

SEÑALES SÍSMICAS TIPO TORNILLO EN GALERAS Y OTROS VOLCANES ACTIVOS

Torres C. Roberto A - Gómez M. Diego M.- Ortega E. Adriana M. -Seidl Dieter*
INGEOMINAS – Centro Operativo Regional Pasto

* BGR-Alemania (Instituto Federal para las Geociencias y los Recursos Naturales)
e-mails: rtorres@ingecoin.gov.co / gomez@ingecoin.gov.co /
aortega@ingecoin.gov.co / seidl@szgrf.bgr.de

Resumen

Un tipo particular de eventos sísmicos de largo periodo conocidos como tornillos, registrados en volcanes andesíticos, han precedido la mayoría de erupciones y emisiones del volcán Galeras desde julio 16 de 1992 hasta enero de 1995. Su número, energía y frecuencia pico han sido útiles como parámetros de actividad y como precursores de las erupciones. Entonces, estas señales sísmicas han mostrado gran interés en el monitoreo de la actividad volcánica y en el estudio de la mecánica de fluidos del sistema magma-gas. Con registros derivados de sismómetros de corto periodo y triaxiales de banda ancha se investigan algunas características asociadas a estas señales y su origen. Los tornillos exhiben formas de onda casi-sinusoidales con un inicio ligeramente impulsivo ligado al desarrollo de un transiente de presión que ocasiona un pulso impulsivo de corto tiempo de subida y lento decaimiento exponencial de las amplitudes que se manifiesta en largas duraciones en comparación con sus amplitudes. El contenido espectral de estas señales es fuertemente casi-monocromático en donde se resalta uno o pocos picos espectrales agudos cuyo espectrograma muestra básicamente una banda de frecuencia constante en el tiempo. Generalmente, el inicio de las señales tiene una banda espectral más ancha y rica en altas frecuencias. A primera vista los tornillos parecen ser una combinación de una excitación impulsiva y una resonancia dentro del volcán. Varios modelos de resonadores de vibraciones libres de una cavidad llena de fluido han sido sugeridos para explicar la fuente de los tornillos: esferas, cilindros, tuberías y grietas. Condiciones como el tamaño y geometría de la fuente, las propiedades físicas del fluido y del material sólido del entorno así como la historia de las presiones en el tiempo y en el espacio son variables importantes que deben contemplarse en los modelos.

Abstract

A peculiar type of long period seismic events, called "tornillos", recorded in andesitic volcanos, have preceded most of eruptions and emissions of Galeras volcano from July 16, 1992 to January 1995. Their number, energy and pick frequency have been useful as activity parameters and as eruption precursors. Then, these seismic signals have shown significant interest in the volcanic activity monitoring and for studying the fluid mechanics of the magma-gas system. Starting from records derived of short period and three-component broadband seismometers, we investigate some characteristics associated to these signals and their origin. The tornillos exhibit quasi-sinusoidal waveforms with a slight impulsive onset linked to the pressure transient that causes an impulsive wavelet with short rise time and slow exponential decaying amplitude envelope that it is manifested in long duration in comparison with its amplitude. The spectral content of these signals is strongly quasi-monochromatic where it is stood one or some few narrow picks whose spectrogram shows basically a time constant frequency band. In general, the beginning of the signal has a wide and rich spectral band in high frequencies. At first sight, the tornillos seem to be a combination of an impulsive excitation and a resonance inside the volcano. Several models of resonators of free vibrations of a fluid-filled cavity have been suggested to explain the source of the tornillos like: spheres, cylinders, pipes and cracks. Conditions about the size and geometry of the source, the physical properties of the fluid and of the neighboring solid material, as well as the history of the pressures in time and in space, they are important variables that should be contemplated in the models.

Palabras claves: sismos tornillo, banda ancha, volcanes andesíticos, Galeras, erupciones, parámetros sísmicos.

1. Introducción

El volcán Galeras es un estrato-volcán activo ($1^{\circ}13.73'N$, $77^{\circ}21.55'W$) con 4270 m de altitud máxima, a 9 Km al W de San Juan de Pasto, una ciudad de aproximadamente 350.000 habitantes. Este volcán ha registrado una amplia gama de señales sísmicas con diferentes morfologías de firmas, algunas asociadas con fracturamientos de extensión o de cizalla en la parte de roca sólida del volcán debido a presiones inducidas por magma, gases o cambios bruscos de temperatura (eventos volcano-tectónicos, VT; Latter, 1979; Lahr et al, 1994 y Chouet, 1996) y otras asociadas con procesos de dinámica de fluidos en el sistema magma-gas o hidrotermal (tremor, TR y eventos de largo periodo, LP; Chouet, 1981, 1988, 1992 y 1996). Adicionalmente, en el amplio contexto de la dinámica de toda la estructura del volcán, los eventos LP, TR y sismos VT están íntimamente interrelacionados, así que se tienen eventos que reflejan la transición entre los procesos originados directamente en el fluido y aquellos originados directamente en el sólido que corresponden a eventos híbridos.

Observaciones sísmicas a largo plazo, han revelado una clase particular de eventos sismovolcánicos LP relativamente inusuales, que hemos llamado “tornillos”, en varios volcanes andesíticos, localizados en límites de placas convergentes tales como: Galeras, Puracé y Ruiz en Colombia, y Meakan, Tarumai, Kusatsu-Shirane, Asama, Sakurajima, Kirishima, y Kushinocrabujima, en Japón. (Torres et al., 1996; Gómez y Torres, 1997; Gómez et al, 1999). Estos eventos sísmicos fueron observados en el volcán Asama-yama en 1961, 1964, 1970 y 1971 (Sekiya, 1967; Hamada et al., 1976) y en el volcán Sakura-jima en 1970 (Hamada, et al., 1976), pero no fueron incluidos en la clasificación de Minakami (Minakami, 1974). En Japón se han usado varios nombres para designar estas señales como eventos LC (eventos de coda larga), eventos BS (eventos de espectro bandeado), eventos SF (eventos de solo una frecuencia) o eventos de tipo T (en similitud con una regla T). El nombre de tornillos obedece a que la morfología de su firma se parece a la vista lateral de un tornillo de rosca golosa (Torres et al., 1996).

Tornillos han aparecido durante diferentes fases de actividad volcánica. Ellos han ocurrido como precursores a corto plazo de erupciones de tipo Vulcaniano o de grandes emisiones de gas (volcán Galeras, Colombia, 1992-1993; volcán Asama, Japón, 1983), después de erupciones (volcán Tokachi, Japón, 1989), durante enjambres sísmicos (volcán Meakan, Japón, 1982) y durante estados de reposo (volcán Puracé, Colombia, 1994-1995; volcán Tarumai, Japón, 1970-1971, 1975) (Torres et al., 1996; Gómez y Torres, 1997; Gómez et al., 1999). Además, estos eventos han ocurrido individualmente o como enjambres (Gómez y Torres, 1997).

En Galeras más de 600 eventos tornillo se han registrado desde el 11 de julio de 1992, la mayoría con sismómetros verticales de corto periodo. Estas medidas han revelado básicamente un carácter espectral monocromático de los tornillos. A partir de marzo de 1996 se empezó a desplegar una red de estaciones de registro sísmico de banda ancha digital de tres componentes logrando un registro simultáneo de tornillos pese a que no han ocurrido erupciones como las de 1992-1993 después del despliegue de estos instrumentos. En este artículo se muestran algunas características de estas señales relacionadas con su morfología, ocurrencia y fuente utilizando los resultados de los registrados en banda ancha y los obtenidos de la red sísmica de corto período; además se muestra el comportamiento temporal de algunos parámetros antes de las erupciones. También se presentan algunos resultados del análisis de polarización y características espectrales de los registros de algunos tornillos y el modelamiento de su comportamiento en amplitud. Esto permite describir la anatomía de los tornillos y su posible origen con parámetros mensurables. Finalmente, se formula una hipótesis para explicar el posible origen de estas señales y su relación a las erupciones de Galeras desde 1992.

2. Datos y procesamiento

La red de Galeras consiste de nueve estaciones telemétricas permanentes, localizadas entre 0.9 km y 10 km del cráter activo (Fig.1). Los sismómetros son de corto período (1s) y componente vertical, Mark Product, L-4C, con una salida proporcional a velocidad del terreno. Además, en una de las nueve estaciones, el sensor vertical está acompañado por dos sismómetros de corto periodo (1 s) SS-1 Ranger Kinematics, orientados horizontalmente hacia el Norte y el Este. Los datos digitales son grabados en tiempo real a 100 muestras por segundo.

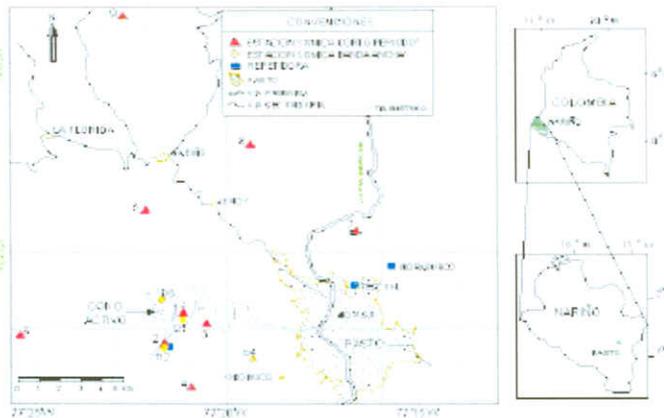


Fig.1. Localización del volcán Galeras y su red sísmica telemétrica. Las estaciones de corto periodo se representan por triángulos rojos (1: Olga, 2: Cráter2, 3: Urcunina, 4: Cobanegra3, 5: Nariño, 6: Calabozo, 7: Plazuelas, 8: Puyitopamba y 9: LomaLarga). Las estaciones de banda ancha se indican por rombos (b1: Anganoy, b2: CráterHQ, b3: Achalay y b4: Obonuco)

A comienzos de marzo de 1996, como parte de un Programa de Cooperación entre el INGEOMINAS y el BGR de Alemania, se dio inicio a la instalación de estaciones sísmicas triaxiales de banda ancha y alta resolución (Fig.1) equipadas con sismómetros Streikessen con respuesta plana desde 0.02s hasta 120s acoplados a digitalizadores GURALP de 24 bits con una tasa de discretización a 100 Hz permitiendo recepción de datos en tiempo real en el Centro de Datos. Los componentes del sismómetro están orientadas verticalmente y horizontalmente en las direcciones Norte y Este. En los registros de banda ancha, además de los tornillos, hay microsismos oceánicos de periodo más largos y otras señales de altas frecuencias. Para mejorar la relación de señal a ruido para el análisis de los tornillos, los datos de banda ancha fueron por consiguiente prefiltrados usando filtros pasabandas Butterworth entre 1 y 8 Hz y entre 2 y 4Hz con un orden de 6. La mayoría de espectros se calcularon sobre la totalidad del sismograma usando el algoritmo de FFT e incorporando la corrección de la respuesta instrumental. Cada espectro representa las componentes de la velocidad de las partículas del terreno. Los espectrogramas se calcularon con ventanas móviles de 2s que tienen un intervalo de traslapo de 1s aplicadas sobre toda la señal.

3. Caracterización de los eventos tornillo

Los principales rasgos comunes de los tornillos registrados en diferentes volcanes son:

- Formas de onda cuasi-sinusoidales con un decaimiento exponencial relativamente lento de las amplitudes de la señal que se manifiesta en largas duraciones en comparación con las amplitudes (Fig. 2a).
- El contenido espectral de estas señales es cuasi-monocromático resaltándose uno o a lo sumo unos pocos picos espectrales agudos cuyo espectrograma muestra básicamente que el contenido de energía se concentra en una banda de frecuencia estrecha y constante en el tiempo a lo largo de la señal (Figs. 2b,c). Generalmente el inicio de las señales tiene una banda espectral más ancha y rica en altas frecuencias (Fig. 2c).
- Los registros de tornillos en estaciones de corto periodo y banda ancha en Galeras muestran resultados similares en los dominios del tiempo y la frecuencia de manera que sus rasgos característicos son independientes de la instrumentación usada (Fig. 3a,b).
- Las frecuencias dominantes no están afectadas por la distancia epicentral, el acimut o el tiempo de viaje indicando un efecto de la fuente (Fig. 3b). Las frecuencias pico son, en la mayoría de los casos, muy diferentes entre volcanes (Gómez y Torres, 1997).
- Algunos eventos muestran modulación de la amplitud (Fig. 4) y en general, sus inicios son emergentes; de vez en cuando algunos tienen llegadas ligeramente impulsivas.

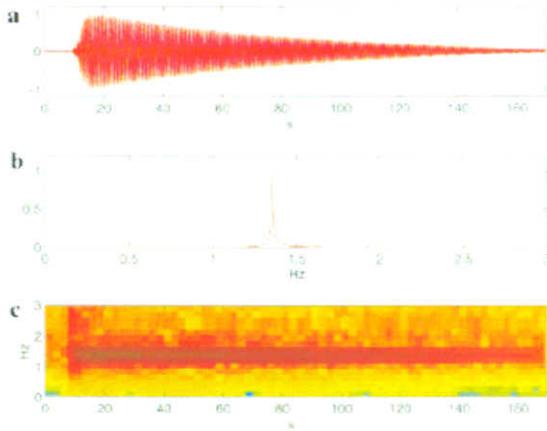


Fig. 2a-c. Firmas del tornillo del 4 de junio de 1993 en los dominios del tiempo y de la frecuencia a) sismograma (velocidad del terreno con amplitud normalizada), b) espectro (amplitud normalizada) y c) espectrograma tiempo-frecuencia mostrando la estabilidad de la frecuencia del tornillo.

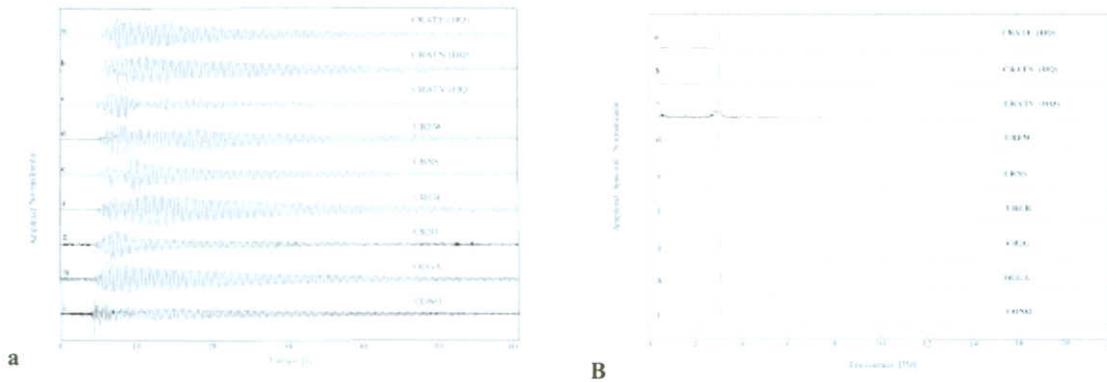


Fig.3a-b. Tornillo registrado el 10 de abril de 1996: a) Sismogramas donde las trazas (a), (b) y (c) son de la estación de banda ancha y de (d) a (i) de estaciones de corto periodo; b) sus correspondientes espectros.

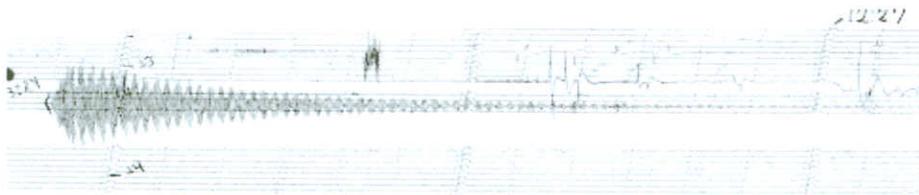


Fig.4. Sismograma de tornillo de Galeras registrado el 12 de Marzo de 1993.

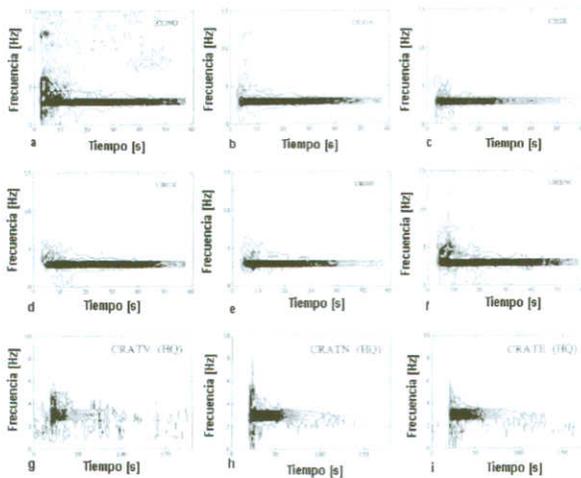


Fig. 5a-i. Espectrogramas del evento tornillo del 10 de abril de 1996 registrado en: (a)-(f) la red de banda angosta de Galeras, y (g)-(i) la estación de la banda ancha. Se han calculado los espectrogramas sobre la toda las señal con ventanas desplazadas cada 2 segundos y con 50% de traslape. Los datos de banda angosta son registrados mediante algoritmo de disparo limitando la longitud de los datos, mientras que los datos de la banda ancha son registrados continuamente.

