

## **INTRODUCCION**

Como parte de un convenio de cooperación técnica entre el gobierno del Japón y el de México, entró en operación recientemente el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) dependiente de la Secretaría de Gobernación y con la colaboración de la UNAM. El Centro está ubicado en terrenos de la UNAM en la parte sur de C.U.

Una de las principales áreas de investigación y estudio del CENAPRED, es la relacionada con los desastres de origen geológico y, en particular, con los fenómenos sísmicos. Para ello, el gobierno japonés donó un complejo sistema de observación sísmica que complementa las redes instrumentales existentes. Dados los trágicos antecedentes de los temblores de septiembre de 1985, se plantearon, como objetivos principales del sistema instalado, los estudios del comportamiento dinámico de suelos y estructuras, en particular en la ciudad de México, y las características de propagación de las ondas sísmicas originadas por temblores intensos en la zona de subducción a lo largo de las costas de Guerrero. La descripción del sistema de observación es el objetivo del presente trabajo.

## **DESCRIPCION GENERAL DE LA RED**

La red de observación sísmica del CENAPRED está compuesta por un total de 15 estaciones autónomas de registro y un puesto centralizado de recepción y procesamiento de la información ubicado en las instalaciones del CENAPRED en C.U. La red, a su vez, está dividida en dos subredes, una a lo largo de la línea Acapulco-México, y otra en la ciudad de México.

### *Red de Atenuación*

Esta subred, mostrada en la figura 1, consta de cinco estaciones acelerográficas uniformemente distribuidas entre Acapulco y México, ubicadas en los siguientes sitios: Acapulco, Chilpancingo, Mezcala, Iguala y Cuernavaca. El propósito fundamental de este sistema es el registro de los temblores en la zona epicentral y el estudio de las características de propagación de las ondas en su trayectoria hacia la ciudad de México. Para poder registrar en forma óptima el movimiento del terreno, las estaciones se instalaron sobre roca firme.

Cada estación tiene un acelerógrafo digital triaxial de alta resolución con registro local en una tarjeta de memoria. Asimismo, está equipada con sistemas de comunicación para transmitir los parámetros fundamentales de los eventos registrados vía línea telefónica hacia el puesto central del CENAPRED. Para el registro preciso del tiempo, cuenta con un receptor de onda corta que capta la señal NHK desde el Japón y con ella sincroniza el reloj interno del acelerógrafo. Para garantizar una operación continua de los equipos, las estaciones son alimentadas mediante paneles con celdas solares y baterías en flotación. Los equipos de las estaciones están contenidos en una caseta metálica especialmente diseñada para proteger a los sistemas y, a su vez, facilitar su operación y mantenimiento bajo condiciones climáticas adversas. Las casetas miden 2.20 x 1.5 y 2.4 m de altura y están construidas sobre una losa de concreto firmemente anclada a la roca mediante una cimentación especial, también de concreto armado. Para protección contra descargas eléctricas, todos los equipos, al igual que la caseta, están conectados a un sistema de tierra de baja resistencia.

### *Red de la ciudad de México*

La segunda parte del sistema de observación sísmica está formado por una subred de 10 estaciones instaladas en distintos puntos de la ciudad de México. La distribución de estaciones de esta subred,

mostrada en la figura 2, se hizo con base en la zonificación de la Ciudad de acuerdo al tipo de suelo.

Los objetivos principales de este sistema son: el estudio de las características de las ondas sísmicas provenientes de la costa y que inciden en el Valle, y el comportamiento de los distintos suelos bajo excitación sísmica. Por esta razón se instalaron, en la mayoría de las estaciones, no sólo acelerómetros triaxiales en la superficie, sino también sensores triaxiales en pozos a diferentes profundidades. En el esquema de la figura 3, se muestran las distintas estaciones y se indica el número y ubicación de los sensores. La profundidad de los sensores se escogió con base en estudios de los suelos y de los perfiles estratigráficos de cada sitio. Así se localizaron los sensores del pozo menos profundo a la mitad del primer estrato blando de arcilla, y los sensores más profundos se colocaron a la mitad del estrato duro.

En dos estaciones, la No. 9 y No. 15, se instalaron también instrumentos en un edificio cercano con objeto de estudiar su respuesta dinámica durante un movimiento fuerte. Asimismo, estos instrumentos permitirán estudiar la interacción suelo-estructura, de gran importancia para la ingeniería sísmica y mecánica de suelos.

Todos los instrumentos, al igual que los de la red de atenuación, son acelerógrafos digitales triaxiales con registro local. También las estaciones de esta red están comunicadas mediante un enlace de telemetría al puesto central en el CENAPRED. El medio de comunicación es a través de radio. Las casetas que alojan los equipos son las mismas, sólo que en esta red cada estación tiene a un lado una torre autosoportada de 16m, con las antenas de transmisión y el pararrayos. Las cimentaciones y bases de las casetas fueron especialmente diseñadas para adaptarlas al tipo de suelo. La alimentación de las estaciones es a través de una línea comercial de 127 VAC; los acelerógrafos cuentan con un respaldo de baterías. También

están provistas de radioreceptores de la señal NHK para sincronizar los relojes de los acelerógrafos.

## CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS

### *Equipos de registro*

Los equipos de registro, en cada una de las estaciones de observación, son acelerógrafos digitales marca Akashi, modelo SMAC-MD. Este instrumento de alta tecnología está basado en un microprocesador que controla su operación. Puede registrar y almacenar las señales de 1, 2 ó 3 sensores triaxiales, es decir, tiene capacidad de hasta nueve canales. Los sensores son servoacelerómetros colocados ortogonalmente: longitudinal, transversal y vertical. Las señales de los sensores son continuamente muestreadas y convertidas a palabras digitales de 16 bits. Cuando el criterio de disparo del algoritmo de detección del instrumento se satisface, la información es almacenada en memoria de semiconductor.

En la tabla 1 se presentan las principales características técnicas del SMAC-MD

### *Características del Acelerógrafo SMAC-MD*

Fabricante:	Akashi Seisakusho, LTD.
Tipo:	Digital
Medio de registro:	Tarjeta de memoria de semiconductor (RAM)
Tiempo de registro:	20 min. (3 componentes a 100 Hz.) por tarjeta.

<b>Transductores:</b>	Tres servoacelerómetros internos y seis externos tipo force ballance, constante 3v/g
<b>Rango:</b>	+ - 1000 gals, + - 2000 gals (opcional)
<b>Frecuencia natural:</b>	30 Hz.
<b>Amortiguamiento:</b>	0.7 (% del crítico)
<b>Frecuencia de muestreo:</b>	50/100 o 200 mps
<b>Longitud de palabra:</b>	16 bits
<b>Rango dinámico:</b>	96 dB
<b>Disparador:</b>	Lógica "OR" con tres canales
<b>Reloj:</b>	Interno con corrección automática por radio
<b>Alimentación:</b>	90 a 260 VCA, 50/60 Hz, o 24 VCD
<b>Consumo de potencia:</b>	20 W max

#### *Equipos de transmisión*

La unidad de transmisión en cada estación es la encargada de establecer comunicación entre la estación y el centro de operaciones del CENAPRED. Cada vez que el acelerógrafo "dispara" por la ocurrencia de un movimiento fuerte, se transmite la hora de inicio del evento, los valores máximos de aceleración y un código de la operación del acelerógrafo. Por medio de esta información se puede verificar el correcto funcionamiento del equipo y evaluar oportunamente la actividad sísmica en los sitios. Un diagrama simplificado con los equipos de transmisión se presenta en la figura 4.

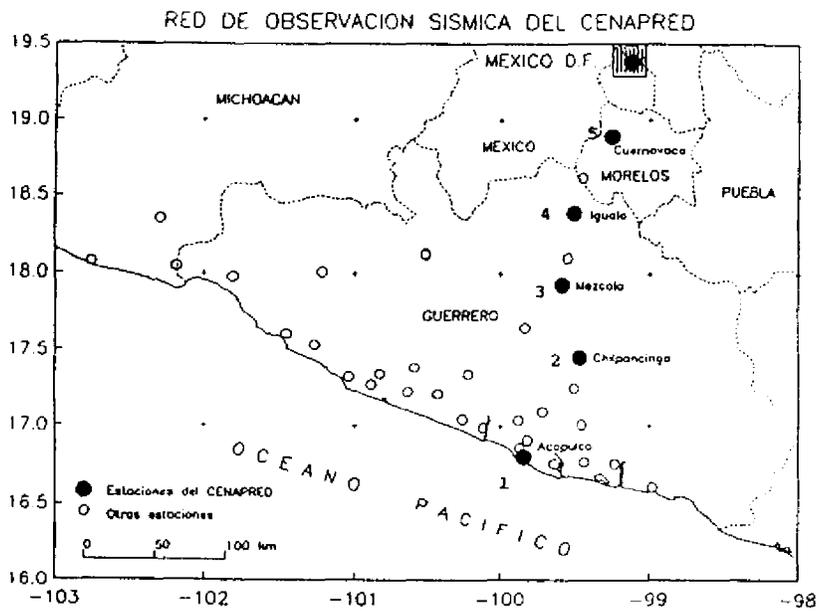


fig 1. Localizaciones de las estaciones de la red de atenuación

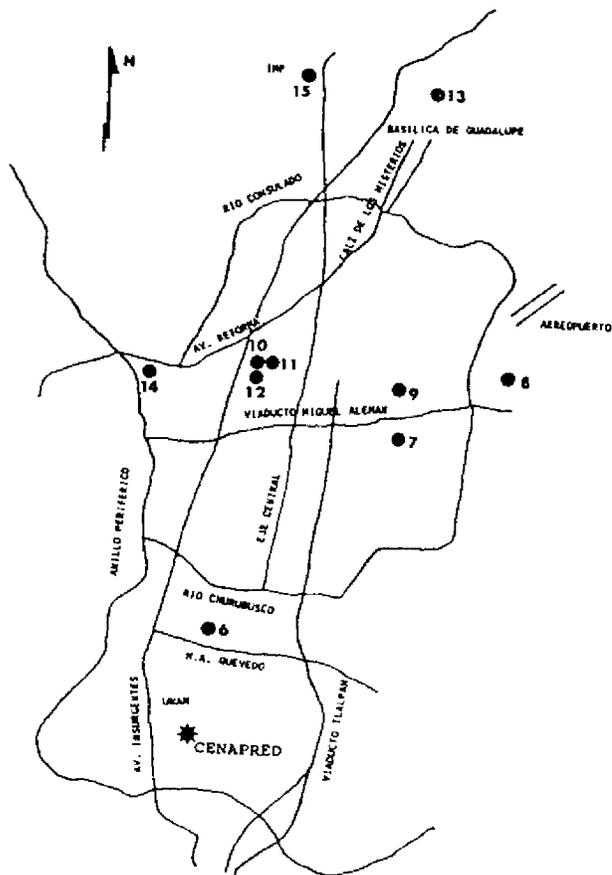


fig 2. Localización de las estaciones en la Ciudad de México

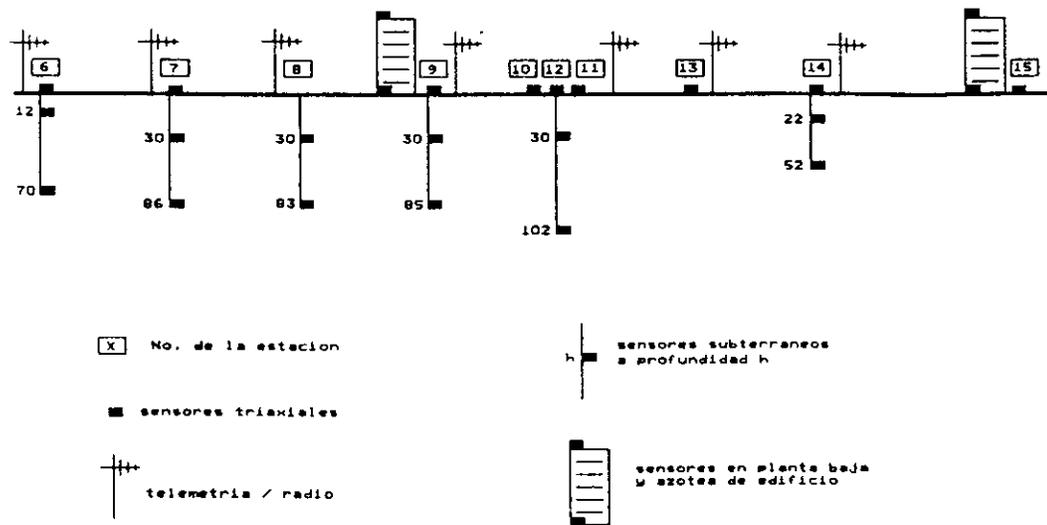


fig 3. Diagrama esquemático de los equipos instalados en las estaciones en la Ciudad de México

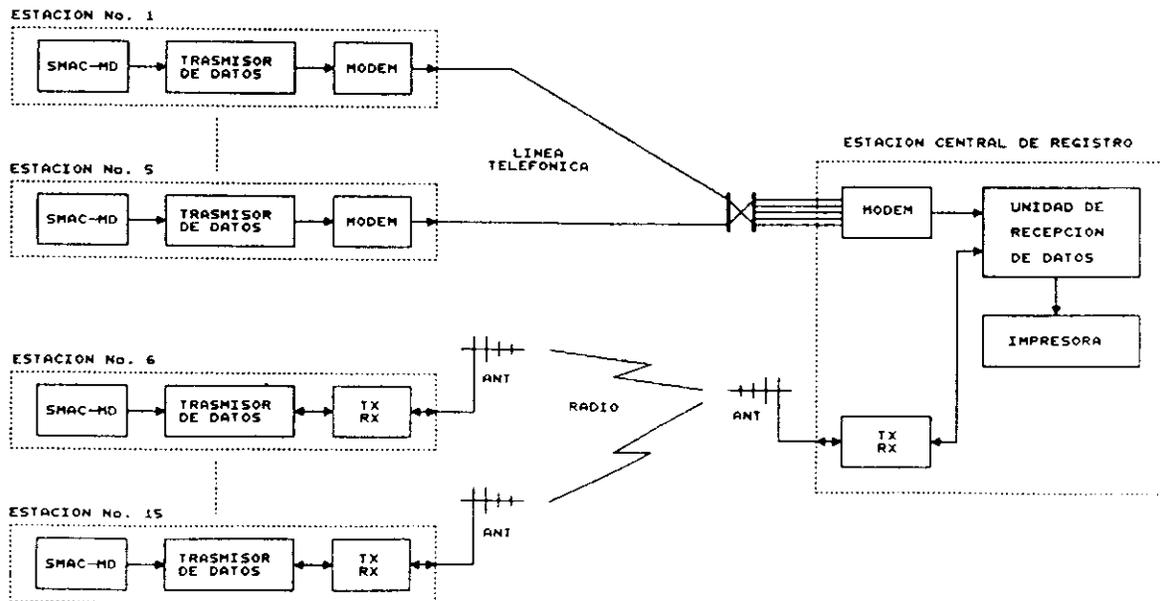


fig 4. Sistema de transmisión y telemetría de la red

## CONCLUSIONES

Con este nuevo sistema de observación y registro sísmico se completa en forma importante la infraestructura de instrumentación sísmica en México. En particular, por las características de los equipos y los sitios de instalación, el sistema descrito permitirá llevar a cabo novedosas investigaciones en las áreas de ingeniería sísmica, mecánica de suelos, e ingeniería estructural, con el fin de entender mejor el fenómeno sísmico y sus consecuencias y prever desastres como los vividos en septiembre de 1985.

La red de observación del CENAPRED entró en operación en abril de 1990.

## **LA RED DE ACELEROGRAFOS DEL NOROESTE DE MEXICO**

**Dr. Luis Munguía Orozco, Victor Wong Ortega**

*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)  
Ensenada, Baja California, México.*

La Red de Acelerógrafos del noroeste de México, ha venido operando desde 1978 hasta el presente. El propósito fundamental de esta red es registrar los movimientos fuertes causados por sismos relevantes en la región. Hasta mediados de 1984, su instalación y mantenimiento estuvo a cargo de personal de la Universidad de California, San Diego, y del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México. A partir de esa fecha, el personal del grupo de Sismología de Movimientos Fuertes del CICESE asumió la responsabilidad de su mantenimiento y operación.

Actualmente, la red consiste en once acelerógrafos con sistema de registro digital y diez de tipo analógico, distribuidos, la mayoría de ellos, en la vecindad de fallas activas de la región noroeste de México.

Durante el periodo de existencia de la red, han sido registrados varios sismos fuertes, destacando por su importancia los siguientes eventos: el del Valle Imperial, de octubre 15 de 1979 (ML = 6.6), el de Victoria, de junio 9 de 1980 (ML = 6.1), el de Cerro Prieto, de febrero 7 de 1987 (ML = 5.4) y los sismos de Superstition Hills de noviembre 23 y 24 de 1987 (MS = 6.2 y 6.6). En la exposición de este trabajo se presentó una descripción de las características principales de las estaciones y de la información obtenida hasta la fecha.

# **REGISTRO DE TEMBLORES FUERTES EN GRANDES PRESAS DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

**Ing. J. Enrique Mena Sandoval**

*Jefe del Departamento de Instrumentación. Gerencia Ingeniería Experimental y Control. Comisión Federal de Electricidad.*

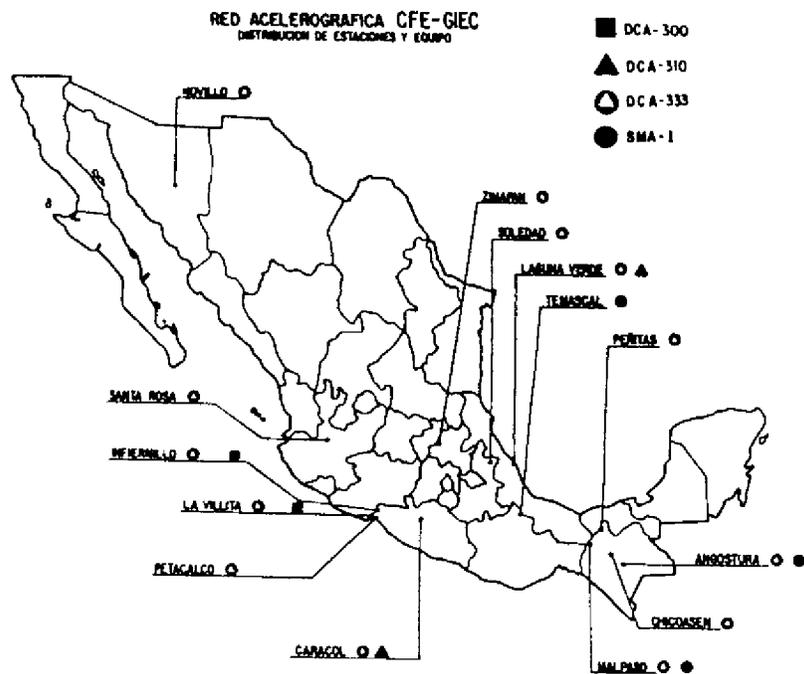
La Comisión Federal de Electricidad (CFE) mantiene en operación un importante número de acelerógrafos para registros de temblores fuertes en las principales centrales de generación de energía eléctrica en el país. Esta red de acelerógrafos, que es operada por la Gerencia de Ingeniería Experimental y de Control, se inició con la colocación de los primeros instrumentos en la presa El Infiernillo en la década de los sesentas. Desde entonces se ha incrementado continuamente el total de aparatos como consecuencia de un mayor número de centrales generadoras de gran importancia, de un mayor interés en complementar el conocimiento del comportamiento dinámico de algunas obras, particularmente grandes presas, y de los resultados obtenidos con anterioridad. El número de acelerógrafos de la CFE asciende a la fecha a 57, el cual se espera llegará a cerca de 65 a finales del presente año.

La instalación y operación de acelerógrafos en grandes presas de CFE forma parte del programa integral del CFE para realizar mediciones en este tipo de obras que permitan obtener información que contribuya a:

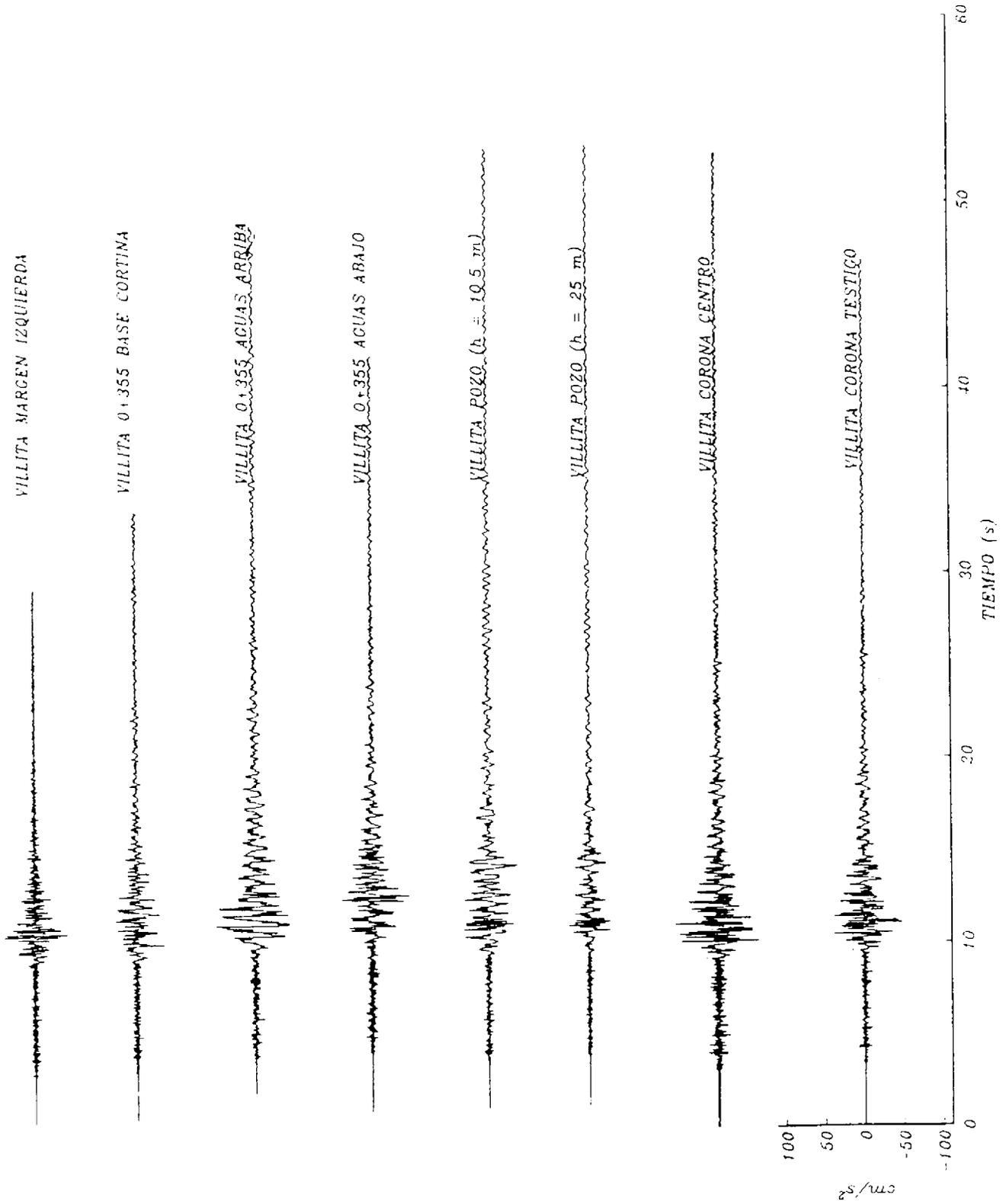
- A. Evaluar la seguridad de grandes presas
- B. Obtener datos de su comportamiento que permitan ampliar el estado del conocimiento de este tipo de estructuras.

Los datos obtenidos de acelerógrafos se complementan con los de sismógrafos, inclinómetros, piezómetros, celdas de carga, celdas de asentamientos, deformómetros, referencias superficiales, etc., para lograr un panorama más complejo del comportamiento de la estructura. Aunque la medición de todos estos instrumentos mencionados se realiza periódicamente desde la construcción de cada una de las grandes presas de CFE, en este trabajo se presentan únicamente una serie de figuras a manera de ejemplo de la red de acelerógrafos que actualmente se tiene en operación, y alguno de los resultados obtenidos recientemente.

Las presas de CFE en las que se encuentran instalados instrumentos para registro de temblores fuertes se presentan en la figura 1, y en la figura 2, se muestra el arreglo de acelerógrafos colocados en la presa de La Villita. Con los datos recabados por la red de CFE se ha formado una valiosa base de datos que es empleada por la comunidad de ingenieros interesados en los estudios de grandes presas. En la figura 3 se muestra un ejemplo de datos recabados recientemente en la presa José Ma. Morelos, La Villita.







SISMO ENERO 14, 1991. COMPONENTE LONGITUDINAL

## **ESTACIONES ACELEROGRAFICAS DE LA FUNDACION ICA EN LA CIUDAD DE MEXICO**

**M. I. Juan Antonio Otero Pliego**

La Fundación ICA fue constituida el 27 de octubre de 1986. A principios de 1987 inició un proyecto denominado internamente "Respuesta Sísmica en la Ciudad de México", con la colaboración del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

En el plan de trabajo se contempló instalar 30 acelerógrafos de superficie, dos de pozo y la instrumentación de un edificio. Durante 1987 se instalaron 29 estaciones de superficie, difiriéndose la que debía construirse próxima al edificio susceptible de ser instrumentado.

Una vez identificado el edificio Ing. Bernardo Quintana Arrijoja, ubicado en el predio del Puesto Central de Control del Metro, durante el segundo semestre de 1988 se construyó otra estación superficial y en el mismo sitio, en julio de 1989, se instalaron dos acelerógrafos de pozo, uno a 20 m y otro a 40 m de profundidad (fig. 1). Con apoyo en el programa Tecnología Industrial para la Producción, del CONACYT, en diciembre de 1990 se iniciaron los trabajos preliminares para instrumentar el edificio, con la colaboración del CICESE.

Las estaciones de la Fundación ICA constan de un cilindro de concreto reforzado de 2.50 m de diámetro y 1.50 m de altura, de los que un metro queda bajo la superficie del terreno; tienen una acometida eléctrica que recarga permanentemente cuatro baterías externas que constituyen la fuente de energía del acelerógrafo. Cuentan además con una antena para recibir la señal (WWB) para tener la misma referencia

de tiempo en los aparatos; este sistema se encuentra en la etapa de implementación (fig. 2).

En más de la mitad de las estaciones, se instaló una línea telefónica comercial que permite monitorear, desde las oficinas de la Fundación ICA, el funcionamiento del instrumento y, además, recuperar los registros que se obtienen durante sismos fuertes.

El instrumento que utiliza la Fundación ICA es el SSA-1 de Kinematics, que tiene memoria de estado sólido con 512 kbytes, expandible a un megabyte, la frecuencia natural del instrumento es de 50 hz, su resolución de 12 bits y un rango dinámico de 72 db.

El procesamiento de la información se lleva a cabo en tres etapas. En la Etapa I se cambian de formato los datos originales, se edita el acelerograma, se ajusta el tiempo absoluto y se hace la conversión de unidades físicas.

En la Etapa II se diezma la serie de tiempo, se remueven las componentes de frecuencia cero y de tendencia parabólica, se corrige por línea base, se corrige por instrumento y se calculan velocidades y desplazamientos.

En esta etapa se tiene la opción de aplicar cuatro tipos de filtros:

- a) Filtro Butterworth unidireccional
- b) Filtro Butterworth bidireccional
- c) Filtro Ormsby
- d) Filtro con transformada rápida de Fourier

En la Etapa III se calculan los espectros de respuesta de desplazamiento relativo, velocidad relativa y aceleración absoluta. Se calculan los espectros de Fourier en amplitud y fase, se editan los espectros y se guardan en archivos separados.

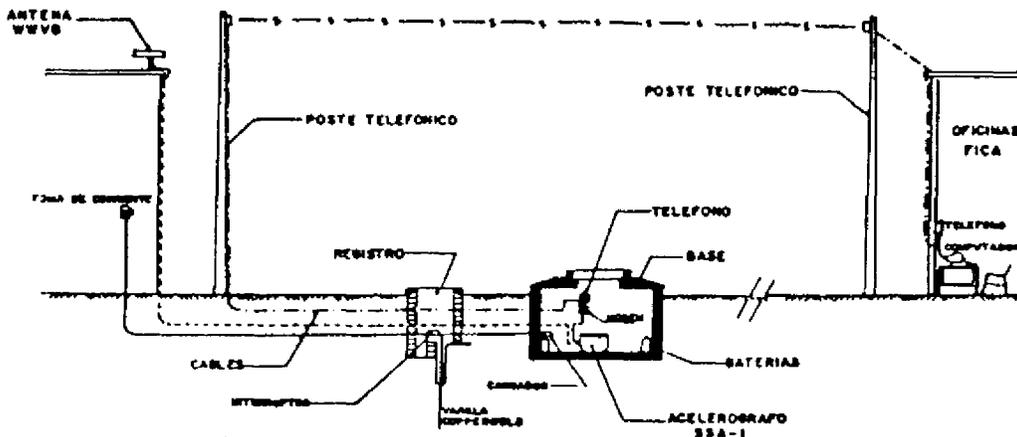
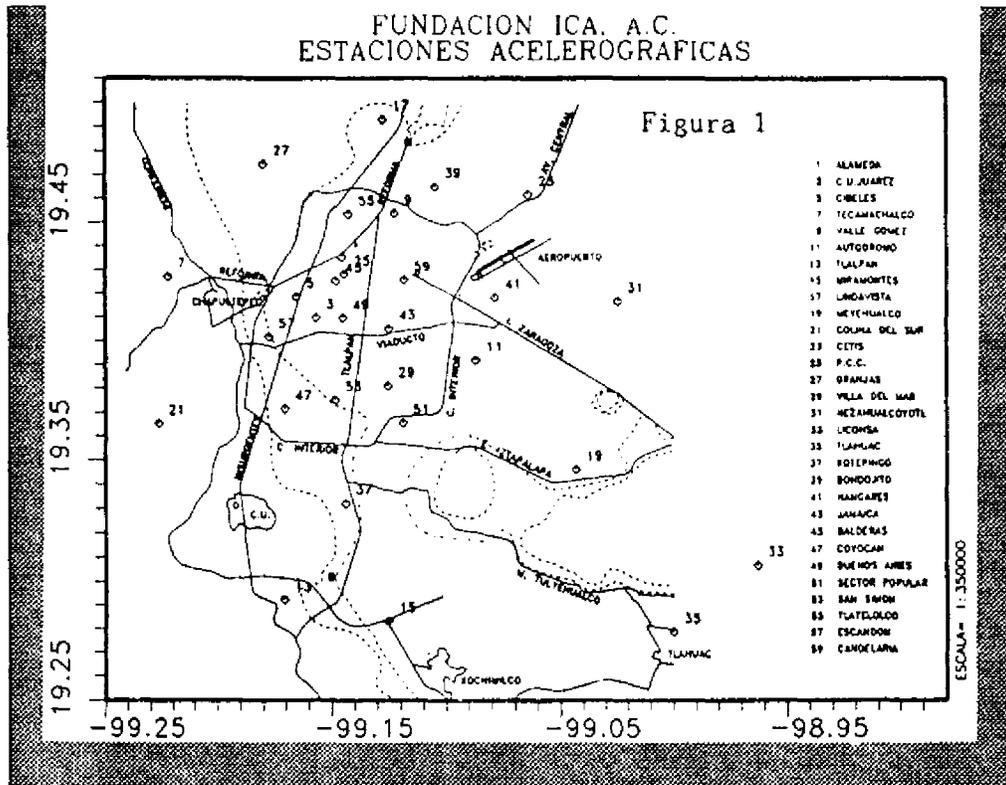
Con este sistema, la Fundación ICA ha registrado varios temblores con diez o más registros; se tiene información de ocho sismos leves y de uno moderado que se sintió en la ciudad de México el 25 de abril de 1989 (fig. 3).

La información de estos nueve sismos ha sido procesada y se han formado mapas de distribución de algunos parámetros de interés como aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos.

A la fecha se está realizando un análisis estadístico que ha permitido detectar que, en cada sitio, se repiten ciertas características del movimiento, independientemente de la ubicación del epicentro y de la magnitud del temblor.

Se estima que desde 1988 se han obtenido en el Valle de México del orden de 500 registros de aceleración por las diferentes instituciones involucradas, lo que seguramente permitirá profundizar rápidamente en el conocimiento de este tipo de fenómenos, que en nuestra ciudad capital es particularmente complejo.

FUNDACION ICA. A.C.  
ESTACIONES ACELEROGRAFICAS



**SIMBOLOGIA:**  
 - - - LINEA TELEFONICA  
 - - - ANTENA  
 - - - ARMADURA ELASTICA

Detalles instalaciones estación tipo

Figura 2

FUNDACION CA, A.C.  
 RELACION DE SISMOS REGISTRADOS POR ESTACION

No.	ESTACION	8/FEB/88	10/MAR/89	25/ABR/89	1/MAY/89	12/AGO/89	11/MAY/90	31/MAY/90	14/ENE/91	1/ABR/91
1	ALAMEDA	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	CUJUARREZ	*	-	*	-	-	*	*	-	*
7	CIBELER	*	-	*	*	-	*	*	-	*
7	TECANACHALCO	-	-	*	-	-	-	*	-	-
9	VALLE GOMEZ	*	*	*	*	-	*	*	*	*
11	AUTOORONO	-	-	*	*	*	*	*	-	*
13	TLALPÁN	-	-	*	*	*	*	*	*	-
15	MIRAMONTES	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17	LINDAVISTA	*	-	*	-	-	-	*	*	*
19	MEYEHUALCO	*	-	*	*	-	-	*	-	*
21	COLINA DEL SUR	-	-	-	-	-	*	-	-	*
23	CETIS	-	-	*	-	-	*	*	-	-
25	P.C.C. SUP.	-	-	*	*	*	*	*	*	*
25	P.C.C. 20 MTS.	-	-	-	-	*	*	*	*	*
25	P.C.C. 40 MTS.	-	-	-	-	*	*	*	*	*
27	GRANJAS	*	-	*	*	*	*	*	*	*
29	VILLA DEL MAR	*	*	*	*	*	*	*	*	*
31	NEZAHUALCOYOTL	*	*	*	*	*	*	*	*	*
33	LICONSA	*	*	*	-	-	*	*	*	*
36	TLAHUAC	-	-	*	-	-	-	-	-	*
37	XOTEMINGO	*	*	*	*	*	*	*	*	*
39	BONDOJITO	-	-	*	-	-	*	*	-	*
41	HANGAREP	*	*	*	-	*	*	*	-	*
43	JAMAICA	*	-	*	*	*	*	*	*	*
45	BALDERAS	*	*	*	*	-	*	*	*	*
47	COYOACÁN	*	-	*	*	-	*	*	-	*
49	BUENOS AIRES	*	-	*	*	*	*	*	*	*
51	SECTOR POPULAR	*	*	*	*	*	*	*	-	*
53	SAN SIMÓN	*	-	*	*	-	*	*	-	*
55	TLATELOLCO	*	*	*	*	-	*	*	*	*
57	EBECANDÓN	*	-	*	*	-	*	*	-	*
59	CANDELAJA	*	-	*	-	-	*	*	*	*

Figura 3