

Tarea de investigación  
Sismología Ambiental

1. Señales Estacionarias y no estacionarias

Antes de indagar en las señales estacionarias y no estacionarias, primeramente debe entenderse cuál es el significado formal de una señal. Una señal es la variación de un parámetro físico, respecto al tiempo en un determinado objeto o cuerpo (Penkova 2008); el análisis de la información consiste en recibir datos del evento, desde un emisor hasta un receptor, el cual recoge toda la información. Posterior a esto, de la información obtenida se debe discriminar la información inútil, a éste último a menudo se le conoce como ruido.

Una vez descrito que es una señal y como se analiza, se puede diferenciar en dos tipos principales de señales. Las señales Determinísticas y Aleatorias, las señales determinísticas tienen la cualidad de que pueden ser descritas mediante un procesos analítico o una ecuación matemática cuya comprensión sea sencilla. Por otro lado las señales aleatorias no tienen la propiedad de ser descritas de la misma manera que las determinísticas, esto debido a que el fenómeno que describen no tiene un comportamiento tan uniforme. Ejemplos de ésta última es la intensidad de caída de lluvia, la ocurrencia y magnitud de sismos en una zona activa, etc. Las señales aleatorias se estudian con de criterios estadísticos debido a la amplia gama de posibles respuestas que tienen los sistemas dinámicos (Penkova 2008), las señales aleatorias de pueden dividir en estacionarias y no estacionarias.

1.1. Señales Estacionarias

Un primer conjunto de señales aleatorias son las señales estacionarias, éstas tienen la característica de que sus propiedades (en términos estadísticos) no dependen del tiempo, por lo que  $x(t) = \text{cte.}$  (Penkova 2008). Lo anterior quiere decir que, si uno observa una señal clasificada como estacionaria, en un intervalo de tiempo y posterior a esto, vuelve a observar la señal en otro intervalo de tiempo, la señal técnicamente se vería igual, así como también sus distribuciones de amplitud y desviación estándar serían prácticamente lo mismo, teniendo parámetros estadísticos constantes. Gracias a ésta propiedad se puede tomar una muestra de la señal, la cual será representativa de todo el conjunto, al igual que si análisis aplicado (página de internet)

Algunas técnicas utilizadas para el análisis de señales estacionarias son los siguientes:

El análisis frecuencial o espectral: Esta técnica trata de encontrar la relación existente entre la frecuencia de las componentes discretas presentes en el espectro y la frecuencia de las fuerzas dinámicas que generan las vibraciones.

El análisis de la forma de onda o de la vibración en el dominio tiempo: consiste en extraer información útil para el diagnóstico del gráfico de la amplitud vibratoria versus el tiempo. Resulta ser de gran utilidad cuando para fallas diferentes los espectros son similares.

El análisis de coherencia éste método consiste en tratar de relacionar causa – efecto entre dos señales vibratorias, estimando la relación lineal que existe entre dos señales.

## 1.2 Señales no estacionarias

Las señales no estacionarias como su nombre lo indica, tienen un comportamiento opuesto al de las señales estacionarias, lo anterior quiere decir, que si se observan los datos obtenidos, éstos tendrán cambios a lo largo del tiempo, es decir  $f(x) \neq \text{cte}$ . Algunos comportamientos que se pueden apreciar en las señales no estacionarias son tendencias, ciclos, etc (www.investopedia.com 2017). La manera en que las señales no estacionarias son analizadas, consiste en transformar las señales no estacionarias en estacionarias, como se dijo anteriormente utilizando las tendencias, o el comportamiento cíclico que pudieran tener.

## 2.1 Descripción de señales volcánicas (VT)

Los sismos llamados de tipo VT, son movimientos tectónicos debido al fallamiento de rocas, debido al cambio de estrés debido al movimiento del magma y el movimiento de los fluidos a través de fracturas pre existentes. La mayoría de los sismos son generalmente pequeños y en ocasiones ni siquiera son perceptibles para los humanos, éstos se ubican en baja profundidad (dentro de los primeros 10 km de corteza). Por lo general los sismos de tipo VT ocurren en conjunto y en ocasiones son un factor previo a erupciones volcánicas (USGS 2016)

Las características que permiten distinguir a un VT de otros eventos son: la ocurrencia de eventos en pequeños grupos, los cuales comparten una similitud en tamaños y localizaciones, la razón de cambio del pico, relativa quietud, y en caso de que exista vulcanismo, sismicidad posterior (Mc-Nuut 2005). Los volcanes producen diferentes tipos de sismos, como lo son de alta frecuencia (HF), Baja frecuencia (LF) explosiones y tremor volcánico.

Los eventos HF tienen la peculiaridad de que típicamente tienen una amplitud de onda muy alta a un tiempo dado, y ondas de amplitud baja, antes y después de éste evento. De tal manera que en los sismogramas se puede apreciar que la diferencia de magnitud entre el evento mayor o principal y el segundo mayor es del doble aproximadamente (figura 1). En los eventos HF se pueden apreciar claramente el arribo de las ondas P y S y frecuencias dominantes entre los 5 y 15 Hz (McNutt 2000). Los eventos de éste tipo son generalmente causados por el deslizamiento de bloques y movimientos de cizalla.

Los eventos LF se cree que son generados por los procesos de presurización, como lo es la formación de burbujas en la cámara magmática, así como también el colapso interno de algunos bloques. En estos eventos se aprecia comúnmente un arribo emergente de ondas P y ondas S muy débiles (figura 1), éste tipo de eventos presenta frecuencias menores que los HF, yendo desde 1 a 5 Hz (McNutt 2000).

A menudo también se pueden apreciar sismogramas que son de características combinadas entre los de alta frecuencia y baja frecuencia (figura 1). Algunos investigadores piensan que en éstos casos ocurre una combinación entre movimientos de fluidos y fallamientos, sin

embargo otros apuntan a que en realidad ocurren procesos similares a los de movimientos de fluidos, pero a bajas profundidades (McNutt 2000).

En los procesos de sismos explosivos existe la presencia de una fase de choque de aire entre los sismogramas, en éste parte de la energía viaja a través de la superficie como ondas sísmicas y otra viaja a través del aire como ondas acústicas. De tal manera que las ondas acústicas chocan con las que se encuentran por debajo de la superficie y son detectadas por el sismómetro (McNutt 2000).

El tremor volcánico es una señal continua que puede durar desde minutos a varios días, el cual tiene frecuencias bajas de 1 a 5 Hz. La principal característica de éste es que tiene una señal continua en el tiempo (figura 1).

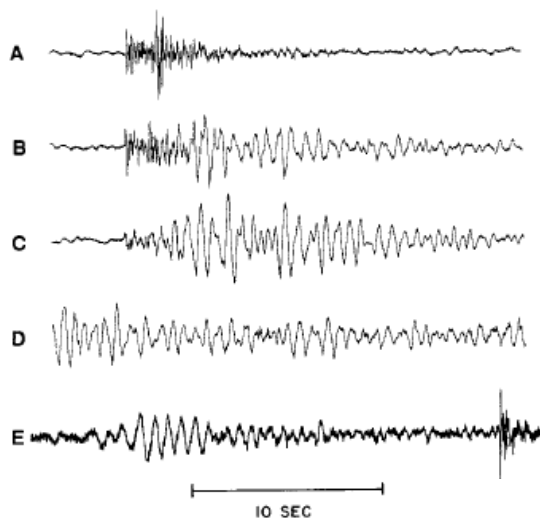


Figura 1)

Ejemplos de sismogramas típicos en eventos volcano-tectónicos

- A) Eventos de alta frecuencia HF
- B) Eventos híbridos entre alta y baja frecuencia
- C) Eventos de baja frecuencia LF
- D) Tremor volcánico
- E) Sismo explosivo

Existen varias condiciones que permiten identificar un evento volcánico tectónico (McNutt 2000) de otros de otra naturaleza, algunos de ellos son los siguientes:

- Rangos de sismicidad e historial

Los volcanes y las regiones aledañas a estos, presencian a menudo una amplia cantidad de sismos, debido a movimientos de agua subterránea, magma, deslizamientos, etc. Por lo cual ante la ocurrencia de tantos eventos a lo largo de los años, se puede crear un historial de las características típicas de los sismos. En el cual se puede obtener una generalización de la magnitud de los sismos, así como también de la cantidad de eventos registrada en una unidad de tiempo (día, mes, etc). De tal forma que en cierta área se puede definir que un sismo sea de tipo VT, si sus características son similares a las ya observadas previamente.

- La localización de los eventos

Es bastante común que los epicentros de los sismos, se encuentren en el cuerpo o edificio volcánico, por lo cual cuando un sismo es detectado por varios sismómetros, se puede

calcular el epicentro y si éste coincide con la ubicación de un edificio volcánico, es plausible que el evento sea debido a un VT.

- Sismicidad regional muy intensidad

A menudo ocurren eventos VT de gran magnitud cerca del volcán, previos a erupciones volcánicas de gran magnitud. Algunos ejemplos de esto son la erupción de Puyehue en Chile, donde 48 horas previo a éste, ocurrió un sismo de  $M=9.3$ .

## Bibliografía

McNutt, Stephen R. Volcanic seismology. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 2005, vol. 32, p. 461-491.

Penokova. V. M., 2008. Análisis de Señales vibratorias, Rev. Ciencia y Sociedad, V. XXXIII, num 1. p.29-46.

Volcanic seismicity. P. 1015- 1025. The encyclopedia of volcanoes, Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., & Stix, J. (Eds.). (2000).

<http://azimadli.com/vibman-spanish/sealesestacionarias.htm>

<https://volcanoes.usgs.gov/vhp/earthquakes.html>

<http://www.investopedia.com/articles/trading/07/stationary.asp>