

PRIMERA ETAPA DE INSTALACION DE LA RED DE MONITOREO SISMICO Y GEODESICO DEL VOLCAN DE COLIMA

Servando de la Cruz-Reyna, Guillermo Castellanos, Zenón Jiménez Jiménez, Gabriel Reyes, Manuel Mena Jara, Gilberto Ornelas, Juan Manuel Espíndola Castro, J. C. Pérez, Alejandro F. Nava Pichardo, A. Ramírez, Esteban Ramos Jiménez, J. Herrera, Carlos Cañon Amaro, H. Tamez, Izumi Yokoyama, Bertha Márquez y Nuria Segovia

Resumen

Se describen los trabajos de campo correspondientes a la primera de tres etapas de instalación del sistema de monitoreo y vigilancia del Volcán de Colima; Esta etapa se llevó a cabo del 22 al 27 de febrero de 1988 y consistió en la localización de los sitios de las estaciones sismológicas y geodésicas.

Introducción y antecedentes

El Volcán de Colima es el más activo del país. Tan sólo, en tiempos históricos, desde 1560 hasta la fecha han ocurrido 29 eventos eruptivos importantes, de los cuales seis pueden clasificarse como erupciones explosivas de magnitud considerable (índice de explosividad volcánica = 4). Los depósitos geológicos de erupciones pre-históricas sugieren la ocurrencia de actividad similar en el pasado y por lo menos un evento paroxístico que algunos autores sitúan hace 4500 años (Luhr and Carmichael, 1980, 1981, 1982 y 1988) y otros hace 10000 años (Robin *et al.*, 1987). Este evento se manifestó como una gran erupción lateral, del tipo Monte Santa Helena, la cuál produjo una avalancha con un volumen estimado entre 10 y 20 kilómetros cúbicos que cubrió una extensión de 1500 kilómetros cuadrados al sur del volcán. Las erupciones históricas han sido menos destructivas, aunque por lo menos en una, 1818, se han producido víctimas, y en otras los daños a la producción agrícola y ganadera han sido importantes (1585, 1606, 1622, 1818, 1890 y 1913).

El análisis de la actividad pasada muestra que no existen patrones regulares en la ocurrencia de erupciones que permitan la predicción en base únicamente a la historia. Los datos existentes permiten, tan sólo, determinar parámetros que describen la distribución estadística de las duraciones de los in-

tervalos entre erupciones, y, si bien es posible calcular probabilidades a partir de ellos y construir modelos de patrones de actividad, de ninguna manera es posible predecir, con certeza, la ocurrencia de eventos individuales a partir de este tipo de información.

Afortunadamente, la tecnología actual ha permitido desarrollar instrumentos de detección capaces de registrar una serie de fenómenos, generalmente imperceptibles por otros medios, que normalmente preceden a una erupción. Estas manifestaciones son producidas por la acumulación de material magmático rico en volátiles bajo el volcán y son reconocibles si se cuenta con la instrumentación adecuada.

Los fenómenos detectables que comúnmente preceden a una erupción son:

- a) Diferentes tipos de actividad microsísmica bajo o cerca del volcán.
- b) Deformaciones del edificio volcánico y sus alrededores.
- c) Anomalías emanométricas.
- d) Anomalías geoquímicas en fumarolas o en manantiales asociados al volcán.

Cuando se cuenta con el equipo adecuado es posible detectar estas manifestaciones con la anticipación suficiente para poder aplicar las medidas necesarias de protección a la población y a los factores de producción.

El Gobierno del Estado de Colima a través de su Sistema de Protección Civil y la Universidad de Colima han iniciado un programa de trabajo para que, en colaboración con la UNAM y otros organismos se instale en el Volcán de Colima un dispositivo de monitoreo y vigilancia que permita detectar con anticipación suficiente las manifestaciones que preceden a una erupción y así dotar a sus autoridades de un mecanismo de toma de decisiones que permita mitigar al

máximo los efectos de una posible actividad volcánica. Este dispositivo tendrá también la capacidad de registrar la actividad sísmica regional de origen tectónico, por lo que aportará asimismo una valiosa información para la evaluación del riesgo sísmico.

Descripción del programa

El programa de observación y monitoreo del Volcán de Colima y de la sismicidad tectónica regional contempla la instalación de ocho estaciones telemétricas que detectarán y transmitirán información sísmica e inclinométrica a una central de recepción y análisis situada en el Centro de Ciencias Básicas de la Universidad de Colima. Contempla también el establecimiento de una red geodésica que permita cuantificar las deformaciones detectadas por las componentes inclinométricas de la red telemétrica, y la implantación de detectores de radón para el control emanométrico en suelo.

El desarrollo del programa de instalación se planea en tres fases:

a) Localización de los sitios definitivos de las estaciones telemétricas y de la red geodésica.

b) Construcción de las casetas que albergarán el equipo telemétrico y de los monumentos de la red geodésica.

c) Instalación de detectores sísmicos e inclinométricos, unidades de transmisión en las estaciones remotas y equipo de recepción, registro y proceso en la unidad central.

El presente informe describe las actividades que el Grupo de Vulcanología del Instituto de Geofísica de la UNAM, en colaboración con la Universidad de Colima y las instituciones participantes del Sistema Estatal de Protección Civil del Estado de Colima y la Universidad de Guadalajara, realizaron del 22 al 27 de febrero de 1988 para implementar la primera fase del programa de instalación del Sistema de Monitoreo y Vigilancia del Volcán de Colima: Localización de los sitios de las estaciones telemétricas y de la red geodésica.

Características de los sitios

Los sitios donde se instalarán las estaciones telemétricas y geodésicas deben satisfacer una serie de requisitos técnicos para el óptimo desempeño de sus funciones. Las estaciones sísmicas deben estar localizadas en sitios que permitan calcular, con la menor ambigüedad posible, las posiciones de los hipocentros; deben asimismo situarse en lugares donde el nivel de ruido sísmico sea lo suficientemente bajo para permitir que los detectores se puedan ajustar a

una alta sensibilidad, y su distribución espacial debe ser tal que permita un monitoreo detallado de cualquier tipo de actividad sísmica que pudiera ocurrir en el volcán y al mismo tiempo registrar la actividad tectónica regional, requiriendo, en todos los casos, la existencia de línea de vista entre el sitio elegido y la unidad central que permita la transmisión por radio de la información. Asimismo, las estaciones sísmicas telemétricas localizadas en o alrededor del edificio volcánico, también registrarán datos de deformación por medio de los inclinómetros electrónicos, por lo que deberán situarse en posiciones en las que se esperen cambios significativos de nivel, eventualmente debidos al incremento de presión en la cámara magmática del volcán. Las restantes estaciones geodésicas han de situarse en posiciones que permitan determinar la geometría de las posibles deformaciones de la estructura volcánica en términos de desplazamientos absolutos horizontales, verticales y basculamientos, para de allí poder modelar la fuente de presión.

Función de los

equipos y técnicas de medida

Los equipos de monitoreo sísmico tendrán las siguientes funciones:

a) Discriminar entre sismos tectonovolcánicos que ocurran en la zona de influencia del volcán y sismos tectónicos en áreas vecinas.

b) Discriminar entre sismos tectonovolcánicos y sismos netamente volcánicos (i.e. tipo B).

c) Capacidad de determinar, dado el caso, posibles patrones de sismicidad en el volcán, tales como migración de hipocentros, concentración de focos en regiones definidas, existencia de familias de sismos en términos de características espectrales y otros.

d) Capacidad de detección y reconocimiento de tremores armónicos.

Estas funciones se logran con unidades telemétricas consistentes de sismómetro de período corto, amplificador y filtro, modulador de señal y transmisor de UHF o VHF en frecuencia modulada y una unidad central consistente en: receptores, demoduladores, demultiplexor, control de tiempo, registradores y computadora para análisis de señales.

La red geodésica basa su diseño en los resultados de investigación vulcanológica de las últimas cuatro décadas, los cuales han demostrado que existe una correlación directa entre las deformaciones y la próxima actividad eruptiva. La presente red se ha diseñado para mantener un monitoreo geodésico a

través de control horizontal, vertical, de basculamiento y de redistribución en las densidades.

Control horizontal: En este rubro el programa contempla una red de triangulación que permita observar los desplazamientos horizontales desde bases "cortas" (distancias menores de 2 km) y "largas" (distancias mayores de 2 km), con observaciones periódicas de distancias y ángulos.

Control vertical: En este aspecto se mantendrá una línea de nivelación con bancos cada 250m situados en la base del cráter de caldera denominado "El Playón". Esta línea se extiende alrededor del flanco norte y oeste del volcán y será construida en base a monumentos de concreto de 40 x 40 cm, con un cimiento de un metro de profundidad. Esta nivelación debe ser necesariamente de primer orden y se repetirá periódicamente.

El control de basculamiento se efectúa por medio de inclinómetros "secos" que, en contraste con los electrónicos, son capaces de detectar cambios en la horizontalidad sobre áreas grandes. Esto se consigue por medio de nivelación de precisión entre monumentos situados en los vértices de triángulos, tomando las medidas entre pares de hitos. La comparación de las nivelaciones tomadas en diferentes tiempos permite determinar los vectores de inclinación.

El control de densidad se lleva a cabo con medidas repetitivas de gravimetría de precisión sobre las líneas de nivel previamente establecidas y tras las correcciones a la anomalía gravimétrica observada por deformaciones verticales.

Actividades correspondientes a la primera fase

Aspectos sismológicos

El grupo formado por los autores cubrió los objetivos correspondientes a la primera fase de la instalación del sistema de monitoreo del Volcán de Colima en el período del 22 a 27 de febrero de 1988.

Se midieron los niveles de ruido sísmico en diversos lugares que satisfacían los otros requerimientos señalados en el capítulo "Características de los Sitios" utilizando tres sismógrafos portátiles Sprengneter modelo MEQ-800. En todos los casos se comprobó la perfecta comunicación de radio entre los sitios escogidos y la unidad base.

Los sitios de control geodésico fueron escogidos utilizando un teodolito. Todo el trabajo de campo fue llevado a cabo con el apoyo logístico del Sistema Estatal de Protección Civil a través de sus instituciones participantes, especialmente SCT, y del Centro de Ciencias Básicas de la Universidad de Colima.

A continuación se describen los sitios escogidos para las estaciones telemétricas:

Volcancito. En la cumbre del volcancito formado durante la erupción del 6 de diciembre de 1869, cerca de la cruz que allí se encuentra. El acceso a éste sitio es por el camino que sale de la carretera Cd. Guzmán-Colima, adelante de Atenquique, en dirección al Parque Nacional Volcán de Fuego de Colima. Este camino conduce hasta el Playón, desde donde es posible subir al Volcancito en corto tiempo por la unión entre éste y el Volcán de Colima. El nivel de ruido sísmico allí es muy bajo, por lo que permitirá situar una excelente estación sísmica en ese punto. Asimismo, sus características morfológicas lo hacen idóneo para instalar un inclinómetro electrónico de dos componentes cuyas señales también se transmitirán a la unidad receptora.

Playón. Este sitio se encuentra en el extremo SW del Playón, cerca de donde termina el camino maderero que lo circunda. El acceso es el mismo que se menciona en el párrafo anterior y tiene características similares de bajo nivel de ruido. Este sitio es también idóneo para la instalación de otro inclinómetro electrónico de dos componentes. La comunicación por radio de éste sitio con la Ciudad de Colima es perfecta.

Nevado. Situado en la parte alta del Nevado de Colima, justamente por debajo de la estación repetidora de televisión, este lugar cubre el azimuth norte del Volcán de Colima. En este sitio se instalará un sismómetro telemétrico. El acceso se logra por el camino al Nevado que entronca con la carretera Cd. Guzmán-Atenquique.

El Fresnal. Este sitio se ubica en el costado SE del Volcán. Para llegar se sale de Tonila hacia el fraccionamiento del Fresnal. De allí se toma el camino maderero al noroeste y a 1.5 km (aproximadamente) se encuentra el lugar indicado. En esta estación se instalarán sismómetro e inclinómetro telemétricos.

La Yerbabuena. Esta estación se ubica cerca del poblado del mismo nombre. Para llegar se utiliza una brecha que sale de San Antonio, pasa por La Yerbabuena y continúa por una parte plana durante unos 2 km. En seguida la brecha sube por un promontorio escarpado como 1.5 km y alcanza una meseta. Unos 300m más adelante se encuentra una elevación, la cual fue elegida para situar esta estación y en la que también se instalarán sismómetro e inclinómetro telemetrizados.

El sistema de telemetría contempla tres estaciones sismológicas más, localizadas a mayores distancias del volcán, con el doble objetivo de mejorar la

precisión en la localización tanto de eventos locales como regionales. Estas estaciones son:

Cerro Grande. El acceso a este sitio se consigue saliendo por Villa de Alvarez hacia Juluapan. Aproximadamente 1.5 km más adelante del puente del río Armería, se encuentra, a mano derecha, una brecha que se dirige hacia el Cerro Grande. De esta desviación, a unos 25 km, se encuentra el sitio seleccionado. Este es el único lugar donde no se dejó una marca específica, ya que existen numerosos afloramientos de roca adecuados con línea de vista a la base.

La Carbonera. Este sitio se halla al SW del cerro de la Carbonera. Para llegar allí se sigue la carretera que va de Tecalitlán a Pihuamo. Como a 15 km de la desviación a Tecalitlán se encuentra una brecha que conduce a La Higuera. De allí sale un camino angosto que llega a La Encinera (rancho del Sr. Alfredo Cárdenas). Del rancho parte un camino que va al cerro Los Lobos, llegando a otro rancho en donde termina el camino. De allí es necesario caminar unos 600m hacia el cerro más elevado, donde se halla el sitio elegido. El Sr. Cárdenas ha ofrecido su ayuda para localizar el sitio.

El Alcomún. Este sitio se encuentra en un cerro al sur de la ciudad de Colima. Para llegar allí se sale de Coquimatlán por una brecha que conduce al poblado de Jala. A unos 15 km de Coquimatlán, en la parte más alta de esta brecha, se caminan 600m hasta alcanzar el punto donde se tiene línea de vista a la ciudad de Colima.

Aspectos geodésicos

Para el control horizontal se estableció un polígono de cinco vértices, cuatro en El Playón y uno en la cima del Volcancito. En el Playón dos vértices se encuentran sobre los flujos antiguos de lava que descienden por los flancos del volcán y dos en la parte inferior, cerca de la pared del cráter de la caldera. La siguiente tabla muestra los rumbos y azimuths de las estaciones "internas" a partir de la estación situada en la parte NW de El Playón, la cual se ha denominado "Estacionamiento".

ESTACION	AZIMUTH	RUMBO
1	223°03'	S 43°03' W
2	295°46'	N 64°14' W
3	253°42'	S 73°42' W
4 (Volcancito)	161°29'	S 18°31' E

Todas las estaciones tienen líneas de vista entre ellas, y la distancia entre las mismas es menor de 2km.

Por otro lado se ha diseñado una figura con un vértice principal ubicado en la barda sur de la estación repetidora de televisión situada en la cumbre del Nevado de Colima y con cuatro vértices sobre el Volcán de Colima; uno en el flujo que se encuentra al este del dique radial, dos coincidentes con el polígono descrito arriba y uno más en la estación sobre el Volcancito.

En la parte sureste del volcán se establecieron dos puntos de referencia, uno coincidente con un vértice de triangulación establecido en 1941 por la Compañía Mexicana Aerofoto, ubicado en la parte exterior del segundo nivel de la torre de la iglesia de Tonila, y otro en la parte suroeste de la torre No. 192 de la CFE. Estos vértices se ligan a la red antes descrita a través de la estación de la cumbre del Volcancito.

En la parte noroeste del volcán las dificultades de intervisibilidad entre los puntos nos obligó a establecer un sólo vértice ligado al Nevado de Colima y a un grupo de los bancos de nivel de la línea que se describirá en el siguiente párrafo.

El control vertical se mantendrá por medio de la observación periódica de la línea ya mencionada. A partir del dique radial del Playón se podrá observar, desde algunos de éstos bancos, el vértice de triangulación colocado en el flujo de lava oriental del volcán e integrarlos de esta manera a la red de triangulación.

Estos bancos servirán, además, como estaciones gravimétricas para control de posibles redistribuciones de densidad en el interior del volcán.

Finalmente cabe mencionar que los inclinómetros secos han sido ya monumentados.

Referencias

- Luhr, J. F. and Carmichael, I.S.E.: *The Colima volcanic complex. Mexico: Part I. Post-caldera andesites from Volcan Colima*. Contrib. Mineral. Petrol. 71, 343-372. (1980).
- Luhr, J. F. and Carmichael, I.S.E.: *The Colima volcanic complex, Mexico: Part II. Late-Quaternary cinder cones*. Contrib. Mineral. Petrol. 76, 127-147. (1981).
- Luhr, J.F. and Carmichael, I.S.E.: *The Colima volcanic complex. Mexico: Part III. Ash-and scoria-fall deposits from the upper slopes of Volcan Colima*. Contrib. Mineral. Petrol. 80, 262-275. (1982).
- Luhr, J.F. and Carmichael, I.S.E.: *Geología del Volcán de Colima, México*. Revista Mexicana de Geología. (En prensa). 1988.
- Robin, C., Mossand, Ph., Camus, G., Cantagrel, J.M., Gourgaud, A., Vincent, P.M. *Eruptive history of the Colima Volcanic complex (Mexico)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 31, 99-113. (1987).