

DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LAS ESTACIONES DE LA RED SÍSMICA DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA: UNA APLICACIÓN EN LA LOCALIZACIÓN DE TREMOR VOLCÁNICO

Alexander García-Aristizábal^{1, 2}
Denis Legrand²

- 1 Instituto Geofísico/
Departamento de
Geofísica. Escuela
Politécnica Nacional,
Quito.
- 2 IFEA-Instituto Francés de
Estudios Andinos. Lima,
Perú.

Resumen

La red sísmica mantenida por el Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional para el monitoreo del volcán Guagua Pichincha está conformada por estaciones compuestas de sensores de velocidad de período corto (de frecuencia natural de 1 Hz), telemetría analógica vía radio (UHF) y sistema de registro tanto analógico como digital. Los registros sísmicos obtenidos contienen información del movimiento del suelo que está afectada por la respuesta física de los equipos. En este trabajo se pretende realizar una descripción general de la respuesta instrumental de los diferentes equipos utilizados en el proceso de registro de la señal sísmica, el efecto que tienen sobre el sismograma y el proceso de corrección del mismo debida a este factor. De igual forma, con el fin de mostrar una aplicación práctica de este proceso, se realizaron localizaciones de eventos de tremor del volcán Guagua Pichincha (ocurridos en 1999) basadas en la atenuación de la amplitud de las ondas sísmicas.

Abstract

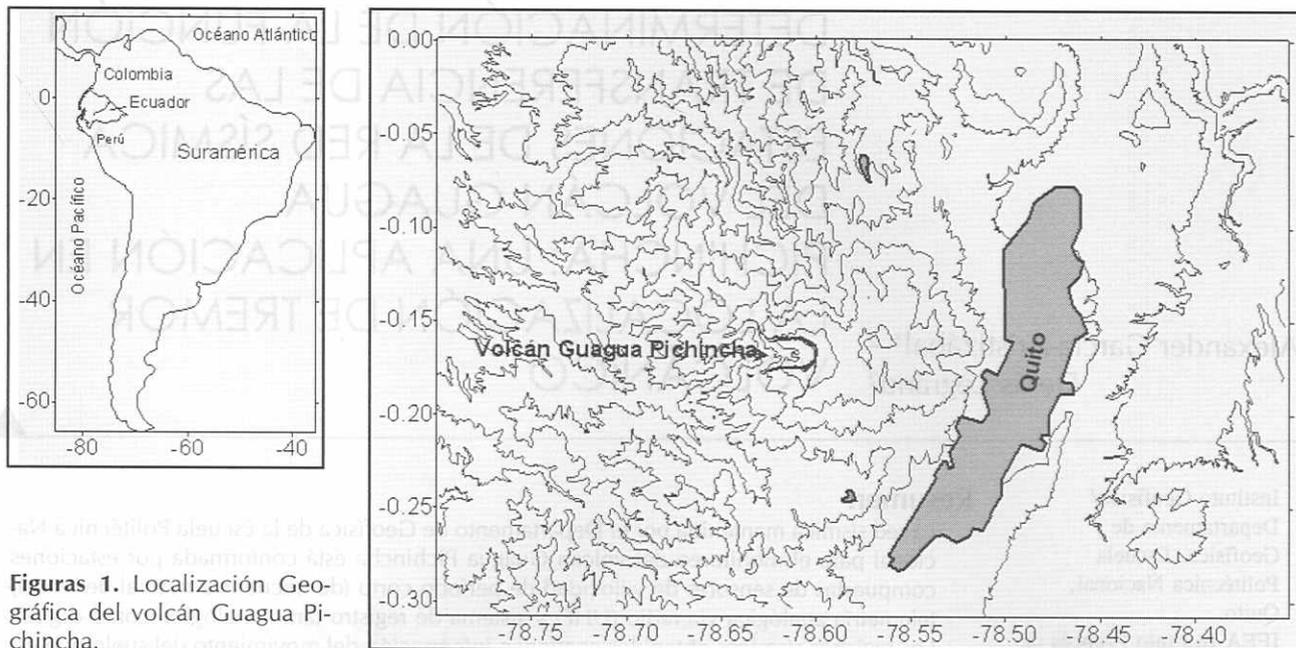
The seismic network maintained by the Geophysical Department of the Escuela Politécnica Nacional of the monitoring of Guagua Pichincha volcano is comprised of telemetric short period (natural frequency of 1 Hz) via radio (UHF) and analog and digital registry. The seismic information which is obtained from the network contains information of ground movement whose signature in turn reflects the physical response of the equipment. In this article we present a general description of the instrumental response of the different equipment used in the registry of the seismic signal, the effects of the response on the seismogram and the correction processes given these factors. Also, as a practical application of the aforementioned practice, locations of tremor (which occurred in 1999) of Guagua Pichincha volcano were made based on the attenuation of the amplitude of the seismic waves.

agarcia@igepon.edu.ec

INTRODUCCIÓN

El volcán Guagua Pichincha forma parte de la cadena de volcanes cuaternarios de la cordillera Occidental del Ecuador, localizado a los 0° 10' Latitud Sur, 78° 36' Longitud Oeste y una altura de 4 739 msnm. Corresponde al centro de emisión más joven del complejo volcánico Pichincha y se ubica en la parte más occidental del mismo. A unos 10 km al Este de la caldera del Guagua Pichincha se encuentra la ciudad de San Francisco de Quito, capital de la República del Ecuador, con una población aproximada de 1 800 000 habitantes (figura 1).

El Instituto Geofísico comenzó a monitorear instrumentalmente el volcán Guagua Pichincha en 1981. Actualmente se encuentra instalada una red de 14 estaciones sísmicas telemétricas de período corto (1 Hz), de las cuales 2 estaciones son de tres componentes (NS, EW y Vertical) (Pino y Terraza) y 12 de componente vertical. La tabla 1 muestra la lista de estaciones y su ubicación espacial se aprecia en la figura 2. Las que



Figuras 1. Localización Geográfica del volcán Guagua Pichincha.

poseen el símbolo de (*) fueron las estaciones cuyos datos no se utilizaron debido a que no fue posible obtener su respuesta instrumental.

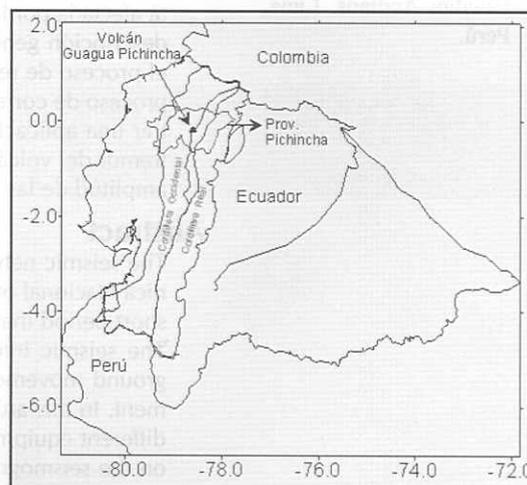
La red posee una buena distribución en cuanto a distancia desde la fuente de eventos. Existen estaciones cercanas, de distancia intermedia y estaciones lejanas, proporcionando un buen control para la localización de eventos volcánicos desde ese punto de vista. En cuanto a la cobertura (GAP), posee buena distribución en los flancos Norte, Este, Sur y Suroeste, sin embargo, el flanco Oeste no está bien monitoreado debido a la inaccesibilidad del área, las dificultades de transmisión de los datos y al peligro que representa el área debido a la actividad del volcán (ver figura 2).

Adicional al monitoreo sísmico, el volcán cuenta con estaciones de monitoreo de deformación con bases de mediciones de EDM (Electronic Distance Measurements), GPS y dos inclinómetros permanentes, uno localizado cerca al refugio del volcán y el otro cerca de la estación sísmica de San Juan.

PARTE I

Obtención de la respuesta instrumental de las estaciones sísmicas y corrección instrumental de los sismogramas

Una estación sísmica telemétrica completa consta de un equipo en el campo compuesto por un sensor (sismómetro), sistema de amplificación, modulador de frecuencia (VCO), y sistema de transmisión vía radio (radio (normalmente UHF) y antena) y un sistema de recepción formado por un sistema de recepción (radio), discriminador de señales (demodulador) y un sistema de registro (ya sea analógico o digital). La figura 3 muestra un esquema general de una estación sísmica.



Respuesta instrumental de una estación sísmica

Para obtener la respuesta instrumental de la estación completa, es necesario obtener la función de transferencia (es decir, relación de la señal de salida respecto a la señal de entrada del sistema) de cada elemento que interviene en el manejo de la señal original. Sin asumir errores considerables, puede despreciarse el efecto de los radios, antenas, discriminadores y osciladores, por lo que la función total se reduce al efecto del sensor (sismómetro), filtros (pasa altos y pasa bajos), sistema de amplificación / atenuación y sistema de registro (analógico y/o digital).

A continuación se describe *grosso modo* la obtención de las expresiones que constituyen las funciones de transferencia de estos equipos utilizados.

ESTACIÓN	COD.	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
Cráter	CGGP	0° 10.73' S	78° 35.81' W	4420
Refugio	GGP	0° 10.46' S	78° 35.68' W	4600
Pino	PINO	0° 9.48' S	78° 36.46' W	4600
Toaza	TOAZ	0° 10.74' S	78° 36.93' W	4200
Guagua P. Norte	GPNO*	0° 9.18' S	78° 37.33' W	4040
Terraza	TERV*	0° 10.73' S	78° 35.81' W	4480
Río Cristal	XTAL	0° 12.12' S	78° 40.13' W	2040
San Juan	JUA2	0° 12.83' S	78° 36.31' W	3670
San Jorge	JORG*	0° 13.03' S	78° 38.74' W	2800
San Miguel	MGUL*	0° 15.52' S	78° 35.06' W	3498
Yana	YANA	0° 7.09' S	78° 34.27' W	3730
Qda. Rumipamba	QUR	0° 10.3' S	78° 31.73' W	3720
Faro Norte	FARO*	0° 2.13' S	78° 30.55' W	3595
Nono	NONO*	0° 3.34' S	78° 34.68' W	2972

Tabla 1. Descripción de la red de estaciones que se utilizan para monitorear la sismicidad del volcán Guagua Pichincha. Las estaciones con el símbolo (*) indican las que no fueron calibradas.

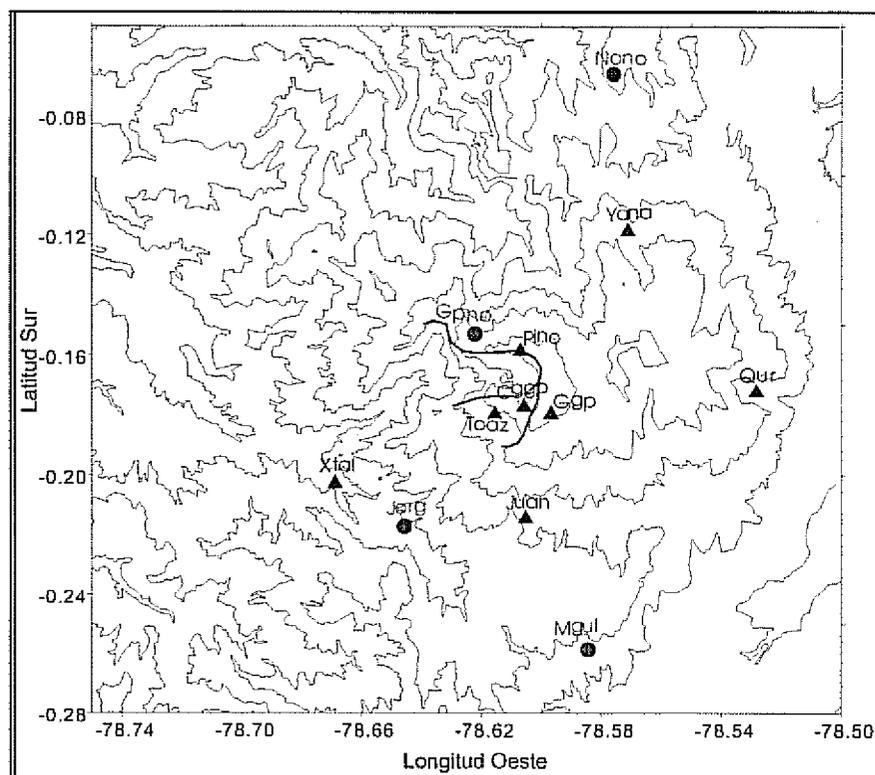


Figura 2. Localización de las estaciones sísmicas utilizadas en el monitoreo del volcán Guagua Pichincha.

Sensor (sismómetro)

Los sismómetros utilizados son L4-C (o L4-3D en el caso de tres componentes) producidos por Mark Products. Son sensores electromagnéticos de bobina móvil y físicamente corresponde a un transductor de velocidad (es decir, la señal obtenida corresponde a la velocidad de movimiento del suelo).

Corresponde a un sistema de segundo orden con términos derivativos, y pue-

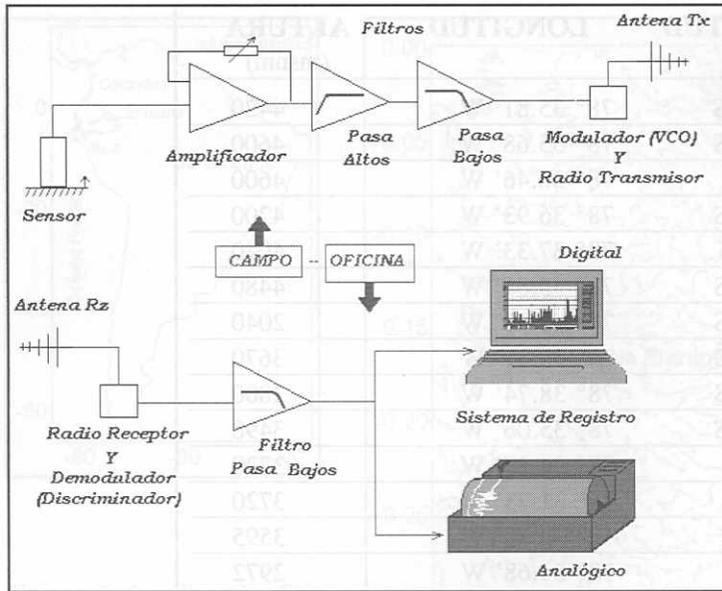


Figura 3. Descripción general de los componentes de una estación sísmica telemétrica.

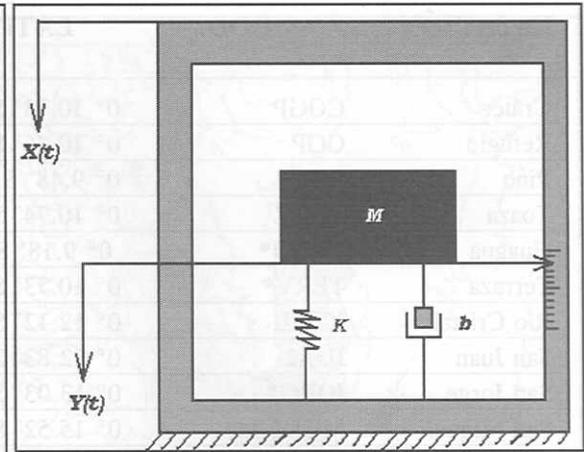


Figura 4. Sistema mecánico análogo al sismómetro. M es la masa suspendida, K la constante del resorte, b factor del amortiguador. $X(t)$ corresponde al movimiento del suelo, $Y(t)$ movimiento de la masa. El valor de la medición será $Y(t) - X(t)$.

de ser representado por un sistema mecánico análogo como el que se muestra en la figura 4.

Los parámetros físicos que caracterizan al sensor son:

- La constante de transducción electromagnética (G_0), que relaciona el voltaje de salida del transductor respecto a la velocidad de movimiento de la masa. Sus unidades son Voltio * seg/m).
- La resistencia de la bobina interna del sensor (R_c).
- La frecuencia natural del sensor. En este caso, los equipos utilizados (L4-C) tienen una frecuencia natural de 1 Hz.
- El factor de amortiguamiento (b). Expresa el porcentaje de amortiguamiento crítico que posee el sistema. Para los sensores utilizados, este valor es de 0.28, sin embargo, es posible modificarlo instalando una resistencia de amortiguamiento (R_x) en paralelo a la salida de la bobina del sensor.
- Resistencia de Amortiguamiento (R_x). Para normalizar la respuesta del sensor (en función de la frecuencia), se instala un valor de R_x tal que el valor de amortiguamiento del sistema se establezca en 0.7.

La figura 5 muestra un ejemplo de la respuesta de una estación (QR) con amortiguamiento de 0.28 (línea continua) y amortiguamiento de 0.7 (línea punteada). Puede verse la diferencia en la respuesta del sistema al variar el amortiguamiento. Con 0.28 existe un sobrepaso importante alrededor de la frecuencia natural del sistema. Al subir el factor de amortiguamiento hasta 0.7 es posible uniformizar la respuesta del sistema al obtener un valor de magnificación aproximadamente constante

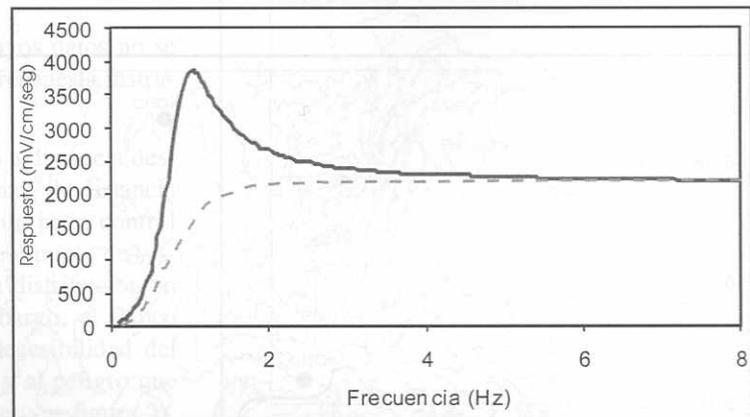


Figura 5. Comparación de las curvas de respuesta de una estación con amortiguamiento 0.28 (línea continua) y 0.7 (línea discontinua).

para frecuencias arriba del valor de frecuencia natural del sistema.

Si se analiza la ecuación de movimiento del sistema que representa al sensor, puede llegarse a obtener la función de transferencia generalizada para un sistema de segundo orden con términos derivativos, de la forma:

$$F(s) = \frac{S^2}{S^2 + 2\beta\omega_n S + \omega_n^2}$$

Donde ω_n se refiere a la frecuencia natural del sistema (en radianes, igual a $2\pi f$, β el amortiguamiento (o fracción de amortiguamiento crítico)).

Al factorizar el término de la función de transferencia del sismómetro, queda expresada en función de sus polos, de la forma: