

CAPÍTULO II

*Información sísmica obtenida en la red de
acelerógrafos de la Ciudad de Puebla*

II. INFORMACIÓN SÍSMICA OBTENIDA EN LA RED DE ACELERÓGRAFOS DE LA CIUDAD DE PUEBLA

Los sismos que han ocurrido en México durante los últimos años son prueba de la necesidad de instrumentar el territorio nacional para conocer el comportamiento que tiene una zona y determinar los potenciales daños que causaría un temblor. Los datos obtenidos son de gran utilidad y contribuyen a mitigar los efectos sísmicos.

II.1 Equipo de registro sísmico

El instrumento esencial para estudiar un evento sísmico es el sismógrafo. Este es un aparato que registra velocidades en el suelo causadas por una onda sísmica. En la actualidad estos instrumentos han alcanzado un alto grado de desarrollo electrónico, pero el principio básico empleado no ha cambiado.

Para registrar el movimiento del suelo es necesario referirlo a un punto fijo en el espacio; si se quisiera referir a un punto anclado al mismo suelo sería imposible obtener un registro dado que el punto también se movería con el suelo al que está anclado. Para salvar esta dificultad, se recurre al principio de inercia, el cual establece que todos los cuerpos tienen una resistencia al movimiento o a variar su velocidad. Así, el movimiento del suelo puede ser medido con respecto a la posición de una masa suspendida por un elemento que le permita permanecer en reposo por algunos instantes con respecto al suelo. El mecanismo consiste usualmente en una masa suspendida de un resorte atado a un soporte acoplado al suelo, cuando el soporte se sacude al paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa hace que ésta permanezca un instante en el mismo sitio. Posteriormente la masa sale del reposo y tiende a oscilar (ref 18); sin embargo, ya que esta oscilación posterior del péndulo no refleja el verdadero movimiento del suelo, es necesario amortiguarla. En la figura II.1 se representa un aparato donde el amortiguamiento se logra por medio de una lámina sumergida en un líquido, generalmente aceite. Este era el método utilizado en aparatos antiguos, actualmente se logra por medio de bobinas o imanes que ejercen fuerzas amortiguadoras en la oscilación libre de la masa.

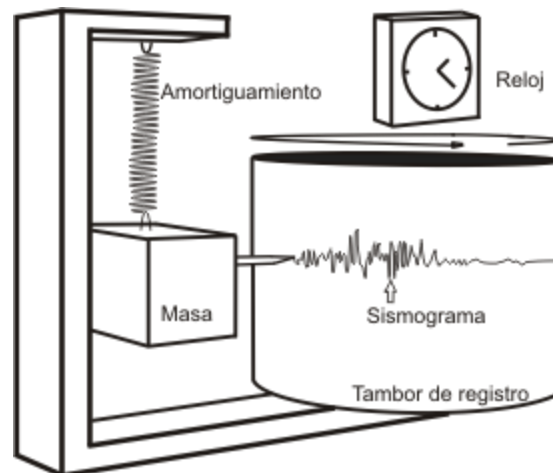


Figura II.1 Elementos básicos de un sismógrafo

Si se sujeta un lápiz a la masa suspendida, para que pueda escribir en un papel sobre un cilindro que gira a velocidad constante, se registrará una componente del movimiento en el suelo conocida como sismograma.

Los sismógrafos emplean un sistema de amplificación para producir registros que puedan ser analizados a simple vista. Antiguamente la amplificación se realizaba por medio de un sistema mecánico, en la actualidad la amplificación se realiza electrónicamente (ref 19).

Los sismógrafos que se emplean actualmente, en general, tienen masas que pueden ser de unos gramos hasta 100 kg, mientras que los sismógrafos antiguos de amplificación mecánica solían tener grandes masas con el fin de obtener mayor inercia y poder vencer las fuerzas de rozamiento que se originan entre las partes móviles del sistema, actualmente existen sismógrafos que detectan el movimiento de la masa electrónicamente y se almacena digitalmente.

Debido a que los sismógrafos tienen una alta sensibilidad, en sismos de gran magnitud tienden a saturarse sin tener un registro completo del evento, como se ilustra en la figura II.2.

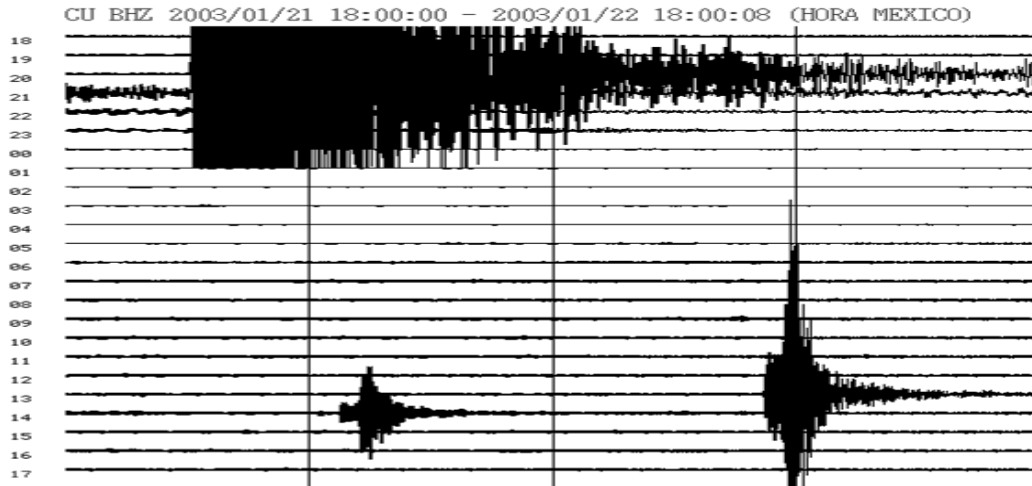


Figura II.2. Sismograma registrado en la estación de Ciudad Universitaria (ref 20)

Los acelerógrafos son equipos que comparten muchas características en común con los sismógrafos, siendo la principal diferencia que el instrumento se encuentra configurado para obtener datos de aceleración, al ser estos menos sensibles y con una relación masa-rigidez mayor permiten el registro completo de eventos de gran magnitud.

A continuación se presentan algunas definiciones que son de utilidad para comprender el funcionamiento de un acelerógrafo:

- Umbral de activación. Es un valor de aceleración predeterminado, el cual una vez alcanzado permite que el equipo almacene información.
- Memoria de preevento: Es la cantidad de almacenamiento disponible destinado a guardar valores anteriores al umbral de activación.
- Memoria de posevento: Es la cantidad de almacenamiento configurada de tal manera que se sigan almacenando datos cierto tiempo después que se ha dejado de cumplir con el umbral de activación, esto ayuda a tener un registro completo del temblor.

Un acelerógrafo está compuesto de dos partes principales, los sensores y el registrador, los primeros se componen de acelerómetros, siendo el arreglo "triaxial" el más utilizado y consta de tres acelerómetros dispuestos en forma ortogonal.

El registrador tiene tres componentes, la primera es la que realiza la conversión analógica-digital, la segunda se encarga del control de datos y finalmente una de almacenamiento. Su operación consiste en convertir continuamente las señales analógicas de los sensores a muestras digitales, las cuales son comparadas en la unidad de control y mediante un algoritmo especial de activación se verifica cada una de ellas, si se satisface el umbral de activación programado se inicia el almacenamiento.

Todos los aparatos deben contar con un sistema de control de tiempo que debe estar correctamente ajustado y que es universal para las estaciones, lo cual permite conocer con exactitud fecha, hora y duración del evento, lo cual facilita en gran medida la identificación de los registros obtenidos.

Los acelerógrafos no son aparatos que sean fabricados en forma masiva y que se encuentren con facilidad, ya que solo un número reducido de compañías se encarga de producirlos, es por esto que de acuerdo a las necesidades específicas de cada proyecto se ubica el equipo más adecuado para dichos fines. El instrumento tiene que cumplir que no se tenga ningún tipo de interrupciones en el registro, y que efectivamente se registre el evento en el momento adecuado. Debido a esto, al adquirir un aparato se toma en cuenta la facilidad para su manejo, el margen de grabación con el que es capaz de almacenar datos y por último revisar si son compatibles los registros con otras herramientas de computación existentes para su respectivo procesamiento, análisis y estudio.

Los instrumentos utilizados en la RACP, son de marca *Terra Technology* modelos digitales DCA-333, IDS-3602, GSR-12 y de marca *Kinematics* modelo ETNA.

En la tabla 2 se mencionan algunas especificaciones para los acelerógrafos que operan en la Red Acelerográfica de la Ciudad de Puebla.

Tabla 2. Especificaciones generales de los acelerógrafos de la RACP

CARACTERÍSTICAS	EQUIPO			
	DCA-333	IDS-3602	GSR-12	ETNA
Fabricante	Terra Technology	Terra Technology	Terra Technology	Kinematics
Tipo	Digital	Digital	Digital	Digital
Medio de registro	Casete digital o Ramdeck	Tarjeta "flash" PCMCIA o RAM	RAM	Tarjeta "flash" PCMCIA
Transductores (3)	Internos por balance de fuerzas	Internos por balance de fuerzas	Internos por balance de fuerzas	Internos por balance de fuerzas
Rango [G*]	0.25-1	1-2	1	1-2
Frecuencia natural [Hz]	30	50	50	50
Amortiguamiento	0.7	0.7	0.7	0.7
Tiempo de registro [min]	14	20-90	35	40
Tasa de muestreo [Muestras/seg]	100	250	200 ó 400	100 ó 200
Longitud de palabra [bits]	12	16	12	18
Rango dinámico [dB]	72	96	72	108
Reloj	Interno	Interno	Interno	Interno
Alimentación [volts CD]	+12	+12	+12	+12

*G= 981 cm/s²

II.2 Localización de estaciones

La Red de Acelerógrafos de la Ciudad de Puebla es un proyecto realizado en conjunto por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM) y la Facultad de Ingeniería Civil y Tecnológica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FI-BUAP), y su objetivo principal es estudiar la respuesta del suelo ante la acción de temblores fuertes.

En el año de 1972 se instaló en las oficinas de la Comisión Federal de Electricidad de la ciudad de Puebla una estación llamada SXPU que era parte del sistema sismotelemétrico SISMEX, siguiendo su operación como acelerómetro hasta marzo de 1984, en esta fecha fue sustituido por un acelerógrafo digital autónomo. Después de los sismos de septiembre de 1985, se estableció la necesidad de instalar una red acelerográfica local para estudiar mejor los efectos causados por sismos, debido a esto la FI-BUAP instaló 3 acelerógrafos digitales, en diferentes tipos de suelo, atendiendo a la zonificación preliminar realizada en 1976 (ref 21). Los sitios elegidos para localizar estas estaciones fueron Ciudad Universitaria de la FI-BUAP (UAPP), el jardín Paseo Nicolás Bravo (PBPP) y Central de Abastos (CAPP). De esta forma la red de acelerógrafos de la ciudad de Puebla comenzó sus operaciones en noviembre de 1987.

En el año de 1993 el II-UNAM como la FI-BUAP acordaron la operación de manera conjunta de la red, de esta manera la estación Sismex Puebla pasó a formar parte de la RACP. Posteriormente, en 1996 se instalaron tres estaciones más, la primera en el municipio de San Ramón Castillota (SRPU), ubicada al sur de la ciudad, la segunda en la colonia La Paz (PZPU) localizada en el cerro volcánico de San Juan, y al este de la ciudad se colocó la estación ubicada en la colonia Parque Habana (PHPU).

Como una siguiente etapa se instalaron cuatro estaciones, una en Barranca Honda (BHPP), y debido al sismo ocurrido el día 15 de junio de 1999 una estación en la avenida Río san Francisco (RFPP) localizada en la zona centro, la siguiente en el hospital del IMSS San Alejandro (SAPP) que se encuentra ubicada sobre depósitos lacustres y por último en 2001 se instaló la estación Lomas del Mármol que se encuentra anclada en roca. De esta forma quedó constituida la RACP con 11 estaciones (tabla 1) compuestas cada una por 3 componentes ortogonales (ref 22). Es importante señalar que las estaciones UAPP y CAPP han sido retiradas de operación.

Tabla 1. Estaciones de la Red Acelerográfica de la Ciudad de Puebla

Estación (Clave)	Localización		Ubicación	Equipo	Dirección
	LAT. N	LONG. W			
Sismex (SXPU)	19.03	-98.21	Suelo	DCA 333R/207	Estacionamiento del edificio de oficinas de CFE calle 27 poniente, zona centro
Paseo Nicolás Bravo (PBPP)	19.04	-98.20	Suelo	ETNA/1533	Paseo Nicolás Bravo. Entre 11 sur y 3 poniente, zona centro
La Paz (PZPU)	19.05	-98.22	Roca	DCA 333R/100	Cerro de San Juan colonia La Paz, entre el monumento a la bandera e iglesia, zona oeste
San Ramón (SRPU)	18.96	-98.25	Suelo	DCA 333R/258	Municipio de San Ramón Castillotla, 3a sección, zona suroeste
Parque Habana (PHPU)	19.04	-98.16	Suelo	ETNA/1532	Parque Habana , entre 38 norte y Panamá y 14 y 16 Oriente, zona oriente
Barranca Honda (BHPP)	19.10	-98.22	Roca	GSR-12/326	Barranca Honda Antigua zona de minas, zona noroeste
San Alejandro (SAPP)	19.05	-98.21	Suelo	IDS-3602/373	Hospital del IMSS "San Alejandro", zona centro
Río San Francisco (RFPP)	19.04	-98.19	Estructura	GSR-12/328	Avenida Río San Francisco, zona centro
Lomas del Mármol (LMPP)	19.00	-98.18	Roca	ETNA/1329	Fraccionamiento Lomas del Mármol, zona sur

La ubicación de las estaciones en la RACP se realizó de acuerdo a los siguientes criterios:

- Contar con cobertura instrumental en la zona centro de la ciudad
- Considerar condiciones diferentes del subsuelo de acuerdo a la microzonificación existente
- Contar con una estación de referencia en roca

Debido a que los equipos requieren un mantenimiento constante, tanto preventivo como correctivo para que las estaciones se conserven en condiciones óptimas de funcionamiento y operación, fue necesario, aparte de las condiciones del suelo, localizar zonas que proporcionaran cierta seguridad a la estación. Se buscaron lugares que no fueran muy concurridos, pero a los que se pudiera acceder fácilmente para recolectar datos. Otro aspecto que se cuidó al momento de instalar las estaciones fue que en el lugar se tuviera acceso a energía eléctrica y que estuviera protegido en cierta forma contra la intemperie. Es por esto que varias de las estaciones se encuentran en oficinas, escuelas o parques ya que estos lugares brindaban las ventajas antes mencionadas. En la figura II.2 se muestra una vista general de la distribución de estaciones acelerográficas en el estado de Puebla.

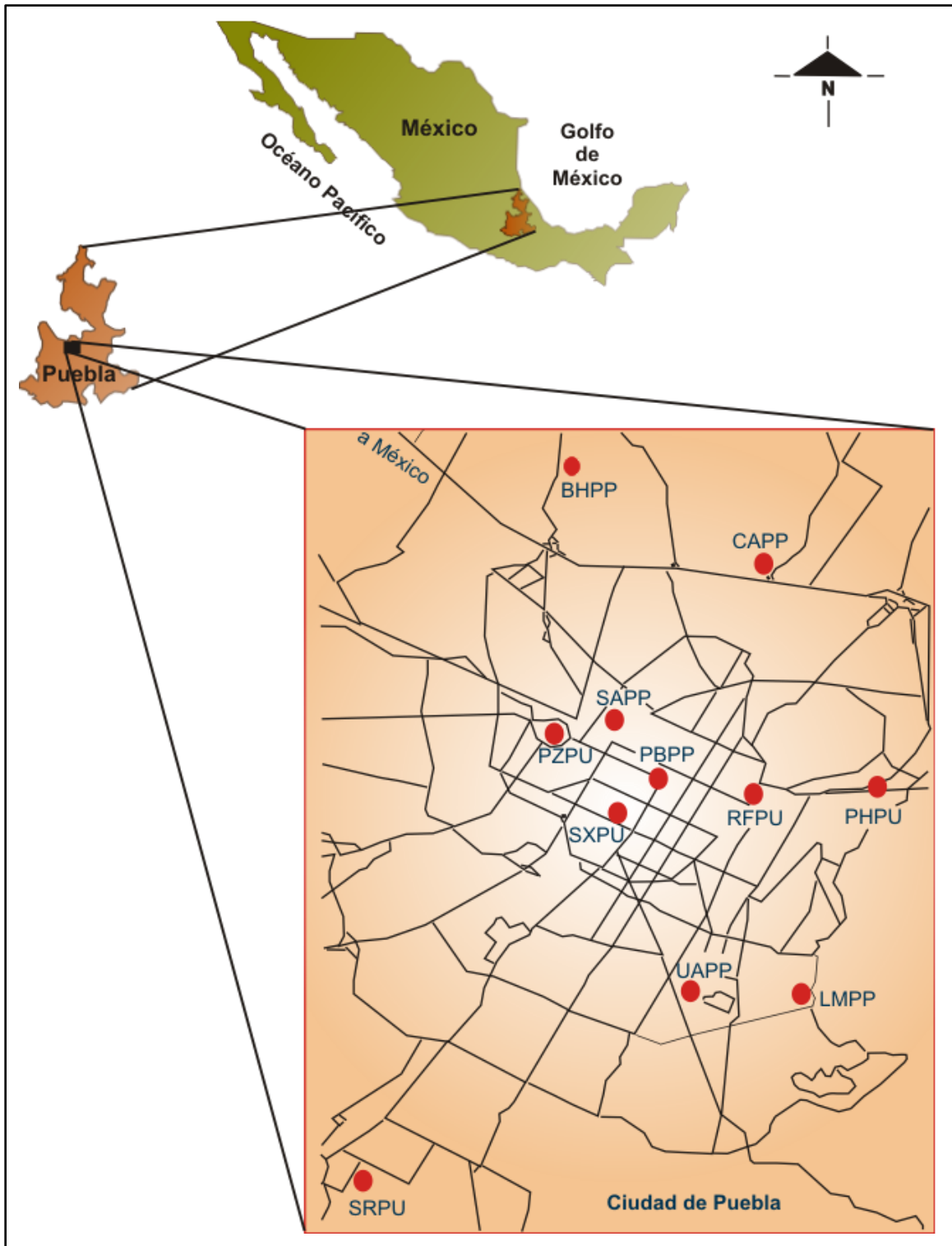


Figura II.2 Ubicación de las estaciones acelerográficas de la RACP (ref 23)

II.3 Registros obtenidos

Una vez decidido el sitio donde será colocado el instrumento de medición es preciso realizar pruebas de ruido sísmico para localizar posibles fuentes de vibraciones que originen disparos que no son debidos a movimientos sísmicos, los cuales pueden producir alteraciones importantes en los datos de aceleración. Para estos fines es necesario que se instale un equipo acelerográfico en el sitio seleccionado y operarlo con diferentes valores de activación. Los datos obtenidos son analizados y si las perturbaciones producidas son excesivas (generalmente mayores a 4 gal) el lugar sería descartado, en el caso de que no se produzcan este tipo de parámetros se instrumenta el sitio.

Los datos generados por el instrumento son almacenados en memoria *RAM*, de estado sólido o en dispositivos tipo *Flash*. Los datos generados en estos tipos de almacenamiento son recopilados en visitas realizadas al sitio o por medio de interrogación remota, como vía teléfono celular, satelital o internet. Después de tener una colección de datos deben revisarse dichos eventos con sucesos corroborados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN). Los datos guardados en la memoria son reportados en hojas de lectura como archivos nativos que se encuentran en formato binario, en una etapa posterior, mediante el uso de programas auxiliares son transformados en formato ASA (ASCII Estándar de Aceleración) que es un tipo de archivo unificado (ref 24), quedando el registro en tres canales, dependiendo del aparato. Un archivo ASA está compuesto por 2 bloques: uno conformado por datos que identifican al sismo y el otro por las series tiempo-aceleración.

Durante el periodo de 1978 a 2008 el número de acelerogramas generados por la RACP fue de 176, dichos registros fueron producidos por 91 sismos cuyas magnitudes están en un intervalo de 3.3 a 8.1. La aceleración máxima que ha sido registrada por la red es de 279 cm/s^2 que se presentó en la dirección norte-sur de la estación PHPU en el sismo del 15 de junio de 1999 ($M=7$)

Selección de información. Para conocer la relación existente entre dos lugares se ocuparon las estaciones Lomas del Mármol y Paseo Bravo, la primera se localiza en roca,

mientras que la estación PBPP se encuentra ubicada en un terreno con una estratigrafía compuesta de tres estratos principales: el primero conformado por rellenos limo arenosos, el segundo por travertino y finalmente arcilla de alta plasticidad.

Es preciso señalar que la información disponible en la estación LMPP es limitada ya que fue instalada en 1999 (posterior al sismo del 15 de junio de ese año) y solo ha registrado en forma simultánea con la estación PBPP 3 sismos, como se ilustra en la tabla 3. Dichos registros fueron seleccionados para el análisis que se realiza en este trabajo. En las figuras II.2 a II.7 se presentan los acelerogramas correspondientes y que fueron obtenidos de la Base Mexicana de Sismos Fuertes (ref 25).

Año	Correspondencia	
1999	PBPP9906.151	
	PBPP9909.301	
	PBPP9912.141	
2004	PBPP0406.141	LMPP0406.141
	PBPP0408.071	
	PBPP0408.181	
2005	PBPP0508.141	
	PBPP0509.241	
2007	PBPP0704.131	LMPP0704.131
	PBPP0707.061	LMPP0707.061

Tabla 3. Eventos simultáneos registrados entre los años 1999 a 2007

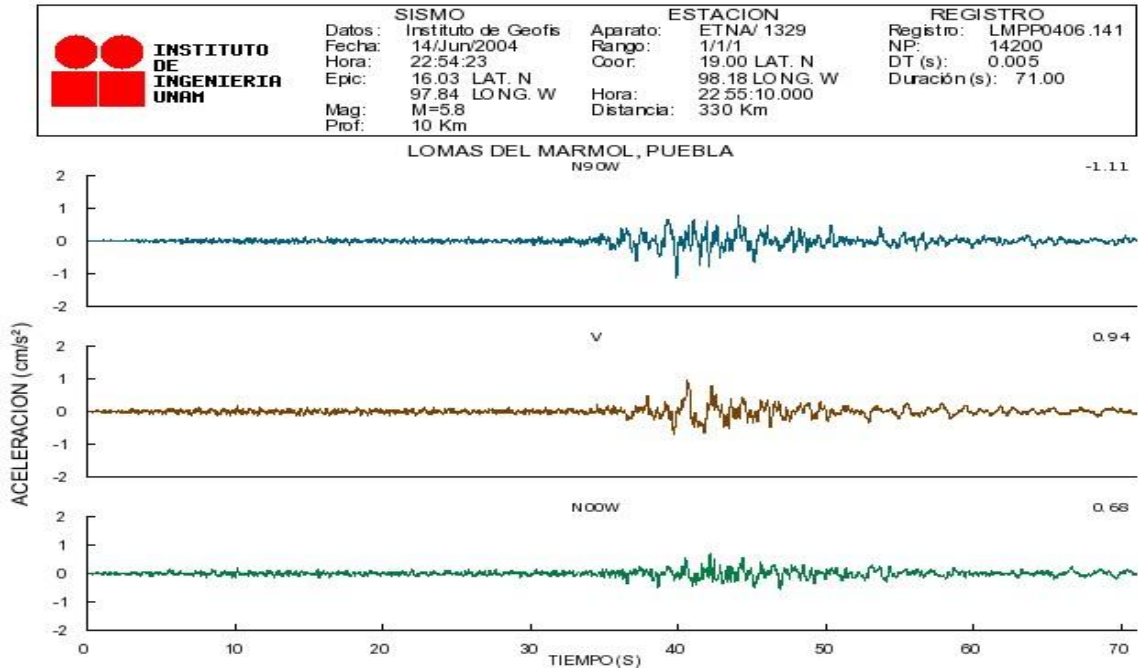


Figura II.2 Acelerograma generado en la estación LMPP el día 14 de junio de 2004

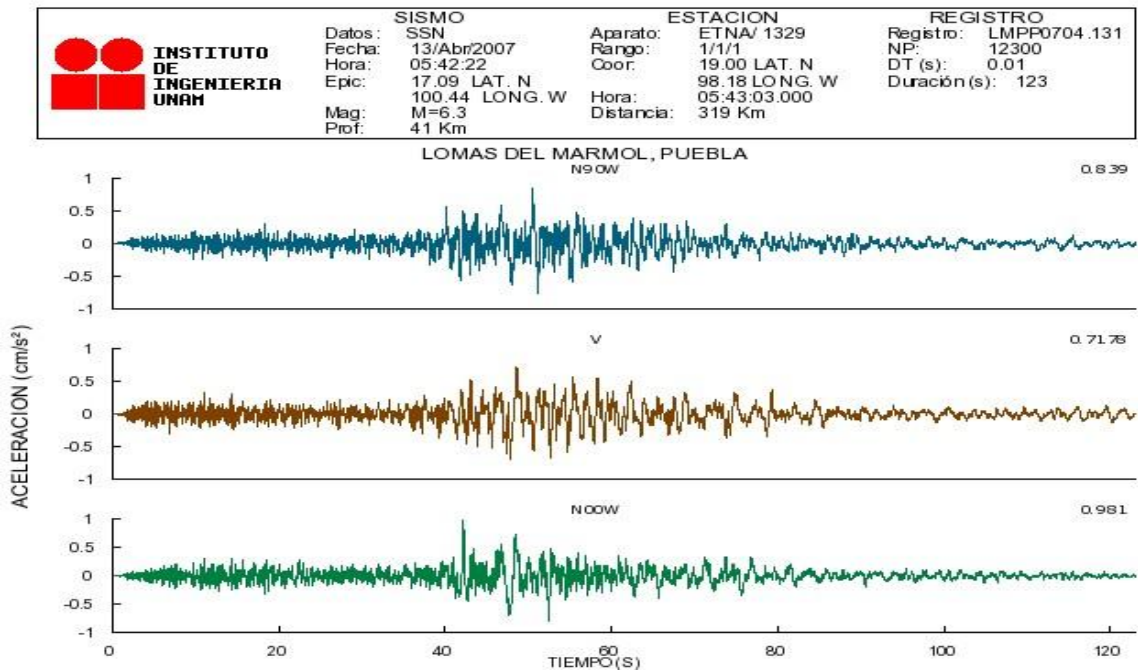


Figura II.3 Acelerograma generado en la estación LMPP el día 13 de abril de 2007

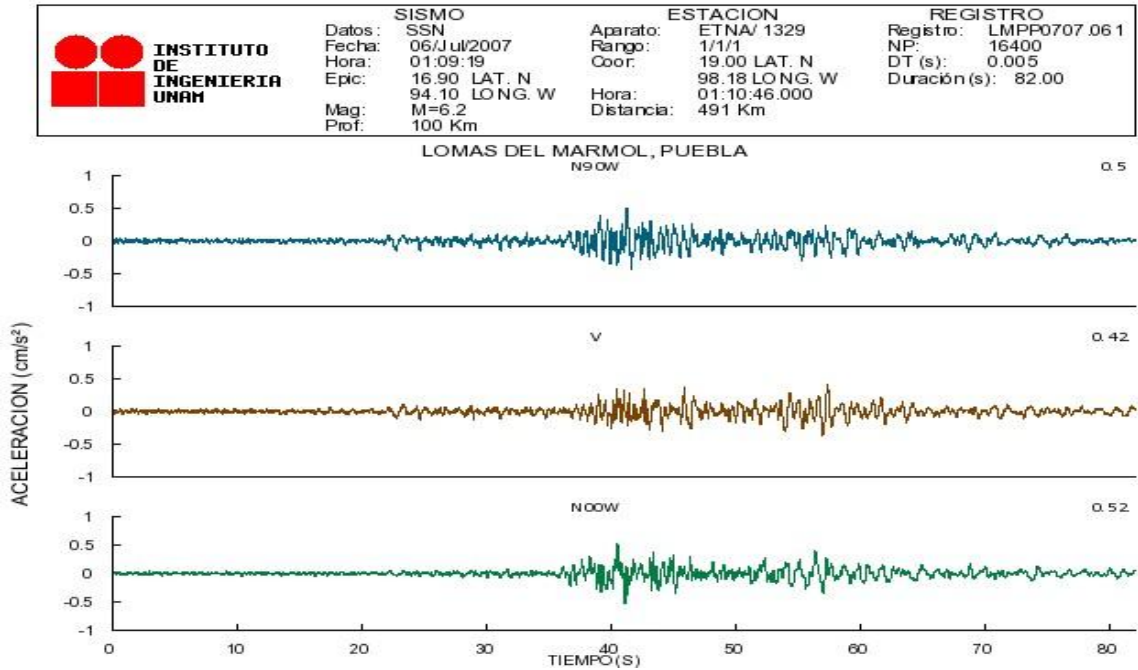


Figura II.4 Acelerograma generado en la estación LMPP el día 6 de julio de 2007

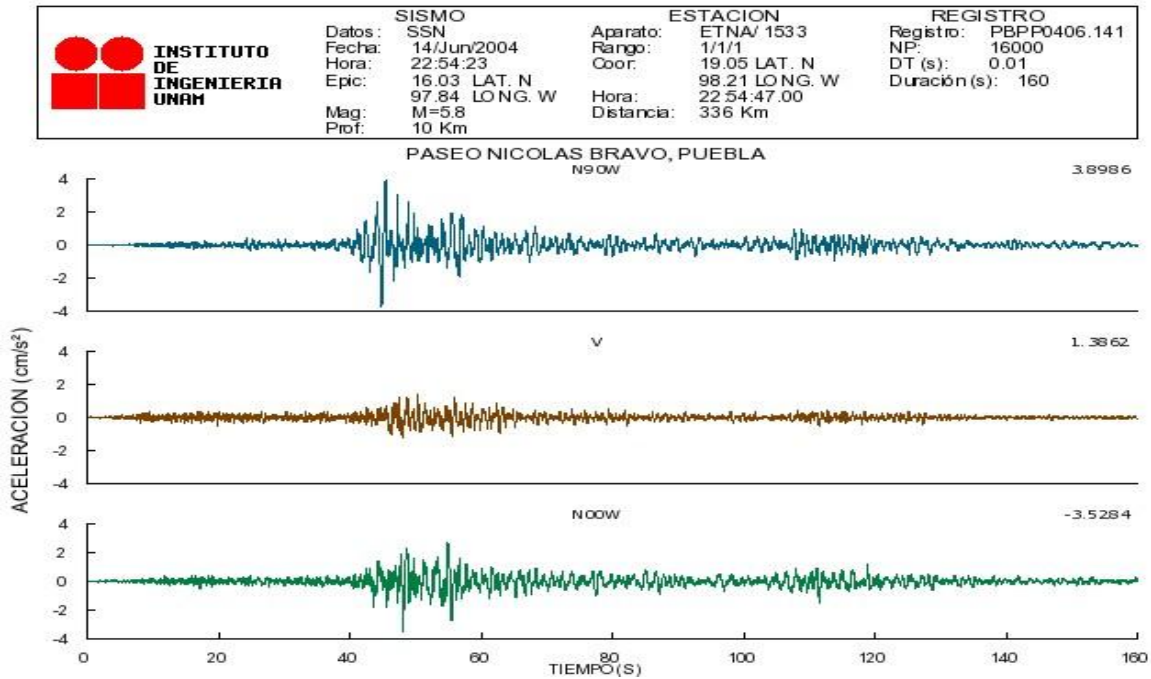


Figura II.5 Acelerograma generado en la estación PBPP el día 14 de junio de 2004

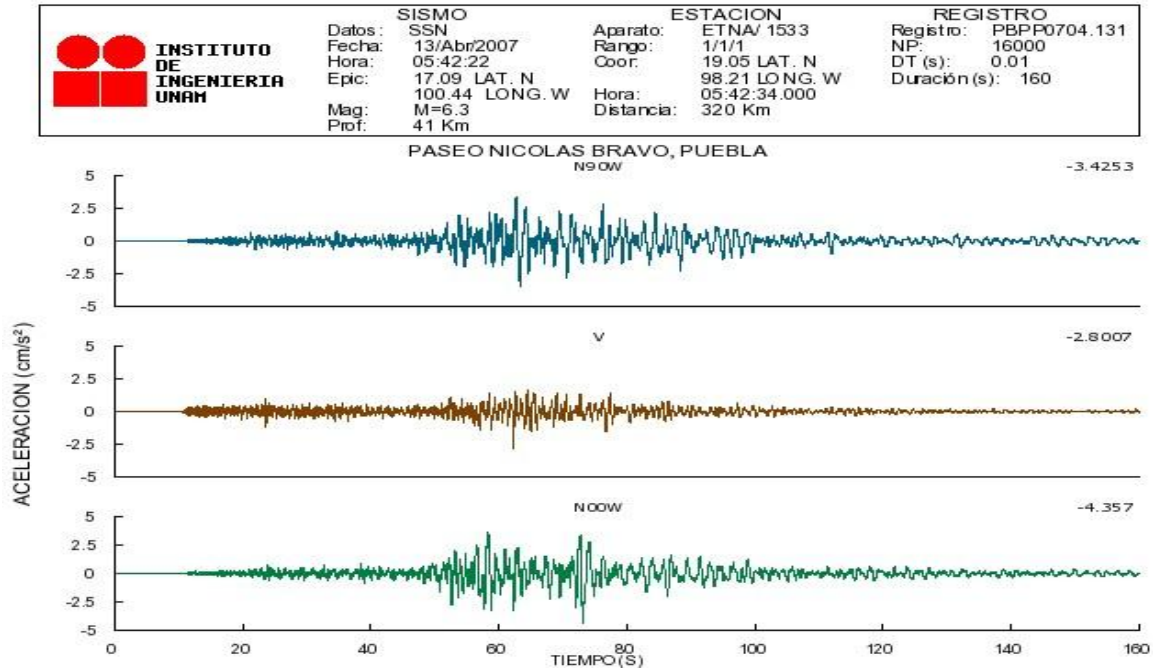


Figura II.6 Acelerograma generado en la estación PBPP el día 13 de abril de 2007

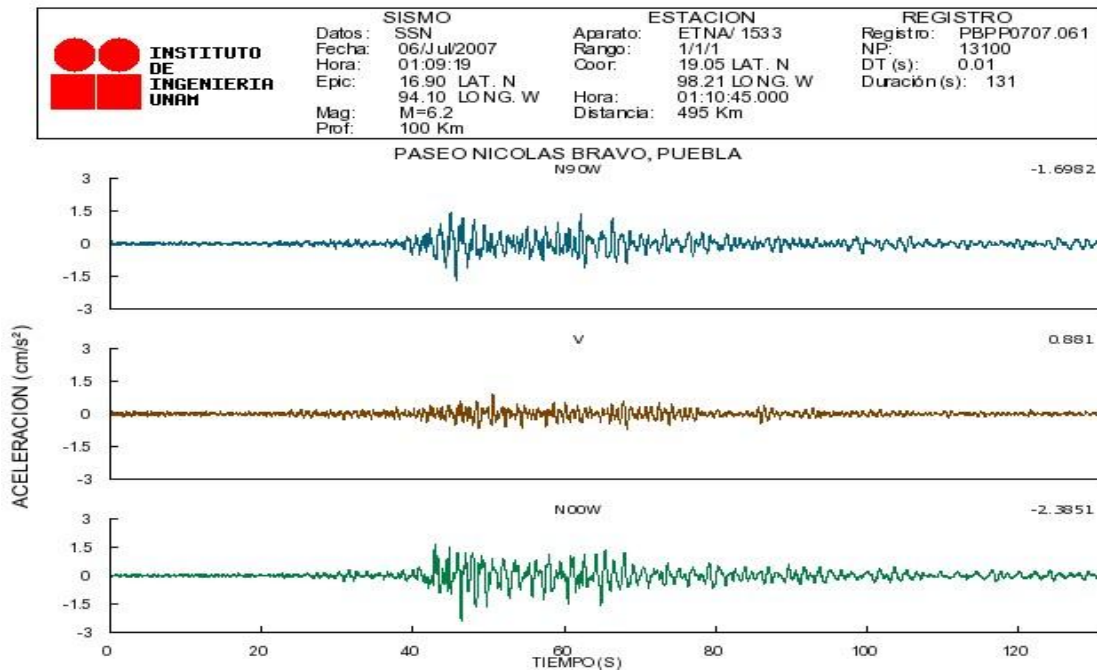


Figura II.7 Acelerograma generado en la estación PBPP el día 6 de julio de 2007