

CATÁLOGO DE SISMOS RECIENTES (1991-1996) REGISTRADOS POR LA RED DE ACELERÓGRAFOS DEL NOROESTE DE MÉXICO

Antonio Vidal, Manuel Luna, Luis Munguía, Miguel Navarro, Victor Wong y Tito Valdéz
Depto. de Sismología, División Ciencias de la Tierra, CICESE
A.P. 2732, Ensenada, Baja California, México.

RESUMEN

El presente documento tiene la finalidad de dar a conocer los resultados del funcionamiento de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México en su etapa más reciente (1991 a 1996). La red está constituida por 24 estaciones distribuidas en el norte de Baja California y la parte occidental de Sonora. Del total de estaciones, 19 están equipadas con instrumentación digital y 5 con instrumentación de tipo analógico. Los sismos registrados por la red han permitido formar un catálogo consistente en 228 registros de aceleración de 3 componentes cada uno. Para el procesamiento de los datos optamos por desarrollar nuestra propia programación en lenguaje C. El Volumen I de datos, corregidos sólo por la sensibilidad del instrumento, se obtiene para todos los sismos registrados mediante el programa RANM y únicamente en los casos de sismos relevantes ($M \geq 4.0$) se obtienen los Volúmenes II y III de datos con el programa DINT94. El Volumen II está constituido por la aceleración, la velocidad y el desplazamiento del terreno y el Volumen III lo constituyen los espectros de Fourier y de respuesta. En lo que respecta a los sismos registrados, éstos tienen magnitudes comprendidas en un intervalo de 2.0 a 5.0. La aceleración máxima absoluta registrada durante el periodo que comprende este estudio es de 358 cm/s^2 y fue producida por un temblor de magnitud 4.7 (lat. N 32.413, lon. W 115.238) registrado a una distancia epicentral de 7.4 km. De 148 sismos registrados, fue posible establecer la localización epicentral de 105 de ellos. La mayoría de los sismos (95) se localizan en la región del Valle Mexicali-Imperial y sólo diez fueron ubicados en la región del Macizo Rocos Peninsular. No obstante de ser pocos los sismos pertenecientes a esta región, seis de ellos tienen magnitudes entre 4 y 5.

INTRODUCCIÓN

Con el propósito de registrar los movimientos fuertes causados por sismos relevantes de la región norte de Baja California, durante los últimos 21 años ha estado en funcionamiento la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México (RANM). Durante su periodo de existencia la red ha experimentado múltiples cambios, tales como reubicación de estaciones, reemplazo de instrumentación obsoleta por instrumentación de tecnología moderna y electrificación de sitios, por mencionar sólo algunos de ellos. Estos cambios obedecen a la necesidad de contar con una red moderna que produzca registros de buena calidad (no saturados, completos, sin señales espurias, con buen control de tiempo) en la eventualidad de la ocurrencia de un sismo fuerte ($M > 6.0$). Por otro lado, ha sido necesario documentar estrictamente todos los cambios realizados con el propósito de procesar correctamente los acelerogramas registrados.

La finalidad del presente documento es dar a conocer el procesamiento realizado a los datos de aceleración registrados por la red durante el periodo de 1991 a 1996 y presentar información de los sismos que generaron algún acelerograma. La base de datos está formada por los acelerogramas, localizaciones hipocentrales, valores de aceleración máxima y la documentación de la instrumentación utilizada. La información de sismos registrados durante la primera etapa de

la red, que comprende de diciembre de 1976 a diciembre de 1991, se encuentra ya documentada por Munguía *et al.* (1995) y además está integrada a la Base Mexicana de Sismos Fuertes (antes llamada Base Nacional de Sismos Fuertes, Quass *et al.*, 1995).

LA RED DE ACELERÓGRAFOS DEL NOROESTE DE MÉXICO

Munguía *et al.* (1995) dieron ya una descripción muy completa de como está estructurada la red y de las características físicas de las estaciones. En esta sección solamente nos limitaremos a describir los cambios hechos a la fecha. Uno de los principales logros ha sido tener un mayor número de estaciones digitales en funcionamiento (19) en comparación con las reportadas en 1995 (11) y sólo 5 estaciones analógicas en lugar de las 14 que funcionaban en el mismo año. La distribución geográfica de las estaciones abarca principalmente la región norte del estado de Baja California y la parte occidental del estado de Sonora (Figura 1). La mayor densidad de estaciones se encuentra en la región del Valle Mexicali-Imperial (VMI), a lo largo del sistema de fallas Imperial-Cerro Prieto, debido a que este sistema genera con mayor frecuencia los sismos más fuertes de la región (algunos ejemplos son: el sismo del Valle Imperial del 15 de octubre de 1979 [$M = 6.6$] y el sismo de Victoria del 9 de junio de 1980 [$M = 6.1$]).

Sin embargo, otros sistemas con potencial para generar sismos de magnitud moderada a fuerte son los formados por las fallas San Miguel y Vallecitos, la falla Sierra Juárez y el área de Pino Solo, ubicados en la región del Macizo Rocos Peninsular (MRP). En octubre y noviembre de 1954 y febrero de 1956 ocurrieron sismos fuertes en esta región (6 sismos con magnitudes de 6.0 a 6.8). Los temblores de la secuencia de febrero de 1956 fueron los que definieron el segmento sur de la falla San Miguel (Shor y Roberts, 1958). Por tal motivo se ha tratado de ir mejorando gradualmente la cobertura de estos sistemas de fallas. Un ejemplo de ello lo constituye la instalación durante 1996 de 2 estaciones (RSA y RAC) en la región del MRP, además del reemplazo de equipo analógico por instrumentación digital en las estaciones VTR e IZA. Adicionalmente se instaló instrumentación con resolución de 24 bits en tres estaciones (DEL, GEO y SAL) ubicadas en la región del VMI. Estos cambios se han realizado con el propósito de que, en la eventualidad de un sismo fuerte, la red produzca registros cercanos a la fuente y que sean de excelente calidad.

INSTRUMENTACIÓN

Las estaciones de la red están equipadas con instrumentación de tipo analógico (SMA-1) e instrumentación de tipo digital (SSA-1, SSA-16, SSR-1/SA-102, K2 y ETNA). La mayoría de estos instrumentos fueron fabricados por la compañía Kinemetrics, con excepción de los acelerómetros SA-102 (de Terra Technology) utilizados en combinación con las grabadoras SSR-1. Una descripción sucinta de los instrumentos SSR-1/SA-102, K2 y ETNA, se presentan en los siguientes párrafos; el resto de los instrumentos (SMA-1, SSA-1 y SSA-16) ya fueron descritos por Munguía *et al.* (1995).

SISTEMAS SSR-1/SA-102

Estos sistemas están formados por grabadoras digitales de memoria de estado sólido SSR-1 y tres acelerómetros SA-102 dispuestos en un arreglo ortogonal. Los acelerómetros, fabricados por la compañía Terra-Technology, tienen una frecuencia natural de 30 Hz y un amortiguamiento del 70% del valor crítico. Las grabadoras tienen una capacidad de

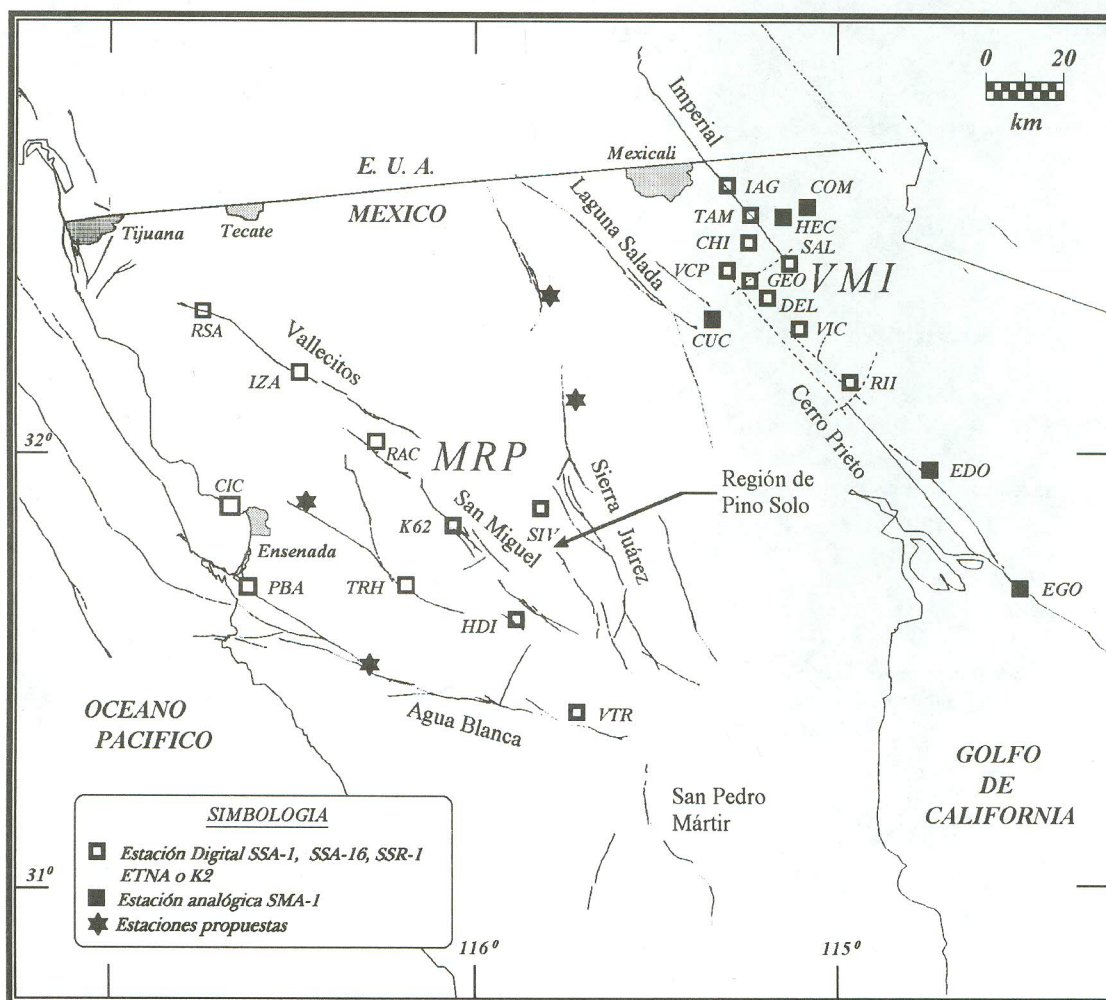


Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México. Las abreviaturas MRP y VMI indican las regiones del Macizo Rocos Peninsular y del Valle Mexicali-Imperial, respectivamente.

almacenamiento de 1 megabyte de memoria, están equipadas con convertidores analógico/digital de 16 bits y tienen un rango dinámico de 96 db. En estos sistemas se efectúa el muestreo de la señal a una razón de 200 muestras por segundo y por canal.

ACELERÓGRAFOS DIGITALES K2 Y ETNA

Estos instrumentos detectan 3 componentes ortogonales de aceleración y las registran en tarjetas del tipo PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International Association*, [ver Kinematics, 1994, 1995]). Estas tarjetas son dispositivos de almacenamiento en masa. Los acelerógrafos están equipados con convertidores analógico/digital de 24 bits y tienen un rango dinámico de 114 y 108 db para K2 y ETNA, respectivamente. Los acelerómetros tienen una frecuencia natural de 50 Hz y un amortiguamiento correspondiente al 70 % del valor crítico. En la configuración actual de la red, este tipo de acelerógrafos operan a una escala de ± 2 g ($1 \text{ g} = 980 \text{ cm/s}^2$) con valores de umbral de disparo comprendidos entre 0.2 a 1% de g. La razón de muestreo usada es también de 200 muestras por segundo por cada canal.

Con el propósito de que todos los registros estén referidos al Tiempo Universal Coordinado, a las estaciones equipadas con instrumentación SMA-1 y SSA-1 se les han instalado receptores de tiempo WWVB (código emitido por una estación de radio localizada en Colorado, EUA.), mientras que las estaciones equipadas con instrumentación SSA-16 y SSR-1/SA-102 funcionan con receptores de tiempo Omega. Estos receptores reciben la señal emitida por el Sistema Global Omega de Navegación por Radio y la convierten a Tiempo Universal Coordinado. En el caso de estaciones equipadas con instrumentos K2 y ETNA la señal de tiempo es proporcionada por receptores del tipo GPS (*Global Positioning System*).

De acuerdo a la experiencia adquirida en la operación de los equipos digitales, estos fueron programados para que funcionen con memorias pre-evento de entre 15 y 15.36 s y post-evento de 60 s. Estos parámetros han permitido el registro apropiado de la señal sísmica, tanto de los primeros arribos como de la longitud de la señal. La mayoría de los registros de aceleración que se han obtenido son de buena calidad en virtud a que incluyen los primeros movimientos causados por la onda P, las amplitudes están registradas a escala y la longitud de las señales es apropiada.

En la Tabla 1 se presenta información concerniente a las estaciones de la red. En ella se incluye el nombre y código de las estaciones, sus coordenadas geográficas, la orientación de cada componente de registro (vertical y horizontales [longitudinal y transversal al eje largo del instrumento]), el tipo de instrumentación instalada y algunas de las características instrumentales importantes para el procesamiento de datos, tales como la frecuencia natural, el amortiguamiento y la sensibilidad.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

El procesamiento de los datos de aceleración se realiza siguiendo la secuencia estándar descrita por Trifunac y Lee (1973). Esta secuencia consiste en obtener los Volúmenes I, II y III de datos. El Volumen I está constituido por los registros de aceleración corregidos únicamente por la sensibilidad del instrumento y por línea de base. El Volumen II consiste de acelerogramas corregidos por el efecto del instrumento y de registros de velocidad y desplazamiento obtenidos a partir de la integración de los acelerogramas corregidos. Finalmente, el Volumen III lo constituyen los espectros de Fourier y de respuesta, obtenidos estos últimos para varios valores de amortiguamiento. Rutinariamente, todos los datos de aceleración registrados por la red, ya sea en formato analógico o digital, son procesados hasta la obtención del Volumen I. Solamente en los casos de acelerogramas de sismos importantes por su magnitud, por los efectos sentidos durante su ocurrencia, por el número de estaciones que los registraron o por formar parte de algún estudio en particular, son procesados hasta la obtención de los Volúmenes II y III.

Munguía *et al.* (1995) describieron con detalle el tipo de procesamiento que se realiza a los datos registrados por la red y presentaron ejemplos de los resultados que se obtienen. En esta sección solo complementaremos tal descripción con información respecto a la programación desarrollada para el procesamiento y la forma en como se catalogan los datos procesados. La explicación que se proporciona en los párrafos siguientes está basada en el diagrama de bloques de la Figura 2.

VOLUMEN I

Una vez extraída la información en los sitios de registro, con programación proporcionada por la compañía fabricante de los equipos, se procede en el laboratorio a efectuar el procesamiento de los datos. Si bien la compañía proporciona también programas para el procesamiento estándar de los datos registrados, éstos son muy rígidos en su uso y el usuario solamente los puede manejar como "cajas negras", por lo que consideramos conveniente desarrollar nuestra propia programación. El programa desarrollado para la obtención del Volumen I es RANM, escrito en lenguaje C. Este programa puede decodificar los archivos de datos producidos por acelerógrafos SSA-1, SSA-16 y por grabadoras SSR-1, lo cual lo hace un programa muy conveniente. El resultado de este programa es un archivo que contiene las series de tiempo (en ASCII) grabadas en el formato estándar de datos de aceleración propuesto para la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes. En este formato las series de tiempo van precedidas de un encabezado con información concerniente al sitio de registro, a la instrumentación usada y también al sismo y a las características del acelerograma generado. A continuación se escriben, en columnas contiguas, las series de tiempo de las tres componentes de aceleración (longitudinal, vertical y transversal) registradas.

Tabla 1. Estaciones de la Red de acelerógrafos del noroeste de México que han funcionado durante el periodo que abarca el presente estudio.

Estación	Coordenadas		Comp.	Or. ¹	Sen. ²	Frec. (Hz)	Am. ³	Instrumento
	Latitud	Longitud						
Chihuahua (CHI)	32°29'11.80"	115°14'30.60"	long	10	2.50	50.35	0.57	SSA-16
			vert	+	2.50	50.00	0.55	
			tran	100	2.50	50.00	0.55	
CICESE (CIC)	31°52'06.00"	116°39'50.70"	long	0	2.50	30.00	0.70	SSR-1/SA-102
			vert	+	2.50	30.00	0.70	
			tran	90	2.50	30.00	0.70	
Compuertas (COM)	32°34'12.00"	115°04'48.00"	long	90	1.68	25.89	0.63	SMA-1
			vert	+	2.03	25.00	0.51	
			tran	180	1.80	25.37	0.61	
Cucapah (CUC)	32°18'23.50"	115°19'58.90"	long	90	1.68	25.76	0.57	SMA-1
			vert	+	1.89	26.64	0.57	
			tran	180	1.88	25.86	0.57	
Delta (DEL)	32°21'18.90"	115°11'14.20"	long	0	1.25	51.20	0.64	ETNA
			vert	+	1.25	52.30	0.64	
			tran	90	1.25	51.00	0.66	
El Doctor (EDO)	31°57'32.00"	114°44'40.10"	long	280	1.61	27.11	0.56	SMA-1
			vert	+	1.98	24.44	0.57	
			tran	190	1.75	26.66	0.58	
El Golfo (EGO)	31°41'13.80"	114°29'51.20"	long	320	1.98	25.00	0.54	SMA-1
			vert	+	1.66	26.30	0.56	
			tran	230	1.83	26.00	0.60	
Geotermica (GEO)	32°24'00.00"	115°14'24.00"	long	0	1.25	51.10	0.64	ETNA
			vert	+	1.25	52.10	0.64	
			tran	90	1.25	53.40	0.64	
Héroes de la Independencia (HDI)	31°36'55.00"	115°52'55.70"	long	8	1.25	55.50	0.59	SSA-1
			vert	+	1.25	55.18	0.60	
			tran	98	1.25	56.86	0.59	
Hechicera (HEC)	32°32'47.70"	115°08'43.30"	long	62	1.94	24.80	0.55	SMA-1
			vert	+	2.03	25.00	0.47	
			tran	332	1.59	27.80	0.53	
Islas Agrarias (IAG)	32°37'12.00"	115°18'00.00"	long	0	2.50	51.44	0.54	SSA-16
			vert	+	2.50	50.68	0.59	
			tran	90	2.50	50.29	0.57	
Ignacio Zaragoza (IZA)	32°11'33.80"	116°29'05.30"	long	0	5.00	30.00	0.70	SSR-1/SA-102
			vert	+	5.00	30.00	0.70	
			tran	90	5.00	30.00	0.70	
Kilometro 62 (K62)	31°49'48.00"	116°03'36.00"	long	0	1.25	56.70	0.60	SSA-1
			vert	+	1.25	55.47	0.59	
			tran	90	1.25	56.88	0.60	
Punta Banda (PBA)	31°41'24.00"	116°37'12.00"	long	0	2.50	30.00	0.70	SSR-1/SA-102
			vert	+	2.50	30.00	0.70	
			tran	90	2.50	30.00	0.70	
Rancho Agua Caliente (RAC)	32°01'13.02"	116°18'04.26"	long	0	1.25	55.43	0.62	SSA-1
			vert	+	1.25	56.28	0.61	
			tran	90	1.25	56.18	0.61	
RIITO (RII)	32°09'50.80"	114°57'37.30"	long	0	2.50	50.12	0.54	SSA-16
			vert	+	2.50	52.11	0.54	
			tran	90	2.50	50.09	0.56	
Rancho Santa Alicia (RSA)	32°22'33.00"	116°46'43.20"	long	0	1.25	51.00	0.66	K2
			vert	+	1.25	53.50	0.66	
			tran	90	1.25	51.10	0.64	
Saltillo (SAL)	32°25'20.08"	115°07'49.30"	long	0	1.25	50.08	0.64	ETNA
			vert	+	1.25	50.06	0.65	
			tran	90	1.25	50.07	0.64	
Santa Isabel Viejo (SIV)	31°52'15.10"	115°48'57.60"	long	15	1.25	55.96	0.60	SSA-1
			vert	+	1.25	55.27	0.59	
			tran	105	1.25	56.30	0.60	
Tamaulipas (TAM)	32°32'58.30"	115°14'08.40"	long	0	2.50	49.91	0.57	SSA-16
			vert	+	2.50	50.59	0.55	
			tran	90	2.50	49.54	0.57	
Tres Hermanos (TRH)	31°41'24.00"	116°11'24.00"	long	0	1.25	56.20	0.60	SSA-1
			vert	+	1.25	55.45	0.60	
			tran	90	1.25	56.21	0.61	
Volcan Cerro Prieto (VCP)	32°25'12.00"	115°18'00.00"	long	0	1.25	54.92	0.60	SSA-1
			vert	+	1.25	56.31	0.59	
			tran	90	1.25	55.31	0.59	
Victoria (VIC)	32°17'24.00"	115°06'00.00"	long	62	2.50	50.13	0.51	SSA-16
			vert	+	2.50	50.51	0.53	
			tran	152	2.50	50.13	0.52	
Valle de la Trinidad (VTR)	31°23'54.40"	115°42'51.20"	long	0	2.50	30.00	0.70	SSR-1/SA-102
			vert	+	2.50	30.00	0.70	
			tran	90	2.50	30.00	0.70	

Abreviaturas utilizadas: Comp. = Componente, Or. = Orientación geográfica (acimut) de los componentes (long y tran) y polaridad de la componente vertical, Sen. = Sensibilidad, Frec. = Frecuencia natural y Am. = Amortiguamiento de los acelerómetros.

1. Con base en resultados preliminares de pruebas hechas a los instrumentos SSA-1 y SSA-16, se ha determinado que un movimiento hacia arriba (+) en el registro vertical (vert) significa un movimiento hacia abajo del terreno. No obstante, para la combinación SSR-1/SA-102 el movimiento hacia arriba en el registro vertical, significa un movimiento hacia arriba del terreno. En el caso de los registros horizontales (long y tran) obtenidos con instrumentos SSA-1 y SSA-16, un movimiento hacia abajo de la traza indicará que el terreno se movió en la dirección positiva (dirección de orientación) del acelerómetro. En contraparte, en los registros horizontales obtenidos con la combinación SSR-1/SA-102 el movimiento del terreno en la dirección de orientación del acelerómetro estará indicado por un movimiento hacia arriba de la traza.

2. Las unidades utilizadas en los instrumentos analógicos (SMA-1) son cm/g y V/g para los digitales (SSA-16, SSA-1, SSR-1/SA-102, K2 y ETNA).

3. Los valores de amortiguamiento son expresados como un porcentaje del valor crítico.

VOLÚMENES II Y III

Similarmente al caso de la generación del Volumen I de datos, en que decidimos hacerlo con programación propia, para la generación de los Volúmenes II y III optamos por diseñar los programas DINT94 y TPL94 (escritos también en lenguaje C). DINT94 es el programa que efectúa la corrección por efecto del instrumento y por línea de base y aplica filtros pasabanda, a la ventana de interés seleccionada por el usuario. A continuación integra los datos de aceleración corregidos para obtener la velocidad y el desplazamiento del terreno (Volumen II de datos). Adicionalmente DINT94 permite efectuar cálculos tales como: determinar el valor raíz cuadrático medio de la aceleración, obtener sismogramas Wood-Anderson equivalentes y calcular la magnitud local, filtrar la señal en proceso (aceleración, velocidad o desplazamiento), calcular el espectro de Fourier y finalmente calcular los espectros de respuesta. Los espectros, tanto el de Fourier como los de respuesta, constituyen el Volumen III de datos y son graficados con el programa TPL94.

BASE DE DATOS

A partir de la información registrada por RANM hemos formado una base de datos de aceleración, la cual está constituida esencialmente por los datos del Volumen I y para los sismos de

mayor relevancia, además del Volumen I, por los datos de los Volúmenes II y III. La forma de cómo está estructurada esta base se comenta a continuación.

ARCHIVOS DE DATOS

Los archivos con los datos de aceleración corregidos por la línea de base y por la sensibilidad del instrumento, Volumen I, se agrupan y guardan en forma compacta por evento en discos de 3.5 pulgadas para computadoras personales y en cartuchos de cinta magnética para computadoras SUN. El nombre que reciben los archivos con los datos de aceleración se forma de la siguiente manera: tres letras que indican el código de la estación que registró el sismo, dos dígitos que indican el año y tres dígitos más que indican el día juliano. La extensión de estos archivos está formada por tres caracteres. El primero de ellos indica el tipo de archivo de que se trate, por ejemplo A (ASCII), y los otros dos indican el número de evento registrado en esa estación durante el día correspondiente, esto es:



Adicionalmente, existen otros dos archivos asociados a cada archivo tipo A:

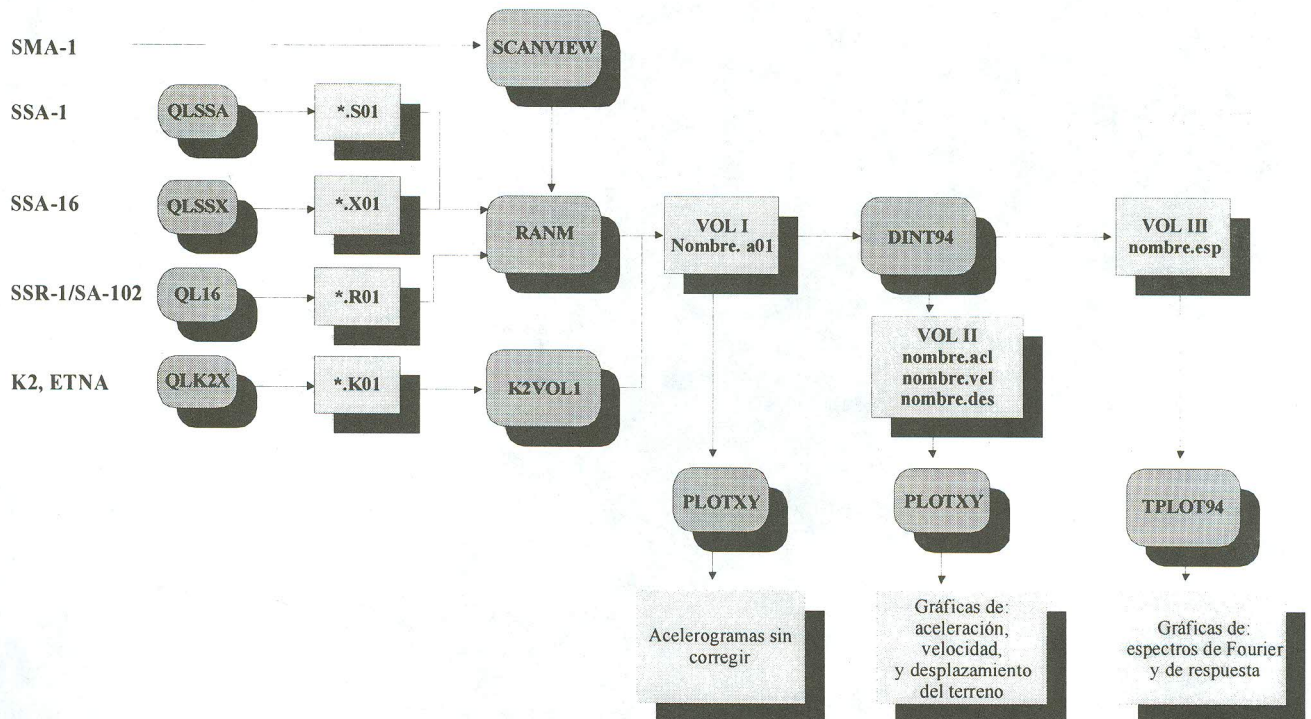


Figura 2. Esquema del procesamiento realizado a los datos registrados por RANM. Los programas QLSSA, QLSSX, QL16 y QLK2X. permiten efectuar, si se desea, una inspección visual rápida de la información grabada (archivos con extensión S, X, R y K). Con excepción de la utilidad SMA SCANVIEW, utilizada en la digitalización de los acelerogramas analógicos, y K2VOL1 para la obtención del Volumen I para los datos del K2 y ETNA, el resto de los programas RANM, DINT94 y TPL94 fueron diseñados para obtener el Volumen I, los Volúmenes II y III y las gráficas del Volumen III, respectivamente.

- 1) El primero de ellos tiene un nombre similar al anterior pero con la extensión “. P01”. En este caso, la P indica que se trata de un archivo con instrucciones para el programa de graficado PLOTXY (Parker, 1994), que dará como resultado una gráfica con las tres componentes de aceleración.
- 2) El segundo archivo contiene los datos crudos y tiene también un nombre similar, pero en la extensión se indica el tipo de instrumento que registró el sismo de acuerdo al siguiente código: S para acelerógrafos SSA-1, X para acelerógrafos SSA-16, R para el sistema grabadora/acelerómetro SSR-1/SA-102 y K para acelerógrafos K2 y ETNA.

ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Con el propósito de hacer un uso eficiente de la capacidad de almacenamiento en los discos, los archivos de datos de aceleración, de instrucciones de graficado, y de datos crudos se almacenan, como ya se mencionó, en forma compacta. Para compactar y descompactar los archivos se emplean, respectivamente, los programas comerciales PKZIP y PKUNZIP de PKWARE Inc.

La nomenclatura de los archivos compactos está formada por las letras SI (letras iniciales de la palabra sismo), y seis dígitos que indican la fecha de registro: los primeros dos dígitos indican el año, los siguientes dos indican el mes y los últimos dos indican el día respectivo. La extensión de los archivos está formada por tres caracteres, por ejemplo: “.Z01”. La Z indica que se trata de un archivo compacto y 01 indica el número secuencial del evento en ese día. Por ejemplo el archivo



corresponde al primer sismo registrado el día 12 de enero de 1996. Como este sismo fue registrado en las estaciones Chihuahua (CHI) y Volcán Cerro Prieto (VCP), el archivo compacto contiene seis archivos: dos de datos crudos, en binario (CHI96012.X01 y VCP96012.S01), dos correspondientes al Volumen I de datos (CHI96012.A01 y VCP96012.A01), y finalmente otros dos (CHI96012.P01 y VCP96012.P01) con instrucciones para la obtención de la gráfica respectiva.

INTEGRACIÓN DE LOS DATOS DE RANM A LA BASE MEXICANA DE SISMOS FUERTES

Los acelerogramas generados por RANM desde 1976 hasta 1995, e información concerniente a ellos, forman ya parte de la Base Mexicana de Sismos Fuertes. En esta base está integrada la información de las diferentes redes de acelerógrafos que funcionan (o que han funcionado) en el país y los acelerogramas registrados. Esta información está contenida en tres volúmenes

y en discos CD-ROM, los cuales se pondrán próximamente en venta. El primer volumen (Quass *et al.*, 1993), contiene información de las estaciones tal como: nombre de la estación, coordenadas, ubicación y tipo de suelo, entre otros datos. El segundo volumen (Quass *et al.*, 1995) contiene información de los acelerogramas registrados tal como: estación de registro, fecha de registro del sismo, tiempo de la primera muestra, intervalo de muestreo, aceleraciones máximas, etcétera. El tercer volumen (Quass *et al.*, 1996) es una actualización de las estaciones instaladas hasta 1995, de los acelerogramas registrados a 1994 y de los acelerogramas producidos por 3 sismos relevantes ocurridos en 1995 en Copala ($M = 7.2$), Colima ($M = 7.5$) y Chiapas ($M = 6.5$). Finalmente, las series de tiempo grabadas en el formato estándar de la Base Mexicana de Sismos Fuertes, estarán disponibles próximamente en discos CD-ROM.

SISMICIDAD REGISTRADA

LOCALIZACIÓN DE EPICENTROS

Durante el periodo que cubre el presente documento, 1991-1996, fue posible obtener la localización para 105 de 148 sismos registrados por la red. De 1991 a 1993, y en los casos en que el sismo había sido detectado sólo por una estación, la localización epicentral se tomaba de boletines de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM), en la mayoría de los casos, o de catálogos del California Institute of Technology (CIT). A partir de 1994, y conforme se ha tenido un mayor número de estaciones con el tiempo de referencia universal en sus registros, hemos incluido los tiempos de arribo de estas estaciones en el proceso rutinario de localización. Para un sismo dado, nuestras lecturas se complementan con lecturas de tiempos de arribo de estaciones de RESNOM y, en ocasiones, de estaciones analógicas temporales que han funcionado principalmente en el Valle Mexicali-Imperial. En el caso de sismos de esta región, el modelo de velocidades de la corteza que se utiliza en la localización de hipocentros es el propuesto por Munguía (1995), el cual es una simplificación del modelo publicado por Mc Mechan y Mooney (1980) para el Valle Imperial. Para el caso de sismos del Macizo Rocos Peninsular, el modelo de velocidades que se utiliza es el propuesto por Nava y Brune (1982). Estos modelos se usan en combinación con el programa de localización HYPO71 de Lee y Lahr (1975).

DISTRIBUCIÓN DE EPICENTROS

Los epicentros obtenidos del proceso de localización se muestran en el mapa de la Figura 3. En esta figura se aprecia que la mayoría de los sismos registrados por la red fueron generados en la región del Valle Mexicali-Imperial y sólo 10 de ellos ocurrieron en la región del Macizo Rocos Peninsular. Estos últimos están ubicados a lo largo de la falla San Miguel, al este de la falla Vallecitos y entre las fallas Sierra Juárez y San Miguel. Los epicentros de los noventa y cinco sismos restantes se concentran entre los extremos sur y norte de las fallas Imperial y Cerro Prieto, respectivamente y al oeste del volcán Cerro Prieto. Finalmente, sólo cinco sismos están

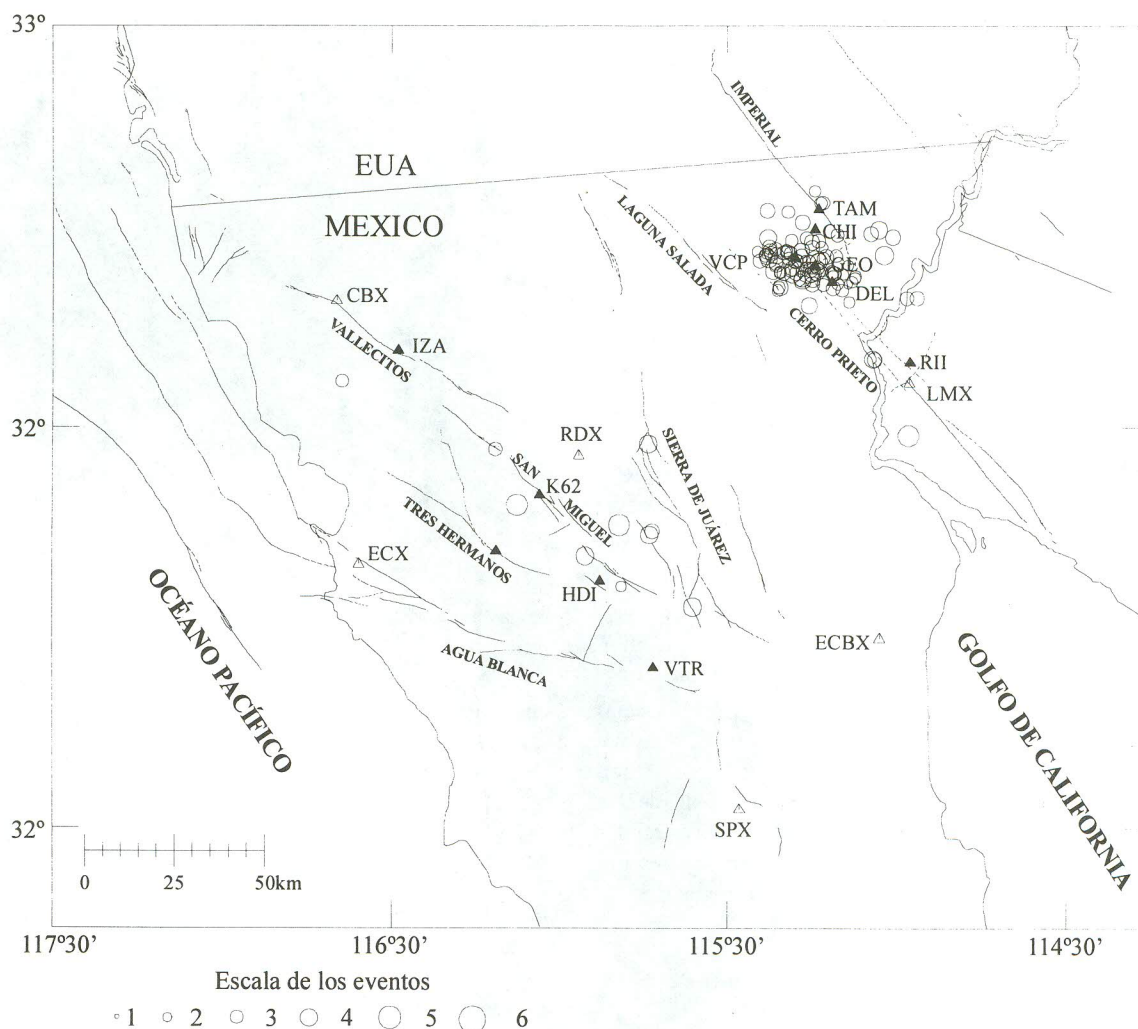


Figura 3. Sismicidad registrada por RANM durante el periodo 1991 a 1996. Los epicentros (círculos) fueron localizados con datos de estaciones de RANM (triángulos en negro), complementados con datos de estaciones de RESNOM (triángulos en blanco).

ubicados hacia el sur de la zona descrita: dos de ellos al norte de la estación Riito (RII), otros dos al oeste y uno más al sur de la misma estación. Las profundidades obtenidas están comprendidas entre 0.1 y 16.0 km. Es importante resaltar que durante 1996 ocurrieron sismos de magnitud ($M \geq 4.0$) en ambas regiones.

En la Figura 4 se presenta un histograma comparativo de los sismos localizados y los no localizados con respecto al total de eventos registrados. El porcentaje de sismos localizados durante el periodo representa el 71% del total de sismos registrados. El 29% restante está representado por sismos que solamente fueron registrados en una estación de RANM y que no existieron lecturas de estaciones de otras redes para obtener la localización respectiva. Otro aspecto que resalta en la Figura 4 es que 1993 fue el año más productivo en el número de sismos registrados, representados en gran parte por la secuencia de sismos ($2.6 \leq M \leq 4.0$) de septiembre y diciembre de 1993 ocurridos en la región del VMI (ver Tabla 2).

COMENTARIO SOBRE LAS MAGNITUDES REPORTADAS

Las magnitudes de los sismos están comprendidas en un intervalo de 2.0 a 5.0. El tipo de magnitud reportada es la magnitud local o bien la magnitud de duración. Estos valores de magnitud son los reportados en boletines de sismicidad de RESNOM o en catálogos de CIT. Si bien se tiene la capacidad para calcular la magnitud local (como se mencionó anteriormente) el cálculo de esta magnitud con datos de las estaciones de RANM no se ha incluido aún en el procesamiento de rutina. Lo anterior obedece a que, con base en pruebas que hemos hecho con sismos del VMI registrados a distancias cortas, en estaciones ubicadas en esta región, y utilizando la curva de atenuación de Richter (1958), hemos obtenido valores muy altos de magnitud que en algunos casos han sobrepasado hasta en 1.5 unidades el valor reportado por las dos agencias mencionadas. Estas dos agencias determinan la magnitud de los sismos de nuestra zona de interés a partir de registros obtenidos a distancias intermedias (de entre 40 a 120 km,

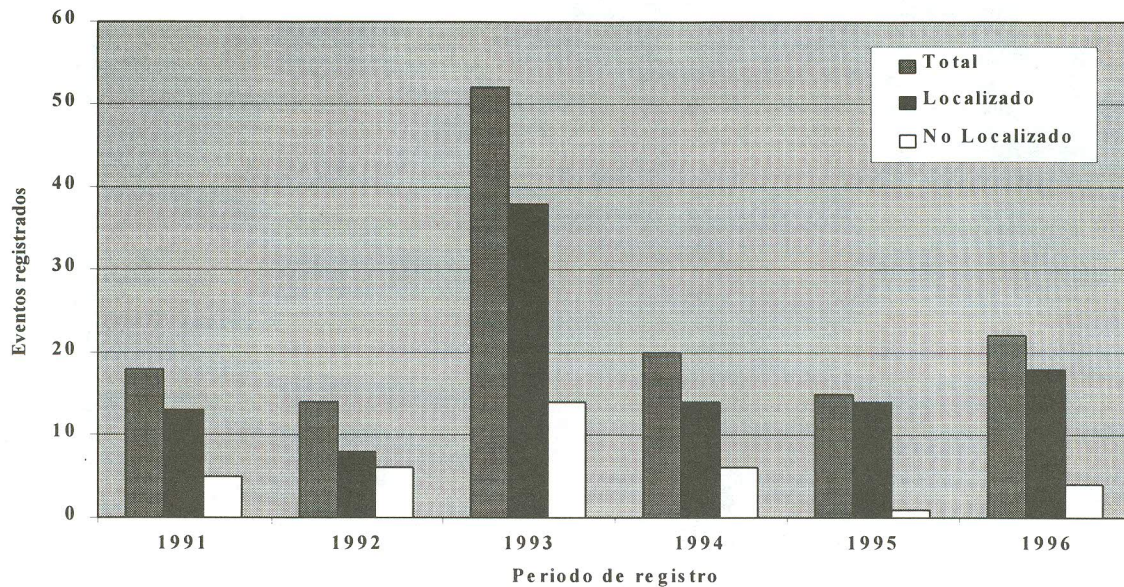


Figura 4. Sismos registrados, localizados y no localizados correspondientes al periodo 1991 a 1996.

aproximadamente). Por otro lado, Vidal y Munguía (1997) determinaron que a distancias cortas (< 40 km) y distancias grandes (> 200 km) las regiones del VMI y del MRP tienen curvas de atenuación diferentes a la curva reportada por Richter (1958). A distancias cortas los datos de las estaciones de RANM fueron de gran importancia en el establecimiento de las curvas de atenuación del VMI y del MRP. Adicionalmente se observó que el factor de sitio juega también un papel importante en la amplitud de las señales registradas.

MAGNITUD Y DISTANCIA DE REGISTRO DE LOS ACELEROGRAMAS

La Figura 5 muestra las magnitudes de los 105 sismos localizados y las distancias a las que fueron obtenidos los acelerogramas respectivos. De ella se desprenden varias observaciones interesantes. La primera, como ya se ha mencionado previamente, es que la mayoría de los registros corresponden a sismos ($2.5 \leq M \leq 4.9$) del VMI (círculos de línea delgada), obtenidos en su mayoría a distancias cortas (de 1.4 a 30 km). La distancia máxima de registro en esta región es de alrededor de 60 km. La segunda es que si bien son sólo 10 los sismos del MRP registrados por la red, la mayoría de ellos (6) son de magnitud 4.0 a 5.0. En este caso los sismos fueron registrados a distancias hasta de 135 km. En la Figura 5 los datos producidos por los sismos del MRP están indicados con círculos en negro cuando se registraron en estaciones del MRP y con círculos de línea gruesa cuando se registraron en estaciones del VMI. Es interesante notar que para 2 sismos de magnitud comparable, el ocurrido en el VMI (3 de octubre de 1994, $M = 4.9$) no fue registrado en estaciones del MRP, mientras que el ocurrido en el MRP (23 de marzo de 1994, $M = 5.0$) se registró tanto en estaciones del MRP como en estaciones del VMI. A partir de estas observaciones se hace obvia la diferente atenuación que caracteriza a estos dos medios (VMI y MRP) confirmando los resultados de Vidal y Munguía (1997). Un

estudio más detallado de este fenómeno está fuera del alcance de los objetivos del presente documento. No obstante la instalación de equipo digital en ambas regiones nos está permitiendo obtener la información necesaria para establecer las diferencias entre los dos medios.

En la Tabla 2 se proporcionan los parámetros del sismo (tiempo de origen, localización y magnitud), conjuntamente con los valores de aceleración máxima de las tres componentes de aceleración registradas. De los 105 sismos localizados, 56 fueron registrados en una estación ($2.0 \leq M \leq 4.3$), 21 se registraron en 2 estaciones ($2.4 \leq M \leq 4.3$) y los 28 restantes se registraron en 3 o más estaciones ($3.2 \leq M \leq 5.0$). Con respecto a los valores máximos de aceleración, si bien se espera que el sismo de magnitud mayor produzca valores de aceleración altos, estos valores dependerán de factores tales como el efecto de sitio, la atenuación del medio y la distancia a la que haya sido registrado el sismo, entre otros. Así por ejemplo, el sismo de magnitud menor (8 de noviembre de 1991, $M = 2.0$) registrado en la estación DEL a una distancia de 4.5 km generó una aceleración máxima de 23.4 cm/s^2 , mientras que el sismo de magnitud mayor (23 de marzo de 1994, $M = 5.0$) registrado en la estación TAM a una distancia de 13 km generó una aceleración máxima de 15.9 cm/s^2 . La aceleración máxima absoluta observada durante el periodo que se reporta fue de 358 cm/s^2 . Este valor máximo de aceleración fue producido en la componente transversal de la estación DEL por el temblor de magnitud 4.7 ocurrido el 11 de enero de 1995 en el VMI. El registro se obtuvo a una distancia epicentral de 7.4 km.

CONCLUSIONES

El procesamiento de la información registrada por RANM ha permitido conocer las aceleraciones generadas para cada uno de los 148 sismos registrados durante el periodo 1991-1996.

Tabla 2. Sismos registrados por la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México durante 1991-1996.

Archivo	Fecha d/m/a	T. Origen h:m:s	Latitud	Longitud	P.F. (km)	M	Est.	Dis. (km)	Acel. Máximas (cm/s ²)		
									Long	Vert	Tran
SI910326.Z01	26/03/91	21:12:40.15	32.311	115.140	6.0	2.7	DEL	7.2	-8.0	8.1	9.5
SI910619.Z01	16/06/91	11:46:23.34	32.384	115.343	10.6	2.8	CHI	14.8	7.7	6.7	8.3
SI910824.Z01	24/08/91	07:48:00.27	32.382	115.334	1.3	3.2	CHI	14.4	11.9	12.5	-28.7
SI910910.Z01	10/09/91	07:30:03.30	32.557	115.218	8.0	3.2	TAM	1.9	53.0	41.5	-59.5
							CHI	8.2	-41.5	-27.7	49.0
SI910910.Z02	10/09/91	07:46:59.78	32.556	115.223	10.0	3.0	TAM	1.4	-28.3	29.0	-36.0
							CHI	8.0	17.0	19.3	28.4
SI911101.Z01	01/11/91	14:04:36.23	32.345	115.188	12.2	3.3	DEL	1.7	45.1	-45.1	61.0
							VIC	10.3	-9.0	12.0	-14.7
SI911101.Z02	01/11/91	14:54:50.20	32.380	115.158	7.4	2.7	DEL	3.7	-22.2	35.4	17.9
SI911102.Z01	02/11/91	11:29:45.32	32.361	115.131	5.1	2.6	DEL	5.6	-12.5	-17.7	-18.6
SI911108.Z01	08/11/91	15:09:59.24	32.355	115.143	6.0	2.0	DEL	4.5	-10.1	23.4	7.6
SI911108.Z01	08/11/91	23:08:13.72	32.379	115.250	4.0	3.6	DEL	6.0	-18.9	-15.6	30.1
							CHI	11.9	25.7	7.9	-20.1
SI911109.Z01	09/11/91	01:27:12.09	32.340	115.161	3.0	3.0	DEL	3.5	-28.7	35.1	-20.9
SI911112.Z01	12/11/91	07:00:39.57	32.374	115.122	8.7	2.9	DEL	6.6	-11.6	-10.5	-15.3
SI911203.Z01	03/12/91	17:54:37.10	31.756	115.822	16.6	5.0	LAS	68.0	9.7	7.2	12.4
							DEL	89.0	16.1	7.8	-17.6
							VIC	90.0	-35.2	-7.4	-31.3
							RII	93.0	-16.9	-4.5	14.4
SI920411.Z01	11/04/92	04:16:18.74	32.356	115.250	1.2	3.5	DEL	5.7	30.7	-17.6	30.7
SI920502.Z01	02/05/92	08:34:39.32	32.394	115.309	3.7	3.3	DEL	11.8	10.0	-3.2	12.1
SI920517.Z01	17/05/92	02:27:38.51	32.4189	115.216	8.0	3.0	DEL	7.0	31.1	14.7	31.1
SI920607.Z01	07/06/92	13:27:33.98	32.370	115.122	8.0	2.7	DEL	6.5	-19.8	9.9	11.5
SI920725.Z01	25/07/92	19:01:53.76	32.425	115.281	6.0	3.2	CHI	7.7	91.6	-52.5	112.0
							TAM	14.5	-15.7	25.6	-16.0
SI920726.Z01	26/07/92	00:18:51.25	32.508	115.278	4.2	3.6	CHI	4.2	39.3	38.3	-45.6
SI920805.Z01	05/08/92	04:56:44.81	32.458	115.250	8.0	3.7	CHI	3.2	-33.5	-35.8	-46.8
SI920829.Z01	29/ 8/92	21:30:32.86	32.447	115.221	15.2	2.9	CHI	4.8	-13.7	25.3	-14.9
							DEL	10.1	-46.6	-24.5	-48.8
SI930422.Z01	22/04/93	11:03:35.54	32.472	115.011	16.9	3.6	DEL	20.9	22.8	-11.6	18.5
							CHI	21.8	23.4	8.4	44.0
SI930601.Z01	01/06/93	00:34:26.79	32.410	115.259	3.9	3.2	DEL	8.5	111.0	-24.8	-78.6
SI930601.Z01	01/06/93	14:19:24.49	32.414	115.269	5.7	2.4	DEL	9.5	-13.8	6.1	11.4
SI930602.Z01	02/06/93	00:41:31.61	32.469	115.266	6.0	3.1	CHI	2.9	-10.6	19.4	10.2
							DEL	14.0	-155.1	31.1	119.1
SI930612.Z01	12/06/93	05:21:43.30	32.369	115.279	9.2	3.8	DEL	8.4	-122.1	-30.1	65.2
							CHI	13.4	-63.0	52.7	-47.2
							VIC	18.9	23.4	9.7	29.6
							TAM	20.5	-19.3	-30.2	-12.9
SI930716.Z01	16/07/93	07:17:18.35	32.586	115.241	1.0	2.7	TAM	4.0	14.5	6.9	-11.2
SI930820.Z01	20/08/93	09:26:28.12	32.396	115.249	1.7	2.8	DEL	6.8	14.3	-12.7	-14.8
SI930906.Z02	06/09/93	22:30:10.24	32.425	115.356	3.2	3.8	CHI	12.7	-28.7	-19.7	-28.9
							DEL	17.2	-20.7	-7.3	-13.5
							TAM	17.9	18.8	7.6	23.1
SI930907.Z01	07/09/93	11:24:25.34	32.417	115.377	4.0	4.0	CHI	14.8	62.0	-23.7	-153.2
							DEL	18.7	-54.3	27.1	42.6
							TAM	19.8	-34.8	7.5	22.9
SI930907.Z02	07/09/93	11:29:09.39	32.426	115.388	10.1	3.0	CHI	15.3	7.0	-2.6	-16.8
SI930907.Z03	07/09/93	11:33:23.84	32.442	115.358	6.3	3.2	CHI	11.9	-16.5	5.6	-38.3
							DEL	18.2	-17.9	7.0	17.8
SI930907.Z07	07/09/93	12:13:48.77	32.431	115.371	4.2	3.3	CHI	13.6	-33.6	-12.0	30.6
							DEL	18.8	-13.4	3.9	9.6
SI930907.Z11	07/09/93	12:59:21.38	32.347	115.343	12.4	3.7	CHI	18.1	-36.0	8.8	-36.3
							TAM	24.6	20.5	-5.1	16.2
SI930907.Z12	07/09/93	13:07:17.36	32.436	115.411	3.3	2.6	CHI	16.8	4.7	-5.0	12.5
SI930907.Z13	07/09/93	13:40:50.88	32.423	115.383	10.8	3.6	CHI	15.0	-9.6	3.7	-31.0
SI930907.Z14	07/09/93	14:07:56.41	32.432	115.382	5.2	2.7	CHI	14.5	6.2	-2.0	-14.2
SI930907.Z15	07/09/93	14:10:19.97	32.439	115.374	7.4	3.2	CHI	13.5	17.2	-3.4	40.9
SI930908.Z01	08/09/93	07:20:19.95	32.448	115.376	5.6	3.4	CHI	13.3	20.4	-8.2	43.1
SI930910.Z01	10/09/93	15:20:37.24	32.412	115.298	1.4	3.4	CHI	9.7	-35.0	6.8	55.6
SI931011.Z01	11/10/93	18:59:42.60	32.427	115.036	2.7	4.3	DEL	16.3	-11.6	-9.1	12.8
							CHI	20.4	13.1	8.0	35.3
SI931012.Z01	12/10/93	01:41:01.07	32.481	115.076	19.6	3.5	CHI	15.6	-7.7	-4.1	13.0
SI931013.Z01	13/10/93	00:39:00.70	32.490	115.052	15.7	4.1	CHI	17.9	-7.7	-4.9	11.7
SI931111.Z01	11/11/93	13:07:17.67	32.402	115.143	2.4	2.5	DEL	6.4	14.7	7.1	11.7
SI931208.Z01	08/12/93	02:49:37.10	32.388	115.364	7.5	3.9	CHI	15.8	-64.4	-18.9	-66.4
							DEL	16.7	-22.8	12.4	26.9
							TAM	21.6	-16.6	8.0	22.2

Tabla 2. Continuación

Archivo	Fecha d/m/a	T. Origen h:m:s	Latitud	Longitud	P.F. (km)	M	Est.	Dis. (km)	Acel. Máximas (cm/s ²)			
									Long	Vert	Tran	
SI931208.Z02	08/12/93	03:02:50.98	32.418	115.317	6.0	3.2	CHI DEL	10.3 13.6	-26.6 -15.1	10.0 4.9	16.4 -12.3	
SI931208.Z03	08/12/93	03:06:18.86	32.430	115.313	6.0	3.2	CHI DEL	9.1 13.9	-10.8 -13.7	-4.9 3.5	-10.8 -13.8	
SI931208.Z04	08/12/93	03:10:46.39	32.433	115.333	6.0	3.3	CHI	10.4	21.8	7.1	-21.3	
SI931208.Z05	08/12/93	04:32:37.74	32.463	115.310	6.0	3.0	CHI	6.9	8.4	2.4	-18.1	
SI931208.Z06	08/12/93	08:47:31.01	32.412	115.299	4.2	3.3	DEL	11.8	-13.9	3.4	16.7	
SI931208.Z07	08/12/93	09:47:52.74	32.340	115.351	6.0	2.8	CHI	19.2	-8.7	4.3	22.8	
SI931209.Z01	09/12/93	00:06:58.70	32.403	115.355	2.6	3.4	CHI DEL TAM	14.1 16.2 19.8	31.8 -17.8 12.6	9.7 -6.7 -4.4	49.2 15.0 7.3	
SI931209.Z02	09/12/93	00:07:30.15	32.409	115.358	2.1	3.4	CHI DEL TAM	13.9 16.7 19.4	21.7 -10.6 8.3	-5.1 5.7 -4.8	-43.2 11.2 -6.6	
SI931209.Z03	09/12/93	04:18:10.75	32.436	115.321	1.0	3.1	CHI DEL	9.3 14.9	-13.1 -23.7	-13.0 3.8	-10.9 18.5	
SI931218.Z01	18/12/93	15:44:42.99	32.381	115.297	4.1	3.2	DEL CHI TAM	10.3 12.7 19.6	19.5 33.5 12.8	13.4 17.7 6.2	-33.7 -26.3 12.6	
SI931220.Z01	20/12/93	17:37:01.29	32.380	115.308	4.6	4.0	DEL CHI TAM	11.3 13.3 20.0	-44.5 -62.6 -20.6	8.8 -12.3 5.7	-35.2 -72.3 -26.7	
SI931220.Z02	20/12/93	17:59:02.98	32.436	115.326	6.0	2.9	CHI	9.6	-15.8	-3.7	-12.6	
SI931220.Z03	20/12/93	21:23:28.01	32.347	115.347	6.0	2.9	CHI	18.3	-8.4	-1.9	15.9	
SI931224.Z01	24/12/93	22:57:29.80	32.439	115.326	6.0	2.9	CHI	9.5	-21.6	-4.7	30.0	
SI940102.Z01	02/01/94	19:01:44.37	32.329	115.283	9.8	2.5	DEL	9.5	20.2	14.4	16.3	
SI940102.Z03	02/01/94	19:09:13.81	32.316	115.292	8.7	2.8	DEL	10.8	25.9	23.4	21.1	
SI940211.Z01	11/02/94	23:25:28.61	32.537	115.382	3.8	3.5	DEL	26.7	-14.8	5.1	12.5	
SI940303.Z01	03/03/94	17:24:11.73	32.462	115.230	11.4	3.3	DEL	11.9	20.6	-9.5	-13.4	
SI940303.Z03	03/03/94	17:27:56.97	32.302	115.258	18.5	3.8	DEL	9.1	36.8	11.5	-30.2	
SI940323.Z01	23/03/94	02:59:16.17	31.806	116.128	22.5	5.0	K62 TRH HDI DEL CHI TAM	7.0 15.0 30.0 121.7 128.8 134.0	-48.0 121.5 -32.7 -18.3 16.7 15.9	38.2 75.5 -26.8 4.1 -2.3 -2.0	100.8 102.9 39.8 -22.2 -16.2 11.4	
SI940407.Z01	07/04/94	18:32:14.49	31.678	115.924	5.1	4.3	HDI	7.9	54.1	16.7	49.8	
SI940530.Z01	30/05/94	08:52:34.00	32.423	115.209	15.3	3.5	GEO	3.7	33.6	26.9	28.6	
SI940629.Z01	29/06/94	07:46:19.14	32.367	115.248	3.6	3.6	GEO	3.8	-71.8	39.0	131.6	
SI940811.Z01	11/08/94	02:22:51.63	32.384	115.260	5.0	4.9	GEO VCP CHI VIC IAG RII	2.7 5.6 11.4 18.3 26.5 37.3	-235.9 -109.8 -36.9 21.0 -10.2 -10.2	-347.0 52.2 -20.7 -11.7 -2.4 -4.5	231.8 -146.2 23.0 30.5 -5.1 14.9	
SI941003.Z01	03/10/94	14:00:47.80	31.978	114.966	9.9	4.9	RII VIC DEL VCP CHI	20.6 36.7 47.3 58.4 62.0	-152.3 -30.8 41.1 -23.9 18.3	49.6 14.0 -10.9 -9.7 4.1	169.2 32.4 58.8 -29.9 25.5	
SI941009.Z01	09/10/94	19:20:57.17	32.390	115.314	4.5	3.0	GEO DEL	7.2 12.1	14.8 -50.7	-9.3 22.8	9.7 49.4	
SI941009.Z02	09/10/94	19:23:26.47	32.379	115.239	5.4	2.8	DEL	5.1	8.6	12.2	16.6	
SI941231.Z01	31/12/94	00:07:23.12	32.439	115.281	4.3	3.6	VCP DEL TAM	2.9 12.2 13.0	-17.2 12.5 -12.8	13.4 -7.6 -4.5	20.2 10.3 10.3	
SI950102.Z01	02/01/95	10:23:55.03	32.169	115.070	6.6	4.0	RII	10.3	-66.2	37.2	57.7	
SI950102.Z02	02/01/95	11:32:13.90	32.168	115.065	7.8	3.6	RII DEL	9.8 24.4	30.7 23.5	11.4 8.2	19.7 15.4	
SI950111.Z01	11/01/95	04:51:24.76	32.413	115.238	3.7	4.7	GEO VCP DEL TAM	1.4 6.1 7.4 15.2	-304.5 68.8 -294.8 47.4	304.2 -49.6 90.9 51.0	215.7 -65.1 -357.7 30.5	
SI950309.Z01	09/03/95	13:45:25.34	32.446	115.249	4.9	3.5	GEO DEL	5.2 11.0	-22.9 -18.8	-37.3 29.8	-31.9 12.4	
SI950328.Z01	28/03/95	06:46:48.96	32.354	115.216	5.2	3.0	DEL	2.6	-24.6	6.6	-14.8	
SI950419.Z01	19/04/95	14:58:29.51	32.386	115.219	4.7	2.2	GEO	2.4	-14.6	94.4	18.9	
SI950705.Z01	05/07/95	15:23:55.41	32.366	115.287	4.8	2.8	DEL	9.1	-16.9	12.2	-18.3	

Tabla 2. Continuación

Archivo	Fecha d/m/a	T. Origen h:m:s	Latitud	Longitud	P.F. (km)	M	Est.	Dis. (km)	Acel. Máximas (cm/s ²)		
									Long	Vert	Tran
SI950809.Z01	09/08/95	13:52:59.78	32.386	115.237	1.5	4.0	DEL	5.3	-190.6	-76.3	-155.8
							VCP	7.2	-45.0	25.3	39.7
							CHI	11.1	52.8	-52.5	52.3
SI950811.Z01	11/08/95	04:08:53.83	32.382	115.184	11.0	3.1	DEL	2.5	-16.0	20.6	12.9
SI950917.Z01	17/09/95	19:30:14.64	32.391	115.255	5.6	3.5	GEO	1.9	-8.2	20.7	-7.7
							DEL	7.0	-9.6	6.4	11.2
							CHI	10.6	6.0	6.5	10.2
SI950924.Z01	24/09/95	20:14:09.25	32.366	115.278	5.0	4.2	GEO	5.3	-18.5	17.2	-18.3
							VCP	6.4	-17.6	9.5	16.1
							DEL	8.3	-107.0	128.0	187.0
							SAL	15.2	-11.6	6.1	10.9
							TAM	20.8	-8.9	2.0	-8.5
SI951001.Z01	01/10/95	09:30:03.56	32.384	115.190	0.7	3.2	SAL	7.0	-33.6	-18.5	-28.1
SI951001.Z02	01/10/95	10:06:07.78	32.381	115.185	5.5	3.4	SAL	6.9	-25.7	-9.9	33.3
SI951117.Z01	17/11/95	12:37:21.57	32.477	115.175	3.0	3.1	GEO	10.4	28.6	31.1	-27.2
							VCP	13.5	30.9	19.2	-37.7
SI960112.Z01	12/01/96	05:35:58.38	32.385	115.346	4.4	2.7	VCP	5.4	24.2	-21.5	26.3
							CHI	14.6	7.1	-29.3	11.4
SI960215.Z01	15/02/96	09:43:30.10	32.386	115.283	4.5	2.4	GEO	4.3	15.4	80.4	-14.5
							DEL	9.3	-13.8	9.5	13.4
SI960228.Z01	28/02/96	01:59:33.28	32.396	115.233	0.2	3.2	DEL	5.7	-13.8	11.6	19.3
							VCP	7.0	8.6	3.8	-9.0
							CHI	10.0	13.1	-9.1	19.7
							SAL	10.1	-9.2	-5.3	-8.5
SI960320.Z01	20/03/96	05:03:06.74	31.551	115.603	4.9	4.3	VTR	20.0	8.7	-8.5	18.0
							HDI	27.7	8.2	7.2	9.1
SI960707.Z01	07/07/96	06:27:10.20	31.731	115.732	2.7	4.1	HDI	19.4	-21.1	7.2	23.9
							K62	32.9	1.5	-1.4	2.4
							DEL	86.5	6.9	2.8	-9.3
							RII	87.2	-8.8	-2.3	7.4
							CIC	89.6	-0.5	-0.8	0.6
SI960707.Z02	07/07/96	15:31:56.86	31.740	115.724	0.1	3.5	HDI	20.6	-5.8	-3.3	-6.1
SI960718.Z01	18/07/96	11:45:58.38	31.602	115.816	7.8	2.4	HDI	6.4	8.2	2.4	-8.6
SI960805.Z01	05/08/96	09:33:08.46	32.321	114.940	4.0	3.4	RII	17.5	-11.2	-7.5	9.6
SI960805.Z02	05/08/96	09:49:17.11	32.321	114.970	0.7	3.2	RII	17.4	7.7	3.7	7.4
SI960830.Z01	30/08/96	06:24:49.18	32.47	115.38	11.3	4.0	VCP	5.0	-32.8	16.6	39.5
							CHI	12.8	-32.9	-22.7	58.5
							DEL	17.0	-40.6	12.5	-17.3
							TAM	18.1	-29.0	-8.2	27.5
SI960830.Z02	30/08/96	12:10:53.44	32.413	115.404	3.1	3.3	VCP	5.0	-10.1	-5.3	-10.5
							CHI	13.3	4.7	7.1	14.0
							TAM	18.8	-7.3	1.6	-5.0
SI960903.Z01	03/09/96	00:56:12.62	32.425	115.178	1.4	2.9	GEO	6.4	28.9	-76.0	-47.5
SI961017.Z01	17/10/96	08:00:37.74	31.958	115.735	1.5	4.2	SIV	12.3	-3.4	1.9	2.4
							VCP	65.5	8.1	4.8	-10.1
							RII	76.6	6.6	3.6	6.5
SI961114.Z01	14/11/96	20:27:51.21	32.411	115.230	7.3	4.0	GEO	1.5	49.7	-65.9	39.2
							VCP	6.8	-26.3	15.8	-27.3
							DELC	6.9	55.2	88.5	55.5
							HI	8.3	-50.4	-22.6	42.5
							SAL	9.5	-39.0	-38.2	57.6
							TAM	24.1	20.1	-12.1	15.1
SI961126.Z01	26/11/96	08:26:41.35	31.945	116.192	8.0	3.2	RAC	13.3	-6.00	2.0	-6.6
SI961127.Z01	27/11/96	23:41:06.11	32.534	115.320	9.0	3.0	TAM	8.1	-21.0	10.6	-14.3
							CHI	9.1	-9.5	-7.9	-8.5
							IAG	9.6	-7.5	4.5	-5.6
SI961202.Z01	02/12/96	17:14:32.54	32.385	115.231	6.0	2.4	CHI	11.2	39.5	14.5	38.4
							TAM	18.3	13.2	-8.3	-8.4
SI961214.Z01	14/12/96	09:55:39.51	32.114	116.647	3.0	3.0	IZA	17.7	2.4	1.8	3.8

Abreviaturas utilizadas: T. Origen = Tiempo de origen, Lat. N = Latitud norte, Lon. O = Longitud oeste, P. F. = Profundidad focal, M = Magnitud local o de duración reportada por CIT o RESNOM. Est. = Estaciones que registraron el sismo respectivo, Dis. = Distancia epicentral y Acel. Máximas Long Vert Tran = Valores de aceleración máxima registrados en las componentes longitudinal, vertical y transversal, respectivamente.

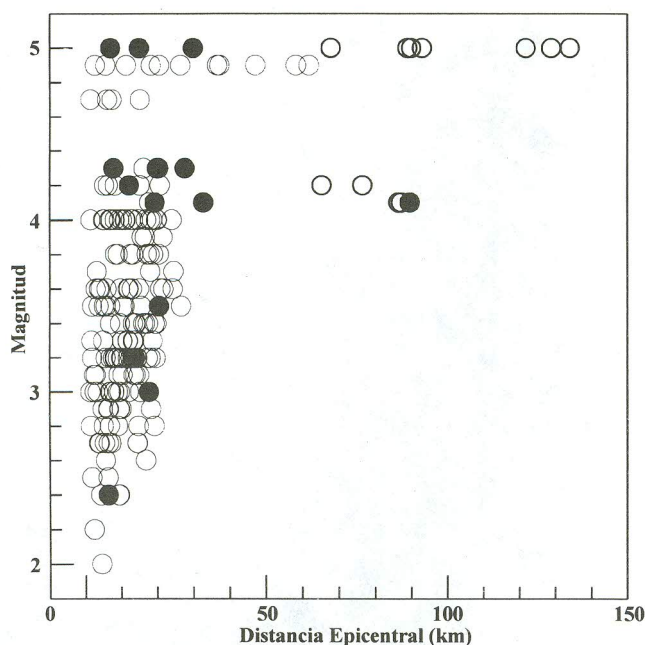


Figura 5. Magnitud de los eventos localizados y distancia epicentral a la que fueron obtenidos los acelerogramas generados durante el periodo 1991 a 1996. Los sismos ocurridos y registrados en estaciones del VMI están representados por círculos de línea delgada. En el caso de sismos pertenecientes al MRP existen dos casos: cuando fueron registrados en estaciones del MRP (representados por los círculos en negro) y cuando fueron registrados en estaciones del VMI (representados por los círculos de línea gruesa).

De los 105 sismos localizados sólo 10 pertenecen a la región del Macizo Rcoso Peninsular. No obstante, dos de ellos fueron los sismos más grandes registrados ($M = 5.0$) durante este periodo. Por otro lado, el resto de los sismos (95) fueron registrados en la región del Valle Mexicali-Imperial. De estos sismos, el mayor tuvo una magnitud de 4.9. Es en esta región donde se observaron las aceleraciones más altas (358 cm/s^2) producidas por el sismo del 11 de enero de 1995 de magnitud 4.7 y registrado a una distancia epicentral de 7.4 km.

Con base en los resultados presentados, consideramos que la red está cumpliendo con los requerimientos para los que fue diseñada y que los esfuerzos hechos para mejorar la cobertura de la red y para colocar instrumentación de tipo digital han redundado en un incremento de registros de alta calidad. Con esto podemos afirmar que la red está lista para registrar apropiadamente los sismos fuertes que se produzcan en la región. Los registros obtenidos hasta ahora están siendo utilizados en estudios de atenuación en la región de cobertura de la red y en estudios de anisotropía en la región del Valle Mexicali-Imperial.

Además de la integración de nuestra base de datos, hemos contribuido a la Base Mexicana de Sismos Fuertes con la información registrada de 1976 a 1995. Esta base, que contiene en formato estándar los datos de aceleración que se han generado en nuestro país, pronto estará a la disposición de la comunidad científica nacional e internacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Hubert Fabriol e Ignacio Méndez en la lecturas de tiempos de arribo y en la localización de algunos de los epicentros reportados en el presente artículo. Apreciamos también la colaboración de Luis Inzunza, quién nos facilitó su programa para la elaboración del mapa de sismicidad. Es necesario reconocer también la disposición de las personas que nos han dado acceso a lugares de su propiedad, o que están bajo su autoridad, para la instalación de estaciones. Esta disposición nos ha permitido reducir el vandalismo en las estaciones. La revisión y comentarios de Juan García-Abdeslem y de un revisor anónimo nos permitieron mejorar la presentación y el contenido de este artículo. El funcionamiento de RANM es posible gracias al financiamiento proporcionado por el gobierno de México a través del CONACyT y del CICESE.

REFERENCIAS

- Kinematics, 1994, Installation, initial startup and operating instructions for *Altus K2* high dynamic range accelerograph. Document 302200, revision A on December 1994. Pasadena, California.
- Kinematics, 1995, *Altus ETNA* high dynamic range accelerograph. Operations manual. Preliminary, Document 302230, Pasadena, California.
- Lee, W. H. K., and Lahr, J. C., 1975, *HYPOT1* (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes. U. S. Geological Survey. Open file report 75-311.
- McMechan, G. A., and Mooney, W. D., 1980, Asymptotic ray theory and synthetic seismograms for laterally varying structures: theory and application to the Imperial, Valley, California. *Bull. Seism. Soc. Am.* v 70, 2021-2035.
- Munguía, L., Wong, V., Vidal, A., y Navarro, M., 1995, La red de acelerógrafos del Noroeste de México. En F. Medina, L. Delgado y G. Suárez, editores. *La sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de septiembre de 1985*. Monografía No. 2, Unión Geofísica Mexicana, p. 198-211.
- Munguía, L., 1995, Estudio de microsismicidad en la zona de Riito, Sonora, México. Informe técnico final. CICESE-CFE.
- Nava, F. A., and Brune J. N., 1982, An earthquake-explosion reversed refraction line in the peninsular ranges of southern California and Baja California Norte. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72, 1195-1206.
- Parker, R. L., 1994, *Geophysical inverse theory*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Quaas, R., Otero, J., Medina, S., Espinoza, J., Aguilar, H., y González, M., 1993, Base Nacional de datos de sismos fuertes, catálogo de estaciones acelerográficas 1960-1992. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C., México.

- Quaas, R., Medina, S., Alcántara, L., Javier, C., Espinoza, J., Mena, E., Otero, J., Contreras, O., y Munguía L., 1995, Base Nacional de datos de sismos fuertes, catálogo de acelerogramas 1960-1993. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C., México.
- Quaas, R., Alcántara, L., Pérez, C., Macías, M., Sandoval, H., Andrade, E., Javier, C., Mena, E., González, F., Munguía, L., Vázquez, R., Espinoza, J., Flores, J., López, B., Medina, S., Legorreta, M., y Otero, J., 1996, Base Mexicana de datos de sismos fuertes, actualización de catálogos de estaciones a 1995 y acelerogramas a 1994. Catálogo de los registros de los temblores del 14 de septiembre, 9 y 21 de octubre de 1995. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C., México.
- Richter, C. F. 1958, Elementary Seismology, W. H. Freeman, San Francisco.
- Shor, G. G., and Roberts, E., 1958, San Miguel, Baja California Norte, earthquakes of February, 1956: a field report. Bulletin of the Seismological Society of America, 48, 101-116.
- Trifunac, M. D., and Lee, V. W., 1973, Routine processing of strong motion accelerograms. Earthquake Engineering Research Laboratory report EERL 73-03. California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Vidal, A., and Munguía, L., 1997, The M_L scale for Northern Baja California [abs.]: Seismological Research Letters, v. 68, no. 2 p. 322.