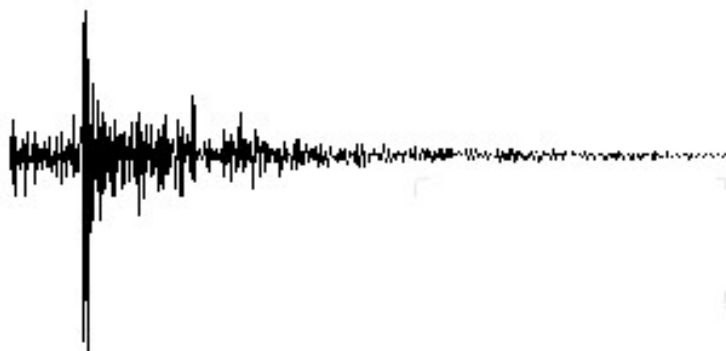


Reporte de Sismos registrados por la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México Durante el Año 2016

Rogelio Arce, Boris Rösler, Andres Navarro y Alejandra Nuñez



Departamento de Sismología
División de Ciencias de la Tierra
CICESE

Registrado el: 02/05/25

ID: 20823

Índice

Resumen	2
1 Introducción	3
2 Información general acerca de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México	3
3 Instrumentación	4
3.1 Memoria Pre-evento y Pos-evento en estaciones ETNA y K2	5
3.2 Sincronización del tiempo de los instrumentos	6
3.3 Orientación de los sensores	7
3.4 Características de las estaciones	7
4 Mantenimiento de la Red y Recolección de Datos	7
4.1 Verificación en Laboratorio	7
4.2 Actividades de Mantenimiento en Campo	8
4.2.1 Mantenimiento General	8
5 Procesamiento de Registros	8
5.1 Identificación de eventos del catálogo	9
5.2 Búsqueda y lectura de archivos MiniSEED y EVT	9
5.3 Corrección instrumental y estandarización de trazas	9
5.4 Obtención de velocidad y desplazamiento	10
5.5 Espectros de Fourier y espectros de respuesta	10
5.6 Generación de tablas y análisis estadístico	10
5.7 Organización de productos generados	11
6 Sismos registrados	11
Apéndice A. Encabezado de los archivos de las series de tiempo procesadas (Volumen I)	17
Apéndice B. Cronología de la instrumentación de la red durante el año 2016	18

Resumen

El presente reporte de datos de aceleración se elaboró con la finalidad de dar a conocer los resultados del funcionamiento de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México durante el año 2016. Los registros de aceleración del presente año, fueron obtenidos con equipos digitales con resoluciones de 18 y 24 bits, fabricados por las compañías Kinemetrics y GeoSIG. Durante el año se obtuvieron 6 registros de aceleración de 3 componentes cada uno, corregidos por la sensibilidad del instrumento (Volumen I), que corresponden a 59 eventos registrados de los cuales 27 fueron localizados. La obtención del Volumen I, II y III de los datos fue realizada con los programas desarrollados en la RED. De los **27** sismos registrados, se localizaron 16 en la región de las Sierras, 2 en el Sur de California y 8 en el Valle de Mexicali.

Respecto a las magnitudes de los sismos localizados, éstas estuvieron comprendidas en un intervalo de 2.0 a 4.0. La aceleración máxima absoluta registrada durante el año 2016 fue de 0.049 gales, registrada en la estación CHI. Los archivos que contienen el Volumen I de los datos de aceleración son archivos tipo texto (ASCII) organizados de acuerdo al Formato Estándar de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes (versión 2.0).

1 Introducción

Con el propósito de registrar los movimientos fuertes causados por sismos relevantes de la región norte de Baja California, durante los últimos 37 años ha estado en funcionamiento la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México (RANM). La finalidad del presente reporte es dar a conocer los aspectos más relevantes y generales del funcionamiento de la red y de la información registrada por ésta durante el año 2016. Para ello, el reporte se encuentra dividido en seis partes principales:

La primera parte, **Información general acerca de la red**, ubica al lector dentro del marco de alcance comprendido por esta red, así como de su organización.

La segunda parte, **Instrumentación**, describe algunos aspectos importantes en cuanto a la forma de adquisición de los datos, el tipo de instrumentos que forman la red y algunas de sus características generales de funcionamiento.

En la tercera parte, **Mantenimiento de la red y recolección de los datos**, se describe el procedimiento general de revisión que se realiza a cada una de las estaciones, para el buen funcionamiento de éstas.

En la cuarta parte, **Procesamiento de los datos**, se describe tanto la secuencia utilizada en el procesamiento de los datos, como la nomenclatura para asignarle un identificador único a cada archivo de registro.

En la quinta parte, **Almacenamiento de la información**, se indica la nomenclatura para la asignación de los nombres de cada uno de los archivos comprimidos por evento, así como de su contenido.

Finalmente, en la sexta parte, **Sismos registrados**, se presenta un mapa con la localización de los epicentros de los sismos registrados y localizados en el período y se realiza un análisis descriptivo sencillo de las características de estos sismos. Adicionalmente, se presenta una tabla con las coordenadas y las magnitudes de los sismos localizados, así como las aceleraciones máximas, por canal, para cada uno de los sismos registrados en las diferentes estaciones acelerográficas.

2 Información general acerca de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México

La distribución geográfica actual de las estaciones que conforman a RANM abarca principalmente la región norte del estado de Baja California y la parte noroccidental del estado de Sonora. La mayor densidad de estaciones se encuentra 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 [$M = 6.6$], el sismo de Victoria del 9 de junio de 1980 [$M = 6.1$] y el sismo El Mayor-Cucapah del 4 de abril de 2010 [$M = 7.2$]). Otros sistemas con potencial para generar sismos de intensidad moderada a fuerte son el formado por las fallas San Miguel-Vallecitos, Sierra Juárez y la región de Pino Solo, ubicados en la región del Macizo Rcoso Peninsular (MRP), además de la falla Laguna Salada, ubicada en la región oeste del Valle de Mexicali-Imperial (VMI). La distribución geográfica de las estaciones de la red, durante el año 2016, puede observarse en la Figura 1.

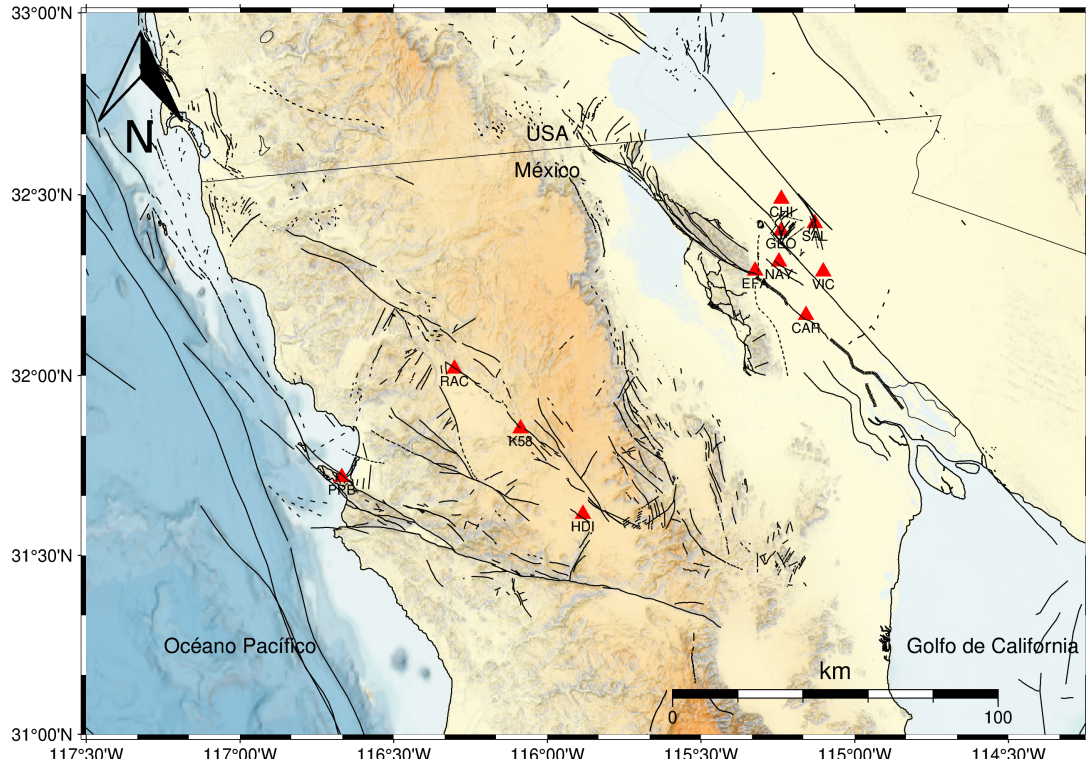


Figura 1: Estaciones de RANOM

3 Instrumentación

Durante el año 2016 la red funcionó con 20 instrumentos de tipo digital (3 ALTUS-ETNA, 5 ALTUS-K2, 11 GMS-18 y 1 130-SMA). Los equipos ALTUS-ETNA y ALTUS-K2, fueron fabricados por la compañía Kinemetrics, mientras que los instrumentos GMS-18 los fabricó la compañía GeoSig y el instrumento 130-SMA la compañía Reftek Systems Inc. Las características de todos los instrumentos fueron ya descritas en los catálogos previos al presente por Vidal et al. (1996), Luna et al. (1996), Luna et al. (2010) y, Luna et al. (2012), por lo que se sugiere revisar las referencias anteriores para una descripción general de algunas de las características más sobresalientes de los instrumentos mencionados.

Tabla 1: Datos de las estaciones sísmicas activas al 30 de diciembre de 2016

Nombre Estación	Latitud	Longitud	Elevación	Sensor	Or. ¹	Grabadora	NS ²	Frecuencia	Am. ³
Heroes de la Independencia HDI	31.61539	-115.88407	1069	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix ETNA	169	51.2	0.64
					C2 - NS		169	52.3	0.64
					C3 - V		169	51.0	0.66
Punta Banda PPB	31.71749	-116.66896	14	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix ETNA	1747	198.0	0.7
					C2 - NS		1747	210.0	0.7
					C3 - V		1747	210.0	0.7
Carrancitas CAR	32.16722	-115.15824	10	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix K2	1580	204.0	0.7
					C2 - NS		1580	208.0	0.7
					C3 - V		1580	206.0	0.7
El Faro EFA	32.29031	-115.32389	19	Geosig AC-63	C1 - EW	Kinemetrix K2	1155	208.0	0.0
					C2 - NS		1155	222.0	0.0
					C3 - V		1155	220.0	0.0
Geotermica GEO	32.40011	-115.2391	7	FBA-23	C1 - NS	Kinemetrix K2	1026	51.4	0.68
					C2 - V		1026	53.6	0.67
					C3 - EW		1026	53.4	0.68
Rancho Agua Caliente RAC	32.01901	-116.30233	736	Geosig AC-63	C1 - EW	GeoSig GMS-18	100200	400.0	0.7
					C2 - NS		100200	400.0	0.7
					C3 - V		100200	400.0	0.7
Nayarit NAY	32.31512	-115.24648	11	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100204	400.0	0.7
					C2 - NS		100204	400.0	0.7
					C3 - V		100204	400.0	0.7
Kilometro 56 K58	31.853	-116.087	926	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7
					C2 - NS		100207	400.0	0.7
					C3 - V		100207	400.0	0.7
Victoria VIC	32.28788	-115.10204	14	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100209	400.0	0.7
					C2 - NS		100209	400.0	0.7
					C3 - V		100209	400.0	0.7
Saltillo SAL	32.42106	-115.13001	15	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100201	400.0	0.7
					C2 - NS		100201	400.0	0.7
					C3 - V		100201	400.0	0.7
Chihuahua CHI	32.48828	-115.2386	65	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100202	400.0	0.7
					C2 - NS		100202	400.0	0.7
					C3 - V		100202	400.0	0.7

Nota: ¹ Or. representa la orientación del sensor en cada estación.

² NS representa el número de serie del digitalizador.

³ Am. representa el amortiguamiento del sensor.

Tabla 2: Cambios de instrumentación durante el año

No.	Estación	Sensor Anterior	Grabadora Anterior	NS	Cambio/Remoción	Sensor Nuevo	Grabadora Nueva	NS
1	GEO	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	100199	2016-03-19	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	100204
2	GEO	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	100204	2016-09-15	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	100204
3	GEO	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	100204	2016-11-30	FBA-23	Kinemetrix K2	1026
4	CHI	FBA-23	Kinemetrix K2	1026	2016-12-01	Geosig AC-63	Geosig GMS-18	100202

3.1 Memoria Pre-evento y Pos-evento en estaciones ETNA y K2

Durante el presente año, el instrumento digital 130-SMA operó con una memoria pre-evento de 30.0 s, los instrumentos GMS-18 también operaron con 30.0 s, y los instrumentos Altus-ETNA y Altus-K2, aunque trabajaron con una memoria pre-evento inicial de 30.00 s, sus registros reciben, en su caso, un ajuste que incrementa este tiempo. Este ajuste se realiza sumándole al tiempo pre-evento inicial, las décimas de segundo del tiempo de disparo del instrumento. De esta forma, el tiempo de pre-evento efectivo es igual o mayor al de los 30.00 s definidos inicialmente en el instrumento (ver Figura 2).

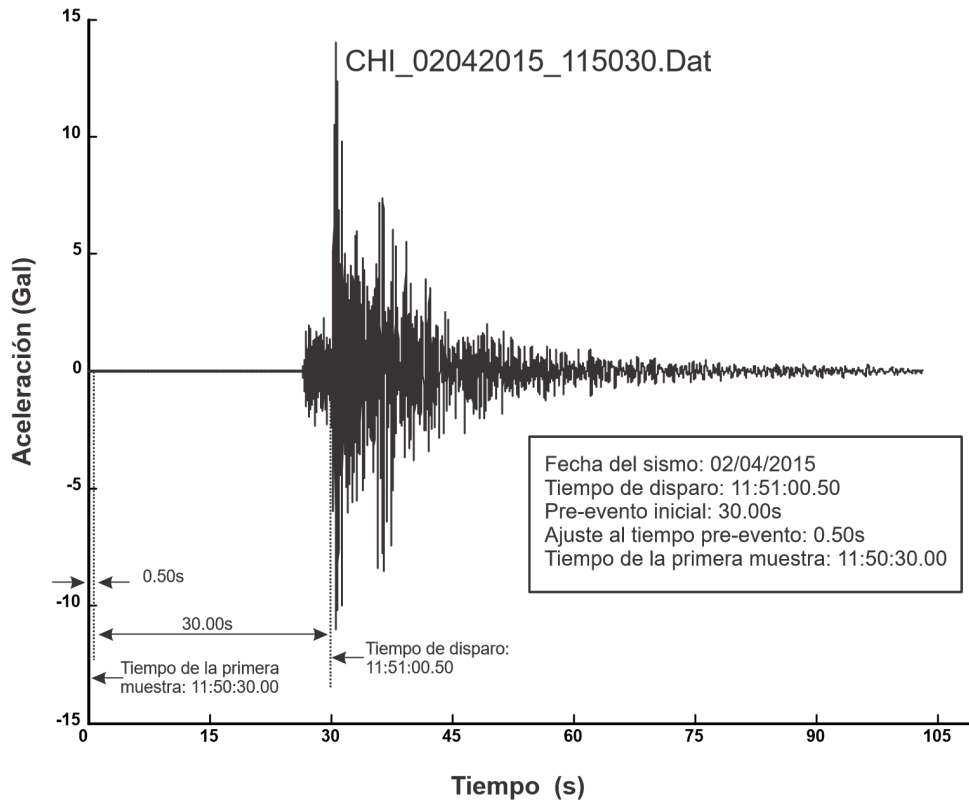


Figura 2: Determinación de primera muestra.

Por otro lado, los instrumentos operaron con la siguiente memoria post-evento: 90.0 s para el 130-SMA; 60.0 s para los ETNA y los K2 y 90.0 s para los GMS-18. Estos parámetros se han elegido de acuerdo a la experiencia adquirida en la operación de los equipos y aseguran el registro apropiado de la señal sísmica, tanto de los primeros arribos como de la longitud de la señal. Un resumen de los tiempos pre-evento y pos-evento de los instrumentos que conformaron la red durante el año 2016, se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Tiempos pre-evento y post-evento de los equipos de la red en el año 2016.

Instrumento	Pre-evento (s)	Post-evento (s)
130-SMA	30.0	90.0
Altus-ETNA	30.0	60.0
Altus-K2	30.0	60.0
GMS-18	30.0	90.0

3.2 Sincronización del tiempo de los instrumentos

Actualmente todos los instrumentos que conforman la red (RANM), cuentan con un sistema de sincronización automática de su tiempo interno por medio de un GPS que forma parte del mismo acelerógrafo.

3.3 Orientación de los sensores

Todos los instrumentos Altus con sensores FBA, siguen el orden Norte-Sur, vertical y Este-Oeste, para los canales 1, 2 y 3 respectivamente, (ver Tabla 2).

Los instrumentos Altus con sensores Episensor, siguen el orden Este-Oeste, Norte-Sur y vertical para los mismos canales 1, 2 y 3, en este orden.

En los instrumentos GMS-18 con sensores AC-63, el canal Norte-Sur, está identificado con el número de canal 1, el canal Este-Oeste con el canal número 2 y el vertical con el canal 3.

En cuanto al instrumento 130-SMA, se tiene el siguiente orden: El canal número 1 está orientado verticalmente, el canal 2 está orientado hacia el Este-Oeste y el canal 3 hacia el Norte-Sur.

3.4 Características de las estaciones

La información concerniente a las estaciones de la red se presenta en la Tabla 1. En esta tabla se incluye el nombre y código de las estaciones, sus coordenadas geográficas, el nombre y la orientación de las tres componentes, el tipo y número de serie del instrumento instalado y algunas otras características, tales como: la frecuencia natural, el amortiguamiento y la sensibilidad de los acelerómetros. Los datos anotados en la Tabla corresponden a la instrumentación instalada a finales de 2016. Los cambios hechos en la instrumentación de cada estación durante el período enero-diciembre del año 2016, se pueden consultar en la cronología de la instrumentación de la red, listada en el Apéndice B de este documento.

4 Mantenimiento de la Red y Recolección de Datos

El mantenimiento de la red de estaciones y la recolección de datos están planificados desde el inicio de cada año, con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y la integridad de la información registrada. Actualmente, los recorridos de mantenimiento se realizan aproximadamente cada tres meses. Sin embargo, si se registra un sismo de magnitud significativa (4.0 o mayor), se prioriza la recuperación de datos de las estaciones para su procesamiento y análisis lo antes posible.

La mayoría de los instrumentos transmiten sus datos de forma remota al servidor de la **Red Sismológica del Noroeste de México (RESNOM)**, como se describe en *Vidal-Villegas et al.* (2018). No obstante, en algunos casos, debido a la falta de conectividad a Internet, la recolección de datos debe realizarse de manera presencial en la estación.

4.1 Verificación en Laboratorio

Antes de realizar el mantenimiento preventivo o correctivo en campo, se llevan a cabo una serie de pruebas y verificaciones en laboratorio para optimizar el tiempo de intervención y minimizar fallas en el sistema:

- **Revisión del sistema de energía:**

- Medición de voltajes y corrientes en baterías, paneles solares y cargas conectadas.
- Estado y capacidad de las baterías de los UPS utilizados en las estaciones.
- **Verificación del sistema de adquisición y transmisión de datos:**
 - Comprobación del estado de conexión del acelerógrafo y la Raspberry Pi al servidor del CICESE.
 - Validación de la sincronización de tiempo del instrumento con los servidores de referencia.

4.2 Actividades de Mantenimiento en Campo

Durante cada visita a una estación, se realizan las siguientes actividades:

4.2.1 Mantenimiento General

- **Limpieza profunda de la estación:**
 - Aspirado interno del contenedor para evitar acumulación de polvo y humedad.
 - Sopleteado de la Raspberry Pi y componentes electrónicos para eliminar partículas que puedan afectar la ventilación.
 - Limpieza de los paneles solares para garantizar una óptima captación de energía.
- **Verificación del sistema de energía:**
 - Revisión de conexiones y terminales de las baterías.
 - Medición del estado de carga y funcionamiento de los reguladores de voltaje.

5 Procesamiento de Registros

Durante el periodo de análisis, la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México (RANOM) ha mantenido un flujo automatizado de recuperación, corrección y análisis de registros de movimiento fuerte asociados a eventos sísmicos locales. Este sistema permite procesar grandes volúmenes de datos de forma eficiente y estandarizada. Además, todos los productos generados son sometidos a una revisión manual con el fin de verificar su calidad antes de su integración en el boletín técnico y su difusión pública. El procesamiento consiste en la obtención de tres volúmenes de información. El Volumen I corresponde a los registros de aceleración que han sido corregidos únicamente por la sensibilidad del instrumento y por la línea de base. El Volumen II se refiere a los registros de velocidad y desplazamiento, generados a partir de la integración de los acelerogramas ya corregidos. Finalmente, el Volumen III incluye los espectros de Fourier y los espectros de respuesta. A continuación, se presenta una descripción general del procesamiento y productos.

5.1 Identificación de eventos del catálogo

El proceso inicia con una consulta automatizada a la **base de datos MySQL del sistema RESNOM**, en la que se seleccionan todos los sismos ocurridos durante el año de interés (por ejemplo, 2020) cuya magnitud local (ML) sea superior a 2.0. Para cada evento se extraen:

- ID del evento
- Fecha y hora origen
- Coordenadas epicentrales (latitud y longitud)
- Profundidad
- Magnitud

Esta información se utiliza como base para buscar los archivos de registro correspondientes en el almacenamiento local.

5.2 Búsqueda y lectura de archivos MiniSEED y EVT

Cada evento identificado se vincula con sus posibles registros acelerográficos en formato `.msd` (MiniSEED) o `.evt` (Kinematics EVT), almacenados localmente. La búsqueda se basa en el nombre del archivo y en su cercanía temporal con el arribo teórico de la onda P, estimado con el modelo IASPEI 91.

- Archivos MiniSEED: `<ESTACION>_<SERIE>_<YYYYMMDD>_<HHMMSS>.msd`
- Archivos EVT: `<ESTACION>_<YYYYMMDD>_<HHMMSS>.evt`

La búsqueda se realiza dentro de carpetas estructuradas por año y mes. Si alguno de estos archivos coincide con la ventana temporal del evento, se procede a su lectura y procesamiento.

5.3 Corrección instrumental y estandarización de trazas

Una vez leído el registro, se aplica una cadena de procesamiento que incluye:

- Remoción de la media (orden cero)
- Aplicación del factor de escala (cuentas a gal) según tablas específicas por estación
- Renombramiento de componentes a HHN, HHE y HHZ
- Asignación del código de red “BC”

5.4 Obtención de velocidad y desplazamiento

A partir de los registros corregidos de aceleración, se generan los datos derivados de velocidad y desplazamiento mediante el siguiente flujo (realizado en MATLAB):

1. **Filtrado:** Butterworth entre 0.1 Hz y 30 Hz
2. **Integración:**
 - Velocidad: integración simple
 - Desplazamiento: doble integración
3. **Validación visual** mediante trazas comparativas

5.5 Espectros de Fourier y espectros de respuesta

Se generan productos espectrales complementarios:

- **Espectros de Fourier:**
 - FFT por componente
 - Suavizado en bandas de 1/3 de octava
- **Espectros de respuesta:**
 - Oscilador de un grado de libertad con 5% de amortiguamiento
 - Cálculo de Aceleración Espectral (Sa por sus siglas en inglés) para 0.05–5.0 s

Los espectros se grafican y se integran en los productos visuales generados.

5.6 Generación de tablas y análisis estadístico

A partir de los encabezados de los archivos corregidos, se extraen:

- Magnitud
- Distancia epicentral
- Aceleraciones máximas (N, E, Z)
- Estación y fecha

Estos datos se organizan en:

- Tablas $\text{\LaTeX}$ de eventos y estaciones
- Histogramas de magnitud
- Gráficas por estación y por mes
- Mapa de epicentros y estaciones
- Tabla de cambios instrumentales del año

5.7 Organización de productos generados

Todos los productos se almacenan por evento y por estación, incluyendo:

- Archivos **.dat**: registros corregidos con encabezado
- Archivos **.mseed**: formas de onda corregidas
- Archivos **.pdf**: aceleración, velocidad y desplazamiento por componente
- Archivos **.png**: trazas, espectros de Fourier y de respuesta
- Archivos **.jpg**: histogramas, mapas y resúmenes
- Tablas **.tex**: tablas de eventos y estaciones
- Boletín anual digital: datos anuales

6 Sismos registrados

Durante el año 2016 se localizaron 42 de los 67 sismos registrados por la red. Los datos de las localizaciones fueron obtenidos de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM) y del United States Geological Survey (USGS).

El modelo de corteza utilizado por la Red Sísmica del Noroeste de México en la localización de hipocentros en el Valle de Mexicali, es el reportado por Munguía (1995) y está basado en la estructura de velocidades propuesta por McMechan y Mooney (1980) para el Valle Imperial. Para el caso de sismos del Macizo Rocos Peninsular, el modelo de velocidades que se usó es el propuesto por Nava y Brune (1982). Estos modelos se usaron en combinación con el programa HYPOCENTER V. 4.0 de Lienert (1995). Los epicentros obtenidos se muestran en el mapa de la Figura 4 y se listan en la Tabla 4, en donde además se proporciona la profundidad y la magnitud correspondiente.

Adicionalmente, en la Tabla 4 se incluye información sobre las estaciones de RANM que registraron cada sismo, la distancia epicentral y los valores máximos de aceleración registrados en cada una de las componentes de las estaciones.

De los **27** sismos registrados, se localizaron 16 en la región de las Sierras, 2 en el Sur de California y 8 en el Valle de Mexicali.

Las profundidades obtenidas están comprendidas entre 0.0 y 20.0 km. De los sismos registrados, 1 fueron de magnitud $M_L \geq 4.0$. Estos eventos ocurrieron en las regiones de desconocida. De los 27 sismos localizados, 24 en una sola estación, 2 en 2 estaciones y 1 en 3 estaciones. Los valores máximos de aceleración observados durante el periodo, fueron producidos por el sismo ocurrido el 22 de abril de 2016 a las 08:04:47 h. Este sismo de magnitud $M_L = 2.6$, produjo una aceleración máxima absoluta de 0.0 gales en la componente horizontal NS de la estación CHI, a una distancia epicentral de 8.508 km.

Tabla 4: Resumen de eventos sísmicos registrados en el año 2016

Evento	Fecha	Lat ¹	Lon ¹	Prof ²	ML ³	Est ⁴	Dist ⁵	Amax N ⁶	Amax E ⁶	Amax Z ⁶
Si20160126_003225	2016-01-26 00:32:25	32.396	115.205	8.0	3.5	VIC	14.9	-0.0039	-0.0039	0.0053
Si20160127_145642	2016-01-27 14:56:42	32.227	115.298	13.1	3.0	VIC	18.87	-0.0063	-0.0063	0.0022
Si20160220_021314	2016-02-20 02:13:14	31.826	116.187	8.9	3.2	RAC	24.072	-0.0035	-0.0035	0.002

(Continuación de la tabla anterior)

Evento	Fecha	Lat ¹	Lon ¹	Prof ²	ML ³	Est ⁴	Dist ⁵	Amax N ⁶	Amax E ⁶	Amax Z ⁶
Si20160303_053632	2016-03-03 05:36:32	32.421	115.243	10.7	2.2	GEO	2.368	-0.0112	-0.0112	-0.0057
Si20160422_080447	2016-04-22 08:04:47	32.412	115.244	8.1	2.6	CHI NAY	8.508 10.841	0.049 0.0027	-0.0332 0.0027	-0.0144 0.0021
Si20160429_105518	2016-04-29 10:55:18	32.405	115.246	0.1	2.7	CHI	9.294	0.0332	-0.0265	-0.0129
Si20160503_020637	2016-05-03 02:06:37	32.11	115.097	20.0	2.6	CAR	8.645	-0.0449	-0.0449	-0.0288
Si20160509_013324	2016-05-09 01:33:24	32.194	115.208	12.0	2.5	CAR	5.53	0.0476	0.0476	0.0515
Si20160522_073816	2016-05-22 07:38:16	32.247	115.305	10.6	2.2	NAY	9.14	0.0029	0.0029	0.002
Si20160529_082733	2016-05-29 08:27:33	32.138	115.187	12.3	3.6	VIC NAY	18.152 20.399	-0.0354 -0.007	-0.0354 -0.007	-0.0122 0.0037
Si20160601_022443	2016-06-01 02:24:43	32.265	115.332	10.9	2.0	NAY	9.611	0.0058	0.0058	0.006
Si20160707_125523	2016-07-07 12:55:23	32.913	115.544	20.0	3.8	CHI	55.121	-0.0271	0.0313	-0.005
Si20160731_162105	2016-07-31 16:21:05	32.949	115.762	2.3	4.0	CHI	70.796	-0.0256	0.0166	-0.0043
Si20160804_110822	2016-08-04 11:08:22	32.22	115.212	15.0	3.2	NAY	10.993	-0.0074	-0.0074	-0.0118
Si20160805_152534	2016-08-05 15:25:34	31.216	116.081	10.0	3.6	HDI	63.472	0.0109	0.0109	0.0148
Si20160816_190123	2016-08-16 19:01:23	32.181	115.297	10.0	3.1	NAY	15.455	-0.0063	-0.0063	0.0039
Si20160828_081059	2016-08-28 08:10:59	32.291	115.284	13.1	2.9	NAY	4.243	0.0108	0.0108	-0.0079
Si20160828_112603	2016-08-28 11:26:03	32.28	115.29	12.0	2.8	NAY	5.465	0.0131	0.0131	0.0038
Si20160928_111819	2016-09-28 11:18:19	32.088	115.168	10.9	3.3	VIC	22.809	-0.0057	-0.0057	0.0022
Si20161015_152422	2016-10-15 15:24:22	32.288	115.371	4.6	2.7	EFA	4.432	0.0456	0.0456	-0.0454
Si20161016_142628	2016-10-16 14:26:28	32.284	115.355	0.0	2.4	EFA	3.003	-0.0387	-0.0387	-0.027
Si20161104_040821	2016-11-04 04:08:21	32.412	115.213	8.8	2.5	GEO	2.894	0.0055	0.0055	-0.0083
Si20161108_120202	2016-11-08 12:02:02	32.211	115.298	0.6	2.7	EFA	9.097	0.0226	0.0226	-0.0161
Si20161201_205314	2016-12-01 20:53:14	32.414	115.221	2.3	3.0	GEO CHI VIC	2.404 8.379 17.427	0.0217 -0.004 -0.0026	-0.0384 -0.004 -0.0026	-0.019 -0.0026 0.0019
Si20161206_013637	2016-12-06 01:36:37	32.158	115.074	0.1	3.2	CAR	8.078	-0.0398	-0.0398	-0.0448
Si20161222_071951	2016-12-22 07:19:51	32.209	115.258	3.4	3.0	VIC	16.385	0.0065	0.0065	-0.0029
Si20161225_235050	2016-12-25 23:50:50	32.432	115.19	6.5	2.4	CHI	7.786	0.0059	0.0059	-0.0038

Nota: ¹ Latitud y longitud expresada en grados.

² Prof. Profundidad expresada en kilometros.

³ ML se refiere a la Magnitud Local.

⁴ Est. Se refiere al codigo de la estación.

⁵ Dist. Distancia epicentral expresada en kilometros.

⁶ Amax. Amplitud máxima expresada en gales.

Para tener una mayor claridad de los sismos registrados por RANOM y con localización durante el año 2016, En la Figura 7 se muestra una gráfica de la cantidad de sismos registrados por mes contra los sismos que se registraron y se pudieron localizar durante el mismo periodo.

Por otro lado, la mayoría de los registros obtenidos durante este año, como se puede apreciar en la Figura 9, son de buena calidad, es decir, se encuentran completos y sin saturación en las amplitudes de las ondas.

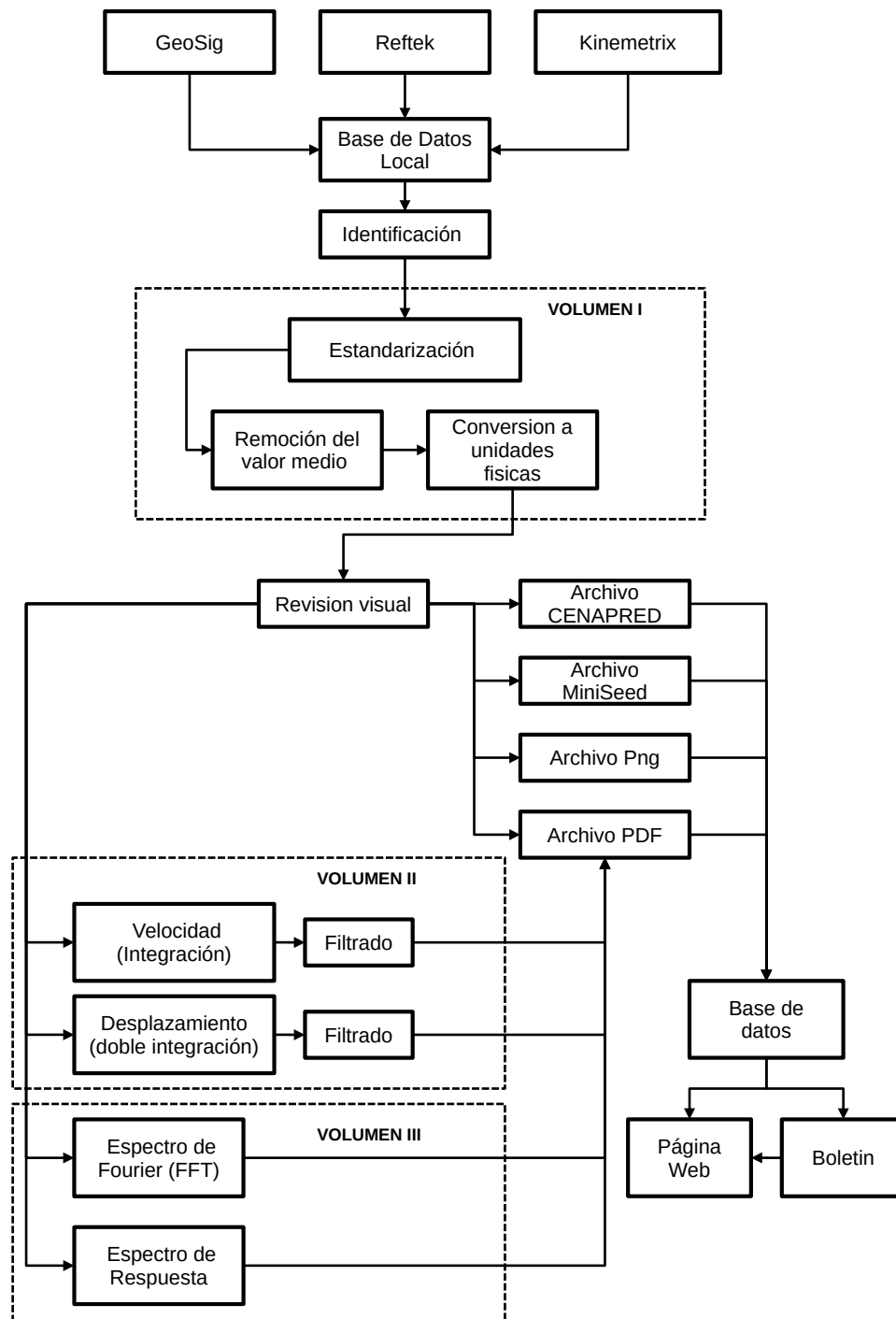


Figura 3: Diagrama de flujo del procesamiento de datos de la red.

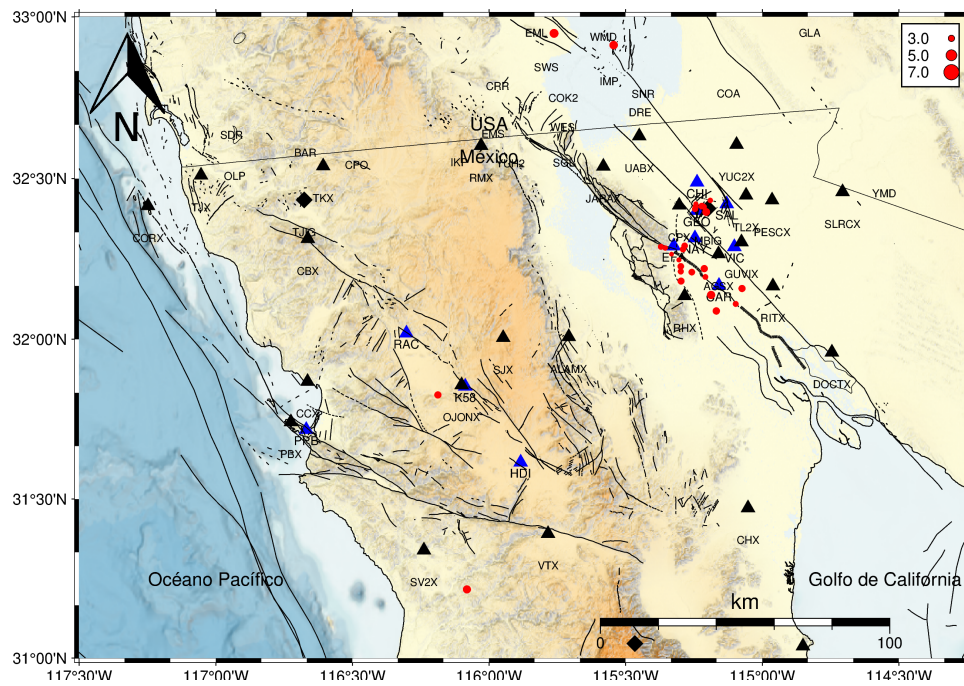


Figura 4: Epicentros (círculos) de sismos registrados por RANM y localizados en su mayoría, a partir de los datos de las estaciones de RESNOM y de la Red del Sur de California. Las estaciones de RANM están representadas por triángulos, en tanto que las estaciones de RESNOM y de la Red del Sur de California, se encuentran representadas por pentágonos y cuadros respectivamente.

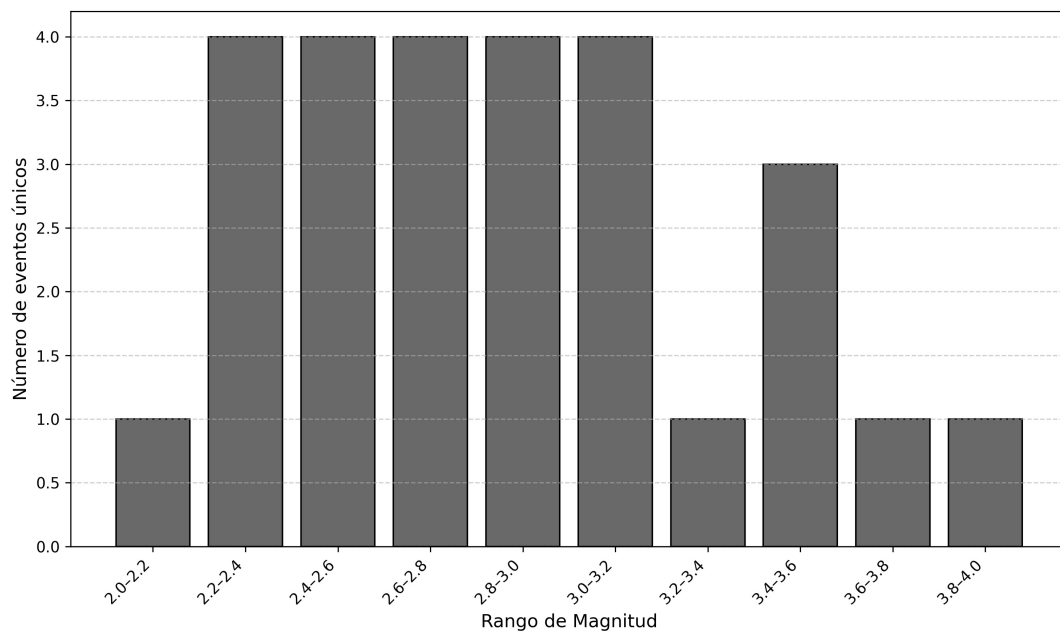


Figura 5: Magnitudes de los sismos registrados durante el año

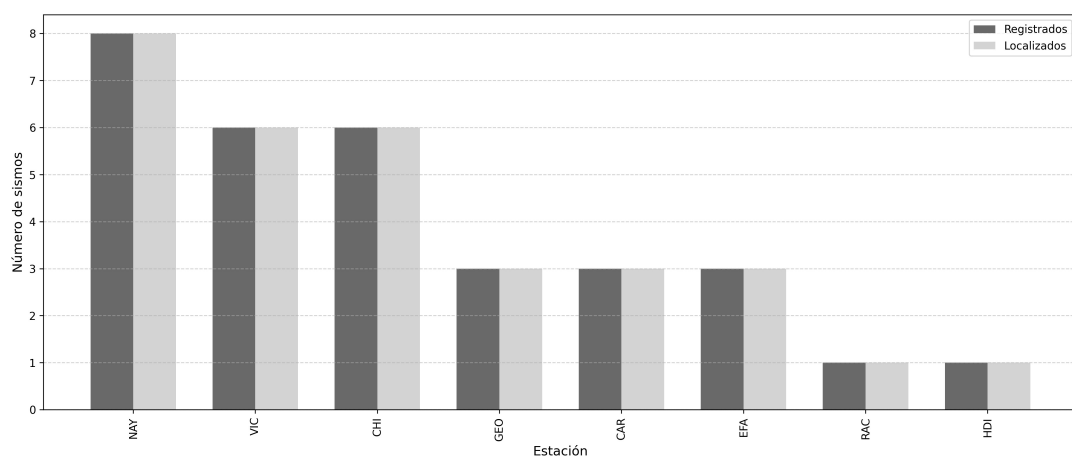


Figura 6: Número de registros anuales y con localización obtenidos por cada estación de RANOM en el año.

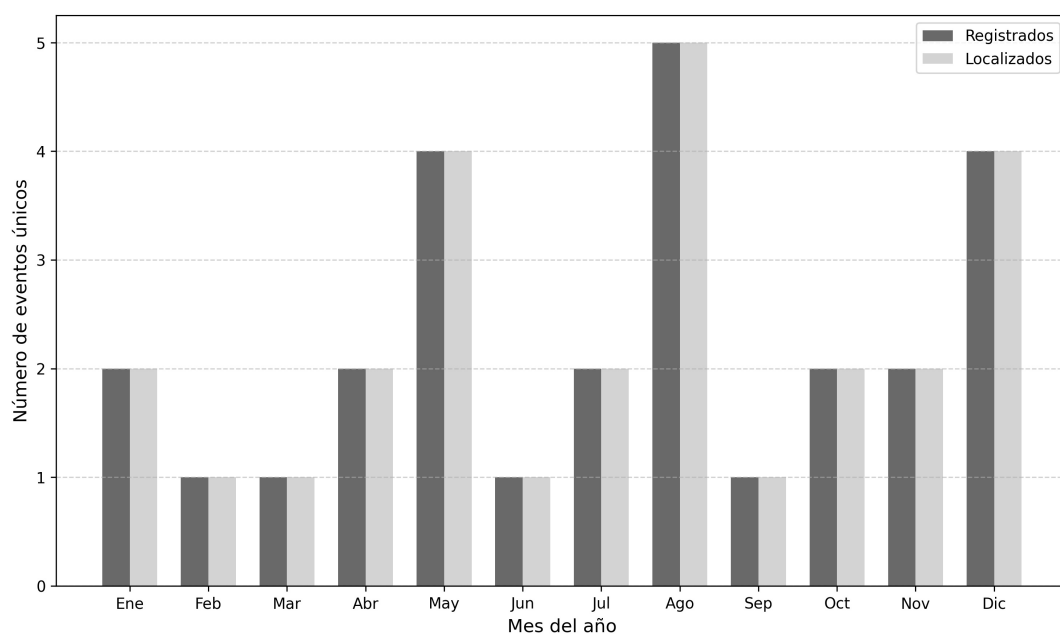


Figura 7: Sismos registrados y localizados por mes durante el año.

Referencias

- [1] Luna, M., L. Munguía, M. Navarro y T. Valdéz. (2012). *Caracterización de la respuesta sísmica de suelos mediante registros de aceleración*. Revista de Ingeniería Sísmica, 86, 1–21.
- [2] Luna, M., L. Munguía y T. Valdéz. (2010). *Corrección de registros de aceleración sísmica: una metodología integral*. Boletín de Geofísica, 55(2), 33–44.
- [3] Luna, M., L. Munguía y R. Vidal. (1996). *Red de acelerógrafos del noroeste de México (RANM): instalación y funcionamiento*. Informe técnico, CICESE.
- [4] Vidal, R., L. Munguía y M. Luna. (1996). *Especificaciones técnicas y operación de la red de acelerógrafos del noroeste de México*. Informe técnico, CICESE.
- [5] Alcántara, L., M. Navarro y M. Luna. (2000). *Formato estándar para la base mexicana de datos de sismos fuertes (versión 2.0)*. CICESE, Departamento de Sismología.
- [6] Trifunac, M. D., y W. J. Lee. (1973). *Routine computer analysis of strong-motion accelerograms*. Bulletin of the Seismological Society of America, 63(2), 473–482.
- [7] Munguía, L. (1995). *Modelos de velocidad para la región del Valle de Mexicali*. Informe interno, CICESE.
- [8] McMechan, G. A. y W. D. Mooney. (1980). *Seismic structure and tectonics of the Imperial Valley region, California*. Journal of Geophysical Research, 85(B5), 2633–2642.
- [9] Nava, S. J. y J. N. Brune. (1982). *Strong motion characteristics of earthquakes in the northern Baja California region*. Bulletin of the Seismological Society of America, 72(3), 1117–1130.
- [10] Lienert, B. R. (1995). *HYPOCENTER 4.0: A computer program for locating earthquakes*. University of Hawaii, SOEST Technical Report 95–01.
- [11] Vidal-Villegas, J. A., L. Munguía, J. A. González-Ortega, M. A. Nuñez Leal, E. Ramírez, L. Mendoza, R. R. Castro y V. Wong. (2018). *The Northwest Mexico Seismic Network: Real-time seismic monitoring in northern Baja California and northwestern Sonora, Mexico*. Seismological Research Letters, 89(2A), 324–337. <https://doi.org/10.1785/0220170183>.

Apéndice A. Encabezado de los archivos de las series de tiempo procesadas (Volumen I)

```

1 *****
2 CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA
3 GRUPO DE SISMOLOGIA DE MOVIMIENTOS FUERTES
4 CARR. ENSENADA-TIJUANA No. 3918 ZONA PLAYITAS, ENSENADA B. C. MEXICO, C.P. 22860
5 APDO. POSTAL No. 360, TEL.: 01 (646) 175-05-00, FAX: 01 (646) 175-05-59
6 *****
7 ARCHIVO ESTANDAR DE ACELERACION:
8 VERSION DEL FORMATO : 2.0
9 NOMBRE DEL ARCHIVO : DEL_15072015_070414.Dat
10 FECHA Y HORA DE CREACION : 12 DE MAYO DE 2016
11 REF. CATALOGO ACELEROGRAMAS, SMIS 1995 : Reg. Num.
12
13
14 =====
15 DATOS DE LA ESTACION:
16 NOMBRE DE LA ESTACION : DELTA
17 CLAVE DE LA ESTACION : DEL
18 LOCALIZACION DE LA ESTACION : Valle de Mexicali, Baja California.
19 :
20 :
21 :
22 :
23 COORDENADAS DE LA ESTACION : 32.355 Lat. N
24 : 115.187 Long. 0
25 ALTITUD (msnm) : 28
26 TIPO DE SUELO : Sedimentos (aluvion)
27 :
28 :
29 INSTITUCION RESPONSABLE : Departamento de Sismologia, CICESE
30 :
31
32 =====
33 DATOS DEL ACELEROGRAFO:
34 MODELO DEL ACELEROGRAFO : GMS-18
35 NUMERO DE SERIE DEL ACELEROGRAFO : 100204
36 NUMERO DE CANALES : 3
37 ORIENTACION C1-C6 (rumbo;orientacion) : /N00E;/N90E;/V;+
38 ORIENTACION C7-C12 (rumbo;orientacion) :
39 VEL. DE MUESTREO, C1-C6 (muestras/s) : /200/200/200
40 VEL. DE MUESTREO, C7-C12 (muestras/s) :
41 ESC. COMPLETA DE SENSORES, C1-C6, (g) : /2.00/2.00/2.00
42 ESC. COMPLETA DE SENSORES, C7-C12, (g) :
43 FREC. NAT. DE SENSORES, C1-C6, (Hz) : /400.00/400.00/400.00
44 FREC. NAT. DE SENSORES, C7-C12, (Hz) :
45 AMORTIGUAMIENTO DE SENSORES, C1-C6 : /0.70/0.70/0.70
46 AMORTIGUAMIENTO DE SENSORES, C7-C12 :
47 INTERVALO DE MUESTREO, C1-C6, (s) : /0.005/0.005/0.005
48 INTERVALO DE MUESTREO, C7-C12, (s) :
49 UMBRAL DE DISPARO, C1-C6, (Gal) :
50 UMBRAL DE DISPARO, C7-C12, (Gal) :
51 MEMORIA DE PREEVENTO (s) : 30.00
52 TIEMPO DE POSEVENTO (s) : 90.00
53
54
55 =====
56 DATOS DEL SISMO:
57 FECHA DEL SISMO (GMT) : 15 de JULIO del 2015
58 HORA EPICENTRO (GMT) : 07:04:33.00
59 MAGNITUD(ES) : /M1=2.7
60 COORDENADAS DEL EPICENTRO : 32.234 LAT. N
61 : 115.282 LONG. 0
62 PROFUNDIDAD FOCAL (km) : 7.0
63 FUENTE DE LOS DATOS EPICENTRALES : Departamento de Sismologia, CICESE
64 : RESNOM

```

```

65
66 =====
67 DATOS DE ESTE REGISTRO:
68 HORA DE LA PRIMERA MUESTRA (GMT)      : 07:04:14.059
69 EXACTITUD DEL TIEMPO (s)              : 0.001
70 DURACION DEL REGISTRO (s), C1-C6      : /123.20/123.20/123.20 71 DURACION DEL
REGISTRO (s), C7-C12      :
72 NUM. TOTAL DE MUESTRAS, C1-C6        : /24640/24640/24640 73 NUM. TOTAL DE
MUESTRAS, C7-C12      :
74 ACEL. MAX. (Gal), C1-C6              : /2.3663/-3.9278/-4.2710
75 ACEL. MAX., C1-C6, EN LA MUESTRA     : /5952/6014/5400 76 ACEL. MAX. (Gal), C7-
C12      :
77 ACEL. MAX., C7-C12, EN LA MUESTRA    :
78 UNIDADES DE LOS DATOS                 : Gal (cm/s/s)
79 FACTOR DE DECIMACION                  : 1
80 FORMATO DATOS (FORTRAN,10 campos/dato) : 3F10.4
81
82
83 =====
84 CALIDAD DEL ACELEROGRAMA:
85 Registro digital completo. Tiempo absoluto correcto.
86
87
88 =====
89 COMENTARIOS: 90
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104 =====
105 DATOS DE ACCELERACION:
106 -----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
107 CANAL -1   CANAL -2   CANAL -3   CANAL -4   CANAL -5   CANAL -6   CANAL -7   CANAL -8
108 NOOE;      N9OE;      V;+

```

Apéndice B. Cronología de la instrumentación de la red durante el año 2016

En la Tabla B1 se detallan los cambios de instrumentación hechos a cada una de las estaciones. Para ello, se utiliza una serie de abreviaturas cuyo significado se proporciona a continuación para que el lector interprete correctamente la información contenida.

- **Cod.** = Código de la estación.
- **N.Serie.** = Número de serie del instrumento.
- **Latitud (ggg.ggg) y Longitud (ggg.ggg)** = Latitud y longitud correspondientes a las coordenadas geográficas de la estación en grados (ggg.ggg).
- **Elevac. (m)** = Elevación expresada en metros.
- **Fecha de Instal. (dd/mm/aa)** = Día, mes y año de la fecha de instalación.

- **Fecha de u/revisión.** (dd/mm/aa) = Día, mes y año de la última revisión realizada a la instrumentación de la estación.

Los datos anteriores están contenidos en los primeros dos renglones de cada estación. En los siguientes tres, está contenida la información relativa a los parámetros del instrumento, de acuerdo a la siguiente nomenclatura.

- **Comp. 1, 2 ó 3** = Número de canal del instrumento.
- **Orientación** = Indican la orientación de las dos componentes horizontales (N-S y E-O) y la polaridad de la componente vertical (vert), que es indicada por el símbolo "+".
- **Sensibilidad** = Es la sensibilidad del acelerómetro en cada componente. Estos valores son expresados en Volt/g.
- **F. natural** = Frecuencia natural del acelerómetro expresada en Hertz.
- **Amort.** = Valor del amortiguamiento del acelerómetro (expresado como una fracción del valor crítico).
- **Tipo de sensor** = Acelerómetro utilizado para el registro de la señal.

La información que va precedida de la letra "c", indica que los datos corresponden a instrumentos que dejaron de funcionar durante el periodo (ver fechas de instalación y cambio). En los casos en que el renglón no empieza con la letra "c", significa que los datos anotados son de la instrumentación que funcionaba a la fecha de la última revisión.

Tabla 6: Historial de instrumentación por estación y canal

Nombre Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación	Sensor	Or. ¹	Grabadora	NS ²	Frecuencia	Am. ³	Inicio	Fin		
Islas Agrarias	IAG	32.61167	-115.29424	13	Episensor	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix ETNA	168	50.8	0.64	12/07/2018	11/10/2021		
								168	50.6	0.65				
		32.61167	-115.29424	13	Episensor	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix K2	2678	204.0	0.7	12/10/2021	Activa		
								2678	198.0	0.7				
								2678	204.0	0.7				
Heroes de la Independencia	HDI	31.61539	-115.88407	1069	Episensor	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix ETNA	169	51.2	0.64	01/01/2016	19/09/2020		
								169	52.3	0.64				
		31.61539	-115.88407	1069	Episensor	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix K2	169	51.0	0.66	20/09/2020	Activa		
								1159	212.0	0.0				
								1159	214.0	0.0				
								1159	214.0	0.0				
Punta Banda	PPB	31.71749	-116.66896	14	Episensor	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix ETNA	1747	198.0	0.7	01/01/2016	Activa		
								1747	210.0	0.7				
										1747	210.0	0.7		
Carrancitas	CAR	32.16722	-115.15824	10	Episensor	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix K2	1580	204.0	0.7	01/01/2016	28/10/2020		
								1580	208.0	0.7				
								1580	206.0	0.7				
		32.16722	-115.15824	10	Episensor	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix K2	1155	208.0	0.0	29/10/2020	Activa		
								1155	222.0	0.0				
								1155	220.0	0.0				
El Faro	EFA	32.29031	-115.32389	19	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix K2	1155	208.0	0.0	01/01/2016	28/10/2020		
								1155	222.0	0.0				
								1155	220.0	0.0				
		32.29031	-115.32389	19	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	GeoSig GMS-18	100200	400.0	0.7	29/10/2020	Activa		
								100200	400.0	0.7				
								100200	400.0	0.7				
Santo Tomas	STO	31.55283	-116.40863	163	Episensor	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix K2	1158	222.0	0.0	12/07/2018	Activa		
								1158	218.0	0.0				
										1158	216.0	0.0		
Hechicera	HEC	32.54083	-115.14574	13	FBA-23	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Kinemetrix K2	1156	214.0	0.0	12/07/2018	Activa		
								1156	210.0	0.0				
										1156	218.0	0.0		
Geotermica	GEO	32.40011	-115.2391	7	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	GeoSig GMS-18	100199	400.0	0.7	01/01/2016	18/03/2016		
								100199	400.0	0.7				
								100199	400.0	0.7				
		32.40011	-115.2391	7	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	GeoSig GMS-18	100204	400.0	0.7	19/03/2016	15/09/2016		
								100204	400.0	0.7				
								100204	400.0	0.7				
		32.40011	-115.2391	7	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	GeoSig GMS-18	100204	400.0	0.7	15/09/2016	29/11/2016		
								100204	400.0	0.7				
								100204	400.0	0.7				
		32.40011	-115.2391	7	FBA-23	C1 - NS C2 - V C3 - EW	Kinemetrix K2	1026	51.4	0.68	30/11/2016	Activa		
								1026	53.6	0.67				
								1026	53.4	0.68				
Rancho Agua Caliente	RAC	32.01901	-116.30233	736	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	GeoSig GMS-18	100200	400.0	0.7	01/01/2016	18/10/2019		
								100200	400.0	0.7				
								100200	400.0	0.7				
		32.01901	-116.30233	736	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	GeoSig GMS-18	126791	400.0	0.7	19/10/2019	Activa		
								126791	400.0	0.7				
								126791	400.0	0.7				
Rancho San Luis	RSL	32.11597	-115.84165	1492	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	GeoSig GMS-18	100205	400.0	0.7	12/07/2018	18/04/2019		
								100205	400.0	0.7				
								100205	400.0	0.7				
		32.11597	-115.84165	1492	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	GeoSig GMS-18	121441	400.0	0.7	19/04/2019	Activa		
								121441	400.0	0.7				
								121441	400.0	0.7				
Nayarit	NAY	32.31512	-115.24648	11	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100204	400.0	0.7	01/01/2016	Activa		
								100204	400.0	0.7				
										100204	400.0	0.7		
Santa Isabel Viejo	SIV	31.87116	-115.81637	1506	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100205	400.0	0.7	12/07/2018	Activa		
								100205	400.0	0.7				
										100205	400.0	0.7		
Kilometro 56	K56	31.85736	-116.09852	893	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7	12/07/2018	Activa		
								100207	400.0	0.7				
										100207	400.0	0.7		
Kilometro 56	K58	31.853	-116.087	926	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7	01/01/2016	Activa		
								100207	400.0	0.7				
										100207	400.0	0.7		
Tamaulipas	TAM	32.55127	-115.23463	14	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100208	400.0	0.7	12/07/2018	Activa		
								100208	400.0	0.7				
										100208	400.0	0.7		
Victoria	VIC	32.28788	-115.10204	14	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100209	400.0	0.7	01/01/2016	Activa		
								100209	400.0	0.7				
										100209	400.0	0.7		
Saltillo	SAL	32.42106	-115.13001	15	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100201	400.0	0.7	01/01/2016	Activa		
								100201	400.0	0.7				
										100201	400.0	0.7		
Chihuahua	CHI	32.48828	-115.2386	65	FBA-23	C1 - NS C2 - V C3 - EW	Kinemetrix K2	1026	51.4	0.68	01/01/2016	30/11/2016		
								1026	53.6	0.67				
								1026	53.4	0.68				
		32.48828	-115.2386	65	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100202	400.0	0.7	01/12/2016	27/08/2019		
								100202	400.0	0.7				
								100202	400.0	0.7				
32.48828	-115.2386	65	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	126791	400.0	0.7	28/08/2019	Activa				
						126791	400.0	0.7						
						126791	400.0	0.7						
Michoacan de Ocampo	MDO	32.46409	-115.31561	13	Geosig AC-63	C1 - EW C2 - NS C3 - V	Geosig GMS-18	100903	400.0	0.7	12/07/2018	Activa		
								100903	400.0	0.7				
										100903	400.0	0.7		

Nota: ¹ Or. representa la orientación del sensor en cada estación.

² NS representa el número de serie del digitalizador.

³ Am. representa el amortiguamiento del sensor.