

Instituto de Protección Civil del Estado de México

Cuaderno de Investigación

3



La Sismicidad Como Método de Investigación, Aplicada a la Protección Civil



***La Sismicidad Como Método de
Investigación, Aplicada a la
Protección Civil***

**Instituto de Protección Civil
del Estado de México**

Cuaderno de Investigación 3

Directorio

Lic. Arturo Montiel Rojas,
Gobernador Constitucional del Estado de México.

Ing. Manuel Cadena Morales,
Secretario General de Gobierno.

Dr. Miguel Ángel Contreras Nieto,
Subsecretario de seguridad Pública

Arq. Miguel Ángel Cruz Guerrero,
Director General del Instituto de Protección Civil.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	9
La República Mexicana en el Contexto Sísmico Global.....	11
Tectónica de Placas.....	11
Fenómeno de Subducción.....	11
Fenómeno de Transcurrencia.....	12
Sismos.....	12
Escalas Sísmicas.....	13
Escalas de Intensidad.....	13
Escala de Magnitud.....	17
Zonas Sísmicas de la República Mexicana.....	18
Aplicación a la Investigación Vulcanológica.....	19
Tipos de Sismos Volcánicos.....	21
Riesgo Sísmico.....	24
Sismicidad Reciente en el Estado de México.....	26
Red Sismo-Volcánica en el Estado de México.....	28
Sistema de Alerta Sísmica (SAS).....	28
¿Qué Hacer Cuando Ocurre un Sismo?.....	29
¿Qué Hacer Después de que Ocurra un Sismo?.....	32
Conclusiones y Observaciones.....	33
Referencias.....	35
Créditos.....	36

PRESENTACIÓN

La presente publicación, forma parte de la serie Cuadernos de Investigación que realiza el Instituto de Protección Civil del Estado de México, donde se divulga parte del quehacer científico de investigación que realizan sus investigadores dentro del territorio estatal.

Así, con la finalidad de acrecentar el conocimiento de las técnicas utilizadas para el tratamiento de problemas de riesgo que se presentan en el Estado de México, el Instituto de Protección Civil del Estado de México, ha realizado distintas actividades relacionadas con el método sísmico, aplicado a la solución de problemas, como un medio de prevención hacia la población.

Mediante el presente trabajo se da un panorama general y específico de ésta herramienta, tan importante en cuanto a su aplicación y bondades dentro de las Ciencias de la Tierra.

Se describe su aplicación en la problemática de volcanes activos y se ejemplifica con el volcán Popocatepetl, además de tener una gama muy diversa de enfoques en otros fenómenos, tales como la geotermia, exploración minera, petrolera, etc.

El Instituto de Protección Civil del Estado de México continúa con este tercer cuaderno la presentación formal de los estudios que se consideran de interés general entre la comunidad, para difundir los resultados de las diversas investigaciones que realiza en este tema conjuntamente con el Servicio Sismológico Nacional del Instituto de Geofísica de la UNAM, encaminadas a mejorar el conocimiento y emitir recomendaciones, normas y medidas tendientes a salvaguardar el bienestar de la población.

INTRODUCCIÓN

El método de sismicidad, tiene una gran aplicación en muchas ramas de las Ciencias de la Tierra, ya que sirve como una herramienta por ejemplo para la búsqueda de hidrocarburos, para determinar la respuesta sísmica en edificaciones, presas, definición de cámaras magmáticas en volcanes activos, reservorios de energía geotérmica, etc. etc.

La aplicación de éste método, consiste en medir los movimientos ya sean naturales o inducidos, dependiendo del objetivo que se persiga, mediante la utilización de sismógrafos (de período corto o largo) y acelerógrafos, con los que se registran los movimientos (sismos) del terreno y/o estructuras, representados mediante una traza continua, la cual es analizada posteriormente con ayuda de técnicas especializadas para determinar los denominados epicentros o la respuesta sísmica del terreno y/o estructura. Es así por ejemplo que se puede conocer la profundidad y dimensiones de una cámara magmática, de una falla activa o más aún la respuesta sísmica del terreno tan útil para el diseño de edificaciones y diversos tipos de estructuras como puentes, presas, etc.

El objetivo de éste trabajo es mostrar las bondades y alcances del método, debido a que la República Mexicana se encuentra inmersa en el contexto de las placas de Cocos, Norteamericana y del Pacífico, que son las causantes de la mayor parte de la sismicidad durante su interacción. Así mismo, se describen las zonas sísmicas del país, las escalas más usuales para medir los sismos y su aplicación a la investigación.

Ahora bien, estando situada la República Mexicana en una de las regiones sísmicas más activas del mundo, no fue sino hasta el 5 de septiembre de 1910, en que se instalaron los primeros equipos en el Observatorio de Tacubaya, D.F., dependiente del Instituto Geológico Nacional, de la Secretaría de Minería y Fomento, con la finalidad de registrar la sismicidad o “temblores” que ya se venían anotando de alguna manera mediante descripciones puramente objetivas en función de los daños y movimientos en las casas y objetos circundantes de quienes así lo describieron.

Estos antecedentes son remotos, ya que los primeros pobladores de México sufrieron los efectos de la actividad sísmica y volcánica en diversas regiones, dejando su testimonio de diversas maneras.

LA REPÚBLICA MEXICANA EN EL CONTEXTO SÍSMICO GLOBAL

Tectónica de Placas

El globo terráqueo se encuentra dividido en 13 grandes placas (figura 1), las cuales se mueven entre sí. Los continentes han variado su posición relativa a través del tiempo geológico y se cree que en una época formaron un gran supercontinente llamado Pangea. Esto nos explica el ajuste que existe entre las costas de Sudamérica y África.

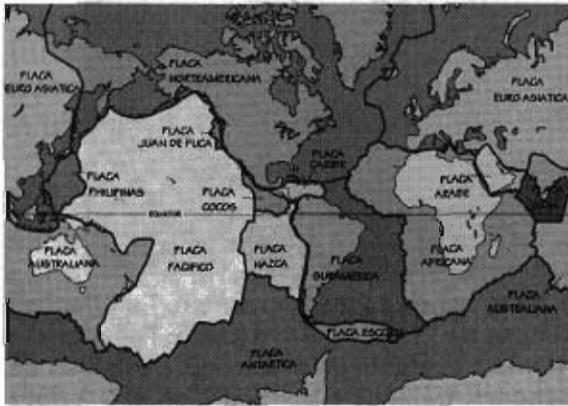


Figura 1. Distribución de las 13 principales placas tectónicas, las cuales tienen movimientos relativos unas con otras, de distinta índole (tomada de Earthquake Image Glossary, USGS)

El movimiento de estas placas es de distinta índole, ya que ocurren "choques" entre ellas (placas Índia y Euroasiática), de subducción (placas de Cocos y Norteamericana), de transcurrancia (placas Norteamericana y del Caribe) o de divergencia (placas Sudamericana y Africana), además de diversos fenómenos asociados a las mismas como la zona de falla de San Andrés en California.

En México, la sismicidad está íntimamente relacionada a dos de estos tipos de movimientos principalmente: subducción (placas de Norteamérica y Cocos) y transcurrancia (placas de

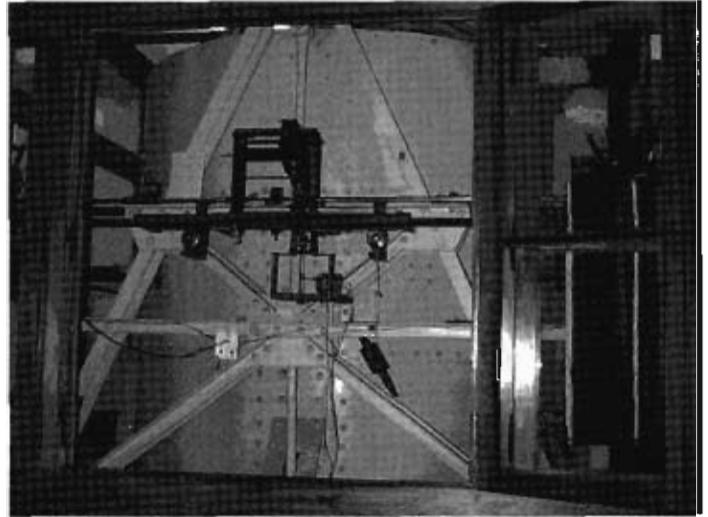


Foto 1. Sismógrafo Wiechert de 17,000 kg, el cual fue instalado a principios del siglo XX y que aún sigue funcionando en el Observatorio de Tacubaya, D.F. (tomada de la página de internet del SSN)

Norteamérica y del Caribe), mediante los cuales se genera prácticamente el 100% de la sismicidad.

Fenómeno de Subducción

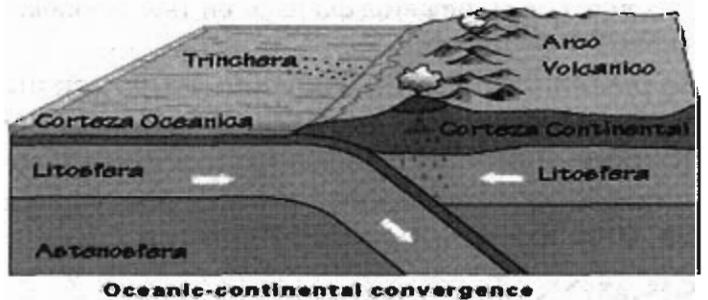
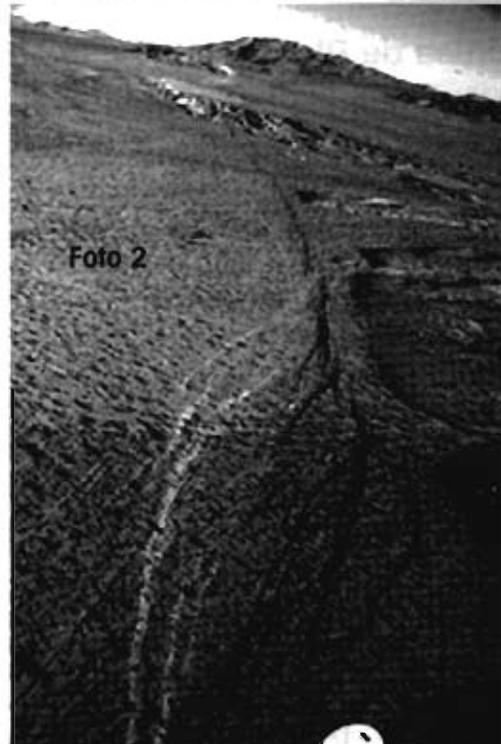
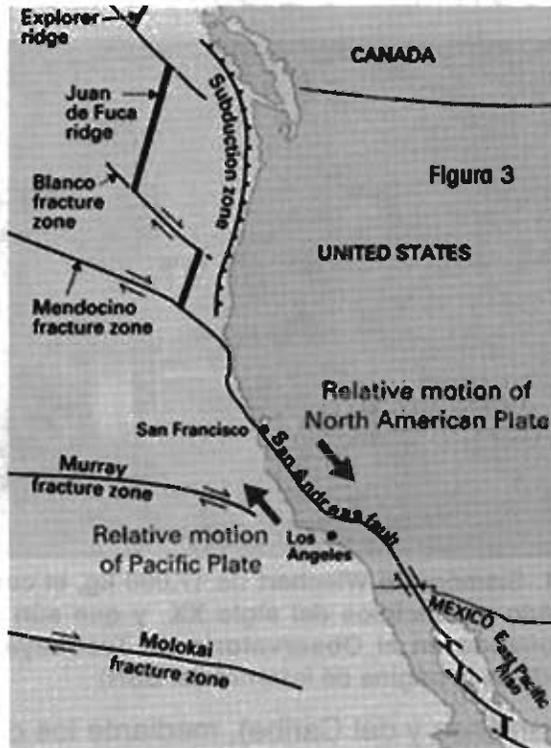


Figura 2. Esquema, que muestra el movimiento de subducción entre dos placas, como es el caso de la de Cocos (fondo oceánico) y la Norteamericana (continente). Tomada de Terremotos y Ondas sísmicas, de J.M. Espíndola y Zenón Jiménez)

Se da cuando el movimiento relativo entre ellas (figura 2) hace que unas se encimen sobre otras o "cabalguen". A éste proceso se le conoce como subducción, durante el cual se generan los grandes sismos que tanto daño han causado en el país, sobre todo en el valle de México, que incluye parte del Estado de México.

Fenómeno de Transcurrencia



En la figura 3, aparece la falla de San Andrés y otra serie de fallas en el piso oceánico. Las flechas indican el movimiento de transcurrencia de los bloques (tomada de "This dynamic Earth: The story of plate tectonics", U.S. Geological Survey). En la foto 2, se aprecia el efecto en el terreno, de la falla de Emerson, que al romperse dio lugar en 1992 al sismo de Landers, Calif. de Magnitud Richter 7.2 (foto de Kerry Sieh, Caltech)

Se presenta cuando un bloque del terreno se desplaza en una dirección contraria respecto del otro bloque, como es el caso de la falla de San Andrés (figura 3), en el Estado de California, USA. Esto mismo se ilustra en el terreno, mediante los efectos causados (foto 2) por el rompimiento de la falla de Emerson, que dio lugar en 1992 al sismo de Landers, en California, USA. Con una magnitud Richter de 7.2.

SISMOS

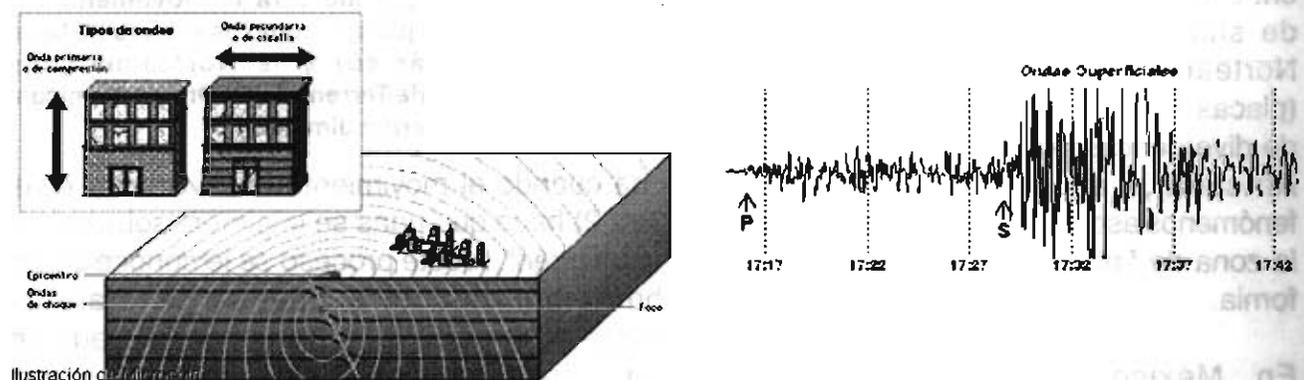


Figura 4. Aquí se ilustra el hipocentro o foco y el tipo de señal registrada mediante un sismógrafo. El primer arribo corresponde a las ondas P y el paquete más energético contiene el arribo de la onda S, más las ondas superficiales (tomada de la página de internet del SSN)

En el diagrama de la figura 4, se ilustra el arribo de la onda P o primaria, que se transmite de forma longitudinal; el arribo de la onda S o secundaria que viaja transversalmente y las ondas superficiales que viajan por la superficie, las cuales se encuentran contenidas dentro del paquete más energético del sismo y que es el que causa el daño a las estructuras. Las ondas P son las de mayor velocidad (11 km/s), por lo que son las que se registran primero en un sismógrafo.

En éste sismograma, se señalan los puntos correspondientes a la llegada de la primera onda P y de las ondas S.

Debe observarse que las frecuencias son diferentes en el “paquete” comprendido entre P y S y en el cuerpo principal o más energético de la onda, luego de lo cual empieza el “amortiguamiento” o decadencia del movimiento sísmico. Así mismo, se observa que el cuerpo principal de la misma onda es de mayor amplitud, lo que implica el mayor contenido de energía “o movimiento más fuerte del sismo o temblor”.

También, se ilustra el foco o sitio donde se genera el sismo y que corresponde a un punto (x, y, z) cualquiera dentro del interior de la Tierra, además del epicentro o punto (x, y) sobre la superficie de la Tierra, que corresponde verticalmente al punto por encima del foco o hipocentro.

Así por ejemplo, podemos decir que el foco o hipocentro de un sismo es $90^{\circ} 30' 45''$ de Longitud Oeste, $19^{\circ} 15' 25''$ de Latitud Norte y 30 km de profundidad (x, y, z), mientras que el epicentro es solo $90^{\circ} 30' 45''$ de Longitud Oeste y $19^{\circ} 15' 25''$ de Latitud Norte (x, y).

ESCALAS SÍSMICAS

Escalas de Intensidad

A través del tiempo, los temblores se catalogaron por medio de una clasificación empírica, tomando en cuenta únicamente los efectos observables, pero debido a la necesidad de tener algo medible, aparecieron las escalas para cuantificarlos.

Así, aparece la escala de Intensidad, relacionada con los daños producidos por un sismo y su impacto en la población, las construcciones y la naturaleza. Esta escala o tabla fue propuesta en 1902, por Mercalli, modificada posteriormente en 1931 y desde entonces se ha llamado escala Modificada de Mercalli (mm). Ésta no es la única, pero sí la más usada en nuestro continente y consta de 12 grados de *intensidad* que son denotados por números romanos del I al XII (figura 5).

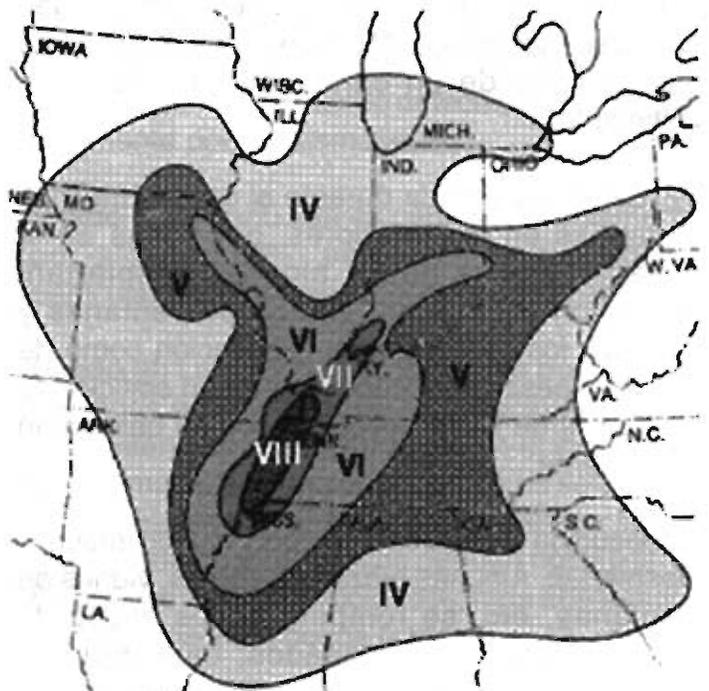


Figura 5. Aquí se ilustra la zona de Nueva Madrid, USA y los diferentes grados de intensidad de un temblor en la escala de Mercalli. Obviamente, el epicentro corresponde a la parte central marcada con el número romano VIII (imagen cortesía del Central U.S. Earthquake Consortium)



La intensidad, describe la severidad de un sismo o "temblor" en función de sus efectos sobre el terreno o sobre las casas y muebles, vistos y descritos por las personas. Hay otra escala denominada de Rossi Forel, pero la más usada es la de Mercalli.

En seguida, se presenta la Escala de Mercalli modificada en 1931, por Harry O. Wood y Frank Neuman.

I. Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.

II. Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.

III. Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable.

IV. Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.

V. Sacudida sentida casi por todo mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajillas, vidrios de ventanas, etc. se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo.

VI. Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio;

pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.

VII. Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; ruptura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.

VIII. Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían carros de motor.

IX. Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.

X. Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.

Sismicidad

XI. Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.

XII. Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel. Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

En Europa utilizan una escala similar denominada MSK, que también está dividida en 12 grados, la cual está relacionada con el tipo de construcciones y la clase de daños, como se describe más adelante.

Los efectos que definen los grados de intensidad MSK son:

- Los sentidos por las personas y percibidos en su medio ambiente.
- Los daños producidos en las construcciones según sus diversos tipos.
- Los cambios advertidos en la naturaleza.

También, se consideran aquí tres tipos de construcción para relacionar los daños:

- Tipo A: con muros de mampostería en seco o con barro, de adobes y de tapial.
- Tipo B: con muros de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, de mampostería con mortero, de sillarejo y entramados de madera.
- Tipo C: con estructura metálica o de hormigón armado.

Los daños, a su vez se clasifican en cinco clases:

- Clase 1: Daños ligeros: fisuras en los revestimientos y caída de pequeños trozos de revestimientos.
- Clase 2: Daños moderados: fisuras en los muros, caída de grandes trozos de revestimiento, de tejas y de pretilas, grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales en las mismas.
- Clase 3: Daños graves: grietas en los muros, caída de chimeneas de fábrica o de otros elementos exteriores.
- Clase 4: Destrucción: brechas en los muros resistentes, derrumbamiento parcial, pérdida de enlace entre distintas partes de la construcción, destrucción de tabiques y muros de cerramiento.
- Clase 5: Colapso: ruina completa de la construcción.

Así, los grados de intensidad MSK son:

Grado I: La sacudida no es percibida por los sentidos humanos, siendo detectada y registrada solamente por los sismógrafos.

Grado II: La sacudida es perceptible solamente por algunas (5%) personas en reposo, en particular en los pisos superiores de los edificios.

Grado III: La sacudida es percibida por algunas personas en el interior de los edificios y sólo en circunstancias muy favorables, en el exterior de los mismos. La vibración percibida es semejante a la causada por el paso de un camión ligero. Observadores muy atentos pueden notar ligeros balanceos de objetos colgados, más acentuados en los pisos altos de los edificios.

Grado IV: El sismo es percibido por personas en el interior de los edificios y por algunas en el exterior. Algunas personas (5%) se despiertan, pero nadie se atemoriza. La vibración es comparable a la producida por el paso de un camión pesado con carga. Las ventanas, puertas y vajillas vibran. Los pisos y muros producen chasquidos, el mobiliario comienza a moverse.



Los líquidos contenidos en recipientes abiertos se agitan ligeramente.

Grado V: El sismo es percibido en el interior de los edificios por la mayoría (75 %) de las personas y por muchas en el exterior. Muchas personas (50 %) que duermen se despiertan y algunas huyen. Los animales se ponen nerviosos. Las construcciones se agitan.

Grado VI: Lo siente la mayoría (75 %) de las personas, tanto dentro como fuera de los edificios. Muchas personas (50 %) salen a la calle atemorizadas y algunas pierden el equilibrio. Los animales domésticos huyen de los establos. En algunas ocasiones, la vajilla y la cristalería se rompe, los libros caen de sus estantes, los cuadros se mueven y los objetos inestables vuelcan. Los muebles pesados pueden llegar a moverse. Las campanas pequeñas de torres y campanarios pueden sonar. Se producen daños moderados (clase 2) en algunas construcciones del tipo A, daños ligeros (clase 1) en construcciones del tipo B y en muchas del tipo A.

Grado VII: La mayoría de las personas (75 %) se aterroriza y corre a la calle. Muchas (50%) tienen dificultad para mantenerse en pie. Las vibraciones son sentidas por personas que conducen automóviles. Suenan las campanas grandes.

En las construcciones de tipo A, muchas sufren daños graves (clase 3) y algunas incluso destrucción (clase 4). En las del tipo B, muchas sufren daños moderados (clase 2) y en las del tipo C, algunos experimentan daños ligeros (clase 1)

En algunos casos se producen deslizamientos en las carreteras que transcurren sobre las laderas con pendientes acusadas; se producen daños en las juntas de las canalizaciones y aparecen fisuras en muros de piedra.

Se aprecia oleaje en las lagunas y el agua se enturbia. Cambia el nivel de agua de los pozos y

el caudal de los manantiales. En algunos casos, vuelven a manar manantiales que estaban secos y se secan otros que manaban.

Grado VIII: Miedo y pánico general, incluso en las personas que conducen automóviles. En algunos casos se desgajan las ramas de los árboles. Los muebles, incluso los pesados, se desplazan o vuelcan. Las lámparas colgadas sufren daños parciales. En las construcciones de tipo A, muchas sufren destrucción (clase 4) y algunas colapsos (clase 5). En las del tipo B, muchas sufren daños graves (clase 3) y algunas destrucciones (clase 4). Y, en las del tipo C, muchas sufren daños moderados (clase 2) y algunas graves (clase 3).

También ocurren pequeños deslizamientos en las laderas de los barrancos y en las trincheras y terraplenes con pendientes pronunciadas. Grietas en el suelo de varios centímetros de ancho. Se enturbia el agua de los lagos y aparecen nuevos manantiales. Vuelven a tener agua pozos secos y se secan pozos existentes. En muchos casos cambia el caudal y el nivel de agua de los manantiales y pozos.

Grado IX: Pánico General. Daños considerables en el mobiliario. Los animales corren confusamente y emiten sus sonidos peculiares. En las construcciones de tipo A, muchas sufren colapso (clase 5), en las del tipo B, muchas sufren destrucción (clase 4) y algunas colapsan (clase 5) y en las de tipo C, muchas sufren daños graves (clase 3) y algunas destrucción (clase 4).

También ocurren daños considerables en depósitos de líquidos y se rompen parcialmente las canalizaciones subterráneas. En algunos casos, los

carriles del ferrocarril se curvan y las carreteras quedan fuera de servicio. Se abren grietas en el terreno de hasta 10 centímetros de ancho y de más de 10 centímetros en las laderas y en los márgenes de los ríos. Aparecen además, numerosas grietas pequeñas en el suelo, desprendimientos de rocas y aludes. Muchos deslizamientos de tierras y grandes olas en lagos y embalses. Se renuevan pozos secos y se secan otros existentes.

Grado X: La mayoría de las construcciones del tipo A y muchas del tipo B sufren colapso (clase 5). Muchas construcciones del tipo C sufren destrucción (clase 4) y algunas colapso (clase 5).

Se producen daños peligrosos en las presas y daños serios en los puentes. Los carriles de las vías férreas se desvían y a veces se ondulan. Las canalizaciones subterráneas se rompen. El pavimento de las calles y el asfalto forman grandes ondulaciones. Grietas en el suelo de algunos decímetros de ancho que pueden llegar a un metro. Se producen anchas grietas paralelamente a los cursos de los ríos. Deslizamientos de tierras sueltas en las laderas con fuertes pendientes. En las riberas de los ríos y en las laderas escarpadas se producen considerables deslizamientos. Desplazamientos de arenas y fangos en las zonas litorales. Cambio del nivel de agua en los pozos. El agua de canales y ríos es lanzada fuera de su cauce normal. Se forman nuevos lagos.

Grado XI: Las construcciones con graves daños o colapsadas. Daños importantes en presas, puentes y líneas de ferrocarril. Las carreteras importantes quedan fuera de servicio y las canalizaciones subterráneas quedan

destruidas. El terreno queda considerablemente deformado tanto por desplazamientos de terrenos como por caída de rocas.

Grado XII: Prácticamente se destruyen o quedan gravemente dañadas todas las estructuras, incluso las subterráneas. La topografía cambia. Grandes grietas en el terreno con importantes desplazamientos horizontales y verticales. Caída de rocas y hundimientos en los escarpes de los valles, producidas en vastas extensiones, se cierran valles y se transforman en lagos. Aparecen cascadas y se desvían los ríos.

Escala de Magnitud

Existe otra escala que es la más usada para clasificar los sismos debida a Charles F. Richter quien en 1935 la definió como de *magnitud*, basada en la energía liberada durante un sismo y que puede ser calculada mediante los tiempos de arribo (ver figura 6) de las ondas P, S, amplitud máxima de las ondas S, duración total del evento y otros parámetros propios de la estación sísmica.

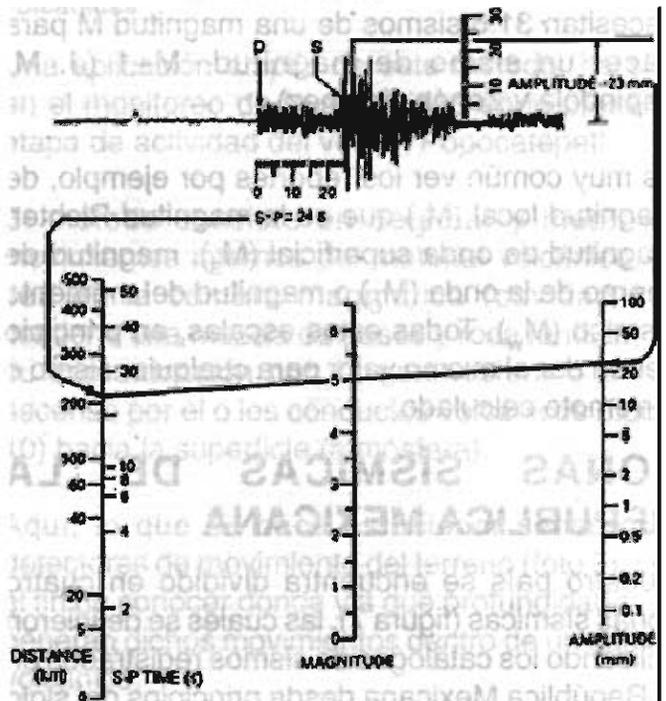


Figura 6. Aquí se ilustra la traza de un sismo y la determinación de algunos de sus parámetros, tales como los tiempos de arribo de las ondas P, S, amplitud y sus escalas de representación (tomada de Earthquake Image Glossary, USGS)

En la escala de Richter que va del 1 al 10, la magnitud se expresa mediante números enteros y decimales, como por ejemplo el sismo de **8.1** grados que ocurrió en México el 19 de septiembre de 1985. En esta escala, la energía liberada por ejemplo en un sismo de 6 grados de magnitud, corresponde a casi 32 veces más la energía liberada en un sismo de 5 grados, o para uno de 8 grados, también corresponde a casi 31 veces más energía liberada que en uno de 7 grados.

Lo anterior se debe a que la relación entre magnitud y energía es logarítmica, es decir cuando la magnitud aumenta en una unidad el logaritmo de la energía también lo hace. Por otra parte, el logaritmo es el exponente al que hay que elevar la base 10 para obtener la energía. Por ésta razón, la energía aumenta aproximadamente 31.6 veces por cada grado. Así, se requiere la ocurrencia de alrededor de unos 31 sismos de una magnitud dada para liberar la misma cantidad que libera el sismo de una magnitud superior en una unidad o, permitiéndonos cierta licencia en el lenguaje, se necesitan 31.6 sismos de una magnitud M para hacer un sismo de magnitud $M+1$ (J. M. Espíndola y Zenón Jiménez).

Es muy común ver los reportes por ejemplo, de magnitud local (M_L) que es la magnitud Richter, magnitud de onda superficial (M_S), magnitud de cuerpo de la onda (M_C) o magnitud del momento sísmico (M_W). Todas estas escalas, en principio deben dar el mismo valor para cualquier sismo o terremoto calculado.

ZONAS SÍSMICAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA

Nuestro país se encuentra dividido en cuatro zonas sísmicas (figura 7), las cuales se definieron utilizando los catálogos de sismos registrados en la República Mexicana desde principios del siglo XX. Aquí se consideraron los grandes sismos que aparecen en los registros históricos y los de aceleración del suelo de algunos “temblores” grandes, ocurridos en éste mismo siglo. Estas

zonas, son un reflejo de qué tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un siglo.

Así, la **zona “A”** es donde no se tienen registros históricos de sismos, ni se han reportado eventos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

La **zona “D”** es donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de estos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. Las **zonas B y C** son intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

Aunque el Estado de México se encuentra ubicado en la zona “B”, debido a las condiciones del subsuelo del Valle de México, pueden esperarse altas aceleraciones, sobre todo en lo que fueron zonas lacustres dentro de la Zona Metropolitana.



Figura 7. Zonificación sísmica de la República Mexicana, utilizando información registrada de principios del siglo XX, lo que permitió definir 4 zonas: A, B, C y D (tomada de la página de internet del SSN)

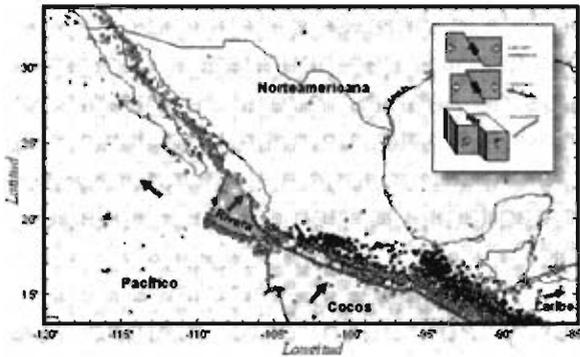
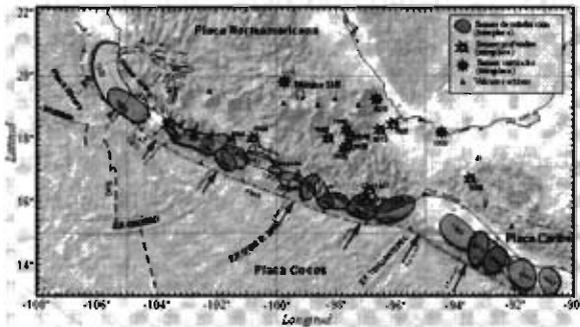


Figura 8. Sismicidad de la República Mexicana. Nótese la estrecha relación con el tectonismo de las placas de Cocos, de Rivera, del Caribe, Norteamericana, del Pacífico y con la Faja Volcánica Transmexicana, además de las fallas escalonadas dentro del Golfo de California. Los puntos representan sismos



Año	Mes	Día	Tiempo (Hora GMT)	Latitud N	Longitud W	Prof. (km)	Magnitud Richter	Zona
1912	11	19	13:55:07	19.830°	99.830°	33	6.9	Faja volcánica central

Figura 9. Ubicación del sismo de Acambay del 19 de noviembre de 1912 al noroeste de la ciudad de México cuyos parámetros se establecen en la tabla inferior (página de internet del SSN)

Como la mayor parte de los sismos que se presentan en México y en el mundo se relacionan directamente con el movimiento de las placas tectónicas (figura 8), hay sismos menos frecuentes que ocurren en los continentes, hacia el interior de las placas; éste es el caso de los sismos que se registran a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana y localmente en el Estado de México.

A pesar de que los sismos que se generan en dicha Faja Volcánica generalmente son pequeños, ocasionalmente ocurren eventos de

mayor magnitud como el de Acambay, Estado de México en 1912, cuya magnitud Richter fue de 6.9. Los parámetros de dicho sismo aparecen en la parte inferior de la figura 9.

APLICACIÓN A LA INVESTIGACIÓN VULCANOLÓGICA

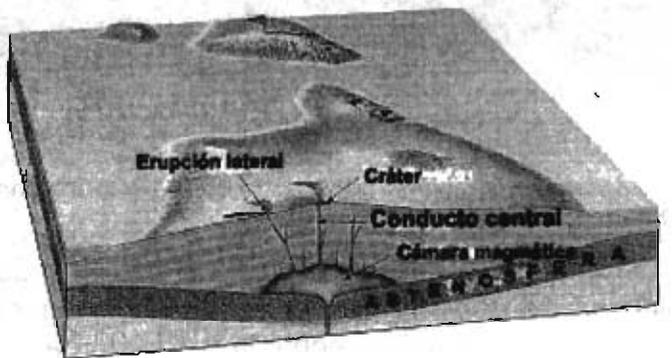


Figura 10. En éste diagrama se ilustra la cámara magmática y los conductos por donde generalmente sale el material volcánico hacia la atmósfera, generando así la actividad sísmica característica de zonas volcánicas

Una aplicación amplia de éste método, ha sido en el monitoreo de la sismicidad en la presente etapa de actividad del volcán Popocatepetl.

El método consiste en detectar y medir los movimientos internos del material volcánico, ya sea en la cámara magmática (cavidad que contiene una mezcla de gases y roca fundida) en su comunicación con la astenosfera o en su ascenso por el o los conductos volcánicos (figura 10) hacia la superficie (atmósfera).

Aquí, lo que se hace es colocar sensores o detectores de movimiento del terreno (foto 3), con el fin de conocer dónde y a qué profundidades se generan dichos movimientos dentro de un edificio volcánico.

Cuando el material volcánico (mezcla de gases y roca fundida) desequilibra al sistema "cámara magmática" en el interior del volcán, trata de



Foto 3. En ésta imagen, se muestra un sismógrafo con su sensor (cilindro de la derecha), para detectar los movimientos sísmicos generados en la parte interna del volcán Popocatepetl

buscar salida, migrando por las partes más débiles del conducto hacia la superficie (figura 11), provocando inicialmente la salida de gases y la consecuente generación de movimientos sísmicos, ya que las rocas aledañas tanto de la cámara como del o los conductos se fracturan dando lugar a la sismicidad.

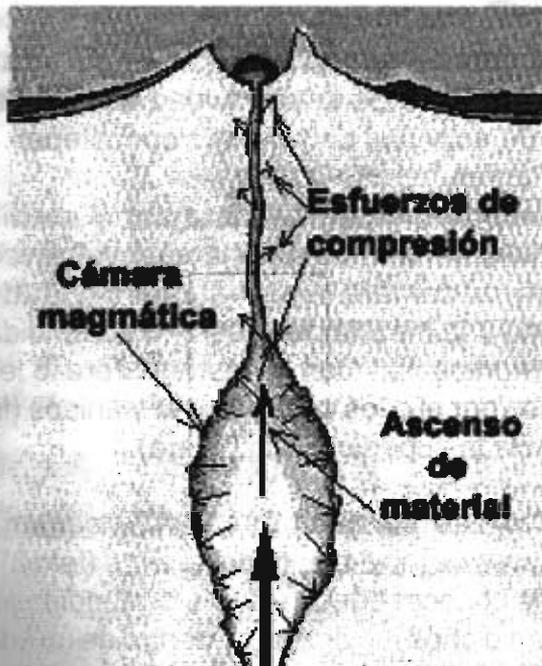


Figura 11. En éste diagrama se ilustran los esfuerzos de compresión dentro de la cámara magmática y los conductos por donde generalmente sale el material volcánico hacia la atmósfera, dando lugar a la sismicidad típica de volcanes (Modificado del bosquejo de B. Myers. Fotoglosario del USGS)

De ésta manera, se genera una gama de movimientos que dan lugar a diferentes tipos de señales, que si se interpretan correctamente, permitirán realizar una adecuada vigilancia y monitoreo del comportamiento interno de la actividad del volcán.

Así y aplicando éste método, se implementó el sistema de vigilancia y monitoreo sísmico en el volcán Popocatepetl por el Centro Nacional de Prevención de Desastres y el Instituto de Geofísica de la UNAM, ya que a raíz del incremento de su actividad a finales de 1993, se determinó establecer una red (figura 12) de sismógrafos, a fin de darle seguimiento.

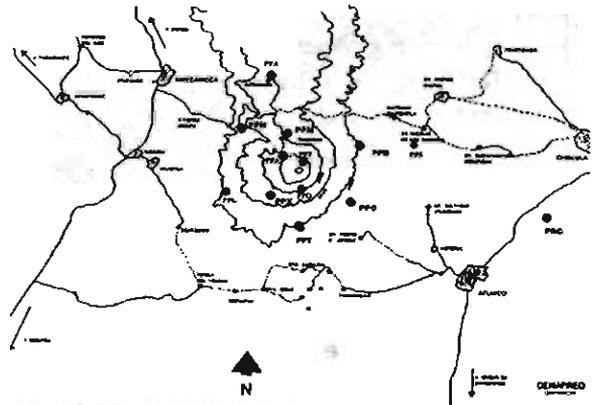


Figura 12. En éste mapa, aparecen los distintos sitios o estaciones donde se colocaron sismógrafos y otros equipos adicionales. El cubrimiento fue diseñado a fin de tener un conocimiento adecuado de los puntos donde se generó la sismicidad dentro y en las cercanías del edificio volcánico. Ésta red continúa en operación actualmente

ESTACIÓN	NOMBRE	DISTANCIA DESDE EL CRÁTER EN km	ALTITUD EN m	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	TIPO DE EQUIPO
PPP	CANARJO	2.30	4,280	19.0412°	98.6290°	Sismómetro biaxial (1Hz)
PPA	ALTOMOR	12.00	4,000	19.1204°	98.6808°	Sismómetro vertical (1Hz)
PFX	CHIPIQUIXTLE	3.85	3,980	19.0088°	98.6882°	Sismómetro biaxial (1Hz)
PPM	TLAMACAS	4.85	3,980	19.0653°	98.6270°	Sismómetro biaxial (1Hz)
PPN	YOLOXÓCHITL	7.80	3,700	19.0744°	98.6738°	Sismómetro vertical (1Hz)
PPT	TETEXCALCO	6.25	3,300	19.9745°	98.6241°	Sismómetro biaxial (1Hz)
PPB	BONSAI	6.85	3,080	19.0498°	98.2600°	Sismómetro vertical (1Hz)
PFC	COLIBRI	7.85	2,850	19.9870°	98.6572°	Sismómetro biaxial (1Hz)
PPQ	CUERVOS	2.45	4,200	19.0039°	98.6246°	Sismómetro biaxial (1Hz)
PFJ	LOS JUNCOS	2.65	4,452	19.0342°	98.6446°	Sismómetro biaxial (1Hz)
PRC	CALO	29.30	2,000	19.9841°	98.3448°	Receptor

Tabla 1. Red de monitoreo y vigilancia sísmica del volcán Popocatepetl. Los datos de ésta tabla corresponden a las características y ubicación de cada sitio o estación

Dicha red consistente de 11 estaciones (tabla 1), tiene una buena cobertura acimutal, de tal manera que el monitoreo sísmico ha permitido definir los períodos críticos de actividad, como los del 21 de diciembre de 1994, del 30 de junio de 1997, la erupción mayor del 18-19 de diciembre del 2000 y el evento del 22 de enero del 2001.

Las estaciones sísmicas deben por lo general colocarse en o cerca del cono volcánico (foto 4), ya que solo de ésta manera se pueden detectar los movimientos internos del volcán, debido a que son imperceptibles para el ser humano, pues son movimientos muy pequeños o microsismos que ocurren inclusive a varios kilómetros de profundidad y solo pueden ser captados y registrados con sismógrafos.



Foto 4. En ésta imagen, se muestra una estación sísmica colocada en la parte alta de un volcán, con la finalidad de registrar la sismicidad interna del mismo

Debe observarse en el mapa de la figura 12 y en la tabla 1, que las estaciones están en la parte alta del volcán y que las distancias a partir de la "boca" o cráter oscilan entre 2.2 km y 12.0 km. La estación de Calo (PRC) está más alejada (29.3 km) y fuera del volcán, ya que su función es "repetir" las señales de algunas estaciones que no tienen línea de vista hacia el centro de recepción del

CENAPRED y del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Debe mencionarse que dentro de las casetas más altas que albergan estos sismógrafos, también se han colocado inclinómetros electrónicos, cuya finalidad es detectar la deformación positiva o negativa del terreno, debida a la actividad del mismo edificio volcánico.

Adicionalmente, también se encuentran instalados algunos equipos de posicionamiento global que actúan de manera similar como los inclinómetros anteriores.

TIPOS DE SISMIOS VOLCÁNICOS

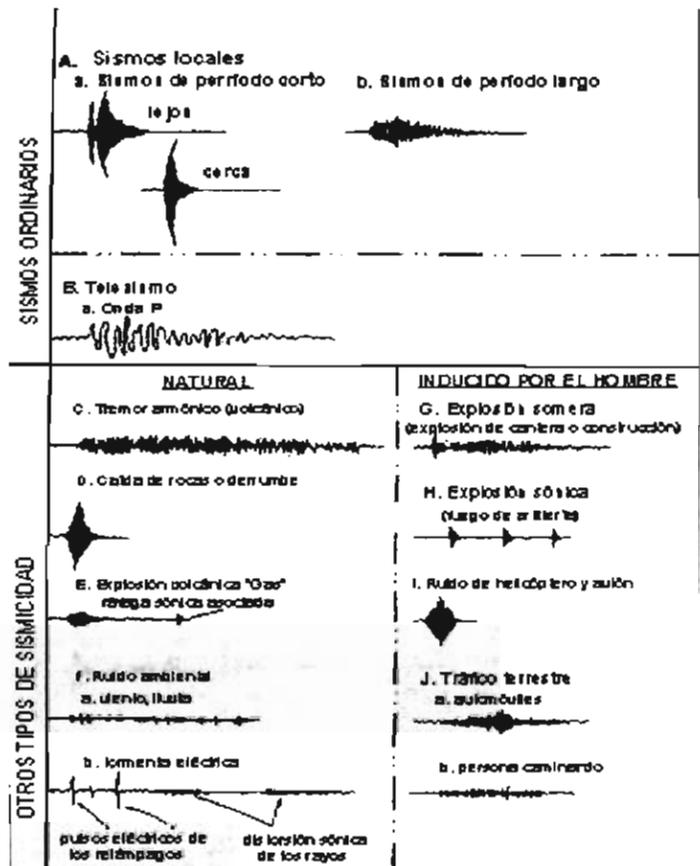


Figura 13. Aquí se muestran los tipos de señales sísmicas tanto naturales como inducidas, donde destacan los de origen volcánico

Los sismos que se generan en un volcán activo, dependen del tipo de volcán, de la intensidad de su actividad, de la composición química de sus volátiles, de la geología y estratigrafía de los depósitos de sus productos eruptivos, de la forma, tamaño y profundidad de los conductos y de su cámara magmática, etc.

Esto, es lo que da lugar a una variedad de señales, como las que se muestran en la figura 13, donde además se ilustran otros tipos de señales o sismos de origen no natural o inducidos.

A continuación, se ilustra la sismicidad típica generada durante distintas etapas de actividad del volcán Popocatepetl.

En las figuras 14, 15, 16 y 17 se señalan los eventos que representan explosiones, sismos tectono-volcánicos o de tipo "A", volcánicos o de tipo "B", tremor armónico de baja frecuencia, etc.

Un sismo de explosión volcánica, es aquel cuyo primer arribo o llegada es impulsiva y muy energética, además de que la señal es de alta frecuencia, como la mostrada en las figuras 14 y 15.

El evento de tipo "A" o tectonovolcánico (figura 16), también es aquel cuyos arribos de las ondas P y S son impulsivos, perfectamente reconocibles y de alta frecuencia.

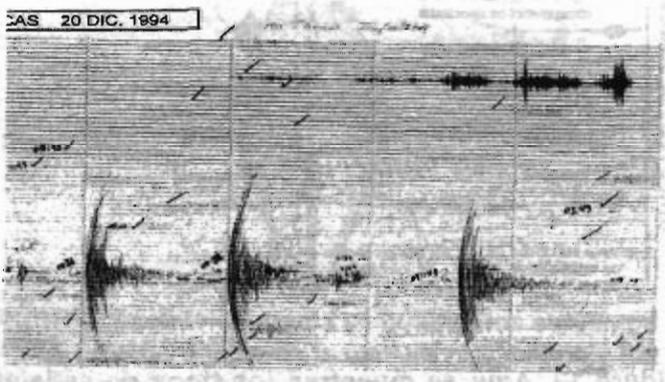


Figura 14. Eventos típicos de explosión volcánica, ocurridos en la madrugada del 21 de diciembre de 1994 en el Popocatepetl

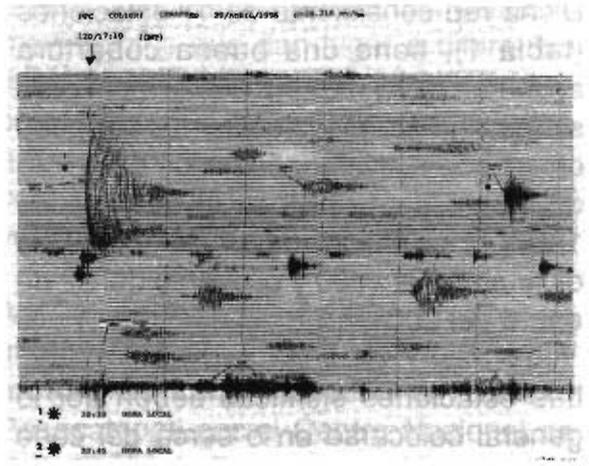


Figura 15. Serie de dos eventos explosivos sucesivos, ocurridos el 30 de abril de 1996 en el volcán Popocatepetl

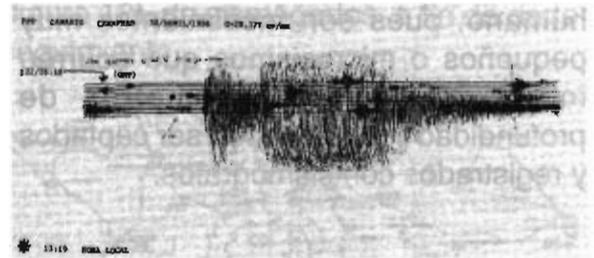


Figura 16. Registro sísmico típico del volcán Popocatepetl, donde aparecen sismos tipo "A", tipo "B", de período largo y ruido por motor de un vehículo

Los eventos tipo "B" o volcánicos (figura 16), son aquellos cuyo primer arribo es emergente o no impulsivo, de baja frecuencia y cuya onda S no es definida en su arribo.

Se señala que el tremor armónico (figura 17) es una señal que se caracteriza por ser monocromática, con un contenido de bajas frecuencias y generalmente se asocia con el movimiento interno del magma o ascenso de soluciones por los conductos internos del volcán.

En la figura 18 se muestra un registro típico de una de las estaciones de la red, la denominada Canario (PPPn) de componente norte, la cual contiene la sismicidad ocurrida en un período de 24 horas.

Sismicidad

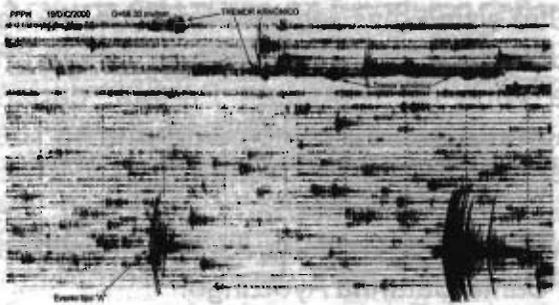


Figura 17. En éste sismograma, se aprecia claramente la señal típica de un tremor armónico, el cual se interpreta como el ascenso de soluciones desde la parte interna del volcán Popocatepetl

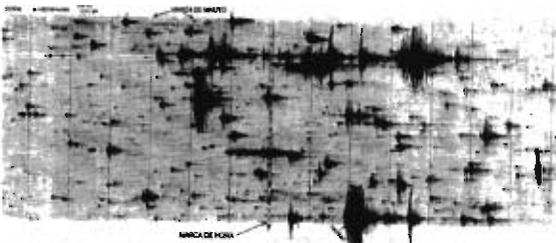


Figura 18. Éste sismograma, corresponde y contiene la sismicidad ocurrida en el interior del Popocatepetl, durante un período de 24 horas

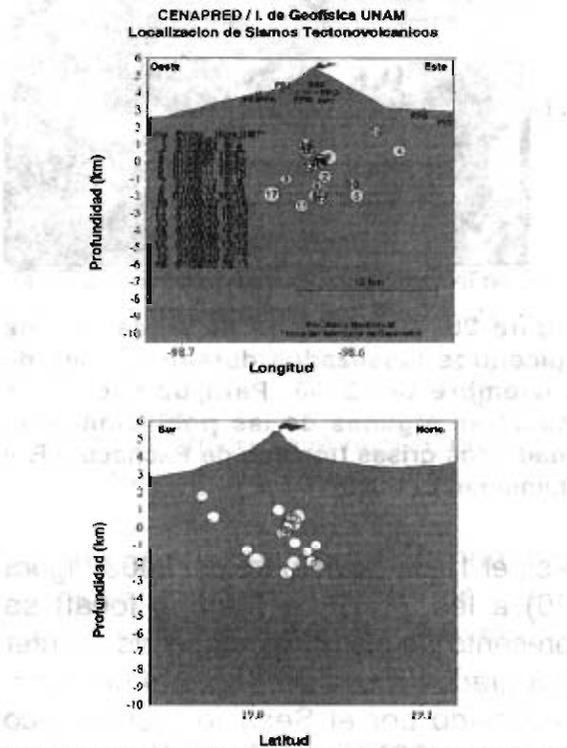


Figura 19. En estas secciones E-W y N-S del volcán Popocatepetl, se observan los hipocentros de los eventos sísmicos más importantes ocurridos durante los meses de agosto y septiembre del 2001

En éste sismograma, se puede observar que cada línea tiene 15 divisiones, que corresponden a 15 minutos, ya que cada segmento o división indica 1 minuto. Las marcas de minuto y de hora también se indican en el mismo, que son las que permiten saber la hora de ocurrencia de cualquier sismo, además de la fecha que se indica en la parte superior izquierda.

La hora de inicio del registro, por lo general se anota en tiempo universal (GMT), por lo que para el caso de México se tienen que restar 5 ó 6 horas dependiendo del horario que rija en ese momento. Así por ejemplo, si ocurrió un sismo el 6 de julio del 2004, en el volcán o fuera de él a las 15:15 horas (GMT), entonces tendremos que restar 5 horas, por lo que el sismo ocurrió a las 10:15 horas de tiempo local.

Por otro lado, si se tiene correctamente instalada la red, se pueden determinar los hipocentros y/o epicentros de los eventos más importantes que ocurren dentro y en las cercanías de cualquier volcán activo, como se puede apreciar en los perfiles E-W y N-S de la figura 19, donde únicamente se grafican los eventos tipo "A" o tectono-volcánicos ocurridos durante los meses de agosto y septiembre del 2001.

La determinación de estos eventos se hizo con base en la información captada mediante los equipos de la red de monitoreo sismo-volcánico y cuyos datos completos aparecen en la tabla 2.

DATE	ORIGIN	LAT N	LONG W	DEPTH	MAG	NO	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
010802	2 7 45.95	19 1.18	98 37.37	3.27	2.03	12	231	2.4	0.10	0.2	0.3
010804	9 8 39.58	19 1.48	98 38.95	3.68	2.39	11	221	2.2	0.09	0.3	0.4
010804	18 57 35.94	19 2.24	98 38.32	4.03	2.09	9	172	0.7	0.07	0.3	0.2
010807	18 43 13.43	18 58.63	98 34.30	2.38	2.43	10	276	1.9	0.12	0.3	0.4
010811	10 50 31.37	19 1.44	98 35.82	5.01	2.58	14	192	3.8	0.09	0.2	0.3
010811	15 10 6.08	19 1.41	98 36.84	2.75	3.23	14	220	3.4	0.09	0.2	0.4
010812	5 9 20.31	19 1.37	98 37.58	2.48	2.10	8	237	2.0	0.09	0.3	0.5
010814	3 29 39.68	19 2.08	98 37.31	4.98	2.17	13	223	3.6	0.08	0.2	0.2
010815	18 14 46.47	19 1.92	98 37.24	4.40	2.07	13	223	1.3	0.11	0.2	0.3
010820	23 33 7.29	18 52.79	98 37.01	14.66	2.88	9	330	10.5	0.09	1.1	1.1
010827	2 18 29.27	18 59.81	98 35.96	4.33	2.13	12	236	3.6	0.07	0.2	0.3
010828	16 14 50.78	19 1.20	98 37.78	5.59	2.43	13	314	2.2	0.09	0.1	0.2
010829	10 50 47.12	19 2.30	98 37.07	5.18	2.32	12	211	3.3	0.13	0.3	0.3
010830	9 59 7.70	19 1.01	98 37.51	3.30	2.03	14	244	2.8	0.10	0.2	0.3
010831	14 12 26.03	19 0.91	98 37.64	2.01	2.32	14	359	1.6	0.09	0.1	0.3
010905	6 52 5.65	19 1.81	98 37.61	2.36	2.78	13	238	1.6	0.11	0.2	0.3
010908	19 14 8.03	18 58.22	98 35.11	1.24	2.16	11	274	3.5	0.10	0.3	0.7
010909	14 11 54.71	19 1.94	98 39.87	14.20	2.23	12	117	12.4	0.15	1.5	0.6
010919	8 32 36.14	19 0.14	98 38.83	4.91	3.04	11	302	1.2	0.10	0.2	0.2
010920	23 2 38.98	19 1.25	98 37.10	2.98	2.50	14	229	2.5	0.07	0.1	0.2
010920	23 11 17.92	19 1.20	98 37.15	2.95	2.23	14	231	7.5	0.06	0.1	0.2

Tabla 2. Parámetros de los sismos más importantes que ocurrieron durante agosto y septiembre del 2001 en el volcán Popocatepetl (durante el período de actividad actual)

La información más importante que se lee es la fecha de ocurrencia, tiempo en que se originó el sismo, su ubicación geográfica (Latitud y Longitud), profundidad del evento, su magnitud y otros parámetros que indican la calidad de la información obtenida.

RIESGO SÍSMICO

Debido a que gran parte de la República Mexicana se encuentra en una zona sísmica y de que actualmente el valle de México se encuentra densamente habitado, una gran zona del Estado de México se encuentra sujeta a riesgo sísmico, tanto en edificios de departamentos, como en casas-habitación, escuelas, oficinas, naves industriales, puentes, carreteras y demás.

Por lo anterior, es bien conocido el efecto destructivo que han causado por ejemplo el sismo de Acambay del 19 de noviembre de 1912, generado en la falla de Tixmadejé, dentro del graben de Acambay, que destruyó la cabecera de éste municipio, muchas construcciones de los pueblos circunvecinos e inclusive daños ocasionados en la capital del país ("temblor oscilatorio muy fuerte que causó derrumbes de bardas, paredes y algunas casas, sobre todo en la colonia Guerrero, que fue la zona más castigada por el sismo. Se abrieron grandes grietas en el pavimento, principalmente en la Av. Juárez y el costado sur de la Alameda. Se interrumpieron los servicios telefónico y telegráfico y se reventaron muchas cañerías de agua y algunas tuberías de gas. Fueron afectados el Palacio Nacional y varias casas de la Colonia Guerrero").

Otro ejemplo fueron los sismos del 28 de julio de 1957 y el del 19 de septiembre de 1985, que causaron grandes daños principalmente en las zonas conurbadas al Distrito Federal, además de la misma ciudad de México y otras zonas del occidente del país. Estos sismos fueron generados en las costas del Pacífico.

Otro sismo más reciente fue el del 15 de junio de 1999, que aunque se generó en la zona de Tehuacán Puebla, causó agrietamientos principalmente en los templos de la parte oriental del Estado de México, mencionándose los de Amecameca, Ozumba, Atlautla, Tepetlixpa y Santa Catarina Ayotzingo.

Debe señalarse que dentro del territorio estatal ocurren pocos sismos, los cuales han generado recientemente algún tipo de daño, debido principalmente a la mala calidad de los materiales o a que hay construcciones muy cerca de por ejemplo la falla activa que corre aproximadamente entre las poblaciones de Juchitepec y Milpa Alta, D.F. en la parte oriente del Estado de México.

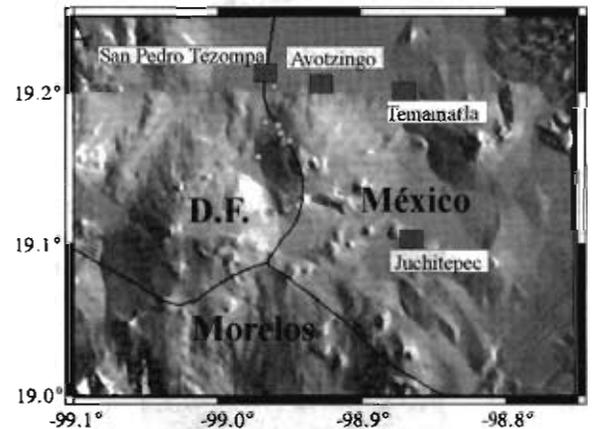


Figura 20. Mapa donde se muestran los epicentros localizados durante el mes de noviembre del 2003. Para ubicación se muestran algunas de las poblaciones en cuadrados grises (tomado de Pacheco J.F. y Quintanar, L., 2003)

Así, el 15 de noviembre del 2003 (figura 20) a las 21:17 hs (tiempo local) se presentó un sismo de magnitud Richter 3.8 grados a una profundidad de 5 km, reportado por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) en las inmediaciones del Municipio de Chalco, el cual fue acompañado dos horas más tarde por una réplica de 3.3 grados.

A raíz de éste sismo, se reportaron daños en al menos 10 viviendas de la Unidad Habitacional San Buenaventura, en Ixtapaluca, además de que el mismo fue sentido en varios municipios y poblados de la región, tales como el Valle de Chalco, Temamatla, Juchitepec, Amecameca, San Juan-San Pedro Tezompa y Ayotzingo del Estado de México y zonas aledañas de las delegaciones de Milpa Alta y Tláhuac en el Distrito Federal.

Previamente a estos dos sismos, los días 10 y 11 de noviembre, ocurrieron otros dos con magnitudes Richter de 3.1 y 3.2 respectivamente.

En la Tabla 3 se muestra un listado de los eventos reportados por el SSN durante el mes de noviembre, que fueron localizados en la zona de San Juan-San Pedro Tezompa, además de que en el mapa de la Figura 20 se muestran dichas localizaciones.

Año	Mes	Día	Hr:Mi	Segundo	Latitud (N)	Longitud (E)	Profundidad (km)	Magnitud
2003	Nov	11	04:63	40	19.173°	98.956°	7.4	2.6
2003	Nov	11	08:43	54	19.203°	98.981°	5.2	2.8
2003	Nov	16	03:17	12	19.168°	98.950°	6.2	3.5
2003	Nov	16	05:04	19	19.180°	98.972°	8.9	2.7
2003	Nov	16	05:09	20	19.157°	98.972°	7.8	2.3
2003	Nov	26	05:04	24	19.183°	98.961°	9.7	2.8

*Hora en tiempo GMT (hora local + 6 horas).

Tabla 3: Sismos ocurridos durante el mes de noviembre en San Juan San Pedro Tezompa

A pesar de las bajas magnitudes de éste temblor 3.5, se ha puesto en evidencia el peligro sísmico de la región, debido a dos factores importantes:

- a) La superficialidad de las fuentes sísmicas, que no sobrepasan los 10 km bajo el nivel medio del mar; esto es, los 12 km de profundidad.
- b). La interacción entre las ondas sísmicas y el subsuelo del valle de Chalco, que amplifica las ondas sísmicas.

Lo anterior, dio lugar a la realización de un estudio de los temblores de San Juan- San Pedro Tezompa, para determinar si la sismicidad está asociada a la actividad humana, como es la extracción de agua o a la presencia de fallamiento superficial producto de la tectónica regional, conjuntamente con Instituto de Ingeniería de la UNAM el Instituto de Protección Civil del Estado de México, las autoridades de Protección Civil de los municipios afectados y personal del SSN, dependiente del Instituto de Geofísica de la UNAM, mediante la instalación de varios sismógrafos en la zona para registrar otros temblores pequeños que pudieran ayudar a determinar el origen y las causas de estos sismos.

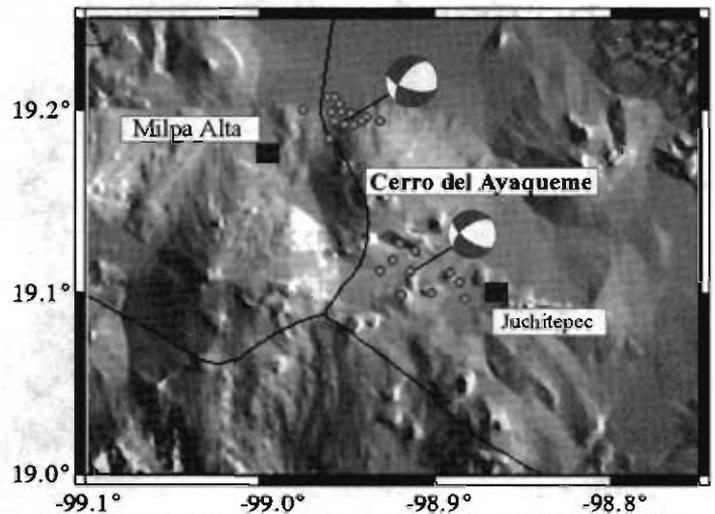


Figura 21. Mapa donde se muestran los epicentros de sismos localizados en la región desde 1984, con magnitudes mayores a 2.0 (Chavacán y Lermo, 2003). Las bolas de playa representan los mecanismos generadores de los temblores (tomado de Pacheco J.F. y Quintanar, L., 2003)

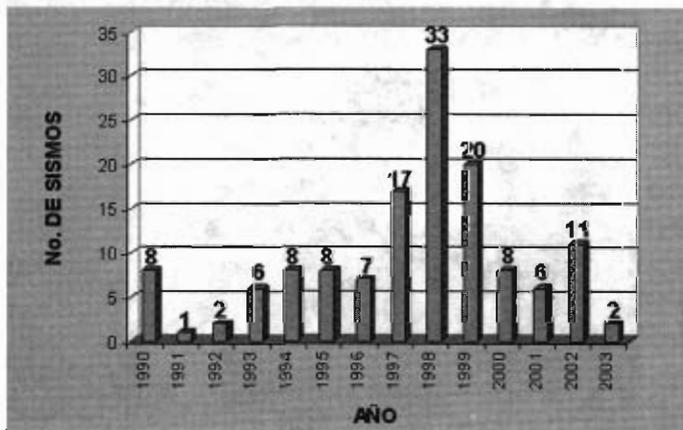
Debe mencionarse, que se han podido identificar dos focos de sismicidad recurrentes entre Milpa Alta y Juchitepec (ver figura 21), ya que en 1984 ocurrió otra secuencia sísmica importante cerca de Juchitepec y desde entonces se le ha estado vigilando.

De lo anterior, se ha podido determinar que la causa de los temblores registrados en la zona de Juchitepec-Milpa Alta es la activación de una falla geológica que corre de este a oeste y debido a la profundidad de los focos sísmicos, su causa es

natural y no inducida por la actividad humana en la superficie de la Tierra.

Cabe mencionar que para conocer más de la sismicidad de ésta zona, el Instituto de Protección Civil del Estado de México en colaboración con los Institutos de Geofísica (SSN) e Ingeniería de la UNAM, han emprendido acciones a fin de construir casetas para monitoreo sísmico en San Juan-San Pedro Tezompa, Juchitepec e Ixtapaluca. Así mismo, se tiene también la colaboración de las Unidades Municipales de Protección Civil de los Ayuntamientos.

SISMICIDAD RECIENTE EN EL ESTADO DE MÉXICO



Gráfica 1. Aquí, se muestra la sismicidad ocurrida dentro del territorio del Estado de México, en el período 1990-2003. Los eventos tienen magnitudes Richter entre 2.0 y 4.0 grados. La fuente de información es el Servicio Sismológico Nacional de la UNAM

En la gráfica 1 se muestra la sismicidad ocurrida en el Estado de México durante el período 1990-2003, cuyas magnitudes Richter son entre 3.0 y 4.0 grados. Dichos eventos, han sido registrados mediante la red sísmica del Servicio Sismológico Nacional (SSN).

Así mismo, también mediante la tabla 4 se presentan los eventos ocurridos dentro del territorio estatal, mencionándose que se incluyen los generados en las cercanías de los límites con los estados vecinos, debido al impacto que pudieran causar dentro del territorio del Estado.

No.	Fecha	Tiempo local	Latitud	Longitud	Prof. (km)	Magnitud Richter	Ubicación
1	09/01/2003	15:27:22	19.18°	-98.97°	12	3	A 6 km, al oriente de la Delegación Milpa Alta, D.F.
2	04/02/2003	04:58:04	19.12°	-98.78°	5	4.1	Cabeceza municipal de Amecameca, a 19.5 km del volcán Popocatepetl
3	14/02/2003	05:34:24	19.05°	-98.48°	1	3.8	A 2.5 km de San Nicolás de los Rincónes, a 13 km de Huojitzingo y a 15 km del volcán Popocatepetl en Puebla
4	19/03/2003	20:25:12	18.56°	-100.29°	38	3.8	Cerca de San Pedro Lánón, a 10.6 km de la Cabeceza Municipal de Amatepec, dentro del Estado de México
5	12/04/2003	09:28:22	19.10°	-99.17°	9	3	A 9 km de Tres Marías (Tres cumbres), fuera del Estado de México
6	24/04/2003	20:50:21	18.99°	-98.35°	13	3.7	A 16 km de la Cabeceza Municipal de Alisco, Pue.
7	23/05/2003	16:59:35	18.23°	-99.00°	29	3.9	Límite de los Estados de Puebla y Guerrero
8	26/05/2003	20:38:07	20.13°	-99.34°	15	3.8	En el Estado de Hidalgo, a 16.8 km del Estado de México
9	05/07/2003	07:55:07	18.80°	-99.08°	10	3.5	Al sur del Edo. de Méx., cerca de Tacco-Iguata dentro del Estado de Morelos
10	18/09/2003	06:58:02	19.17°	-97.44°	7	3.6	Oriente del Edo. de Puebla
11	16/09/2003	07:10:01	19.14°	-97.40°	11	3.5	Oriente del Edo. de Puebla
12	16/09/2003	07:14:47	19.14°	-97.42°	10	3.5	Oriente del Edo. de Puebla
13	29/09/2003	22:47:06	18.27°	-100.03°	34	3.8	A 4.5 km del poblado de Acapetlahuaya, Edo. de Gro.
14	27/10/2003	18:41:09	18.15°	-100.60°	50	3.9	Se abrió a 13 km del poblado de Ajuchitlán del Progreso, en el Estado de Guerrero
15	01/11/2003	23:21:14	18.29°	-98.99°	5	3.8	Dentro del D. F., a 2.5 km de la Delegación Tlalhuac, a 1.9 km del Edo. de México
16	10/11/2003	22:53:42	19.16°	-99.00°	21	3.1	A 4 km de la Delegación Milpa Alta, D. F. y a 2.7 km del Estado de México
17	11/11/2003	02:43:55	19.16°	-99.94°	14	3.2	En Loma Larga, muy cerca de las poblaciones de Santa Ana Tlacotalpan, D.F.; Santa Catarina Acapulco; Tanango del Aire; San Juan Tezompa, San Pablo Altazapán y Temamatla, en el Estado de México
18	15/11/2003	21:17:13	19.18°	-99.93°	5	3.8	
19	15/11/2003	23:04:20	19.18°	-98.93°	12	3.3	
20	25/11/2003	02:44:59	19.19°	-98.96°	3	3.5	
21	15/12/2003	04:39:35	20.56°	-99.53°	25	4.1	A 50 km al norte del Estado de México

Tabla 4: Eventos sísmicos ocurridos durante el año de 2003 en el Estado de México y sitios cercanos a sus límites (FUENTE: Servicio Sismológico Nacional)

Los eventos sísmicos ocurridos durante el año de 2003 y que aparecen en la tabla 4, también aparecen representados en el mapa del Estado de México, como se consigna en la figura 22.

Debe observarse que la mayor parte de la sismicidad ocurre en la parte oriente del Estado y que corresponde a las cercanías del volcán Popocatepetl y a la zona que comprende la falla activa que corre de Juchitepec a Milpa Alta en el D. F., además de la zona del valle de Chalco, donde recientemente se han registrado algunos sismos someros, como ya se apuntó en el apartado de riesgo sísmico.

También debe señalarse que la zona correspondiente a la caldera de Acambay, ubicada dentro de los municipios de Acambay, Temascalcingo y Atlacomulco,

MAPA SÍSMICO

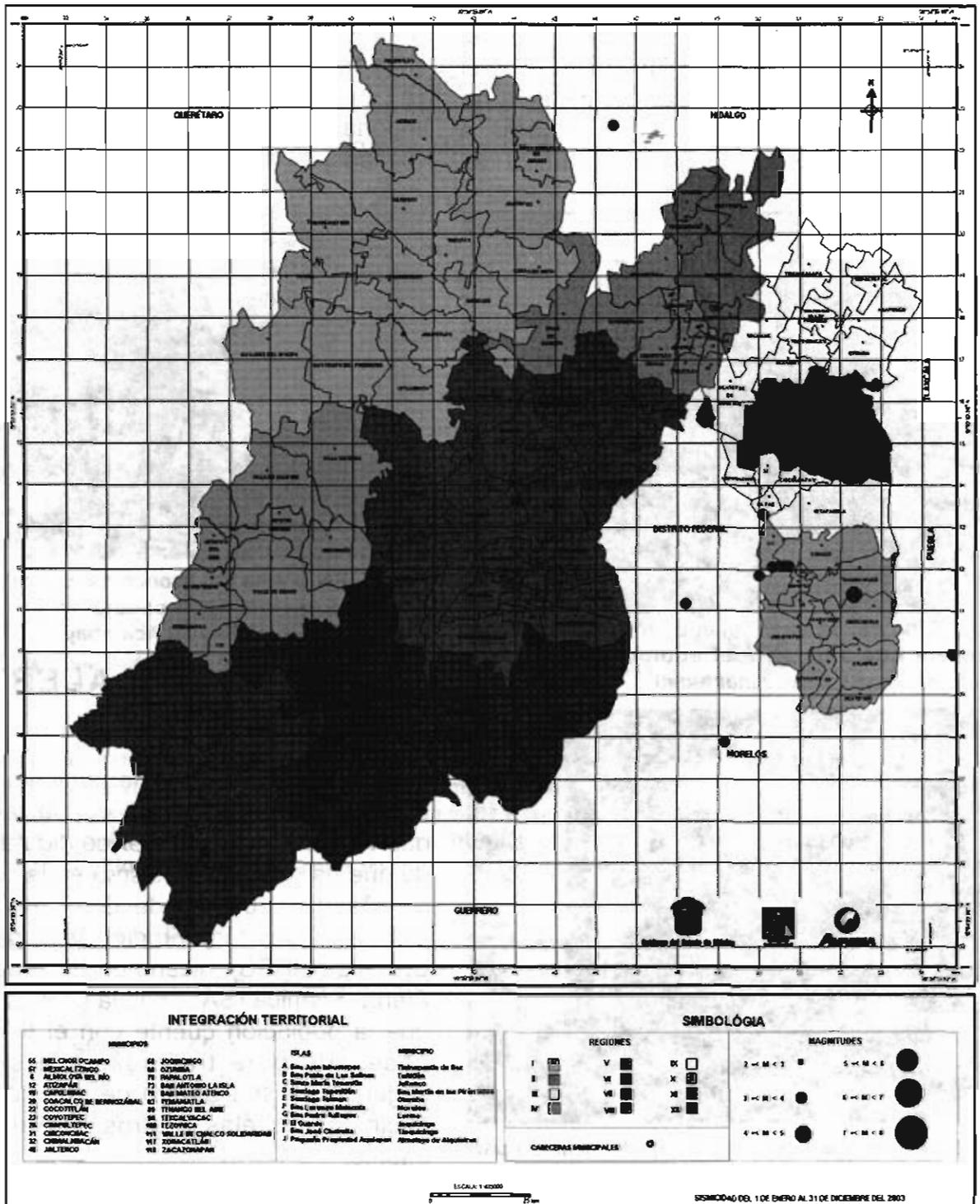


Figura 22. Mapa sísmico del Estado de México para el año 2003, donde aparecen representados los sismos mediante círculos corresponde a una zona sísmica, solo que no se tienen datos debido a la falta de equipamiento apropiado hasta ahora para su detección y registro.

RED SISMOVOLCÁNICA DEL ESTADO DE MÉXICO

Actualmente, el Instituto de Protección Civil del Estado de México trabaja conjuntamente con el Servicio Sismológico Nacional del Instituto de Geofísica de la UNAM, en el diseño e implementación de la Red Sismo-volcánica del Estado de México.



Foto 5. Sitio donde se desplantó la construcción de la caseta que albergará el equipo sísmico para monitoreo en el volcán Xinantécatl



Foto 6. Caseta que albergará el equipo sísmico para monitoreo en el volcán Jocotitlán

Dicha red, comprende la construcción y equipamiento de tres estaciones sísmicas, ubicadas en las partes altas de los volcanes Xinantécatl (foto 5) y Jocotitlán (foto 6) y en el cerro Colmilludo (foto 7), muy cerca de la falla de Tixmadejé.

Mediante ésta red, será posible registrar la sismicidad tanto local como regional, que permitirá realizar estudios tanto vulcanológicos como sísmicos, sobre todo en la región de la Caldera de Acambay, ya que es una zona sísmica de importancia, debido a las fallas activas de Tixmadejé, Pastores y otras asociadas.



Foto 7. Panorama del avance de los trabajos de construcción de la caseta en el cerro Colmilludo, municipio de Acambay

SISTEMA DE ALERTA SÍSMICA (SAS)

A fin de contar con una herramienta que pudiera dar el aviso previo a la población que vive en el valle de México (figura 23) de que ha ocurrido un sismo en la costa del Pacífico (costas de Guerrero), el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES), diseñó un Sistema de Alerta Sísmica (SAS) con la finalidad de que la población cuente con el tiempo necesario para trasladarse a sitios seguros, ya sea dentro de sus casas, oficinas, escuelas u otros centros de trabajo.

A éste respecto, es importante por ejemplo saber que si un sismo ocurrió en las costas de Guerrero, distante unos 350 km del Valle de México, tardará en llegar alrededor de 32 segundos, dado que las ondas sísmicas (ondas "P") viajan con una

velocidad promedio de 11 km/seg. Éste tiempo, deberá ser suficiente para saber qué hacer y cómo actuar antes de que las ondas sísmicas impacten en las poblaciones del valle de México y sobre todo a las personas que viven en las zonas que anteriormente fueron parte de lagos como por ejemplo el centro del Distrito Federal, parte de los municipios de Chalco, Valle de Chalco, Ixtapaluca, Los Reyes La Paz, Chicoloapan, Chimalhuacán, Nezahualcóyotl, Texcoco, Acolman, San Salvador Atenco, Tezoyuca, Chiconcuac, Chiautla, Papalotla, Ecatepec, Tlalnepantla, Coacalco y Tultitlán, además de los situados en la zona lacustre de Xaltocan, Zumpango; y las asentadas en lugares similares del valle de Toluca.

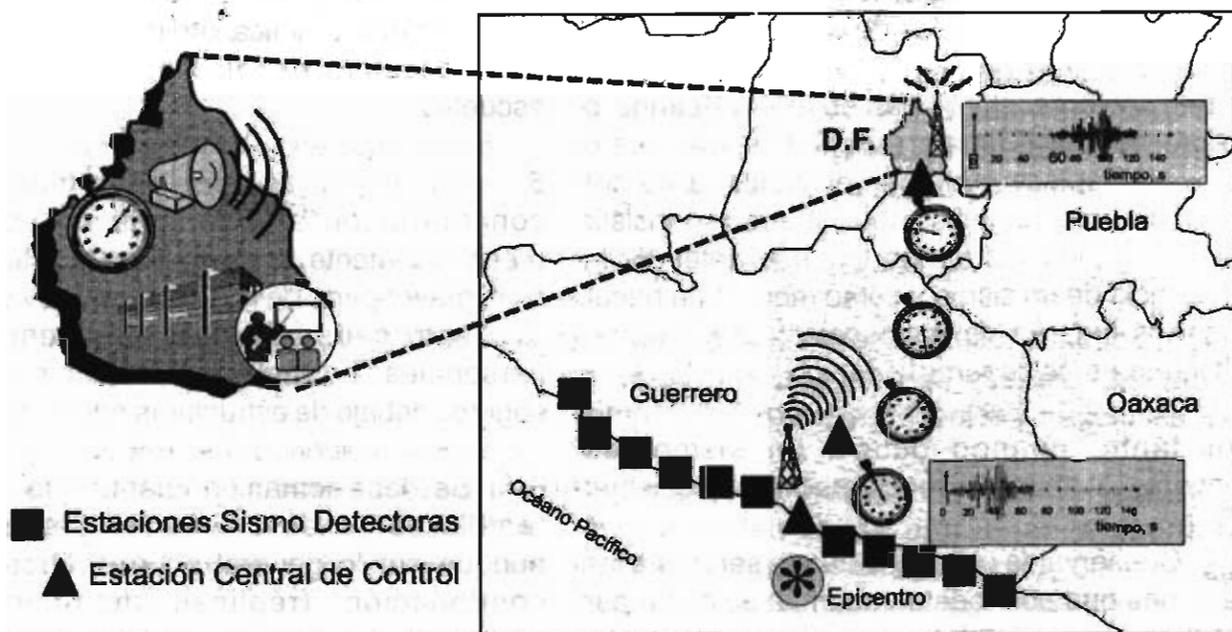


Figura 23. En éste diagrama, se muestra el Sistema de Alerta Sísmica (SAS), con las estaciones ubicadas a lo largo de la costa de Guerrero, las cuales emiten la señal de alerta hacia un centro de recepción o Estación Central de Control, desde donde a la vez se envía la señal a todos los equipos (SAS) que se instalen en casas, escuelas, edificios y otros centros, a fin de que la población sepa que va a ocurrir un sismo en el sitio donde se encuentra en unos pocos segundos (tomada de la página de Internet del SSN/CIRES)

¿QUE HACER CUANDO OCURRE UN SISMO?

Existen varias medidas que pueden tomarse en caso de ocurrir un temblor. Naturalmente, en regiones sísmicamente activas existen medidas que deben tomarse *antes* de que ocurran. Estas consisten en buscar las condiciones más adecuadas de seguridad de los sitios donde se permanece más tiempo: la casa, el trabajo, la escuela y mantener a la mano un pequeño equipo con linterna, botiquín de primeros auxilios, un radio de baterías, llaves de mecánico, pinzas y desarmador.

La seguridad de toda construcción se garantiza construyéndolas de acuerdo con los códigos de construcción antisísmica de la región. Si en los centros de trabajo se observa poca seguridad en las instalaciones, se debe solicitar que sean reforzadas. En la Ciudad de México, las escuelas y en general las obras civiles deben ser construidas, por ley, tomando en cuenta el código de construcción, pero si se observa alguna anomalía conviene reportarla a las autoridades competentes.



En nuestro hogar, debemos asegurarnos de saber qué sitio ofrece mayor seguridad con objeto de dirigirnos a él sin apresuramiento cuando ocurre un sismo. El lugar debe ser de fácil acceso y el camino hacia el mismo debe estar libre de obstáculos. Si la salida al exterior es considerada como lo más conveniente, es importante asegurarse de que no existen anuncios cercanos u otros objetos pendientes y de cuál es la localización de los cables de electricidad.

Deben evitarse el colocar objetos pesados o peligrosos, como lámparas, botellas, adornos o libros, en repisas y lugares elevados, a no ser que estén bien sujetos. Aquí es preciso insistir que estas medidas deben tomarse antes de la ocurrencia de un sismo y como medida de hacer nuestros lugares de residencia (casa, oficina, taller, etc.) más seguros.

Por tanto, cuando ocurra un sismo, es conveniente tomar en consideración lo siguiente:

1. Conservar la calma y tratar de serenar a las personas que nos rodean, además de evitar dar gritos ya que estos infunden pánico y generan en muchos casos, más fatalidades que el temblor mismo.
2. Dirigirse rápidamente, pero sin apresuramiento al sitio designado previamente como más seguro en el inmueble o fuera de él, de acuerdo con lo ya mencionado arriba. Si esto no es posible, es conveniente buscar los sitios que ofrezcan mayor seguridad dentro del inmueble (pegado a las columnas y/o castillos, debajo del dintel de puertas, de mesas robustas, lugares con techumbres livianas, etc.).
3. Tener cuidado de no permanecer debajo de objetos colgantes o mal colocados y alejarse de ventanas, ya que los vidrios se rompen con las sacudidas. Tampoco permanecer cerca de objetos que se puedan desplazar o derribar (como armarios altos, vitrinas, muebles con ruedas, etc.).

4. En las escuelas, los maestros deben conservar la serenidad y tratar de dar confianza a los alumnos; pedir a éstos que se alejen de las ventanas y de ser posible, protegerse debajo de las mesas o pupitres de trabajo o de los dinteles de las puertas. Si están en los patios de recreo, pedir que permanezcan lejos de los edificios. Estas explicaciones y un simulacro deben constituir una práctica ordinaria al inicio de cada ciclo escolar en todas las escuelas.

5. En otros centros de mucha concentración se aconseja no salir precipitadamente, ya que ésta es la actitud de la mayor parte de la gente y se ha visto que esto causa muchos accidentes personales. Lo mejor es buscar sitios seguros debajo de estructuras reforzadas.

6. Se debe tomar en cuenta que los temblores no duran mucho tiempo, aunque por lo general ocurren otros a continuación (réplicas de menor magnitud), de manera que debe obrarse con cautela al final de cada uno.

Estas indicaciones no podrán nunca por sí mismas sustituir las medidas de seguridad que representa un edificio bien construido y en el que se respetan las normas de seguridad. Muchas veces nos es imposible personalmente tener control sobre esto, pero podemos sumarnos siempre a la opinión pública que exige se respeten los reglamentos respectivos de construcción y operación de lugares de reunión masiva denunciando cuando se hace caso nulo de los mismos.

Por tanto, ante situaciones de sismo, debemos saber:



Sismicidad

¿QUE HACER ANTES DE QUE OCURRA UN SISMO?

- 1.- Platique en el hogar acerca de los sismos y otros posibles desastres y formule un plan de protección civil.
- 2.- Participe y en su caso, organice programas de preparación para futuros sismos que incluyan simulacros de evacuación.
- 3.- Cumpla las normas de construcción y uso del suelo, establecidas.
- 4.- Recorra a técnicos y especialistas para la construcción o reparación de su vivienda, de éste modo tendrá mayor seguridad ante un sismo.
- 5.- Ubique y revise periódicamente que se encuentren en buen estado las instalaciones de GAS, AGUA y SISTEMA ELÉCTRICO. Use accesorios con conexiones flexibles y aprenda a desconectarlos.
- 6.- Fije a la pared repisas, cuadros, armarios, estantes, espejos y libreros. Evite colocar objetos pesados en la parte superior de estos; además asegure al techo las lámparas y candiles.
- 7.- Tenga a la mano los números telefónicos de emergencia, un botiquín, de ser posible un radio portátil y una linterna con pilas.
- 8.- Porte siempre una identificación.

Para el caso de que ocurra el evento, es conveniente saber:

¿QUE HACER DURANTE LA OCURRENCIA DE UN SISMO?

SI USTED SE ENCUENTRA BAJO TECHO (EN EL HOGAR, LA ESCUELA O EL CENTRO DE TRABAJO):

- 1.- Conserve la calma y tranquilice a las personas de su alrededor.
- 2.- Si tiene oportunidad de salir rápidamente del inmueble, hágalo inmediatamente pero en orden. **RECUERDE: NO grite, NO corra, NO empuje y diríjase a una zona segura.**
- 3.- **NO** utilice los elevadores.
- 4.- Aléjese de libreros, vitrinas, estantes u otros muebles que puedan deslizarse o caerse, así como de las ventanas, espejos y tragaluces.
- 5.- En caso de encontrarse lejos de una salida, ubíquese debajo de una mesa o escritorio resistente, que no sea de vidrio, cúbrase con ambas manos la cabeza y colóquelas junto a las rodillas. En su caso, diríjase a alguna esquina, columna o debajo del marco de una puerta.
- 6.- Una vez terminado el sismo, desaloje el inmueble y recuerde: **NO** grite, **NO** corra, **NO** empuje.

EN LUGARES DONDE HAY MUCHA GENTE:

- 1.- Si se encuentra en un cine, tienda o cualquier lugar muy congestionado y no tiene una salida muy próxima, quédese en su lugar y cúbrase la cabeza con ambas manos colocándolas junto a las rodillas.
- 2.- Si tiene oportunidad, localice un lugar seguro para protegerse.
- 3.- Si está próximo a una salida, desaloje con calma el inmueble.



EN UN EDIFICIO ALTO:

- 1.- Protéjase debajo de una mesa, escritorio resistente, marco de una puerta o junto a una columna o esquina.
- 2.- **NO** se precipite hacia la salida, **NI** utilice elevadores.

EN EL AUTOMÓVIL:

- 1.- En cuanto pueda trate de pararse en un lugar abierto y permanezca en el automóvil; **NO** se estacione junto a postes, edificios u otros elementos que presenten riesgos, **NI** obstruya señalamientos de seguridad.
- 2.- Si va en la carretera, maneje hacia algún lugar alejado de puentes o vías elevadas y permanezca en su vehículo.

EN LA CALLE:

- 1.- Aléjese de edificios, muros, postes, cables y otros objetos que puedan caerse. Evite pararse sobre coladeras o registros.
- 2.- De ser posible vaya a una área abierta, lejos de peligros y quédese ahí hasta que termine de "temblar".

EN EL HOSPITAL:

- 1.- Póngase fuera del alcance de la caída de cilindros de oxígeno y de gases inflamables.
- 2.- Fuera del alcance de la caída del generador de emergencia debido a pobre anclaje y corrosión.
- 3.- No se coloque cerca de posibles derrumbes de estanterías en almacenes, laboratorio y farmacia entre otros.
- 4.- Póngase fuera del alcance de caída de equipos de laboratorio, de microscopios y computadoras.

5.- Cuídese del desplazamiento del conmutador telefónico.

6.- Aléjese de los sitios donde puedan romperse cables y caer contrapesos de los ascensores.

De la misma manera, es conveniente saber:

¿QUE HACER DESPUÉS DE QUE OCURRA UN SISMO?

1. Efectúe con cuidado una completa verificación de los posibles daños de la casa y accidentados y suministrar ayuda si es necesario.
2. En las escuelas y oficinas, antes de movilizar a los alumnos o empleados, es conveniente inspeccionar el estado de los lugares de acceso, tales como puertas, elevadores, escaleras, barandales, etc.
3. Posteriormente, evacuar la escuela u oficina, para una revisión detallada de sus instalaciones.
4. **NO** hacer uso del inmueble si presenta daños visibles.
5. **NO** encienda cerillos, velas, aparatos de flama abierta o aparatos eléctricos, hasta asegurarse de que no haya fuga de gas.
6. En caso de fugas de agua o gas, repórtelas inmediatamente.
7. Compruebe si hay incendios o peligro de incendio y repórtelo a los bomberos.
8. Verifique si hay lesionados y busque ayuda médica de ser necesaria.

9. Evite pisar o tocar cualquier cable suelto o caído.
10. Limpie inmediatamente líquidos derramados como medicinas, materiales inflamables o tóxicos.
11. No coma ni beba nada contenido en recipientes abiertos que hayan tenido contacto con vidrios rotos.
12. No use el teléfono excepto para llamadas de emergencia; encienda la radio para enterarse de los daños y recibir información. Colabore con las autoridades.
13. Esté preparado para futuros sismos (llamados réplicas). Las réplicas generalmente son más leves que la sacudida principal, pero pueden ocasionar daños adicionales.
14. No propague rumores.
15. Aléjese de los edificios dañados.
16. Verifique los roperos, estantes y alacenas; ábralos cuidadosamente, ya que le pueden caer los objetos encima.
17. En caso de quedar atrapado, conserve la calma y trate de comunicarse al exterior golpeando con algún objeto.

En la mayoría de los casos, el sentido común dictará las medidas que se deban tomar para mitigar los daños que podrían ocasionar los terremotos.

Para finalizar, es conveniente insistir en que los efectos de un terremoto son de una escala que involucra a toda la sociedad. Mientras no exista una cultura de previsión continuarán presentándose grandes catástrofes. Si bien muchas medidas deben ser tomadas por las

autoridades, estas solo las tomarán en la medida en la que la población las exija. Por otro lado, una actitud personal de previsión evitará también en gran medida la ocurrencia de desgracias. Ésta actitud se traducirá en medidas continuas de previsión y no solo en las momentáneas adoptadas cuando ocurre un terremoto; por ejemplo, en aquellas tomadas para asegurar el mantenimiento de los sistemas eléctricos o de gas en nuestros hogares.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Se puede decir que el método tiene una amplia aplicación, tanto para investigación como para ser utilizado en la protección civil, ya que por ejemplo vemos que al monitorear un volcán activo, sirve como una herramienta importantísima para la toma de decisiones, encaminada a la protección de grandes núcleos de población, del entorno y de sus bienes.

También se utiliza para monitorear la respuesta sísmica del terreno y de las estructuras, mediante lo cual se elaboran los "Reglamentos de Construcción" aplicables a ciudades donde las características sísmicas de la zona requieren de una microzonificación, que permita realizar diseños antisísmicos encaminados a tener edificaciones seguras ante el impacto de sismos de cierta magnitud.

Por otro lado, también se utiliza para la búsqueda de recursos como zonas geotérmicas o petroleras, mediante la aplicación de éste método, ya sea de forma natural o inducida.

Finalmente, éste método también se ha utilizado para estudios fuera del globo terrestre, como en la Luna y Marte, ya que también se ha monitoreado su sismicidad desde hace ya algunas décadas.



REFERENCIAS

Chavacán, M. y J. Lermo, 2003. Sismicidad reciente al sur de la cuenca de México (Sierra de Chichinautzin). XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Artículo 1-24

Espíndola Castro J. M y Jiménez J. Z. Terremotos y ondas sísmicas. Una breve introducción. Instituto de Geofísica de la UNAM, 2ª edición.

Pacheco, J. F. y Quintanar, L., 2003. Sismos de noviembre en San Pedro Tezompa, Estado de México, Magnitud máxima 3.4. Instituto de Geofísica, UNAM, 9 pág.

Dirección General de Protección Civil, España. Terremotos. 22 pág.

Ramos, E., 2001. El método sísmico, como herramienta en el monitoreo de volcanes activos y su aplicación en el volcán Popocatepetl. 10 pág.



Créditos

El material presentado en ésta obra, que terminó de editarse en el mes de diciembre del año 2004, proviene de la documentación que el Instituto de Protección Civil del Estado de México ha reunido sobre ésta materia y la investigación fue realizada por el Ing. Geofísico Esteban Ramos Jiménez.

La dirección editorial estuvo a cargo del Arq. Miguel Ángel Cruz Guerrero, Director General del Instituto de Protección Civil y la Producción fue hecha por Israel Domínguez Jaimes.

Así mismo, se tuvo el apoyo del Centro Nacional de Prevención de Desastres de la Secretaría de Gobernación.



Instituto de Protección Civil del Estado de México

Oficinas en Toluca:

Urawa No. 100

Oficina 119, Col. Izcalli IPIEM. C.P. 50150

Tels. (01722) 280-63-92, Fax (01722) 280-63-94.

Oficinas en Tecámac:

Km 37 de la Carretera Federal México-Pachuca,

Col. Hueyotenco, C.P. 55740

Tels. (0155) 59-36-42-66, Fax (0155) 59-36-42-63.