

Capítulo 4

MEDIDAS DE PROTECCIÓN

El propósito de este capítulo es describir las medidas que se pueden tomar para dar protección permanente o temporal contra los diversos fenómenos destructivos que acompañan a las erupciones volcánicas.

4.1 Protección contra caídas de ceniza

Los efectos principales de las lluvias o caídas de ceniza son:

- a) Oscuridad completa;
- b) Enterramiento de estructuras bajas;
- c) Sobrecarga de los techos, y
- d) Recubrimiento de vegetación y cosechas.

Las caídas espesas de ceniza viento abajo del volcán durante erupciones de gran magnitud pueden causar oscuridad completa y reducir la visibilidad a tal punto que aun luces poderosas no son visibles sino a unos cuantos metros (figura 12).

Muchas veces, equipos indispensables como hidrantes quedan enterrados por espesos mantos de ceniza, de tal manera que son difíciles de encontrar cuando se necesitan para atender fuegos causados accidentalmente o por caída directa de material candente del volcán. Este problema se puede superar manteniendo las mangueras conectadas bajo presión constante y convenientemente alejadas del suelo. Durante la erupción del volcán Heimaey en 1973, esta práctica fue utilizada con éxito y se mantuvieron en operación los servicios de bomberos de la ciudad de Vestmannaeyjar, a pesar de que los hidrantes estaban cubiertos por espesas capas de ceniza.

La principal causa de averías se debe al depósito de cenizas sobre los techos de los edificios, que se desploman debido a la sobrecarga, especialmente si la ceniza está húmeda. En áreas expuestas a caídas espesas de ceniza, se debe tener preparado un plan y equipos listos para su remoción. Se debe, además, hacer un inventario en la región sobre la resistencia de los techos y el espesor máximo de ceniza que puedan soportar, teniendo en cuenta que la ceniza volcánica seca tiene un peso específico de 0,5 a 0,7 ton/m³, pero cuando se humedece puede alcanzar 1,0 ton/m³.

Durante las fuertes caídas de ceniza sobre el pueblo de Vestmannaeyjar en 1973, casas cuyos techos tenían una inclinación superior a 20 ° no sufrieron daños, mientras que los que tenían menores inclinaciones sufrían colapso si no se les hacía limpieza frecuente. Los techos de fuerte inclinación contruidos en cinc o lámina no retienen la ceniza y además no se inflaman con los fragmentos de lava caliente (figura 13). En las regiones donde las caídas de ceniza son una amenaza importante, la vigencia de códigos de construcción y prácticas adecuadas pueden reducir considerablemente el riesgo de daños.

Las caídas de ceniza pueden tener algunos efectos indirectos importantes. La ceniza puede contener componentes volátiles tales como flúor, que es altamente tóxico. Otra amenaza resulta de los fuertes campos eléctricos generados por las nubes de ceniza, con las consiguientes descargas eléctricas y fuertes relámpagos (figura 14), que interfieren las ondas de radio y a veces dañan instalaciones eléctricas o provocan incendios en edificios o vegetación. Estos efectos se deben tener en cuenta al planificar operaciones de ayuda o rescate.

Cuando ocurre una caída espesa de ceniza volcánica, es posible encontrar dificultades para brindar protección a todos los individuos que habitan áreas densamente pobladas. No obstante, un programa de información masiva puede jugar un papel importante para ayudar a las personas a tomar mejores decisiones en el momento de la emergencia. Cuando las nubes de ceniza viajan largas distancias a favor del viento, es posible que su ubicación pueda ser predicha con los informes meteorológicos normales. Este tipo de predicción se hizo en 1980 en el volcán Santa Elena en EE.UU. Las transmisiones de radio pueden informar sobre las rutas más aconsejables para evacuar un área sujeta a caídas de ceniza (por ejemplo buscando una dirección perpendicular al viento), sobre cómo se puede evitar la inhalación de polvo fino utilizando filtros de tela húmedos sobre la boca y la nariz, o cómo protegerse la cabeza y los hombros utilizando sombreros y capas gruesas; además, pueden prevenir contra la acumulación de ceniza en los techos.

El personal dedicado al rescate y socorro ubicado en áreas de caída fuerte de cenizas debe protegerse con cascos provistos de viseras y capas resistentes al calor que protejan el cuello y los hombros. Se requieren máscaras antigás en caso de que se detecten gases tóxicos.

La ceniza de los techos se puede remover por medio de palas o rastrillos manuales (figuras 15 y 16). En Heimaey, la ceniza se limpió de los techos usando un rastrillo metálico de 1,5 m por 1 m, montado sobre rieles de madera y controlado por cuerdas que bajaban hasta la calle.

En edificios grandes con techos planos de alta capacidad de soporte se pueden usar pequeñas palas mecánicas para remover la ceniza de ellos, siempre que se tenga en cuenta que tales palas deben ser llevadas a los techos usando grúas o helicópteros. Con este método se logró evacuar

unas 600 toneladas de ceniza del techo del Hospital Municipal de Vestmannaeyjar en 1973.

Cuando se bota gran cantidad de cenizas por el borde de un techo, pueden acumularse en los lados del edificio y ejercer presión sobre las paredes (figura 13). Se requieren entonces buldóceres para acarrear los promontorios de ceniza y mantener las calles limpias o al menos planas. Finalmente, durante caídas fuertes de ceniza debe tenerse en cuenta que las líneas de corriente eléctrica pueden representar una amenaza para los peatones, especialmente cuando la visibilidad es escasa y su altura sobre el «suelo» reducida, dada la acumulación de ceniza.

Por el lado positivo, la ceniza removida de techos y calles constituye un excelente material de base para carreteras, pistas de aterrizaje y sitios para construir edificios. En Heimaey, la ceniza removida de la población de Vestmannaeyjar se usó para prolongar la pista del aeropuerto y nivelar un flujo de lava antiguo con el fin de reubicar las casas destruidas por la erupción.

En la vecindad inmediata al sitio de la erupción, la caída de ceniza incandescente puede causar incendios, y si los fragmentos tienen suficiente tamaño, pueden romper ventanas e incendiar cortinas y muebles en el interior de las casas. Durante la erupción en Heimaey, 25 casas se incendiaron por esta causa, pero daños posteriores se pudieron prevenir protegiendo techos y ventanas del lado del volcán con hojas metálicas. Los tanques de combustible se protegieron colocándoles mallas finas de alambre sobre los tubos de ventilación.

4.2 Protección contra explosiones volcánicas y flujos piroclásticos

En áreas sujetas a tipos de erupción más violentos tales como flujos piroclásticos y explosiones dirigidas horizontalmente, la destrucción de edificios normales puede ser casi total. La única estructura capaz de dar protección contra éstos es un refugio subterráneo con paredes y techo reforzados, ventanas y puertas herméticamente selladas, como los que se construyen en algunos países en caso de ataque nuclear. Sin embargo, en la mayoría de los países con altos riesgos volcánicos, el costo de tales refugios va más allá de los medios económicos privados y aun del propio Estado.

No obstante, se podría justificar la construcción de estos refugios en los observatorios vulcanológicos, la policía u otras entidades oficiales que estén encargadas de mantener los servicios esenciales en las áreas evacuadas. Costosas e importantes instalaciones, tales como plantas eléctricas, centros de comunicación o archivos importantes que estén localizados en zonas de alto riesgo, justifican una protección similar. Con el incremento gradual en el uso de concreto reforzado en los países en desarrollo, se pueden diseñar modificaciones simples a puertas, ventanas y

ventiladores de sótanos o garajes subterráneos para hacerlos convertibles de manera instantánea en refugios contra erupciones volcánicas.

Un nivel menor de protección pero a menudo adecuado podría ser simplemente el de establecer para los grandes edificios públicos (especialmente los futuros proyectos de construcción) la dotación de puertas y ventanas que puedan ser selladas completamente y resistan las nubes calientes que se desprenden de los bordes de los flujos piroclásticos, las cuales en muchas erupciones han penetrado en las casas y asfixiado a sus ocupantes aunque las estructuras quedan intactas.

4.3 Protección contra flujos de lodo

Los flujos de lodo pequeños se pueden desviar con barreras o encauzar por medio de canales artificiales para proteger tierras o propiedades valiosas, pero en la mayoría de los casos el volumen y la fuerza del lodo es tal, que no se pueden controlar (figura 6).

Por regla general es imprudente construir cualquier población permanente en una área donde se sabe que ha sido afectada por flujo de lodo en un pasado reciente. La identificación de tales áreas se describe en el manual que acompaña a esta publicación (Crandell *et al.*, 1985). Sin embargo, la ignorancia de este principio ha resultado funesta en muchas poblaciones localizadas en o cerca de volcanes que están expuestos a este riesgo. En estos casos la única protección posible es la evacuación del área con tiempo suficiente, cuando una erupción amenaza o comienza, ya que los flujos de lodo son muy probables.

Cada vez que un volcán entre en erupción y se aprecien grandes cantidades de cenizas acumuladas en sus flancos, todos los asentamientos humanos localizados en los valles alrededor del volcán deben ser evacuados como medida de precaución, especialmente aquellos en los que se tiene conocimiento de flujos de lodo anteriores.

Se puede permitir el acceso a la zona de peligro siempre y cuando exista un sistema de alarma efectivo que permita evacuarla tan pronto como se detecte o espere un flujo de lodo.

Tales sistemas de alarma tienen que ser cuidadosamente diseñados y realizados, puesto que estos flujos pueden alcanzar altas velocidades (superiores a los 100 km/hora), lo cual implica que las personas tienen pocos minutos para llegar a lugares más altos.

4.4 Protección contra flujos de lava

El primer intento de desviar un flujo de lava se hizo en Sicilia en 1669 cuando un gran flujo del Etna avanzaba hacia la ciudad de Catania. Varias docenas de hombres de esta ciudad se cubrieron con pieles de vaca

húmedas como protección contra el calor, y provistos de barras de hierro lograron abrir una brecha en el flanco del flujo que permitió salir a la lava líquida en esta nueva dirección. Desafortunadamente el nuevo flujo amenazó la aldea de Paterno, cuyos habitantes, enojados, suspendieron la operación. Una vez taponada la salida lateral, el flujo principal continuó hasta entrar en la ciudad de Catania.

A partir de esta época se han utilizado otros métodos para desviar los flujos de lava tales como:

a) *Bombardeo*

Flujos de lava basáltica de baja viscosidad han sido bombardeados desde aviones con el fin de abrir canales nuevos, interferir o crear represamientos para proteger propiedades valiosas. Por ejemplo, durante la erupción del Mauna Loa, Hawaii, en 1942, se bombardeó un flujo de lava en la parte alta, cercana al volcán. El frente del flujo, 20 km adelante, dejó de avanzar poco después; sin embargo, la intensidad de la erupción disminuyó al mismo tiempo de tal manera que no se pudo comprobar si fue en realidad el bombardeo el que detuvo el flujo de lava.

El bombardeo desde aviones puede intentarse solamente con buenas condiciones atmosféricas pues a menudo la visibilidad es poca y las turbulencias violentas de aire pueden hacer peligrosa la operación. Los misiles aire-tierra podrían dar mejores resultados pero todavía no se han utilizado.

Incluso en las mejores condiciones, el bombardeo desde el aire no es lo suficientemente preciso y se corre el riesgo de que una bomba caiga en el sitio errado y aumente el flujo en dirección equivocada. Es dudoso que un bombardeo tenga efectos significativos sobre flujos de espesor considerable. Una alternativa usada en el Etna en mayo de 1983 consistió en colocar explosivos manualmente en huecos poco profundos para abrir zanjas y entorpecer el flujo de lava.

b) *Barreras de desviación*

Mucho se ha discutido sobre la posibilidad de construir barreras de desviación para reorientar flujos de lava. En 1881, W. R. Lawrence propuso la construcción de una barricada para frenar un flujo del Mauna Loa que se acercaba a la ciudad de Hilo, pero la erupción cesó antes de concluir el trabajo.

Se ha observado en varias ocasiones que la lava tiende a fluir alrededor de obstáculos tales como casas o muros de piedra en vez de derrumbarlos. Durante la erupción del Vesubio en 1906, la lava fluyó por las calles de Bosco Trecase sin destruir edificios. Sin embargo, lava más vis-

cosa, como la producida por el Etna en 1983, derribó casas de mampostería (figura 10).

En el área de Krafla, al norte de Islandia, donde la lava es muy fluida, se han construido dos barreras, una para proteger un poblado de 200 habitantes y la otra para una fábrica de diatomitas. Se niveló una pequeña colina sobre el terreno por medio de buldócer para desviar los flujos de lava lejos de las poblaciones. Ninguna erupción ha ocurrido desde que el trabajo fue terminado. Por consiguiente, no se puede saber aún si el resultado será efectivo.

En el Etna en 1983, se construyeron barreras a un costo considerable utilizando buldóceres y camiones, los cuales exitosamente lograron desviar el flujo de lava que amenazaba un hotel y un área de recreación.

c) *Enfriamiento por rociadores de agua*

La idea de enfriar los flujos de lava rociando sobre ellos gran cantidad de agua ha sido discutido por mucho tiempo y se ensayó a pequeña escala en 1960, cuando el Departamento de Bomberos de Hawaii regó con agua de dos mangueras un frente de lava y se cree que contribuyó a disminuir su velocidad por algún rato.

El primer intento a gran escala para desacelerar un flujo de lava por riego de agua se hizo en Heimaey, Islandia, en 1973. La lava se acercaba al pueblo de Vestmannaeyjar y su puerto, vital para la subsistencia de la población de la isla.

Aproximadamente dos semanas después de dar comienzo la erupción, y cuando el frente de lava se acercaba a la entrada del puerto, se instalaron bombas del Departamento de Bomberos, la Defensa Civil y otras organizaciones, las cuales regaron con cerca de 100 litros de agua por segundo el frente de lava a lo ancho de unos 500 metros. Poco después de comenzar el bombeo se notó que el frente de lava se apilaba sobre la parte regada, alcanzando unos 20 metros de altura y había sido detenida parcialmente, mientras que en ambos lados del área enfriada la lava continuaba su avance a la misma velocidad inicial. Se decidió entonces aumentar la capacidad de bombeo mediante un barco bombero para que sacara agua del mar desde el puerto hasta el frente de lava, alcanzando los 400 litros/segundo y posteriormente hasta 1.200 litros/segundo. Se estima que durante los 150 días que duró la operación, se regaron 6,2 millones de metros cúbicos de agua sobre la lava.

Una vez terminada la erupción, se sondeó dentro de la lava para poder evaluar el efecto del rocío de agua. En los sitios donde no hubo regadío se alcanzó una temperatura de 500-700 °C a una profundidad de 5-8 metros bajo la superficie de la lava, pero en las áreas rociadas no se encontraron las mismas temperaturas hasta los 12-16 metros de profundidad.

Se ha debatido de si la operación valió la pena, ya que el costo total del rociado se estimó en 1,6 millones de dólares. Pero puesto que cada metro que el frente de lava avanzaba significaba la destrucción de propiedades, cualquier desaceleración del flujo implicó el salvamento de pérdidas valiosas. Es imposible decir cuántos metros más pudo haber avanzado la lava si no hubiera sido enfriada, pero si es cierto que salvó las instalaciones del puerto, el costo del bombeo fue completamente justificado.