



UNAM, CGEO Juriquilla, Qro.

Martínez Valdés Judith Ivonne

Sismología Ambiental: Descripción de eventos volcánicos y sismicidad asociada

Sismología volcánica

La sismología volcánica es la ciencia que trata los sismos generados por volcanes y su actividad; el origen de las señales, su distribución espacio temporal, relaciones con procesos volcánicos y usándolas como instrumento para investigar la estructura profunda del volcán y “predecir” una erupción volcánica *Zobin (2012)*. Dicha ciencia divide en tipos las señales sísmicas-volcánicas con base en la forma de onda observada y la fuente. Desde los años 70's se tenía una propuesta de clasificación de eventos por Minikami: cuatro tipos divididos de acuerdo con la localización del epicentro, su relación con las erupciones y la naturaleza del movimiento sísmico *Zobin (2012)*.

Actualmente existen más tipos de sismos volcánicos meramente clasificados por la forma de onda, cada uno de ellos aporta información diferente sobre la dinámica de la cámara magmática y el entorno del volcán, la siguiente lista de tipos es una recopilación de distintas fuentes.

Internos

Volcano-tectónicos (VT)

El tipo de sismo volcano-tectónico recibe éste nombre gracias al parecido que tiene la señal con un evento de sismo clásico (por fallamiento), la forma de onda se caracteriza por tener un claro arribo de ondas P y S, alto contenido espectral, decaimiento exponencial de la coda, un inicio impulsivo con gran contenido de altas frecuencias, y por supuesto una distribución espacial acotada a la localidad del volcán, según *Cortés, G. (2015)*, los VT's se subdividen en:

- VT-A: VT profundos ($>2\text{km}$)
- VT-B: VT superficiales ($<2\text{km}$)

El origen de estos sismos está en la acumulación de esfuerzos generada por ascenso de material magmático: la acumulación de masa en el reservorio o conductos del volcán (y continuo empuje de nuevos aportes) genera una sobrepresión que puede llevar a la deformación, ruptura o fracturamiento del edificio volcánico y generar sismos volcano-tectónicos, otra característica de los VT's es que se presentan normalmente en enjambres, compartiendo un mismo epicentro (*Ibáñez, J. 2015*).

Long Period (LP) o Low Frequency (LF)

Los sismos LP son característicos por tener largos periodos y bajas frecuencias, como lo dice su nombre, la fuente de estos sismos se encuentra (generalmente) a profundidades mayores que los VT's, hasta ~20km o más, su señal se identifica gracias a los largos periodos, un rango de frecuencia limitado, difuso arriba o; no definido de ondas S, un incremento en amplitud lento y un decaimiento gradual, también pueden ocurrir en enjambres y se asocian a ser precedentes de actividad volcánica importante ya que dada su profundidad, aportan información sobre la dinámica de la cámara magmática como el ascenso o intrusión de magma.

Dentro de este tipo de sismos volcánicos entra una subdivisión o nuevo tipo de señal ligada a periodos largos: "**Tornillo**" llamada así por su forma de onda, donde la señal tiene un incremento en amplitud instantáneo que decrece muy lentamente semejándose a un tornillo, esto refleja una banda casi constante en el tiempo, éste tipo de señal tiene origen en el movimiento de volátiles. El término proviene del monitoreo del volcán Galeras en Colombia y otros volcanes de Japón donde se han observado éste tipo de señales que han sido precursoras a eventos eruptivos importantes, cabe resaltar que, aunque prácticamente todos los volcanes presentan todos los tipos de sismos, cada volcán tiene su propia firma sísmica, es decir, su dinámica y patrón de señales es diferente.

Además de los sismos tipo tornillo, dentro de los LP's también se encuentran los **VLP** Very Long Period (por sus siglas en inglés) y, consisten en señales que contienen periodos más largos que 2 s, la señal VLP frecuentemente sólo puede ser visualizada después de filtrar la señal obtenida (*Zobin, V. 2012*) su origen también se asocia a desgasificación del magma.

Tremores

El tremor volcánico es una señal sísmica caracterizada por mantener la amplitud constante durante un largo periodo de tiempo (*Ibáñez J. (s/f)*), que varía de varios minutos hasta horas y contiene un espectro centrado en bandas de frecuencias estrechas. Este tipo de sismos se caracterizan además por una serie de rasgos importantes: no se pueden identificar fácilmente los arribos de ondas P y S, su espectro presenta un pico dominante y algunos subpicos, tienen patrones similares con los eventos LP, las frecuencias centrales de los picos son muy estables. Están asociados a actividad superficial cercana al cráter, como ascenso de magma por el conducto, resonancia ondas de otros sismos en las cavidades o fracturas del edificio volcánico, desgasificación superficial, entre otros. Al igual que los LP son vistos como precursores de actividad eruptiva.

Híbridos

Son señales complejas que muestran rasgos de los VT y LP's, con un inicio impulsivo y un espectro de frecuencias amplio, normalmente son eventos poco profundos generados por fractura o interacción de fluidos en el conducto del volcán, es posible apreciar los arribos de ondas P y S, también presentan cambios en la dirección de impulso, la distribución espacio temporal es similar a los eventos LP por lo que también están asociados a actividad pre-eruptiva.

Explosiones

Estas señales están asociadas a las explosiones volcánicas tipo estromboliana, vulcaniana, pliniana. Se caracterizan por ser ampliamente variables dependiendo del tipo de erupción y por sobreponerse con otras señales que preceden a la actividad eruptiva.

- Estromboliana: la señal representante de una erupción tipo estromboliana contiene un inicio con bajas frecuencias, parte media con crecimiento a altas frecuencias y un decaimiento lento de la coda.
- Vulcaniana: su forma de onda es característica por contener grandes amplitudes y altas frecuencias principalmente, ésta fase puede ser continuada por otras fases como: parte de baja frecuencia, de alta frecuencia o una combinación de altas y bajas frecuencias.
- Freatomagmática: es una señal combinada de altas y bajas frecuencias asociada a la ocurrencia de eventos (pulsos) durante la erupción, la fase principal, a diferencia de los otros tipos de erupción; contiene periodos bajos y altas frecuencias.

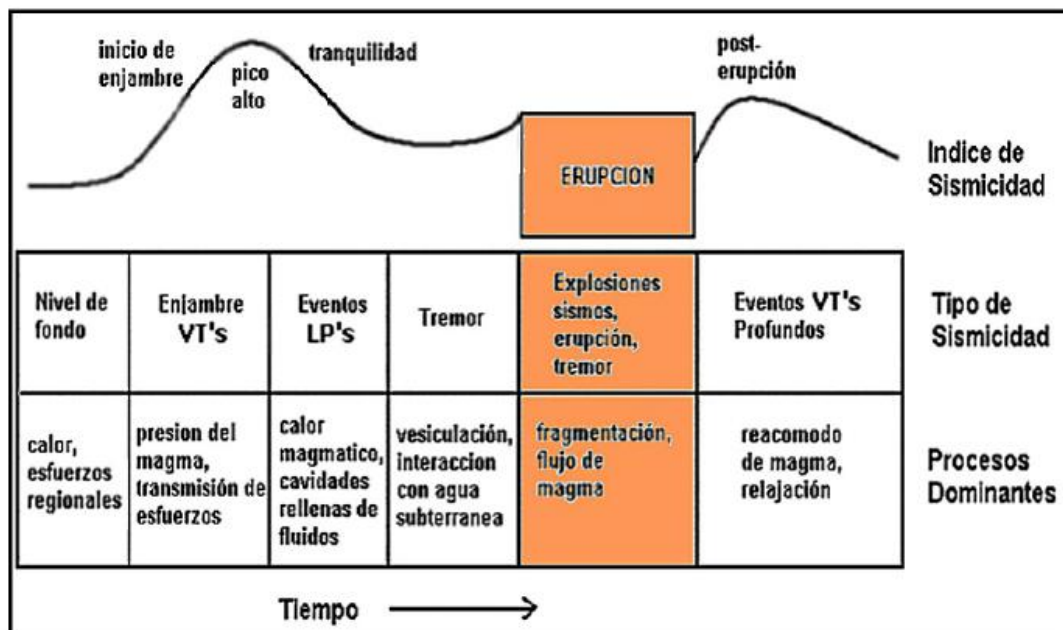


Figura 1.- A manera de resumen, los sismos internos del volcán se dan en un característico proceso eruptivo ejemplificado con el esquema de la imagen, además es notable que todos los tipos de sismos descritos pueden tener lugar en el mismo volcán y en la misma erupción. Imagen: Cortés, G. (2015), Original de McNutt (1996).

Externos

Derrumbes

Este tipo de señal se diferencia primeramente por tener lugar fuera del volcán, su fuente es el colapso ya sea de domo, flanco o parte del flanco del volcán así como remoción de material frío anterior al evento eruptivo cerca del cráter. El registro de señales por derrumbes es muy particular: comprende tiempos cortos y decaimiento rápido de la señal,

altas frecuencias al principio seguido de otro contenido de frecuencias variable, presenta una ligera acumulación de la energía en el intervalo central del evento Cortés, G. (2015).

Lahares

Los sismos generados por lahares también son complejos como los internos pues la dinámica del flujo es variable dependiendo de sus características composicionales, proporciones entre agua/sedimentos/bloques etc. Pero se puede reconocer una firma espectral característica: al inicio de la formación del lahar se registran frecuencias bajas de amplitud baja también, a medida que avanza, se incrementa la amplitud y frecuencia de las ondas, se observa un pico particular del frente del lahar donde normalmente se concentra la mayor parte de la energía, a partir de este pico, la señal decae gradualmente, esta forma de onda también describe la señal de un flujo piroclástico. También puede ocurrir uno o varios pulsos siguientes que darán formas de onda similares a la ya recibida. Cabe mencionar que la generación de lahares puede darse durante una erupción o sin ella.

Infrasonic Acoustic Waves

La fuente que genera ondas acústicas infrasónicas es la perturbación atmosférica que generan la eyección explosiva de los volátiles volcánicos, la señal sísmica se encuentra en un rango de frecuencias bajas y medias, por lo tanto periodos largos y medios. Los espectros suelen presentarse en “familias” con formas de onda características por la naturaleza del evento.

Bibliografía

- Zobin, V. (2012) *Introduction to Volcanic seismology*, 2nd edition, Elsevier, Amsterdam.
- Cortés, G. (2015) *Reconocimiento de señales sismo-volcánicas mediante canales específicos basados en modelos ocultos Markov* Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada.
- Torres, R. et al. (s/f) SEÑALES SÍSMICAS TIPO TORNILLO EN GALERAS Y OTROS VOLCANES ACTIVOS. Primer Simposio colombiano de sismología “Avances de la Sismología en los últimos veinte años” [en línea] Disponible: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Septiembre2007/CD3/pdf/spa/doc15978/doc15978-a.pdf>
- Ibañez, J., Carmona, E., (s/f) *Sismicidad Volcánica* [en línea] Disponible en: https://previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/SISMICIDAD_VOLCANICA%5B1%5D.pdf Consultado: 16/09/17
- Seismic Signatures (s/f) [en línea] Disponible en: http://www.iris.edu/hq/files/programs/education_and_outreach/aotm/17/SeismicSignatures_SeismogramMSH%20addition.pdf Consultado: 17/09/17