geophysics in Rock Engineering, 67-71.