

II. RED DE ACELERÓGRAFOS EN EL ESTADO DE OAXACA

II. RED DE ACELERÓGRAFOS EN EL ESTADO DE OAXACA

II.1 SISMÓGRAFOS Y ACELERÓGRAFOS

Para poder estudiar la actividad sísmica es necesario contar con registros instrumentales de los temblores, con el fin de precisar su magnitud, localización epicentral, profundidad, la duración de la fase intensa del movimiento, tanto en el suelo como en las estructuras. Los instrumentos que se emplean principalmente para poder realizar estas tareas son los sismógrafos y los acelerógrafos, que registran el movimiento del terreno al paso de las ondas sísmicas (ver ANEXO).

a) Sismógrafo

Es un instrumento de alta sensibilidad, capaz de registrar los movimientos de la superficie de la Tierra, en función del tiempo, dichos movimientos son causados por el paso de las ondas sísmicas. Opera con el principio de inercia, el cual señala que los objetos estacionarios se mantienen sin movimiento a menos que se les aplique una fuerza. Su mecanismo de funcionamiento consiste en una masa suspendida de un

resorte ligado a un soporte anclado al suelo (fig II.1), cuando este es sacudido por el paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa hace que esta permanezca un instante en el mismo reposo, y cuando sale de este tiende a oscilar. El desplazamiento relativo entre la masa y la base proporciona una medida del movimiento asociado a la tierra. El registro se realiza en dos componentes horizontales y uno vertical; en el caso de la figura II.1 el movimiento sentido es en dirección vertical. El sistema de registro está integrado por un tambor en la base y un marcador sujeto a la masa, mediante el cual se generan los sismogramas, es decir los registros sísmicos del movimiento relativo entre la masa y la base, los cuales representan el movimiento del suelo.

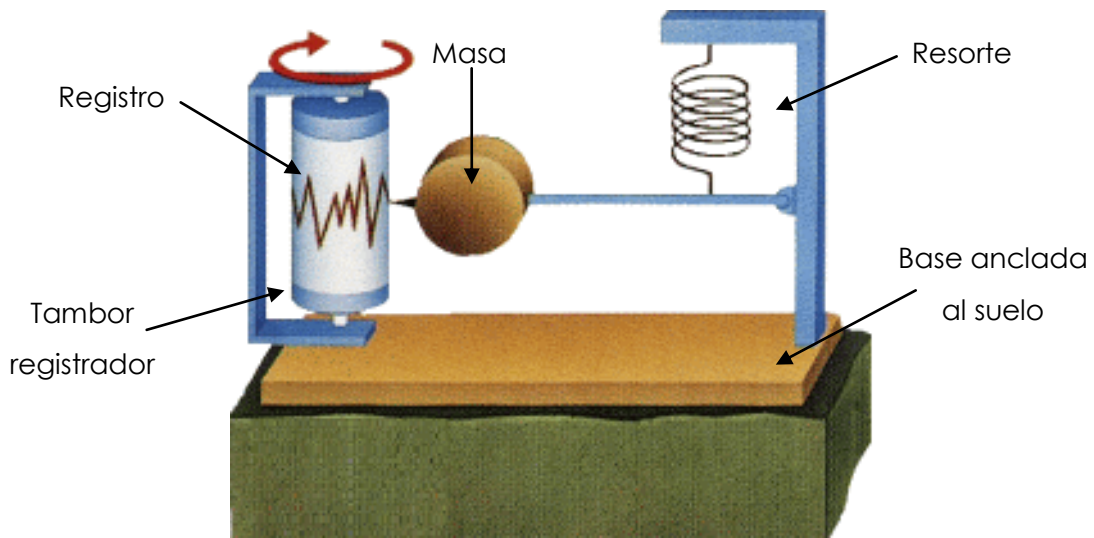


Figura II.1 Esquema de un sismógrafo (ref 22)

En la actualidad los sismógrafos son eléctricos y de banda ancha (fig II.2). La mayoría utiliza el sistema de fuerza de retroalimentación, mediante el cual se ejerce una fuerza proporcional al desplazamiento de la masa inercial para cancelar el movimiento relativo. Un transductor eléctrico convierte el movimiento de la masa en una señal eléctrica, la cual es una estimulación de la fuerza de retroalimentación que debe ejercer para anular el movimiento del péndulo (ref 23).



Figura II.2 Sismógrafo

Los sismógrafos cuya utilidad se enfoca a estudios de sismos, son diseñados para ser sumamente sensibles a los movimientos de la tierra, ya que tienen la capacidad de ampliar diez o hasta cientos de miles de veces la velocidad del movimiento del terreno, ya sea a causa de un sismo cercano y pequeño o de uno grande y lejano. Sin embargo cuando a corta distancia ocurre un sismo muy fuerte, el sismógrafo no es capaz de obtener un registro completo, ya que debido a su gran sensibilidad puede llegar a generar un sismograma en el cual se corten los valores de amplitud del movimiento, cuando esto ocurre suelo decirse que el registro está “saturado”. Para evitar esta problemática, se utilizan los instrumentos conocidos como acelerógrafos.

b) Acelerógrafo

En la Ingeniería Sísmica es importante medir las fuerzas que actúan sobre suelos y estructuras (cimentación, pisos intermedios y azotea) durante un temblor. Para lo cual son utilizados los acelerógrafos que miden la aceleración que actúa sobre ellos, generalmente son capaces de registrar valores mayores a la gravedad terrestre. Los acelerógrafos funcionan bajo el mismo principio que los sismógrafos (ver fig II.1), una diferencia importante es que manteniendo la masa constante, la rigidez del resorte es mayor en un acelerógrafo, ya que es menos sensible que un sismógrafo.

En general los acelerógrafos muestrean continuamente el movimiento sísmico y la señal analógica adquirida por los sensores es convertida a muestras digitales y mediante un algoritmo especial de activación se verifica muestra a muestra si esta se satisface. Cuando el movimiento del suelo rebasa el umbral programado, el equipo comienza a almacenar la información digital ya sea en memoria RAM o en dispositivos tipo *flash*. Los instrumentos cuentan con un retardo digital fijo o programable que permite registrar parte de la señal previa al punto de activación, conocida como memoria de pre evento. Actualmente los acelerógrafos son de tipo digital, facilitando el procesamiento de la información mediante el uso de computadoras. En la figura 11.3 se presenta el esquema de un acelerógrafo digital modelo ETNA. El equipo es autónomo, de alta resolución y de bajo consumo de corriente; opera con celdas solares y baterías en flotación. Está integrado por un adquirente de datos, un transductor y sensores; estos últimos son del tipo Episensor o de fuerzas balanceadas y cuyo arreglo triaxial permite registrar el movimiento sísmico en tres direcciones ortogonales. Los principales componentes de un acelerógrafo son:

- Los sensores
- El conversor analógico-digital
- El sistema de almacenamiento de datos

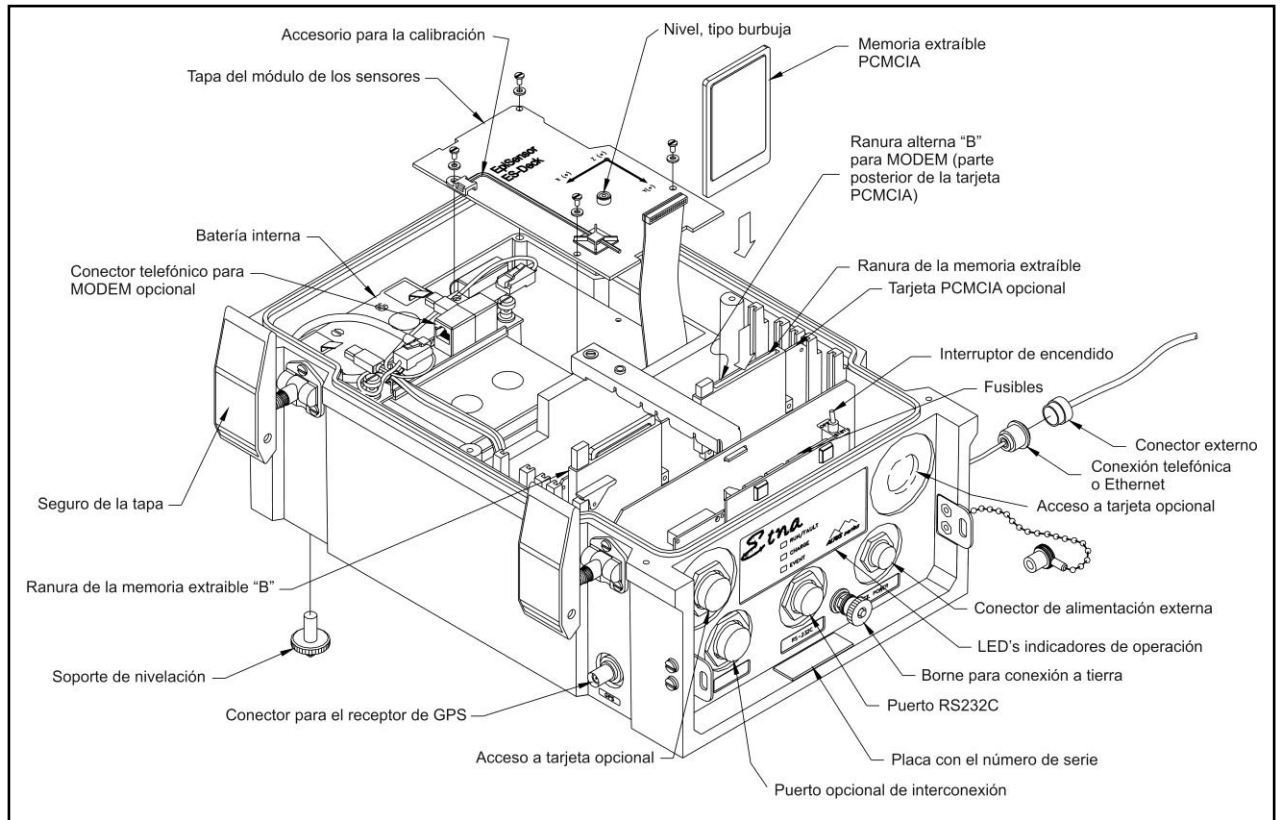


Figura II.3 Acelerógrafo digital modelo *Etna* (ref 24)

Las estaciones acelerográficas, en general, están integradas por una caja metálica empotrada en una base de concreto armado y de una torre metálica como la ilustrada en la figura II.4. La caja metálica funciona como sistema de protección contra la intemperie y el vandalismo, en su interior se cuenta con dos compartimientos, uno con espacio suficiente para albergar el acelerógrafo y otro para resguardar las baterías, el regulador de voltaje y el cableado propio de la instrumentación. En la torre se instala el sistema de posicionamiento global (GPS) para sincronizar la señal de tiempo del equipo, así como las celdas solares que se utilizan para cargar las baterías que alimentan al acelerógrafo; ambos se conectan al equipo y cargador respectivamente mediante cables que van insertados en un ducto, el cual es enterrado en el suelo hasta llegar a la estación acelerográfica.

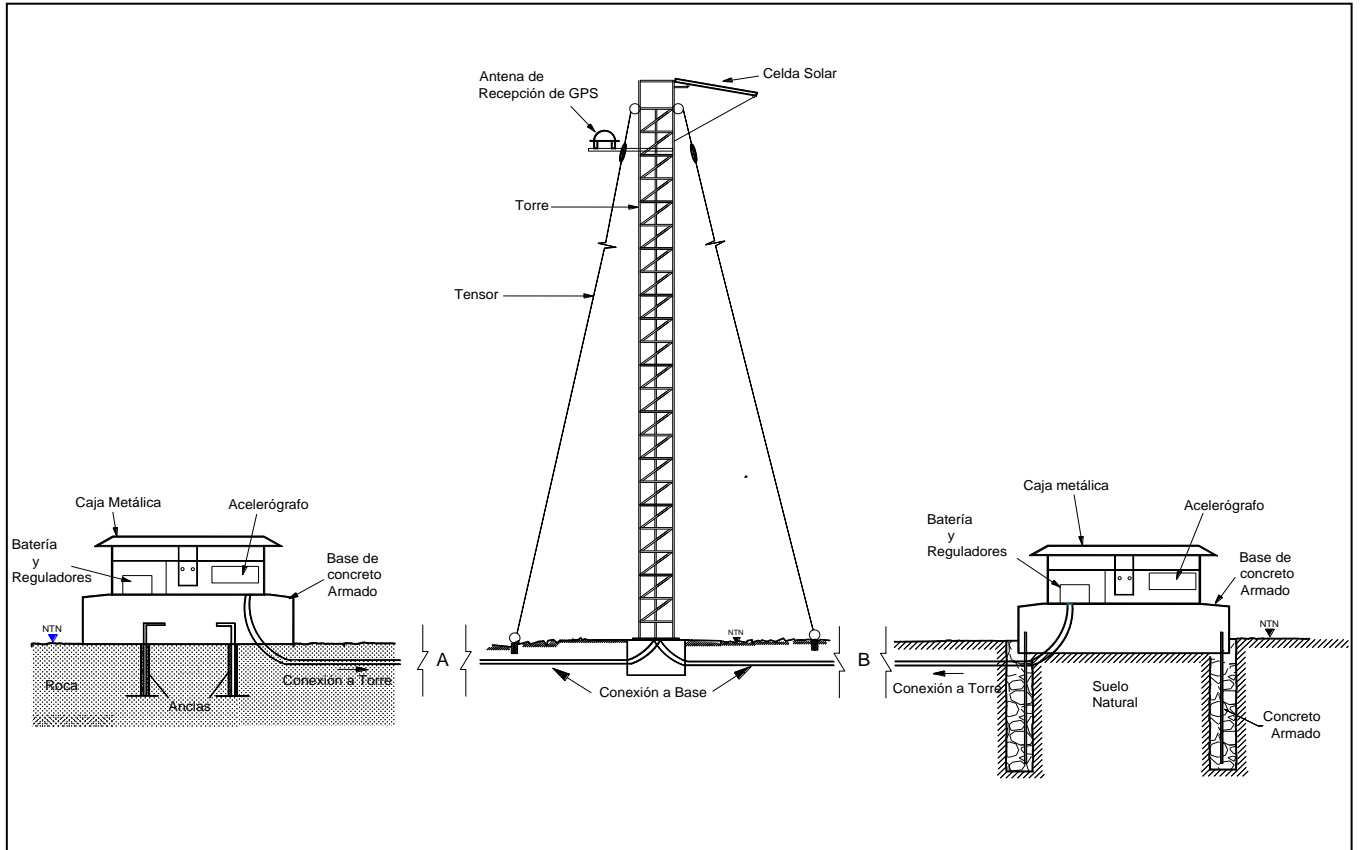


Figura II.4 Estación acelerográfica (ref 25)

II.2 RED ACELEROGRÁFICA

El estado de Oaxaca se ha visto seriamente afectado por eventos sísmicos generados tanto en la zona de subducción mexicana como continente adentro, tal es el caso de los temblores de 1931 ($M=7.8$), 1980 ($M=7.1$), 15 de junio ($M=7$) y 30 de septiembre ($M=7.6$) ambos en 1999. Debido a la falta de información de la respuesta sísmica del subsuelo del estado y la forma en que los efectos de sitio modifican los movimientos sísmicos, en Oaxaca se han instalado redes de instrumentación sísmica con equipos sísmológicos y acelerográficos, por parte de instituciones dedicadas al estudio de la

actividad sísmica. La información recabada de las estaciones es de gran importancia para la proyección de obras civiles, así como para el estudio del comportamiento del suelo. A continuación se describen brevemente las redes instaladas en el estado de Oaxaca por parte del Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y los Institutos de Geofísica (IGEOF) e Ingeniería (II) de la UNAM.

a) Red Regional del ITO

Las estaciones que forman esta red son: Temascal (TMH), Guevea de Humbolt (GVH), Tlaxiaco (TLA), Teotitlán (TEO) y Puerto Escondido (PES). Los equipos que se ubican en estas estaciones son sismógrafos analógicos *RANGER* alimentados con energía solar mediante foto celdas. La tabla II.1 presenta las coordenadas de las estaciones de esta red.

Tabla II.1 Red Regional del ITO (ref 26)

Localidad	Clave	Coordenadas		Descripción
		Lat. N	Long. O	
Temascal	TMH	18° 13.51'	96° 22.38'	Ubicada en la parte norte del estado de Oaxaca en las instalaciones de la presa Miguel Alemán
Guevea de Humbolt	GVH	16° 47.67'	95° 22.43'	Se encuentra en la ubicación del mismo nombre
Tlaxiaco	TLA	17° 15.60'	97° 41.40'	Se ubica en la parte oeste del estado, en los límites del poblado de Sta. María Asunción Tlaxiaco
Teotitlán	TEO	18° 07.63'	97° 04.48	Se localiza en la población del mismo nombre
Puerto Escondido	PES	15° 52.23'	97° 04.44	Ubicada en el sur del estado

b) Red Sísmica de la CFE

La Comisión Federal de Electricidad, a través del departamento de sismotectónica de la gerencia de estudios de Ingeniería Civil, estudia el potencial sísmico de sitios determinados y caracteriza su respuesta ante la ocurrencia de temblores, proporcionando los parámetros sísmicos necesarios para el diseño de estructuras civiles. En el estado de Oaxaca se localizan las siguientes estaciones sismológicas:

Tabla II.2 Red Sísmica CFE (ref 27)

Localidad	Clave	Coordenadas	
		Lat. N	Long. O
Huazantlán	HUA	16° 14.05'	95° 07.45'
Aguas Calientes	AGS	16° 06.13'	95° 26.52'
Presa Benito Juárez, CFE	PBJ	16° 26.20'	95° 26.41'
La Cañada	LCD	16° 09.19'	97° 41.12'
Pochutla	PCH	15° 44.43'	96° 27.46'
Ixtlán de Juárez	IXT	17° 19.86'	96° 29.01'
Tlaxiaco	TLA	17° 14.78'	97° 41.83'
Teotitlán	TEO	18° 08.45'	97° 04.08'

c) Red Sismológica del IGEOF

Esta dependencia de la UNAM, cuenta con 4 estaciones sísmicas en el estado de Oaxaca, las cuales son operadas por el Servicio Sismológico Nacional y su localización es la siguiente:

Tabla II.3 Red Sísmica Instituto de Geofísica (ref 28)

Localidad	Clave	Coordenadas		Equipo
		Lat. N	Long. O	
Huatulco	HUIG	15.768°	96.108°	Sismógrafo y acelerógrafo
Oaxaca, Oax	OXIG	17.073°	96.733°	Sismógrafo y acelerógrafo
Oaxaca, Oax	OXX	17.082°	96.723°	Sismógrafo
Pinotepa Nacional	PNIG	16.395°	96.127°	Sismógrafo y acelerógrafo

d) Red acelerográfica del II

Esta red surge a consecuencia del estudio de la actividad sísmica en la zona de subducción mexicana, en la que se detectó que la zona centro de Oaxaca tiene una alta probabilidad de generar sismos de gran intensidad en un periodo. La red está integrada por la Red Acelerográfica de la ciudad de Oaxaca (RAO) y por la Red Acelerográfica de la Costa de Oaxaca (RACO).

En 1970 el Instituto de Ingeniería instaló la estación acelerográfica OAXM en la Facultad de Medicina de la ciudad de Oaxaca, posteriormente en 1998 se implementó la estación OXLC, en la ciudad de las Canteras. En los siguientes meses se siguió con la integración de la RACO, hasta que en octubre de 1999 esta red inició con su operación formal con seis estaciones acelerográficas en diferentes tipos de suelo.

- Red Acelerográfica de la ciudad de Oaxaca (RAO)

En la siguiente tabla se muestran algunas características de las estaciones que actualmente integran esta red, así mismo en la figura II.5 se presenta un croquis de ubicación de las mismas

Tabla II.4 Red Acelerográfica de la ciudad de Oaxaca (ref 29)

Ubicación o Localidad	Clave	Coordenadas		Aparato/Serie	Construida sobre
		Lat. N	Long. O		
Oaxaca Facultad de Medicina	OAXM	17.084	96.716	DCA-333/122	Suelo Aluvial
Oaxaca Alameda de León	OXAL	17.061	96.726	ETNA/1918	Suelo
Oaxaca Escuela Benito Juárez	OXBJ	17.067	96.723	ETNA/1916	Roca
Oaxaca Cd. Universitaria	OXCU	17.049	96.713	DCA-333/170	Arcilla
Oaxaca Escuela Primaria Mugica	OXPM	17.061	96.717	ETNA/1917	Suelo
Oaxaca Instituto Tecnológico	OXTO	17.078	96.744	ETNA/1531	Suelo Aluvial
Las Canteras	OXLC	17.06	96.7	ETNA/1328	Roca, Cantera
Oaxaca Aeropuerto	OXAE	17.001	96.722	ETNA/4454	Suelo Aluvial
Oaxaca Protección Civil	OXPC	17.051	96.723	ETNA/4576	Suelo Aluvial

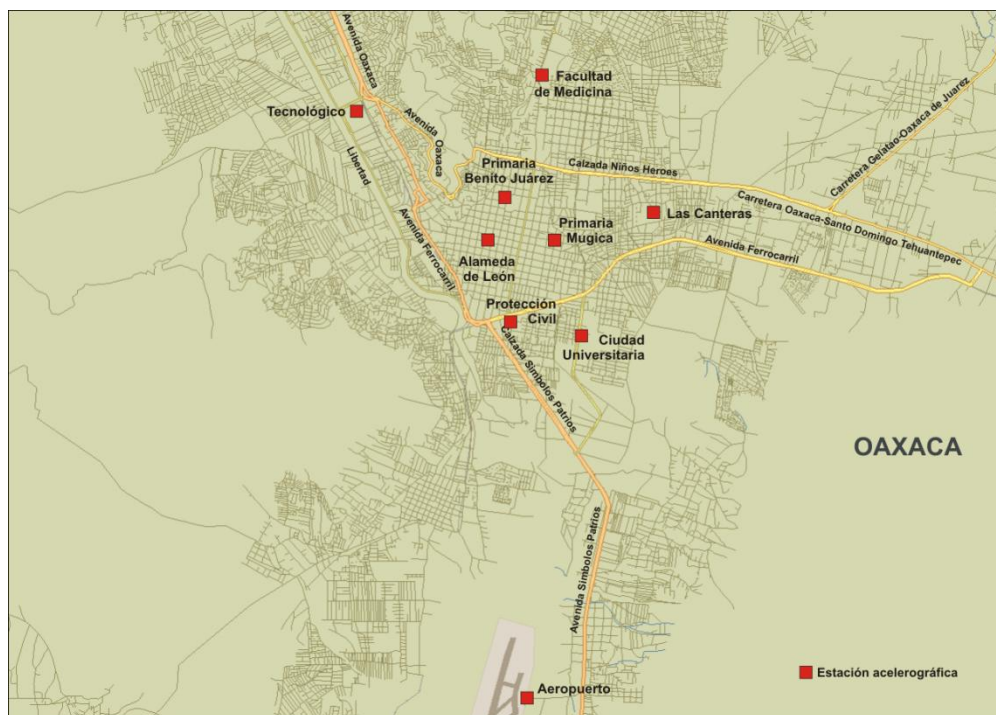


Figura II.5 Ubicación estaciones RAO

- Red Acelerográfica de la Costa de Oaxaca (RACO)

La instrumentación de la franja costera de Oaxaca se inicia en 1979 cuando se instaló, sobre depósitos de arena, la estación Puerto Escondido (PESC), posteriormente en 1985 se instaló la estación Pinotepa Nacional (PNTP) por medio del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Por otro lado, el Instituto de Geofísica, de la misma casa de estudios, puso en operación como parte de la red sismológica nacional, dos estaciones en roca con registradores de banda ancha en Huatulco y Pinotepa Nacional. La selección de los sitios donde se encuentran los acelerógrafos se basó en la calidad de la roca, la seguridad del sitio y la facilidad de acceso. Actualmente la Red Acelerográfica de la Costa de Oaxaca está integrada por 12 estaciones, en la siguiente tabla se enlistan y se proporcionan algunas de sus características.

Tabla II.5 Red Acelerográfica de la costa de Oaxaca (ref 30)

Ubicación o localidad	Clave	Coordenadas		Aparato/Serie	Construida sobre
		Lat. N	Long. O		
Huamelula	HUAM	16.031	95.67	ETNA/1315	Roca
Jamiltepec	JAMI	16.285	97.82	ETNA/372	Roca
Las Negras	LANE	15.948	97.187	ETNA/372	Roca
Niltepec	NILT	16.566	94.616	ETNA/972	Roca
Jalapa del Marqués	OXJM	16.445	95.444	ETNA/2224	Roca
Puerto Ángel	PANG	15.668	96.491	ETNA/921	Roca
Pinotepa Nacional	PNTP	16.349	98.061	DCA-333/306	Limo Arenoso
Río Grande	RIOG	16.014	97.439	ETNA/922	Roca
Salina Cruz	SCRU	16.187	95.209	ETNA/2223	Roca
San Martín Los Canseco	SMLC	16.655	96.729	ETNA/1327	Roca
Tamazulapan	TAMA	16.261	96.575	ETNA/1326	Roca
La Galera	GALE	15.977	96.491	ETNA/4440	Roca



Figura II.6 Ubicación estaciones RACO

II.3 SISMOS REGISTRADOS

En la tabla II.6 se presentan los sismos registrados durante el periodo del 3 de febrero de 1998 al 20 de junio de 2009 únicamente para las estaciones LANE, RIOG y SCRUI. Se muestran características importantes de los sismos como son la fecha, la hora, las coordenadas epicentrales, profundidad y magnitud de cada uno de ellos, así como las estaciones en donde se registró el evento. Dicha tabla cuenta con 85 sismos con magnitudes que van de 3.6 a 7.6, siendo esta última la registrada en el temblor del 30 de septiembre de 1999.

Tabla II.6 Sismos registrados en las estaciones LANE, RIOG, SCRUI

Evento	Fecha	Hora Sismo (GMT)	Coordenadas epicentro		Profundidad (km)	Magnitud (M)	Estación con Registro
			Lat. N	Long. O			
1	03/02/1998	03:02:01	15.69	96.37	33	6.4	RIOG
2	03/03/1998	07:38:23	15.71	96.47	12	5	LANE
3	21/11/1998	06:43:54	15.96	96.7	42	4.5	LANE
4	13/01/1999	02:14:08	16.1	97.18	6	4.5	LANE, RIOG
5	15/06/1999	20:42:07	18.18	97.51	69	7	LANE, RIOG
6	28/08/1999	00:44:26	15.86	97.41	10	4.5	LANE, RIOG
7	30/09/1999	16:31:14	15.95	97.03	16	7.6	LANE, RIOG
8	30/09/1999	16:50:57	16.07	97.4	31	4.2	LANE, RIOG
9	30/09/1999	19:04:45	16.09	97.34	43	4.5	LANE, RIOG
10	01/10/1999	00:30:43	16.11	97.44	11	4.2	LANE, RIOG
11	01/10/1999	03:33:38	15.91	97.14	37	4.6	LANE, RIOG
12	01/10/1999	14:44:10	15.87	97.11	34	4.5	LANE, RIOG
13	02/10/1999	10:23:19	16	97.31	44	4.3	LANE, RIOG
14	14/12/1999	23:53:02	16.04	97.16	10	4.2	LANE
15	02/01/2000	17:35:17	16.07	97.35	16	4.3	LANE, RIOG
16	01/03/2000	23:31:21	15.86	97.11	16	4.9	LANE
17	12/03/2000	22:21:32	14.59	92.27	35	5.9	SCRUI
18	10/05/2000	15:57:44	16.02	97.23	28	4.7	LANE, RIOG
19	06/06/2000	17:03:19	16.27	97.49	45	4.5	RIOG
20	29/09/2000	11:31:31	16.1	95.91	60	4.7	SCRUI
21	09/01/2001	01:46:14	15.36	93.27	13	5	SCRUI
22	19/01/2001	01:12:53	15.1	93.03	108	6.3	SCRUI
23	16/01/2002	23:09:55	15.43	93.55	76	6.7	SCRUI
24	30/01/2002	08:42:04	18.1	95.97	109	5.6	SCRUI
25	13/04/2002	19:05:59	16.23	95.22	55	4.7	SCRUI
26	11/05/2002	17:08:09	16.17	97.51	29	4.5	LANE, RIOG
27	07/06/2002	16:02:59	15.98	96.88	14	5	LANE, RIOG
28	07/06/2002	16:02:59	15.98	96.88	14	5	LANE, RIOG
29	05/08/2002	01:25:18	15.6	96.05	9	5.3	SCRUI
30	27/08/2002	17:08:48	16.04	97.59	15	5	LANE, RIOG
31	02/12/2002	04:24:49	15.8	96.74	6	4.8	LANE
32	19/04/2003	11:38:27	16.18	97.27	25	4.4	LANE, RIOG
33	02/08/2003	03:34:42	15.83	95.78	16	4.3	SCRUI
34	13/01/2004	19:50:19	16	97.17	20	5.1	LANE, RIOG
35	13/01/2004	21:28:58	15.99	97.15	16	5.7	LANE, RIOG
36	13/01/2004	21:39:29	15.9	97.15	16	4.1	LANE, RIOG
37	14/01/2004	12:04:41	16.03	97.19	29	4.6	LANE, RIOG
38	10/02/2004	10:37:59	16.06	97.2	44	4.4	LANE, RIOG
39	03/03/2004	09:21:30	15.49	97.33	20	4.8	LANE, RIOG
40	20/04/2004	17:44:20	17.33	94.74	144	5.2	SCRUI
41	14/06/2004	22:54:21	16.22	98.16	10	6.4	LANE, RIOG
42	14/06/2004	22:55:25	16.12	98.09	6	4.3	RIOG
43	01/08/2004	22:57:15	16.07	97.16	28	4.6	LANE, RIOG
44	07/08/2004	11:49:12	17.05	95.43	110	5.9	RIOG, SCRUI
45	18/08/2004	09:03:10	16.24	95.15	51	5.7	SCRUI
46	10/12/2004	10:32:22	15.18	97.29	16	5.4	RIOG
47	15/12/2004	08:05:14	16.03	95.44	12	4.5	SCRUI
48	18/02/2005	11:08:05	16.08	97.17	6	4.1	LANE, RIOG
49	21/05/2005	20:17:34	16.19	95.35	20	3.9	SCRUI
50	21/11/2005	01:25:17	16.11	97.43	8	4.4	LANE, RIOG
51	07/07/2006	17:43:34	15.78	96.26	31	4.7	SCRUI
52	19/08/2006	05:41:30	15.91	97.3	52	5.5	LANE, RIOG
53	01/10/2006	06:59:50	16.11	94.55	60	4.8	SCRUI
54	20/10/2006	06:21:40	15.66	97.28	12	4.7	LANE, RIOG
55	08/11/2006	17:18:47	16.05	96.54	45	5.1	LANE, RIOG

Tabla II.6 (Continuación)

Evento	Fecha	Hora Sismo (GTM)	Coordenadas epicentro		Profundidad (km)	Magnitud (M)	Estación con Registro
			Lat. N	Long. O			
56	10/11/2006	06:33:07	15.46	97.48	20	4.8	LANE, RIOG
57	15/01/2007	20:50:20	15.92	95.51	29	4.5	SCRU
58	15/03/2007	13:13:00	16.08	97.26	15	5.1	LANE, RIOG
59	27/06/2007	13:46:02	16.29	96.61	98	4.4	LANE, RIOG
60	06/07/2007	01:09:19	16.9	94.1	100	6.2	SCRU
61	11/09/2007	03:12:04	15.4	94.8	10	4.8	SCRU
62	15/09/2007	10:30:48	17.46	94.71	153	5	SCRU
63	01/10/2007	14:41:52	17.24	94.36	149	4.7	SCRU
64	20/10/2007	15:14:46	16.08	95.6	26	4.5	SCRU
65	24/10/2007	18:25:51	15.58	94.28	18	4.8	SCRU
66	21/11/2007	15:00:12	16.13	97.19	22	4.6	LANE
67	26/11/2007	17:41:40	15.28	93.36	87	5.6	SCRU
68	11/12/2007	01:28:52	15.74	96.92	27	4.6	LANE, RIOG
69	11/02/2008	22:20:33	16.22	94.22	109	4.8	SCRU
70	12/02/2008	12:50:18	16.19	94.54	90	6.6	LANE, SCRU
71	04/05/2008	10:21:35	15.41	96.75	10	4.5	LANE
72	30/07/2008	10:23:33	15.98	96.1	49	5.1	SCRU
73	04/12/2008	05:38:13	16.36	95.1	65	4.2	SCRU
74	09/12/2008	10:23:13	16.02	97.16	12	4	LANE
75	31/12/2008	19:53:28	16.01	97.11	35	4.1	LANE
76	17/01/2009	02:57:30	15.74	92.76	15	5.2	SCRU
77	18/02/2009	05:41:36	16.72	94.71	82	4.8	SCRU
78	02/03/2009	21:20:52	15.82	95.36	71	4.2	SCRU
79	10/03/2009	00:36:44	16.46	93.65	147	4.9	SCRU
80	07/04/2009	21:49:28	15.82	96.65	20	4.8	LANE, RIOG, SCRU
81	08/04/2009	01:20:32	15.69	94.01	16	4.5	SCRU
82	23/05/2009	19:01:16	16.01	97.22	16	3.6	LANE
83	26/05/2009	19:13:47	15.86	95.65	10	4.6	SCRU
84	07/06/2009	21:26:47	16.15	93.32	135	5	SCRU
85	20/06/2009	23:42:07	16.35	94.35	12	4.4	SCRU