

Proyecto Peteroa, primera estación de emisión acústica en un volcán de los Andes

José Ruzzante¹, Gabriele Paparo², Rosa Piotrkowski³, Maria Armeite⁴, Giovanni Gregori⁵, Isabel López⁶

¹Comisión Nacional de Energía Atómica, CAC, Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Prov. de Buenos Aires, Argentina. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Argentina

²Istituto di Acustica, "O. M. Corbino". CNR, Via Fosso del Cavaliere 100, 00133, Roma, Italia

³Universidad Nacional de General San Martín, Alem 3901, (1653) San Martín, Buenos Aires. Argentina

⁴Comisión Nacional de Energía Atómica, CAC, Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Buenos Aires. Argentina

⁵Istituto di Acustica "O.M. Corbino", CNR, via Fosso del Cavaliere 100, 00133, Roma Italia.

⁶Comisión Nacional de Energía Atómica, CAC. Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Buenos Aires, Argentina

1. Antecedentes

Entre el 10 y el 14 de septiembre de 2001 se realizó en Buenos Aires, Argentina, el Segundo Encuentro del Grupo Latinoamericano de Emisión Acústica (E-GLEA 2). El Encuentro fue organizado, entre otros, por el GLEA, [1, 2] participando del mismo, científicos de distintos países de América y Europa. Durante el encuentro se mantuvo la primera conversación entre integrantes del Grupo Ondas Elásticas (GOE) de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina y el "Istituto di Acustica, O. M. Corbino de Roma, Italia, perteneciente al "Consiglio Nazionale delle Ricerche". La misma versó sobre la posibilidad de aplicación de la Emisión Acústica (EA) a Estructuras Geológicas de Argentina. Se trataba de una propuesta interdisciplinaria que aprovecharía la experiencia del Grupo italiano en Estructuras Geológicas y Microsismicidad y la experiencia del Grupo argentino en EA.

En diciembre del mismo año, la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (SECyT) de Argentina y el Ministero degli Affari Esteri (MAE) de Italia, a través de la Embajada de Italia en Argentina, comunicaron la decisión de otorgar un subsidio previamente solicitado para iniciar las investigaciones. En dicho subsidio sólo se contemplaban viajes de intercambio de científicos entre ambos países. En los primeros viajes se estudió y diagramó la posible

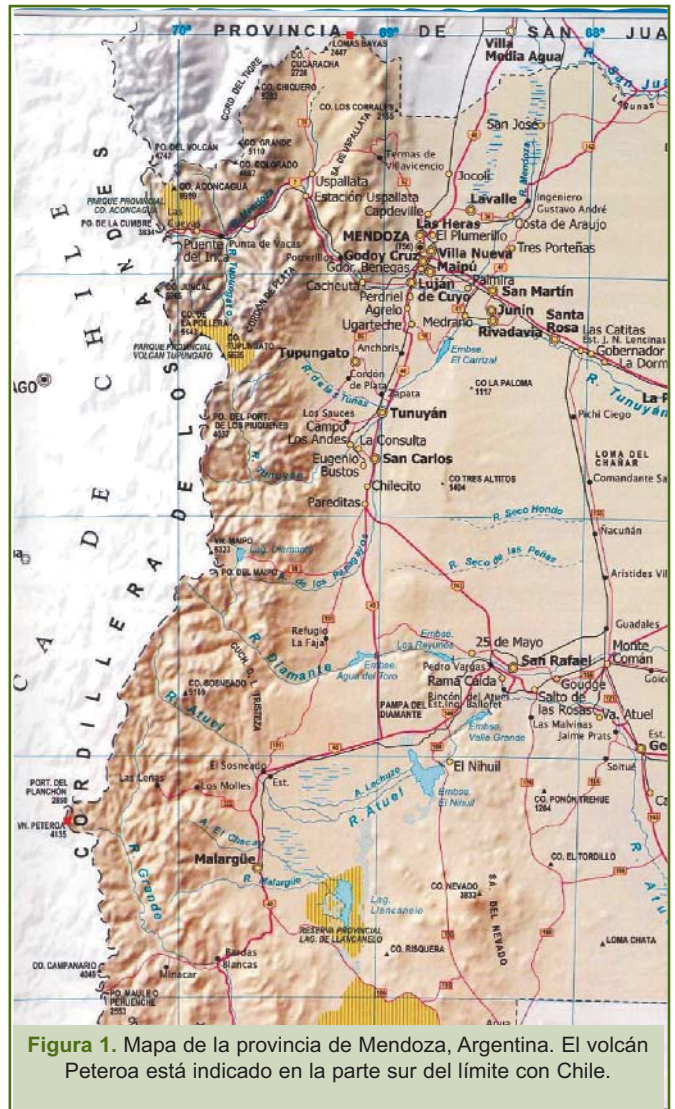


Figura 1. Mapa de la provincia de Mendoza, Argentina. El volcán Peteroa está indicado en la parte sur del límite con Chile.

instalación de una estación de EA en un volcán de los Andes.

Por distintas circunstancias, tales como la existencia de importantes conocimientos previos sobre el volcán, que habían sido obtenidos a partir de investigaciones llevadas a cabo por distintos científicos [3], así como de la zona circundante y sus posibilidades de acceso, el volcán elegido fue el Peteroa, ubicado en la provincia de Mendoza, Argentina, lindante con Chile. En la Fig. 1 se observa un mapa del lugar. Luego de dos Campañas a la zona y pese a las dificultades para acceder al volcán, se decidió definitivamente instalar la Estación de EA en el Peteroa, aprovechando una Estación Sísmica ya existente en el lugar.

Con la colaboración de distintas instituciones de Argentina e Italia se realizaron dos Campañas más al Peteroa. En la Tercera se instalaron las baterías y los paneles solares para

la alimentación de los equipos, los cuales se muestran en la Fig. 2. En la Cuarta Campaña, iniciada el 11 de marzo del 2004 se finalizó la instalación de los equipos de EA. El sábado 13 de marzo de 2004 a las 12:30 hs. se realizó, desde el volcán Peteroa, la primera transferencia de datos, vía teléfono satelital, a Roma

En el mes de febrero de 2004 la SECyT de Argentina, otorgó un subsidio por tres años para fomentar el presente Proyecto, posibilitando así la realización de un sensado integral del volcán para lo cual necesariamente deberán participar otros Grupos de Trabajo en distintas disciplinas.

2. Sobre el volcán Peteroa

El complejo volcánico Planchón-Peteroa está ubicado en la Cordillera de los Andes, a 35° 15' S y 70° 35' W, en la provincia de Mendoza, a 200 kilómetros al noroeste de la ciudad de Malargüe, sobre la cordillera principal, próximo a las Termas El Azufre. La estructura del volcán abarca una superficie oval de 78,5 km² y su cima alcanza los 4107 m s.n.m. [3, 4]



Figura 2. Habítaculo donde se instalaron los equipos de EA y los paneles solares

En el sector superior del complejo se desarrollan cuatro glaciares, con extensiones de 2,5 km² a 8 km². La estructura del complejo está formada por un volcán antiguo, de edad pleistocena medio-tardía, que se encuentra profundamente erosionado y sin cráter definido (Peteroa-Azufre). Al norte de éste se desarrolla en forma sobrepuesta el volcán Planchón, (Planchón 1). La actividad post-glaciar es fundamentalmente explosiva, y se desarrolló a través de cinco cráteres de explosión. Los procesos volcánicos eventualmente peligrosos que podrían ocurrir incluyen la erupción de flujo de lava, caída de tefra, flujos u oleadas piroclásticas y formación de lahares, crecidas y flujos de detritos volcánicos así como emisión de gases, lluvia ácida, alteraciones físico-

químicas de las aguas y actividad sísmica. Cabe mencionar que su última erupción fue en 1991, aunque se reportó posteriormente actividad de fumarolas. La última de éstas fue registrada el 17 de marzo de 2004 acompañada por un fuerte sismo.

En los alrededores del volcán se observa gran actividad termal, encontrándose diferentes vertientes de aguas a temperaturas que van entre los 25° y los 70° centígrados. En muchos casos estas vertientes se encuentran acompañadas de un intenso burbujeo gaseoso. Según la intensidad y dirección del viento, se percibe un penetrante olor a azufre, proveniente de las diferentes fumarolas del Volcán. En la Fig. 3 se observa el cráter y una de las fumarolas.

El acceso a la zona, aunque posible, no es simple. Debe realizarse en vehículos adecuados, atravesando zonas de arenas volcánicas, ríos de deshielo y otros inconvenientes. La zona es sólo accesible en período estival: enero-marzo en el hemisferio austral, ya que durante el invierno los vientos pueden llegar a los 100 km/h y la nieve a varios metros de altura.

3. Sobre la Emisión Acústica

Se denomina Emisión Acústica (EA), al proceso de generación de ondas elásticas dentro de un material como resultado de un cambio en su campo de tensiones internas. Por lo tanto, la EA es un fenómeno dinámico. Con el mismo nombre se designa a la técnica ampliamente utilizada en el campo de los Ensayos No Destructivos, para estudiar la integridad estructural de recipientes, tuberías o componentes, ya que permite, durante un único ensayo, detectar y localizar las zonas potencialmente peligrosas de la estructura bajo estudio. Es un fenómeno complejo en el cual se pueden distinguir las etapas de generación, propagación y detección de las ondas elásticas.

- a) La generación de ondas elásticas se debe a la repentina redistribución de las tensiones internas en el material, cuando éste sufre algún tipo de sollicitación externa. En los sólidos existe potencialmente una gran cantidad de posibles fuentes de EA tales como: crecimiento de fisuras, deformación plástica, movimiento de dislocaciones, separación de interfaces, corrosión, separación fibramatriz en materiales compuestos, movimiento de las paredes de los dominios magnéticos, etc. [5, 6]. Las ondas de EA son generalmente de muy baja amplitud y ricas en frecuencia. El rango de aplicación de la EA está entre los 20 kHz y 1 MHz, por arriba de las vibraciones y forma parte de los llamados ultrasónicos.
- b) Durante la propagación de la onda elástica en el material, se registra una disminución en la amplitud debido a diferentes mecanismos. Sin embargo, el hecho de disminuir el valor de la amplitud, no implica necesariamente una



Figura 3. Cráter del volcán Peteroa y una de sus fumarolas (foto tomada por J. Hernández).

pérdida en la energía de la onda, pues, puede ocurrir una redistribución. Es éste el caso de la llamada atenuación geométrica. Al propagarse el frente de onda, desde su origen, necesariamente se expande, esto produce una disminución de la energía por unidad de volumen, independientemente de otros posibles mecanismos de atenuación. Otro fenómeno que ocurre es la difracción, que se origina dentro del sólido por la presencia de defectos. En este caso distintas partes de la onda siguen por diferentes caminos, disminuyendo la energía total. Algo similar sucede con el fenómeno de desdoblamiento. También podemos mencionar las pérdidas “genuinas”, es decir aquellas en las cuales hay disminución de la energía. Estas últimas son las asociadas a efectos termoplásticos, magnetoelásticos, etc. En una situación concreta ocurre la combinación de la mayor parte de los fenómenos mencionados. Como regla general se puede afirmar que la atenuación es dependiente de la frecuencia de la onda, siendo mayor a medida que ésta aumenta. De esta manera, en ensayos industriales de EA en estructuras metálicas, suele utilizarse sensores de frecuencia de resonancia de 200 kHz, asegurando así una propagación de la onda del orden de algunos metros, pudiéndose de esta manera ubicar la fuente emisora por triangulación. Por el contrario si el ensayo es en hormigones o rocas (materiales muy heterogéneos) la frecuencia que se utiliza es de aproximadamente 50 kHz ya que la atenuación es mayor.

- c) Para la detección, generalmente se usan transductores piezoeléctricos de muy alta sensibilidad, que transforman la onda mecánica en una señal eléctrica (diferencia de potencial). Para mejorar la propagación de las ondas elásticas entre la superficie del material y el sensor se emplea un acoplante, generalmente una sustancia viscosa, como

por ejemplo grasa de vacío. Debido a que la señal eléctrica a la salida del transductor es muy pequeña (de unos pocos μV), es necesario disponer de un preamplificador (aproximadamente de 40 dB) a no más de 50 cm del mismo. Algunos transductores tienen el preamplificador ya incorporado. El preamplificador generalmente posee algún tipo de filtro pasa altos para eliminar componentes de baja frecuencia que podrían relacionarse con vibraciones. La etapa siguiente es un amplificador; aunque depende de cada equipo, comúnmente puede amplificar hasta 60 dB. Posteriormente la señal ingresa a los equipos de detección, almacenamiento y procesamiento.

Las tres etapas mencionadas anteriormente, generación, propagación y detección, en las que se separó el fenómeno de EA, más la suposición de linealidad, permiten modelar el proceso a través de una serie de operaciones de convolución, (representado por el símbolo *)

$$V(t) = T(t) * [G(t) * M(t)] \quad (1)$$

Como está descrito en [7], la variable $V(t)$ es la magnitud del potencial eléctrico (generado por la onda elástica) a la salida del sensor, $M(t)$ es una función representativa de la fuente de EA, $G(t)$ es la función de Green elastodinámica del medio y $T(t)$ es la respuesta del sistema de detección al impulso. En algunos casos particulares el análisis del proceso inverso permite caracterizar la fuente de EA midiendo el voltaje generado en el sensor.

4. Sobre mecanismos de fractura en rocas y estructuras naturales

Los mecanismos de fractura en rocas son complejos dado que se trata de material compuesto y no homogéneo, tanto en composición como en grado de agregación. En general es material cuasi-frágil, en el cual la energía necesaria para la propagación de fisuras es más alta que la predicha por la mecánica de fractura de medios elásticos [8]. Entre los mecanismos responsables del comportamiento cuasi-frágil se identificaron el puente de fracturas, la fricción y las microfisuras, siendo casi despreciables los procesos de deformación.

El conocimiento general del tema no es aún completo a pesar de éxitos parciales y el objetivo principal es establecer y comprender las relaciones entre microestructura y comportamiento. En este sentido se realizan experimentos en laboratorio, que relacionan los procesos de fractura que ocurren a una escala microscópica con la fractura de un bloque que ocurre a una escala macroscópica. La fractura microscópica es la que se estudia con EA, en tanto que el daño global se observa visualmente o bien con microscopio [9]. Las variables que suelen incidir en el proceso son la composición de los materiales y su grado de heterogeneidad. Este varía entre el de una microestructura densa relativamente homogénea a una microestructura totalmente heterogénea con presencia de poros, distintas fases y distintos materiales (material compuesto).

Es importante destacar que para que las microfisuras se produzcan o se propaguen, hace falta someter al material sensado con EA a una carga externa, hasta que se sobrepasen ciertas barreras de energía en distintos puntos del material. En el caso que estamos tratando, esta carga o energía externa estaría proporcionada por fenómenos geológicos.

Nos referiremos ahora a la aplicación de la EA a estructuras geofísicas y en particular a nuestro Proyecto. La EA en formaciones geológicas podría llegar a ser utilizada como técnica predictiva de sismos y erupciones volcánicas.

Las ondas de tensión-deformación que constituyen la EA, como ya fue mencionado, se generan por cambios microestructurales en el sólido cuando éste sufre algún tipo de sollicitación, dando cuenta de esta manera, del estado de tensión de la estructura que se está monitoreando. Las ondas sísmicas provienen de movimiento de una falla macroscópica a gran escala. Por ello, una de las diferencias fundamentales reside en las frecuencias involucradas; las ondas “sísmicas” son de unos pocos ciclos por segundo, mientras que las de EA son del orden de los kilociclos por segundo. Estas altas frecuencias imponen una importante limitación en la distancia de propagación de las ondas de EA debido a los efectos de atenuación. Con la EA estamos “viendo” cómo es sollicitada una estructura, hecho que ocasionalmente puede desembocar en un sismo cuando se superan en esa zona valores críticos de energía. De otro modo, cuando se detecta EA, ésta sólo indica que el estado de tensiones internas de la estructura está variando, debido a fuerzas exteriores a la estructura que se está sensando.

Si bien la EA brinda información acerca de la variación del campo de tensiones relativamente cercano al detector, debe

tenerse en cuenta que esas tensiones varían por los esfuerzos a que están sometidas las estructuras geológicas y éstos pueden ser originados en zonas lejanas. Es de destacar que la EA recoge información que no puede ser adquirida por los sismógrafos, que detectan ondas elásticas de muy baja frecuencia y por lo tanto con baja atenuación, originada generalmente en puntos muy lejanos. La EA, constituida por ondas elásticas de alta frecuencia, brinda información de fisuras (muy pequeñas) que ocurren en puntos cercanos, por lo que sirve como anticipo de un fenómeno macroscópico de tipo catástrofe. Los sismógrafos informan acerca de una catástrofe iniciada en un punto lejano; los detectores de EA informan acerca de procesos microestructurales que podrían estar anticipando una catástrofe.

5. Sobre el análisis de las señales de EA

Es común realizar una primera clasificación de las señales generadas durante el proceso, en continuas y discretas. Una señal discreta; también llamada paquete, evento o “burst”, se puede caracterizar por tres parámetros: Amplitud (A), Duración (D) y Tiempo de Subida o “Rise-Time”, (RT). La Amplitud es el voltaje del pico más elevado de la señal; la Duración es el tiempo transcurrido entre el primer y el último cruce del umbral (tensión de referencia establecido por el operador); y el “Rise-Time” es el tiempo transcurrido entre el primer cruce del umbral y el máximo de la señal. Cuando el intervalo entre eventos es menor que la duración de los mismos, la señal se llama continua. Generalmente se realiza el análisis de la señal para un modelado del fenómeno o bien para distinguir las posibles fuentes de EA en un ensayo. La Tabla I enumera algunas de las técnicas empleadas en el análisis de señales de EA.

Señal	Parámetro	Tipo de análisis que se realiza
Discreta	Amplitud, Duración, Tiempo de Subida	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución estadística de los parámetros [10]. • Distribución temporal de los eventos [11]. • Correlación y componentes principales. [12]. • Reconocimientos de patrones [13]. • Fractalidad [14, 15]. • Determinación del tiempo de arribo [16]
	Valor Cuadrático Medio	<ul style="list-style-type: none"> • Energía • Fractalidad [14,15,17] • Transformada de Fourier.
Continua		<ul style="list-style-type: none"> • Transformada de Fourier • Transformada Wavelet [18]. • Reconocimientos de patrones • Inversión o deconvolución [19]. • Estadística de orden superior.

Tabla I. Técnicas de análisis de señales aplicadas a EA.

La EA es un fenómeno que involucra un amplio rango de frecuencias. Hay una interrelación dinámica entre fenómenos a diferentes escalas, tanto temporales como espaciales. Una fisura que se inicia corresponde a un defecto cuyo tamaño es del orden de varias distancias atómicas, al que se puede asociar frecuencias altas. Si la fractura crece, el tamaño asociado va aumentando y las frecuencias involucradas van disminuyendo. En el caso en que se produzca una asociación coherente de fisuras originando un defecto cuyo tamaño es ya macroscópico, del orden de las distancias geológicas, las frecuencias asociadas corresponden a las de los sismos. Cuando ocurre un cambio de escala importante en el sentido de menor a mayor, o sea que hay un enriquecimiento en las bajas frecuencias, es el preanuncio de fenómenos catastróficos.

Nos interesa entrar en el detalle del análisis de la fractalidad, pues es el método ya aplicado por algunos de los autores del presente trabajo en el estudio de la EA en volcanes [20, 21]. En la observación de fenómenos naturales, como es el caso que nos ocupa, es a menudo muy difícil decidir si los mismos están regidos por el determinismo o el azar. En estos casos el análisis fractal es un algoritmo eficiente que permite tratar con un continuo de estados intermedios entre uno y otro caso extremo. El análisis que realizan los autores no se refiere al cálculo de la dimensión fractal en estructuras geofísicas como las realizadas por Scholtz y Mandelbrot [22], sino a un análisis de la dinámica del proceso, con ideas similares al trabajo pionero de Kolmogorov relativo a la dinámica de fluidos y turbulencia [23].

En nuestros trabajos con series temporales [15, 20, 21] clasificamos esquemáticamente los procesos en procesos puntuales y procesos continuos. En los procesos puntuales, los registros son un conjunto de “1” y “0”, de modo que un “1” corresponde a la presencia de una señal en un determinado intervalo temporal de longitud μ y un “0” a su ausencia. En los procesos continuos, interesa además la forma detallada de esta señal. Dada la complejidad de la señal de EA y los fenómenos de atenuación que influyen en la misma es más útil trabajar con procesos puntuales.

Aplicamos a los datos el método utilizado por Richardson [24] para calcular la longitud de fronteras entre países y líneas costeras, y evaluamos un parámetro, que es la dimensión fractal D . La dimensión fractal D , medida con el método de “box counting” se evalúa de la siguiente manera:

- a) Se divide el intervalo de tiempo de observación en subintervalos de duración μ , y se hace variar este parámetro dentro de las posibilidades experimentales.
- b) Una vez elegido μ , se asigna a cada subintervalo el valor “1” si durante el mismo se detectó uno o más eventos de EA y un “0” en caso contrario.
- c) Se cuenta el número total de “1”, obteniéndose así el valor $N(\mu)$.

- d) Se calcula la pendiente H a partir del gráfico. $\log N(\mu)$ vs. $\log (\mu)$.
- e) Se calcula $D = -H$.

En el caso de total determinismo el número total de eventos es independiente de la duración de los subintervalos, dando $D = 0$. Contrariamente, en el caso de total aleatoriedad el número total de eventos es inversamente proporcional a la longitud de los intervalos, dando $D = 1$. En el caso de la EA, se esperan valores intermedios.

Lo interesante de este procedimiento es que la dimensión fractal cambia durante el proceso. Al principio las microfisuras aparecen en forma altamente aleatoria y luego, si el fenómeno de carga del material persiste, se van produciendo tanto crecimiento y propagación de fisuras preexistentes a lo largo de planos y direcciones preferenciales como el colapsado de poros, con lo cual la dimensión fractal va disminuyendo.



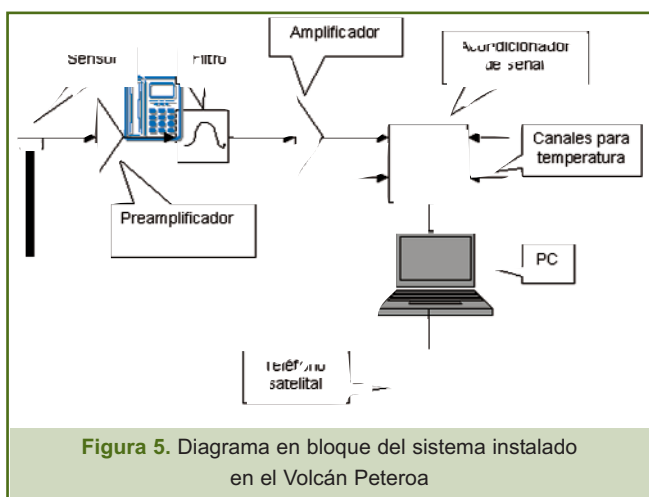
Figura 4. Barra de vidrio insertada en la roca, con el sensor de Emisión Acústica en el extremo.

En los trabajos previamente citados [20-21] se reportan resultados interesantes y totalmente novedosos, referidos a la EA detectada como precursor de terremotos con epicentro a distancias fluctuando entre varias decenas y varias centenas de km de los sensores, entre los años 1996 y 2002. En algunos casos, unos 8 meses previos al terremoto se detectó EA de alta frecuencia y unos dos meses previos EA de baja frecuencia, y en todos los casos se detectó variación en la dimensión fractal. Estos resultados son de un carácter totalmente diferente a los que se obtienen en sismología, pues son predictores de sismos o explosiones volcánicas, en tanto que los datos sismológicos indican la existencia de uno de

esos acontecimientos en pleno desarrollo, en sitios quizá lejanos de los sismógrafos. Son estos resultados alentadores los que propiciaron la elaboración del presente Proyecto.

6. Sobre el Proyecto Peteroa

Para las mediciones del presente Proyecto se utilizan dos sensores resonantes de 25 kHz y 160 kHz. Las frecuencias más altas están relacionadas con tamaños de fisuras menores. Si las fisuras avanzan y coalescen, su tamaño aumenta, dando lugar a ondas elásticas de frecuencia menor. Se utilizan las dos frecuencias citadas para correlacionar ambas señales, descartar señales espurias, y asegurar la detección de fisuras que crecen.



Cada uno de los sensores se encuentra adosado en el extremo de sendas guías de onda de vidrio (para evitar interferencias electromagnéticas), ambas empotradas aproximadamente 60 cm dentro de la roca a sensar. En la Fig. 4 observamos la barra de vidrio y el sensor en el extremo. La señal eléctrica generada por los sensores es preamplificada (40dB), luego amplificada y conformada, obteniéndose así el valor cuadrático medio para cada una de las frecuencias. Posteriormente se la digitaliza, se promedia y se almacena en una computadora. Otros dos canales, con un procesamiento equivalente son utilizados para la determinación de la temperatura superficial de la tierra. La adquisición de datos es continua en cada uno de los sensores, quedando los datos almacenados en la computadora. En la Fig. 5 se observa un diagrama del equipo instalado en el Peteroa.

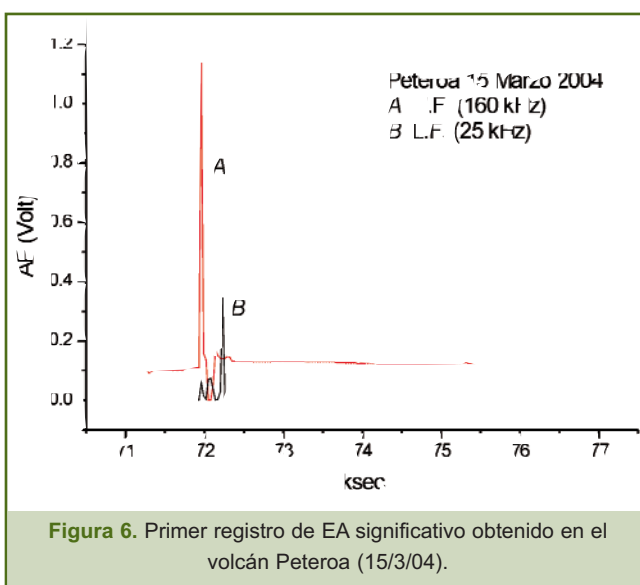
La zona del volcán no cuenta con ningún tipo de cobertura eléctrica ni telefónica, razón por la cual es necesario lograr la alimentación eléctrica por medio de paneles solares. Con respecto a la transmisión de los datos se adaptó un teléfono satelital de manera que al realizar la conexión con el mismo,

con un software adecuado, se pueden obtener desde Buenos Aires o Roma, los datos almacenados.

La Fig. 6 muestra una parte de una señal emitida en el Peteroa el día 15 de marzo de 2004 y recibida vía satelital en Roma. Allí se graficó el valor RMS de la señal de EA de cada sensor en función del tiempo. Se observa un pico en el registro de cada frecuencia. El de mayor frecuencia antecede al de menor frecuencia en unos 500 s y es de una amplitud 3 veces mayor lo cual es coherente con la presencia de un fenómeno de crecimiento de fisuras. El 17 de marzo de 2004, o sea dos días después, los sismógrafos de la zona detectaron actividad sísmica, y también se informó acerca de la emisión de fumarolas en el cráter del Peteroa.

Los datos de EA, en esta primera etapa, serán analizados con técnicas fractales, en particular la llamada “box counting method” [20] y se los correlacionará con los correspondientes a las temperaturas y datos sísmicos de la zona, de manera similar a lo realizado por el grupo Italiano en el Vesubio y en el Stromboli. [15,21]. A fines del 2004, de no mediar inconvenientes con la transmisión de datos, se espera contar con la información de la Estación de EA ya elaborada.

Al disponer de fondos para la continuación del Proyecto, en la última Campaña se comenzó el estudio para la instalación de una Estación de Análisis de Gases emitidos en las zonas termales de los alrededores del volcán. El ascenso a la cima del volcán (4107m) realizado durante la Cuarta Campaña, permitió una primera observación sobre el estado de los glaciares, estudiándose la posibilidad de realizar perforaciones en los mismos para su posterior datación en Laboratorio. De ser posible la concreción de esta última propuesta, conduciría a conocer la “historia” del Peteroa.



Lo multidisciplinario es una característica fundamental de este Proyecto, ya que los resultados de una única técnica no dan conclusiones contundentes, debido a la gran complejidad y diversidad de los fenómenos físicos involucrados. En cambio, los resultados correlacionados de varias técnicas conducen a un conocimiento cada vez más certero del estado físico del volcán.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado para la realización de este Proyecto a las siguientes instituciones: Embajada de Italia en Argentina; Municipalidad de la Ciudad de Malargüe; “Grupo Los Azufres” Escuadrón 29, Gendarmería Nacional Malargüe; Instituto Nacional de Prevención Sísmica, INPRES, San Juan, Argentina; Istituto Nazionale Di Oceanografia E Di Geofisica Sperimentale, Trieste, Italia.

8. Referencias

- [1] GRUPO LATINOAMERICANO DE EMISIÓN ACÚSTICA, (GLEA), (1997). www.cnea.gov.ar/cac/endye/glea.htm
- [2] LOPEZ PUMAREGA M. I., PIOTRKOWSKI R., RUZZANTE J. E., “History of the GLEA Group”, *The e-Journal of Nondestructive Testing*, Sept. (2002) vol. 7 No. 09. ISSN: 1435-4934. <http://www.ndt.net/article/v07n09/19/19.htm> .
- [3] NARANJO J. A., HALLER M. J., “Erupciones holocenas principalmente explosivas del volcán Planchón, Andes del Sur (35° 15’ S)”, *Rev. Geol. de Chile*, vol. 29, N° 1, pp. 93-113, julio (2002).
- [4] NARANJO J. A., HALLER M. J., OSTERA H. A., PESCE A. H., SRUOGA P., “Geología y Peligros del Complejo Volcánico Planchon-Peteroa, Andes del Sur (35° 15’ S), Región del Maule, Chile-Provincia de Mendoza, Argentina”, *Servicio Nacional de Geología y Minería-Chile Boletín N° 52* (1999).
- [5] LÓPEZ SANCHEZ R, LÓPEZ PUMAREGA M. I., ARMEITE M., PIOTRKOWSKI R., RUZZANTE, J. E., “Barkhausen Effect and Acoustic Emission in a Metallic Glass-Preliminary Results”, *Review of Quantitative Nondestructive Evaluation*, Vol. 23 (1) pp. 1328-1335, (2003), American Institute of Physics.
- [6] LÓPEZ PUMAREGA M. I., ARMEITE M., RUZZANTE J. E., PIOTRKOWSKI R., “Relation between Amplitudes and Duration of Acoustic Emission Signals”, *Review of Quantitative Nondestructive Evaluation*, Vol. 22 B, pp. 1431-1438, (2002). American Institute of Physics.
- [7] HSU N. N., SIMMONS J. A., HARDY S. C., “An Approach to Acoustic emission signal Analysis”. *Mat. Evaluation*, Vol.39. pp 1032-1036, (1977.)
- [8] SAXENA A., LANDES L. D., BASSANI L. L., “Nonlinear Fracture Mechanics”, ASTM, STP 995.
- [9] LANDIS, E. N., “Micro-macro fracture relationships and acoustic emission in concrete, *Construction and Building Materials*”, 13, pp 65-72.(1999).
- [10] LÓPEZ PUMAREGA, M. I., PIOTRKOWSKI R., RUZZANTE J. E., “Discussion of the Log-Normal Distribution of Amplitudes in Acoustic Emission Signals”, *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 17, No.1-2 (1999), pp. 61-67.
- [11] LÓPEZ PUMAREGA M. I., ARMEITE M., PÉREZ L. V., RUZZANTE J., “Poisson Temporal Processes in Acoustic Emission Signals”. 15th World Conference on Non-Destructive Testing. Roma, Italy. 15-21 Oct. 2000 <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn433/idn433.htm>.
- [12] MIEZA, J. I. OLIVETO, M. E. LÓPEZ PUMAREGA, M. I. ARMEITE, M. RUZZANTE, J.E. AND PIOTRKOWSKI, R., “Identification of AE Bursts by Classification of Physical and Statistical Parameters”. *Review of Quantitative Nondestructive Evaluation*, a publicarse (2004).
- [13] ONO, K., HUANG, Q., “Pattern Recognition Analysis of Acoustic Emission Signals”, *Progress in Acoustic Emission VII*, The Japanese Society for NDT, pp 69-78 (1994).
- [14] PIOTRKOWSKI R. LÓPEZ PUMAREGA, M. I. ARMEITE, M. MIEZA, J. I. RUZZANTE, J. E. GOMEZ M. P., “Methods for signal analysis in ultrasonic waves”.The 8th World Multi-Conference on Systemics, *Cybernetic and Informatics*, SCI 2004 , Orlando, EE-UU, 18-21 de Julio de 2004.
- [15] PAPARO, G. GREGORI, G. P. ANGELUCCI, F.TALONI, A. COPPA, U. INGUAGGIATO, S. “Acoustic Emissions in Volcanoes: The Case Histories of Vesuvius and Stromboli”. The 8th World Multi-Conference on Systemics, *Cybernetic and Informatics*, SCI 2004, Orlando, EE-UU, 18-21 de Julio de 2004.
- [16] SERRANO, J., RUZZANTE, J., “Estimation of Differences in Event Arrival Times Through Wavelet Transform Techniques”. 15th World Conference on Non-Destructive Testing. Roma, Italy.15-21 Oct. 2000. <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn445/idn445.htm>.
- [17] PAPARO, G. Y GREGORI, P. G., “Multifrequency acoustic emission (EA) for Monitoring the Time evolution of Microprocesses Within Solids”, *Review of Quantitative Nondestructive Evaluation*, Vol 22 B, pp. 1423-1430, (2002). American Institute of Physics.
- [18] MARADEI, C., PIOTRKOWSKI, R., SERRANO, E. RUZZANTE, J. E., “Monitoring of the Tool Condition with Acoustic Emission Signal Analysis using Wavelet Packets”, *Insight*, Vol. 44, No. 12, Dec., (2002), pp. 1-5.
- [19] OHTSU M., ONO K., “AE source location and orientation of tensile cracks from surface observation”. *NDT INT.*21, pp. 143-150, (1988).
- [20] GREGORI G. P., PAPARO G., “Acoustic Emission (EA). (Diagnostic tool for Environmental Sciences and for Non-destructive tests), Meteorological and Geophysical Fluid Dynamics”. Collected and edited by Wilfried Schöder, pp. 166-204, (2004).
- [21] PAPARO G., GREGORI G. P., COPPA U., DE RITIS R., TALONI A., “Acoustic Emission as a Diagnostic Tool in Geophysics”. *Annl. Geophys.*, 45, (2), pp. 401-416, (2002).
- [22] SCHOLZ C.H., MANDELNBROT B.B., “Fractals in geophysics”, Birkhauser Edit., (1989)
- [23] KOLMOGOROV A. N., “Local structure of turbulence in an incompressible liquid for very large Reynolds numbers”, *C.R. Acad.Sci. Ussr*, 30, pp. 299-303 (1941).
- [24] RICHARDSON L., “The problem of contiguity”, *General Systems: Yearbook 6*, Society for the Advancement of General Systems Theory, *Ann Arbor, Mich.*, pp. 139-187 (1961).