

glaciaciones en el edificio volcánico, pueden provocar efectos superiores a los debidos por la actividad volcánica. Por estas razones, para medir deformaciones, cambios en las pendientes del volcán o inclinaciones, se emplean técnicas precisas a través de instrumentos especiales. Las mediciones pueden realizarse a través de métodos geodésicos convencionales (nivelación, triangulación, trilateración, inclinometría seca, etc.) o por otros métodos electrónicos, siendo los instrumentos mas usados: inclinómetros, distanciómetros y más recientemente, el empleo de receptores de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

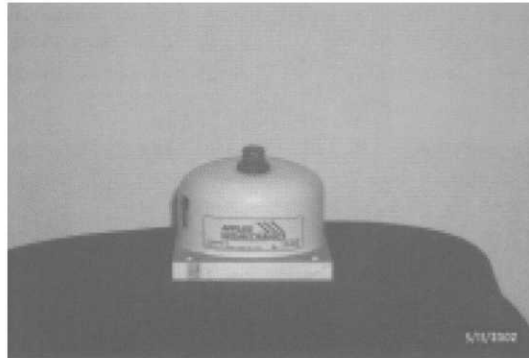


Figura 2.5 Inclinómetro de burbuja

2.1.4 Monitoreo geoquímico

Todos los sistemas volcánicos tienen zonas de contacto con agua y fluidos que interactúan con el material magmático. Asimismo, un aporte, movimiento o cambios del sistema magmático pueden resultar en el escape de gases hacia la atmósfera. Estos efectos aparecen como cambios químicos que pueden medirse en la superficie del volcán. Por tanto, este tipo de monitoreo se refiere al análisis químico de gases, cenizas, agua de manantiales y otros productos volcánicos, así como la medición de cambios en la temperatura, tasa de emisión de gases, pH, etc. Los resultados de este tipo de monitoreo resultan de suma utilidad para reconocer diversos aspectos relacionados con el origen y evolución de los cuerpos magmáticos.

Una de las técnicas empleadas para el análisis de gases es la utilización de métodos espectrométricos, los cuales consisten en analizar el espectro de emisión (o absorción) del gas e identificar así los diferentes elementos que lo componen. Un ejemplo es la medida del flujo de SO_2 utilizando un espectrómetro de correlación "COSPEC", para conocer en forma remota el flujo de este gas en una pluma volcánica. Otro de los equipos empleados es el LICOR, utilizado para determinar los niveles de CO_2 también en la pluma volcánica.



Figura 2.6 Vuelo para medición de SO_2 con el COSPEC

2.1.5 Otras técnicas y tipos de monitoreo

Adicionalmente a los tipos de monitoreo descritos, existen instrumentos para detectar y medir otra serie de manifestaciones físicas en los volcanes. Ejemplos de estos pueden mencionarse los gravímetros y magnetómetros para la medición de variaciones en los campos gravitacional, geomagnético y geoelectrico provocados por cambios en la temperatura o en el equilibrio de masas de agua, gas, roca sólida y componentes magmáticos que constituyen el sistema volcánico.

Asimismo resulta importante la implementación de sistemas de detección y alertamiento de ciertos productos volcánicos, como pueden ser detectores de flujos de lodo o lahares. Después de las erupciones del volcán Santa Elena (Washington, USA) en 1980 y el Nevado de Ruiz (Colombia) en 1985, se empezó a brindar especial atención a este fenómeno que constituye, sin duda, uno de los fenómenos volcánicos más devastadores. Una vez formados los lahares pueden recorrer apreciables distancias que dependen, básicamente, del desnivel entre el punto de origen y en el que agotan su energía cinética. Durante el tránsito, los cambios de la pendiente del cauce influyen sensiblemente sobre la velocidad y la turbulencia y, por lo tanto, controlan la capacidad de arrastrar o depositar los sólidos en suspensión.

Con el lanzamiento de nuevos satélites cada año, las técnicas de percepción remota han incrementado la capacidad de los científicos para el monitoreo de volcanes. Para este propósito, la percepción remota consiste en la utilización de sensores satelitales para la detección de la energía electromagnética absorbida, reflejada o radiada, por la superficie de un volcán o por el material lanzado en una nube eruptiva. Diferentes sensores son usados para medir las longitudes de onda de la energía que se encuentra más allá del rango de visión humana, por ejemplo ultravioleta, infrarrojo y microondas. Entre las aplicaciones del monitoreo satelital se incluyen la detección y seguimiento de nubes de cenizas y aerosoles. En particular resulta de suma utilidad en virtud del daño que pueden causar las cenizas principalmente a la aeronavegación. Otras aplicaciones de esta técnica son la medición de emisiones de bióxido de azufre y la detección de puntos calientes.

Otros sensores útiles son por ejemplo radiómetros, cámaras térmicas, sensores de presión, mediciones hidrometeorológicas, sensores sónicos e infrasónicos.

Todos las técnicas y tipos de monitoreo descritos, así como la correlación entre los diferentes parámetros, además de contribuir a la evaluación de la actividad de un volcán y la elaboración de pronósticos, proporcionan información valiosa que permite estudiar y entender mejor el comportamiento de un volcán activo.

2.2 INSTRUMENTACIÓN DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL

Los primeros síntomas de reactivación del volcán Popocatepetl, después de un periodo de quietud de casi 70 años, como se observó en la cronología descritas en el capítulo I, se empezaron a detectar en 1993 gracias a los registros de dos estaciones sísmicas instaladas cerca del volcán: Alzomoni (IIA) y Tlamacas (PPM), operadas por el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Geofísica respectivamente. Al surgir evidencias claras de la actividad del Popocatepetl y ante la falta de estaciones de observación que permitieran el estudio y localización de los eventos sísmicos, la tarea de diseñar e instrumentar una red de monitoreo del volcán Popocatepetl le fue encomendada al CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres).

Los trabajos de ampliación de la instrumentación se iniciaron a principios de 1994 con la instalación de dos estaciones sísmicas adicionales: Chipiquixtle (PPX), localizada en el costado Suroeste del volcán y la estación de Colibri (PPC), en el costado Suroeste. La emergencia volcánica registrada en diciembre de 1994 motivó a tomar acciones inmediatas para reforzar y complementar la red de observación y monitoreo. Con el apoyo de los Institutos de Geofísica y de Ingeniería de la UNAM, y el Cascades Volcano Observatory del US Geological Survey, así como la participación de múltiples autoridades e instituciones, se comenzó la integración de lo que actualmente es el Sistema de Monitoreo y Alertamiento del Volcán Popocatepetl.

A lo largo de casi ya 10 años de operación se han ido adicionando diversos instrumentos y sensores para medir diferentes parámetros físicos del volcán. Esta instrumentación ha permitido evaluar la actividad del volcán, así como la elaboración de pronósticos. Gracias al sistema, se ha proporcionado información oportuna a las autoridades y población en general sobre la condiciones de riesgo del volcán Popocatepetl, llevando incluso a la evacuación de ciertos sectores de la población cercana al volcán en dos ocasiones, cuando el volcán mostró un incremento importante en su actividad

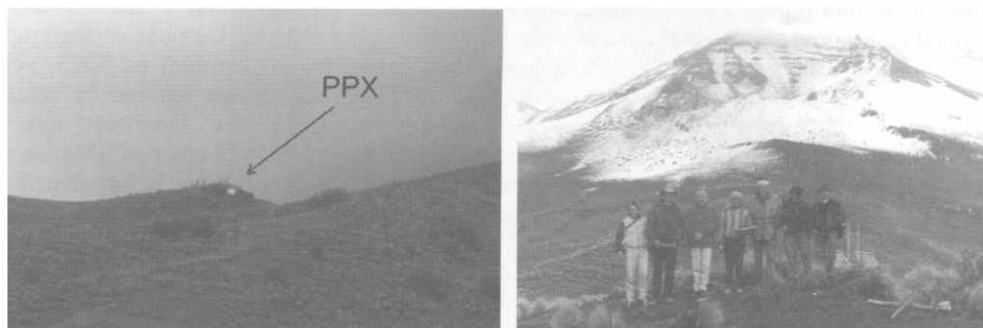


Figura 2.7 Primera estación sísmica del CENAPRED (PPX) y personal que participó en su instalación en 1994

La red de monitoreo del Popocatepetl actualmente está compuesta por 12 estaciones localizadas en las laderas circundantes del volcán, en sitios con altitudes de hasta 4300m y a 1.5 km del cráter. La instrumentación consta de 7 sismómetros de periodo corto (2 con sensores verticales y 5 triaxiales), 2 sismómetros triaxiales de banda ancha, 4 inclinómetros biaxiales para medir deformación; una cámara de video controlada en forma remota desde el CENAPRED con enlace de microondas; 3 detectores de flujo en el costado norte del volcán, un radar doppler meteorológico (actualmente dañado); una cámara térmica infrarroja, un sensor infrasónico, un radiómetro y diversos equipos para mediciones geodésicas, análisis químicos, determinación de las concentraciones de gases SO_2 y CO_2

Más de 60 señales de telemetría son transmitidas en forma continua hacia el puesto central de registro y procesamiento el cual está localizado en el CENAPRED. Allí se reciben todas las señales y mediante una extensa red de computadoras, la actividad es monitoreada y procesada las 24 horas del día.

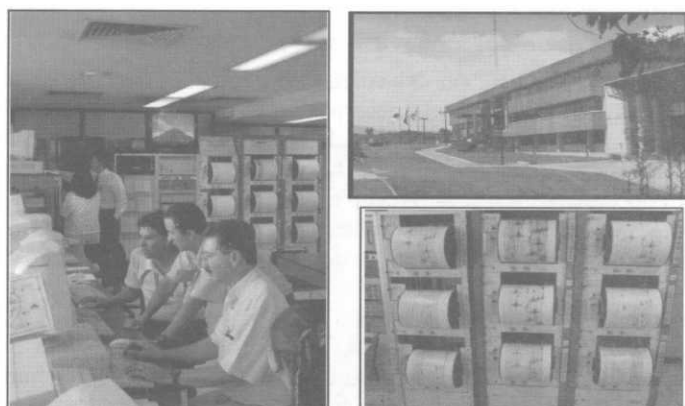


Figura 2.8. Puesto Central de Procesamiento y Registro del CENAPRED

Al detectarse cualquier incremento anormal de la actividad sísmica del volcán, se acciona una alarma acústica y a través de un sistema de marcado automático se envían mensajes a teléfonos particulares, celulares y radio-localizadores del personal de guardia, indicando la intensidad de las señales en diferentes estaciones.

Del análisis de la información del volcán se derivan las recomendaciones relativas al nivel de alertamiento por el Comité Técnico Científico Asesor, integrado por investigadores de la UNAM, del CENAPRED y de otras instituciones. Mediante reportes especiales, autoridades del gobierno y de Protección Civil son informadas periódicamente acerca del nivel de actividad del volcán. Para el público en general se dispone de un buzón telefónico, el Popotel (5205-1036 y 01-800-123-5050), con mensajes sobre su estado de actividad, así como una página en Internet actualizada diariamente (www.cenapred.unam.mx).

El CENAPRED se convirtió así en el centro de adquisición de información y evaluación de la actividad del volcán. El sistema de monitoreo forma parte integral de una serie de acciones llevadas a cabo por la Coordinación General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación, en coordinación con autoridades estatales de Protección Civil y diversas instituciones y dependencias. Se han implementado mecanismos de alertamiento y comunicación como el semáforo de alerta volcánica, mapas de peligros y planeación de emergencias, planes operativos y manuales de procedimientos, así como acciones para la difusión de la información y preparación de la población.

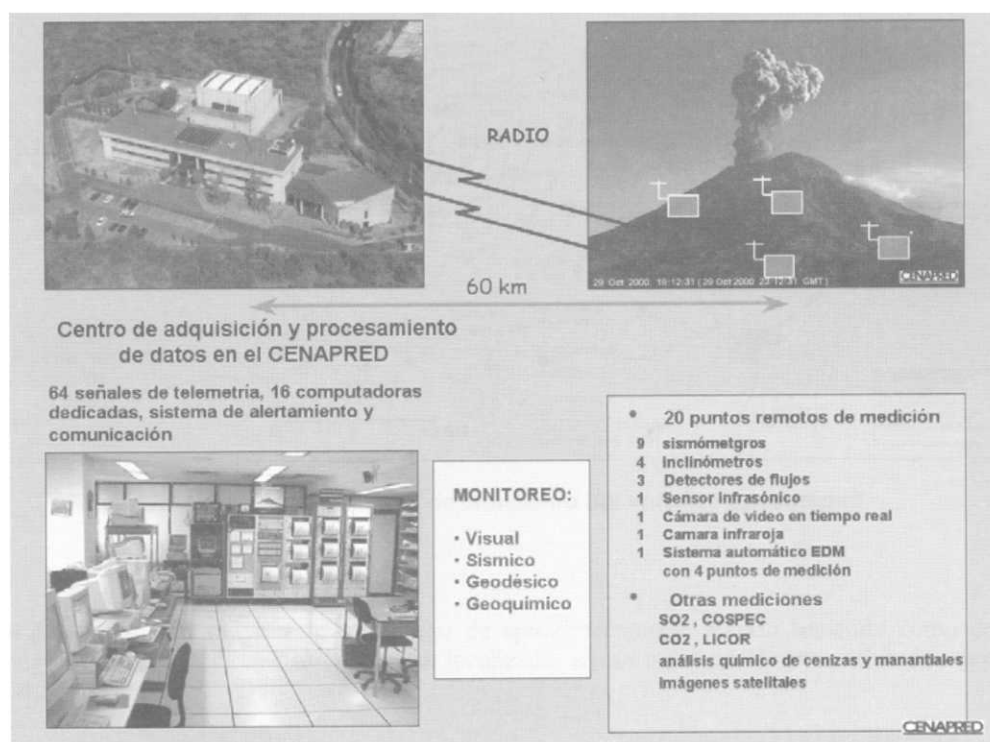


Figura 2.9 Sistema de monitoreo y vigilancia del volcán Popocatepetl