

## VII ACELERÓMETROS Y FUENTES DE INFORMACIÓN SÍSMICA

### 7.1 INESTABILIDAD DE LADERAS DISPARADAS POR SISMOS

Se ha distinguido en el capítulo que los sismos intensos suelen ser desencadenadores de inestabilidad de laderas. Sus efectos pueden resultar desastrosos cuando se tienen núcleos habitacionales al pie o cerca de una ladera potencialmente inestable; tal fue el caso del flujo y deslizamiento de la ladera conocida como "Las Colinas" en Santa Tecla, Nueva San Salvador, El Salvador C.A., (Mendoza *et al*, 2001) donde se perdieron más de medio millar de vidas humanas al ocurrir el sismo del 11 de enero del 2001.

El monitoreo sísmico con fines de alertamiento ante flujos o deslizamientos de laderas no es factible. El tiempo que transcurre entre una acción sísmica severa, y una posible inestabilidad (que ocurre cerca de la aceleración máxima) imposibilita cualquier reacción de la población. Por ello, sólo puede orientarse la instrumentación sísmica de una región, en este orden de ideas, para analizar la estabilidad de laderas y evaluar el riesgo ante un escenario sísmico. Para realizar tal evaluación deberán considerarse no sólo los posibles registros recientes, sino también la sismicidad histórica de la región. De aquí surge la importancia de contar con información fidedigna de registros acelerográficos en nuestro país.

### 7.2 LA BASE MEXICANA DE DATOS DE SISMOS FUERTES

Con el objeto de facilitar la búsqueda de registros sísmicos a personas interesadas en estudiar e investigar los movimientos ocasionados por el fenómeno sísmico en el territorio mexicano, se ha reunido información acelerográfica en un disco compacto. Para localizar y obtener los datos en el disco se ha sistematizado un programa de computadora que maneja 13,545 registros, que corresponden a los ocurridos de 1962 a 1999.

La instrumentación sísmica se inició al instalar dos acelerógrafos en 1960, como resultado de la necesidad de estudiar el comportamiento destructivo del sismo de San Marcos en 1957 de  $M_s=7.5$ . Los dos acelerógrafos instalados en la ciudad de México, uno en la Alameda Central y otro en Ciudad Universitaria, obtuvieron los primeros registros en el sismo de Acapulco en 1962. Posteriormente, con 110 instrumentos se registraron los sismos intensos del 19 y 21 de septiembre de 1985 de  $M_s=8.1$  y  $M_s=7.6$  respectivamente. Actualmente la red de acelerógrafos está integrada por 547 estaciones con 13,545 registros, localizadas en la franja costera del Pacífico, en la zona de subducción mexicana, en la región noreste del país y en ciudades como México, Guadalajara, Acapulco, Puebla y Oaxaca, entre otras.

#### 7.2.1 Base Mexicana de sismos fuertes

Anteriormente la información acelerográfica era manejada de forma parcial e independiente por diferentes instituciones que operaban redes sísmicas, las publicaciones se hacían con diferente formato y estaban sólo al alcance de grupos reducidos de profesionales.

Considerando lo anterior y con el propósito de integrar las instituciones que manejan redes sísmicas, en 1991 se organizó el primer simposio sobre instrumentación sísmica de temblores fuertes que se celebró en la ciudad de México (CENAPRED, 1991), en el que se tuvo como principal conclusión establecer un vínculo entre las instituciones que manejan redes sísmicas. De esta manera en 1992 se formó mediante un acuerdo el grupo de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes (BMDSF) cuyo objetivo es operar, normalizar e integrar la información de las redes sísmicas.

La estructura del grupo de la BMDSF define cómo la parte medular la creación de cuatro bancos de información: el primero condensa todo lo referente a redes, estaciones y la instrumentación asociada, el segundo incluye los datos de los sismos registrados, el tercero integra la información referente a los acelerogramas y el cuarto contiene las series de tiempo-aceleración y procesadas en un formato común (ASA 2.0).

## 7.2.2 Comité directivo

El comité directivo es el responsable de coordinar las actividades de recolección, compilación, catalogación y difusión de la información que sobre sismos fuerte se registra en México por medio de una integración de una base nacional de datos. El comité está integrado por un representante de cada una de las siguientes instituciones: del Instituto de Ingeniería de la UNAM, de la Subgerencia de Comportamiento de Estructuras de la CFE, del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, de Fundación ICA, de CIRES de la Fundación Javier Barrios Sierra, del Centro Nacional de Prevención de Desastres de la Secretaría de Gobernación, de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica AC, de la Red Inter-universitaria de Instrumentación Sísmica con sede en la Universidad Autónoma Metropolitana y del Servicio Sismológico Nacional de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## 7.2.3 Archivo estándar de aceleración

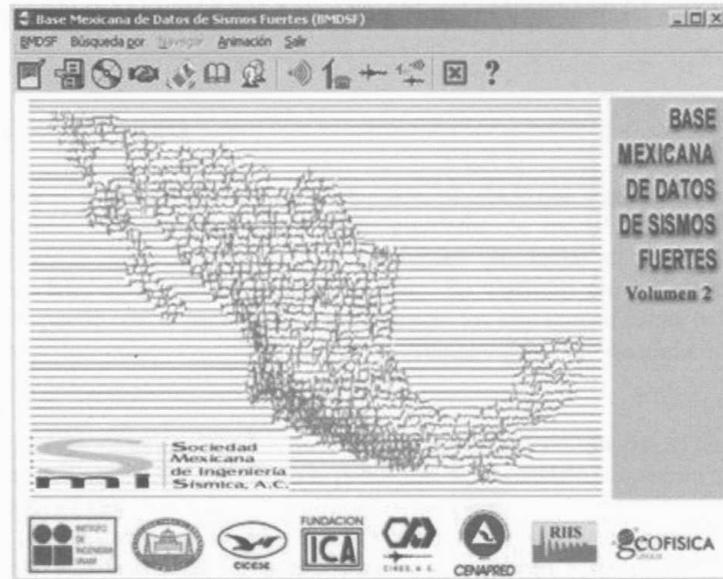
El archivo estándar de aceleración (ASA) es parte de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes (BMDSF), con un diseño adoptado por la mayoría de las instituciones que operan redes de acelerógrafos en México. Es un archivo con carácter ASCII estándar que puede modificarse en cualquier procesador de textos y es auto-explicativo. Su estructura está integrada en dos partes, una el encabezado y otra para los datos numéricos de aceleración como son título, nombre del archivo, estación e instrumento, datos sobre el sismo, comentarios y datos de aceleración. Los 13,545 archivos de aceleración que comprenden la base de datos han sido convertidos de formato original al denominado estándar de aceleración (ASA 2.0)

## 7.2.4 Estructura del sistema de acelerogramas en disco compacto

Con la finalidad de difundir la información se ha diseñado un sistema por computadora para el manejo de la información acelerográfica, que facilita la búsqueda y obtención de acelerogramas producidos en México durante el período de 1960 a 1999. Dicha información se encuentra en un disco compacto. La ventaja del disco es su uso mundial en computadoras y la cantidad de datos que puede manejar y almacenar, Fig 7.1. El sistema está estructurado en dos partes, la primera para presentar una reseña sobre la instrumentación sísmica e información estadística, bibliográfica en México y en general. La otra para el acceso y obtención de los 13,545 registros acelerográficos por medio de un mecanismo de búsqueda que usa los siguientes términos:

- *Sismo*.- busca los registros acelerográficos con la fecha (GMT), hora epicentral, magnitud del sismo y un evento sísmico del catalogo proporcionado.
- *Estación*.- obtiene registros a través de la ubicación por clave única, nombre de la estación, entidad federativa e institución ó coordenadas geográficas.
- *Acelerograma* - facilita la localización de datos por clave del acelerograma, permitiendo el uso de caracteres comodín y/o aceleración máxima.
- *Combinación*.- se utiliza una mezcla de los parámetros mencionados anteriormente con el fin de localizar registros con características más precisas.

La búsqueda por cualquier término finaliza en una tabla de resultados, en la que se enlistan registros de aceleración que cumplen con las condiciones establecidas y que se les puede aplicar la opción de graficar, guardar ó imprimir.



*Fig. 7.1 Sistema de la base mexicana de datos de sismos fuertes, en su versión de disco compacto*

### 7.3 DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA

La implementación del sistema de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes y los productos que de ella se derivan, ponen a disposición de investigadores, profesionistas, estudiantes e interesados en el tema, el acervo de registros sísmicos de temblores fuertes que se tiene en México. Todo ello con el objetivo fundamental de conocer más sobre la naturaleza del fenómeno para prever la forma de mitigar sus efectos.

La publicación del disco compacto es la etapa inicial de la difusión del sistema que en un futuro será necesario mejorar, con el uso de la red Internet.

Para adquirir el disco de la BMDSF dirigirse a la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica ubicada en Camino a Santa Teresa No.187 Despacho 12 C.P. 14020, México D. F. Tel./Fax. (55)-56-06-13-14 y (55)-56-06-23-23 ext. 34.

## VIII SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE MONITOREO Y ALERTAMIENTO

### 8.1 TÉCNICAS DE MONITOREO

La inspección directa es la técnica básica para comprender el estado que guarda una ladera, a fin de detectar en una etapa temprana cualquier síntoma que refleje algún problema de inestabilidad; debe distinguirse tanto la inspección regular y periódica, como las inspecciones especiales efectuadas durante o después de condiciones inusuales o extraordinarias, tales como lluvias intensas o sismo. En capítulos previos se han expuesto los diversos instrumentos con los que se puede contar para detectar y cuantificar los movimientos masivos de las laderas, así como de la presión del agua dentro del suelo; el monitoreo de esa instrumentación permite tomar decisiones fundamentadas a fin de, tomando las providencias necesarias, evitar un desastre.

Derivadas de las inspecciones mencionadas, pueden distinguirse laderas que por su alto riesgo de inestabilidad, y por las implicaciones que pudiera causar su falla en la población, sea necesario adoptar un sistema semiautomático o francamente automático para su monitoreo. Los desarrollos tecnológicos actuales permiten no sólo medir las variables con las que se caracteriza una inestabilidad, lo que se realiza comúnmente de manera manual con equipo portátil, sino de hacerlo automática-mente e incluso transmitir esos datos a un sitio remoto. Sistemas avanzados de monitoreo están bajo desarrollo o en uso en algunos países, en los que los datos son procesados para predecir la ocurrencia de una falla, y están ligados a una alarma o sistema precautorio. Estos sistemas de monitoreo completamente automáticos tienen la capacidad de reunir y procesar de manera selectiva los datos. La fiabilidad de estos sistemas reside sin embargo, en la precisión de la predicción de falla o no, lo que exige estudios adicionales y mejoramiento en las técnicas de toma de decisiones de expertos automáticos bajo diversas condiciones de sitio.

El monitoreo primario consiste en la medición de los movimientos de la superficie con extensómetros, y de la profundidad de la superficie de deslizamiento mediante inclinómetros. Antes de optar por la instrumentación, no debe olvidarse la posibilidad de recurrir a mediciones topográficas, las que dan el tamaño y etapa del movimiento de los materiales de la ladera.

Los resultados del monitoreo se utilizan para evaluar el grado de avance del movimiento masivo. En general, los deslizamientos muestran varias etapas, desde su etapa temprana en la que se distingue una acumulación de movimiento; en la secundaria, cuando se observa la aparición de grietas y movimiento constante, y la etapa final cuando la expansión de grietas conduce claramente a la falla. Las medidas por adoptarse en cada etapa son también diferentes; de ir aumentando el monitoreo en la etapa temprana, a cerrar el acceso a esa zona, y a ordenar la evacuación de la población en la etapa final.

Es importante distinguir ciertas variables de control que permitan correlacionar los resultados del monitoreo con varias medidas por tomarse en el campo; la más usual es la velocidad del movimiento superficial, la cual debe ser evaluada junto con la ocurrencia de colapsos menores y la variación de los niveles piezométricos. En la Fig. 8.1 se presenta un esquema de la visión de Terzaghi (1950) al respecto. La evolución de la velocidad de deformación superficial, especialmente en la etapa final, ha sido usada en Japón (Saito, 1965) para predecir incluso la fecha probable de un deslizamiento que afecte al sistema troncal de ferrocarriles rápidos (Shinkansen); en la Fig. 8.2 se muestran los valores de la velocidad de deformación que conduce a la falla de una ladera. En la Tabla 8.1 se presentan valores de esta variable de control, la cual se emplea en los deslizamientos que afectan las autopistas japonesas; están basados en consideraciones teóricas y enfoques empíricos, por lo que son valores tentativos que deberán ajustarse y modificarse a la luz de estudios adicionales y más resultados de campo.

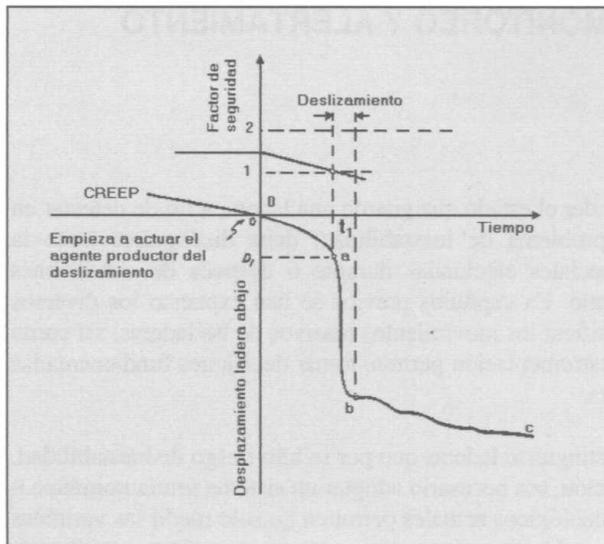


Fig. 8.1 Evolución de la deformación antes de la falla de una ladera (Terzaghi, 1950)

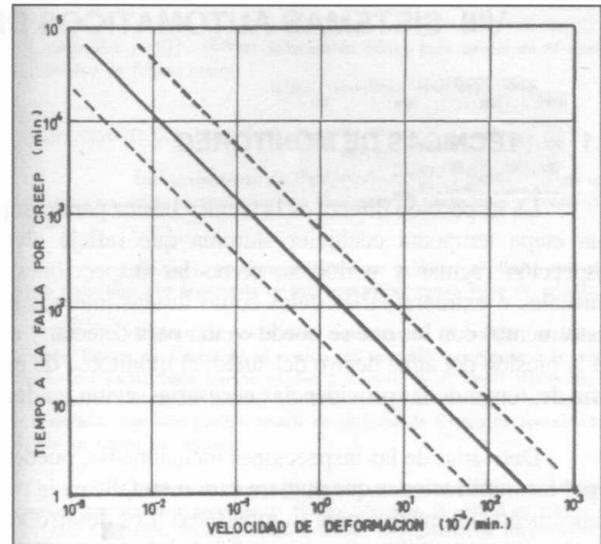


Fig. 8.2 Monitoreo de la velocidad de deformación que conduce a la falla de una ladera (Saito, 1965)

Tabla 8.1 Velocidad de movimientos de laderas y medidas por tomar

INSTRUMENTO	VARIABLE DE CONTROL	MEDIDAS POR TOMAR			
		Inspección, precaución y aumento de mediciones	Necesidad de mediciones de retroalimentación	Necesidad de emisión de avisos de alertamiento y cierre	Peligro estricto y máximo. Cierre al acceso
Extensómetro	Velocidad del desplazamiento en la superficie del terreno	Más de 10 mm en 30 días	De 5 a 50 mm en 5 días	De 10 a 100 mm en un día	Más de 100 mm en un día
Extensómetro en pozo					
Distanciómetro óptico					
Inclinómetro	Velocidad del desplazamiento en la superficie de deslizamiento	Más de 1 mm en diez días	De 5 a 50 mm en 5 días	—	—
Inclinómetro	Valor acumulado	De 10 a 50 mm en diez días	—	—	—

El arreglo de instrumentos debe ser tal que los extensómetros se posicionen en la corona y al pie del talud, y un inclinómetro a lo largo de la línea principal de medición (dirección longitudinal del deslizamiento). Si es que el ancho del deslizamiento excede los 150 m, se requerirá una línea secundaria de medición en la que se incluya un arreglo de instrumentos similar al de la línea principal.

La frecuencia con la que los instrumentos deben monitorearse depende de la velocidad con la que se desarrollen los movimientos en la ladera. Ante condiciones que pudiesen considerarse estacionarias, la medición sería una vez por semana; de dos a tres veces por semana ante un ligero aceleramiento en el que se declararía una etapa

precautoria. Ante un periodo de franco riesgo, procederían mediciones diarias, y de hecho continuas ante una predicción de inminente falla, ello desde luego si son automáticas para no exponer las brigadas encargadas del monitoreo.

## 8.2 SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE MONITOREO

Los sistemas con cierta automatización de monitoreo pueden clasificarse como (1) semiautomáticos, donde los datos de los sensores o transductores se colectan y almacenan en adquisidores de datos automáticamente en o cerca del sitio, y se “vacía” su información mediante computadoras portátiles; el análisis de los datos es conducido a posteriori por otro sistema; y (2) totalmente automáticos, los cuales integran un sistema en línea, conectando los sensores con las computadoras en la oficina o centro de control; esta transmisión a distancia se efectúa por cable, teléfono, o radio.

### 8.2.1 Sistema semiautomático

El sistema semiautomático se adopta en aquellos casos donde el análisis constante de los datos no siempre es necesario, dependiendo de la frecuencia de las mediciones o la estabilidad de la ladera o talud. Casi todos los transductores son capaces de integrarse a un sistema automático de monitoreo, aunque por lo mismo deben ser de tipo eléctrico; así, el medio sensible de extensómetros, piezómetros e inclinómetros debe estar basado ya sea en strain gages resistivos, o bien de cuerda vibrante (vibrating wire).

### 8.2.2 Sistema totalmente automático

Con un sistema totalmente automático es posible reconocer el estado del movimiento masivo fácilmente en una emergencia, monitoreándolo de manera segura a distancia, ahorrando tiempo y costo en su operación; desde luego, su costo inicial es mayor, al tenerse que agregar un sistema de transmisión que incluye modems y líneas telefónicas; o bien, radio transmisores y receptores, antena, etc. El sistema está compuesto fundamentalmente de sensores, comunicación entre los instrumentos y una caseta de campo, y otro enlace entre ésta y una oficina o centro de observación. En la caseta se hace propiamente el monitoreo, congregando los datos de los diversos sensores, y el centro efectúa el procesamiento de los datos y su análisis global. En la Fig. 8.3 se muestra el esquema de un sistema automático de monitoreo, adoptado en la prefectura de Oita en Japón.

La Fig. 8.4 muestra un ejemplo de un sistema de monitoreo automático usado en el sitio de construcción de una carretera en Japón. El sistema tuvo por objetivo establecer un sistema experto para predecir la ocurrencia de un posible deslizamiento en una ladera, introduciendo en el sistema el saber-cómo de expertos y bien entrenados ingenieros, a fin de formar una base inteligente. La confiabilidad del sistema para predecir el colapso fue estimado con base en los datos acumulados desde el inicio del corte, al inicio del movimiento y finalmente en su proceso hacia su colapso final. Los factores para el análisis del sistema son la deformación del talud, los niveles piezométricos subterráneos, la lluvia, etc.; de éstos, reconocen que la deformación es el factor más significativo. Este sistema experto exhibió una gran precisión al predecir el colapso, con una diferencia de 1 a 2 horas.

