

## IX OBSERVACIONES FINALES

Muchos deslizamientos térrcos se mantienen inactivos durante las temporadas de sequía, y sólo se mueven durante o después de periodos prolongados de infiltración de lluvias. El aumento en la presión en el agua del subsuelo reduce la resistencia global de los materiales de la ladera, y en ocasiones se inicia un movimiento descendente del talud, pero su velocidad y potencial destructivo pueden variar ampliamente. Algunos deslizamientos se mueven muy lentamente, desplazándose unos cuantos centímetros a la semana; otros se pueden transformar súbitamente en lodo o flujo de detritos que viajan a cientos de metros en cuestión de minutos, provocan la muerte a las personas y causan destrucción masiva.

El monitoreo de esas laderas puede determinar la velocidad de su movimiento, y puede también detectar manifestaciones tempranas de movimiento catastrófico. Si se recurre a sistemas automáticos de monitoreo en tiempo real, los ingenieros geotecnistas y otros especialistas de campos afines podrían anticipar posibles movimientos catastróficos; así pues, tales sistemas podrían concluir con un sistema de alertamiento a la población ante estos eventos.

En este documento se han dado los elementos y técnicas para poder instrumentar una ladera. Se ha enfatizado la necesidad de observar aquellas manifestaciones tempranas que apunten hacia una inestabilidad futura, y cómo medirlas, tanto con elementos más bien rústicos como sofisticados. Ello teniendo como objetivo proporcionar los medios técnicos para que las unidades de Protección Civil cuenten con los elementos de juicio que les permitan establecer las líneas de acción pertinentes.

Otras fuentes que pueden provocar inestabilidad de laderas son las erupciones volcánicas, aun cuando la actividad propia del volcán haya cesado. Por ello, es conveniente mantenerse alerta ante la posibilidad de un deslizamiento después de la actividad volcánica. En nuestro país se cuenta con la infraestructura para el monitoreo de volcanes como el Popocatépetl, y sin duda se tienen entonces los medios para alertar acerca de una eventual erupción; debe puntualizarse sin embargo, que una de las manifestaciones más desastrosas de una calamidad de estas, serían las avalanchas de detritos o de lahares, que directamente provocarían. Convendría revisar la posibilidad de añadir a estos sistemas de monitoreo, sensores que midiesen en laderas expuestas algunas de las variables que se han descrito aquí.

Por lo que se refiere al alertamiento ante posibles inestabilidades de laderas ante eventos sísmicos, parece poco promisorio el panorama, dado el muy reducido lapso entre la ocurrencia de las aceleraciones máximas del terreno, y su efecto sobre las laderas. Ante esto, sólo resta insistir en la necesidad de no deforestar las laderas, y de respetar y propiciar el drenaje al pie de las mismas.

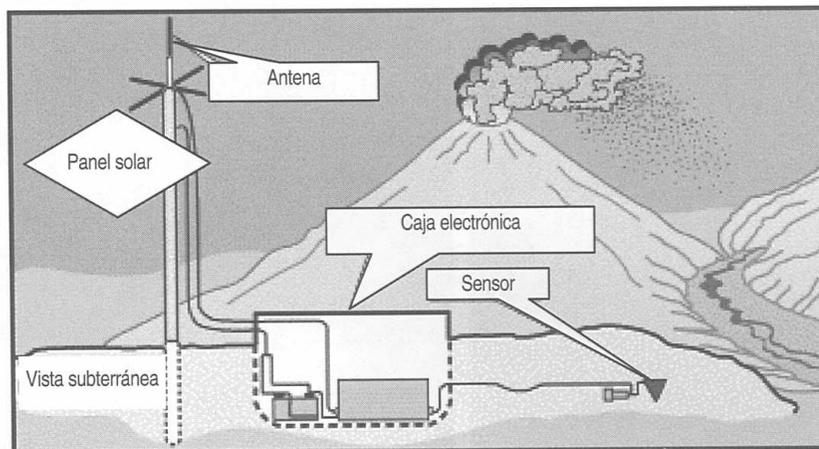
Se ha pretendido proporcionar no meramente un catálogo de aparatos, sino de explicar sus aplicaciones, comentando sus ventajas y limitaciones. La planeación de una instrumentación requiere conocimiento, buen juicio, comprensión de los problemas geotécnicos, paciencia e imaginación. Exige realizar un diagnóstico de cómo funciona una ladera y de cómo eventualmente pudiera fallar. Sólo así será posible seleccionar convenientemente las características y el tipo de instrumentos y definir en qué posición ubicarlos.

## ANEXO

### SISTEMA DE DETECCIÓN DE FLUJOS O DE AVALANCHAS DE DETRITOS EN VOLCANES

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desarrolló un sistema para detección de flujos que monitorea la vibración del suelo generada por el paso de los materiales. El sistema está basado en una serie de estaciones de monitoreo acústico de flujo (AFM por sus siglas en inglés) instaladas en cañadas de volcanes, por donde se encauzarían los posibles flujos. Cada estación consiste de un geófono (o sismómetro) que detecta las vibraciones de la tierra al paso de un lahar, un adquisidor que acondiciona y registra la señal del geófono en formato digital y un sistema de transmisión de la información vía radio a un puesto central donde se encuentra a su vez, un sistema de alertamiento. Para darle autonomía al sistema y proveerlo de energía se utiliza un banco de baterías y un panel solar. En la Figura A.1 se muestra un esquema de una estación detectora de flujos.

Un monitor acústico de flujo AFM es básicamente un sismómetro con una mayor sensibilidad a altas frecuencias, a diferencia de los sismómetros empleados para registrar la actividad sísmica de un volcán, los cuales son de menor frecuencia. Un AFM tiene una respuesta en frecuencia de 10 a 200 Hz. Las vibraciones de la tierra producto de un lahar están predominantemente en el intervalo de 30 a 80 Hz.



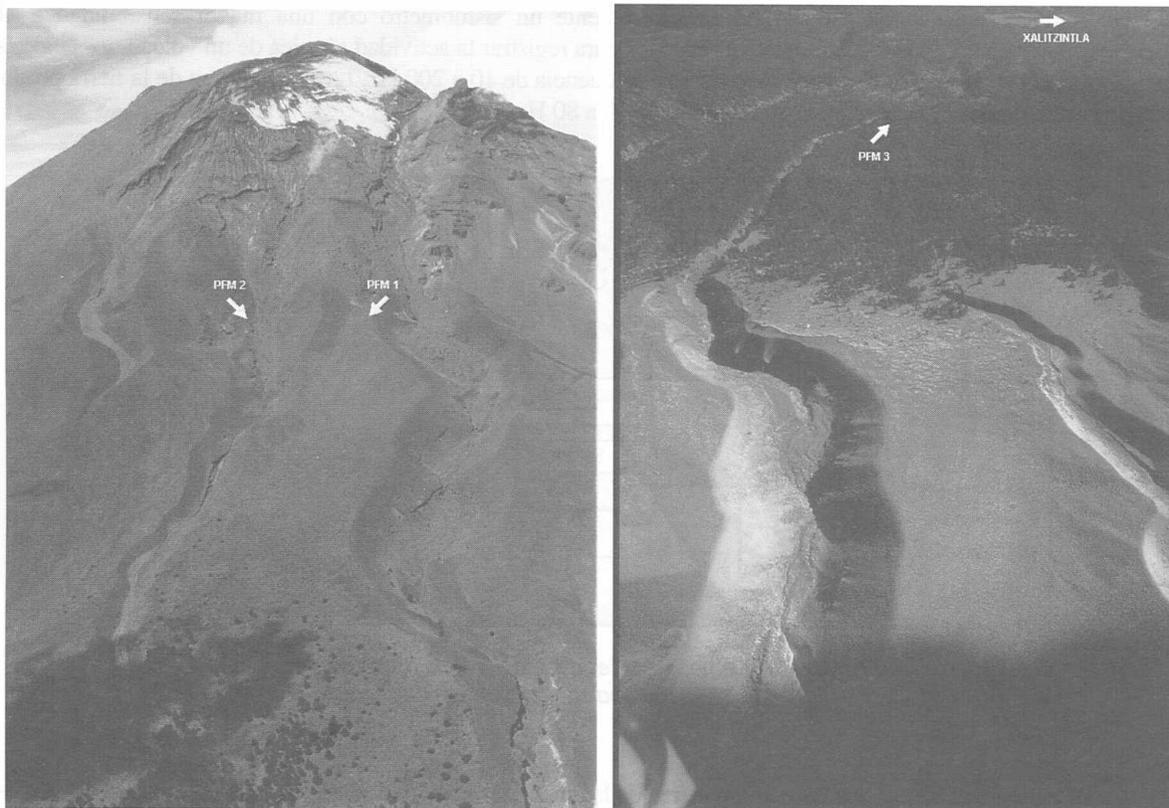
**Fig. A.1. Sistema de detección de flujos (monitoreo acústico de flujos)**

Cada segundo, el adquisidor hace un muestreo de la amplitud de la vibración detectada por el sensor y envía los datos a la estación central a intervalos regulares. Los datos ya digitales son procesados por una computadora, de modo que, cuando la amplitud de la vibración sobrepasa los umbrales previamente establecidos, se activa, en forma automática, una alarma.

## SISTEMA INSTALADO EN EL VOLCÁN POPOCATÉPETL

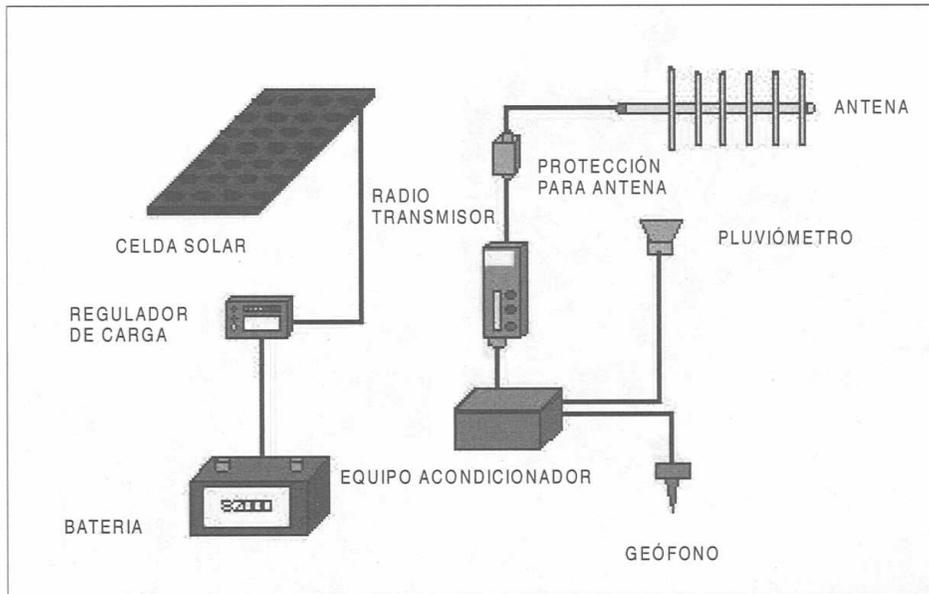
Como un proyecto conjunto del CENAPRED y el USGS, a mediados de 1998 se instaló el sistema descrito para la detección de flujos en la ladera norte del volcán Popocatepetl. De acuerdo con diversos estudios de riesgo realizados, en esta ladera es posible que se generen lahares producidos, ya sea por una intensa precipitación pluvial durante la temporada de lluvia, o bien, por la fundición parcial del glaciar durante una erupción del volcán. En ambos casos podrían generarse flujos de agua, ceniza y rocas que escurrirían por los cauces naturales a lo largo de la barrancas de Tenenepanco y La Espinera, que los conducirían en poco tiempo hacia los poblados de Santiago Xalitzintla y San Nicolás de los Ranchos, Puebla.

El sistema consiste de 2 estaciones de medición localizadas en la parte alta del volcán (PFM1 y PFM2), una para cada una de las barrancas que descienden del glaciar, Fig. A.2. Una tercera estación se localiza en la confluencia de ambas barrancas aguas abajo (PFM3). Una estación repetidora, ubicada en el cerro Tlamacas (PFM4), recibe las señales y las envía por radio hacia el CENAPRED. La descripción y los datos de los equipos y estaciones instaladas se muestran en la Tabla A.1.



**Fig. A.2. Ubicación de las estaciones detectoras de flujos en el volcán Popocatepetl**

Como se muestra en la Figura A.3, cada estación consiste de un detector acústico de flujos, un medidor de precipitación (pluviómetro), así como de equipos de acondicionamiento y transmisión de datos por telemetría. Adicionalmente se instalaron celdas solares y baterías en flotación para proveer de energía a los equipos. En la Figura A.4 se muestran las estaciones detectoras de flujos instaladas en el volcán Popocatepetl.



**Fig. A.3. Componentes de las estaciones para detección de flujos instaladas en el volcán Popocatépetl**

**Tabla A.1. Datos de las estaciones para la detección de flujos en la ladera norte del volcán Popocatépetl**

CLAVE	ESTACION	LOCALIZACIÓN	ALT. (m)	EQUIPO
PCR	CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres, México DF	2365	Estación central de registro y procesamiento de información
PFM1	CANARIO	Refugio del Canario, barranca Tenenepanco, ladera norte	4170	Detector acústico de flujo y pluviómetro
PFM2 (nueva)	ZORZAL	Junto a la barranca La Espinera	3985	Detector acústico de flujo y pluviómetro
PFM3	UNIÓN	Unión de las barrancas La Espinera y Tenenepanco	3693	Detector acústico de flujo y pluviómetro
PFM4	TLAMACAS	Microondas cerro Tlamacas	3980	Repetidor de estaciones detectoras de flujo, pluviómetro