

PUBLICADO EN LA GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL EL 4 DE AGOSTO DE 2010

SECRETARÍA DE PROTECCIÓN CIVIL DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA AL REGLAMENTO DE LA LEY DE PROTECCIÓN CIVIL DEL DISTRITO FEDERAL NTC-002-SPCDF-PV-2010 QUE ESTABLECE LOS LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA APROBACIÓN, UTILIZACIÓN, OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS DE ALERTAMIENTO SÍSMICO EN INMUEBLES DEL DISTRITO FEDERAL.

DR. ELIAS MIGUEL MORENO BRIZUELA, Secretario de Protección Civil del Gobierno del Distrito Federal, con fundamento en los artículos 5, 15, fracción XVII, 16 fracción IV, 23 Bis fracción XIX, de la **Ley Orgánica** de la Administración Pública del Distrito Federal; 1, 2, 3, fracciones XVI y XXXIV, 4, 5 fracciones I, II, III y IV, 6 fracción XIII, 11, 45, 47, 48, 48 bis, 49, 50, 51 y 54 fracción III de la Ley de Protección Civil para el Distrito Federal; 1, 2, fracción II, 6, 23 y 27 del Reglamento de la Ley de Protección Civil para el Distrito Federal.

CONSIDERANDO

Que México es un país sísmicamente activo, en donde han ocurrido más de 157 sismos con magnitud mayor de 6.5 grados en la escala de Richter (Mw) en los últimos 109 años destacando el sismo registrado el 19 de septiembre de 1985, con una magnitud de 8.1 grados en la escala de Richter, con epicentro en el Océano Pacífico frente a la desembocadura del Río Balsas, entre los límites Michoacán y Guerrero, ocasionó 6,000 muertos y cuantiosos daños materiales en la Ciudad de México, representando un hito en la historia de los desastres naturales del país.

Que en la denominada Brecha de Guerrero, no se ha presentado un sismo de magnitud importante durante las últimas décadas, por lo que la energía acumulada podría detonar un sismo fuerte que afectaría a la Ciudad de México.

Que las características del terreno en que se asienta la Ciudad de México, consistente en arcillas lacustres con alto grado de compresibilidad intercaladas con capas de arena son sísmicamente desfavorables. Esto aunado a la presencia de un número elevado de habitantes, aproximadamente 9 millones, así como una gran infraestructura, la colocan como una de las entidades con mayor riesgo sísmico del mundo.

Que aunado a los fenómenos de subsidencia, agrietamiento regional, presencia de cavidades o socavaciones así como de que un gran número de inmuebles presentan daños estructurales, se incrementa su vulnerabilidad en caso de actividad sísmica.

Que actualmente la Ciudad de México cuenta con el Sistema de Alerta Sísmica, SAS, el cual opera desde agosto de 1991 y su objetivo es emitir avisos anticipados de alertamiento sísmico en la Ciudad de México, de aquellos movimientos provenientes de la costa de Guerrero, que es el sitio donde se encuentran las estaciones sensoras y no cuenta con otro sistema que lo complementa para detectar los sismos provenientes de cualquier otra parte del país.

Que, se requiere del empleo de un instrumento de alertamiento sísmico que complementa el SAS tal que, ayude a reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de respuesta por parte de la población en caso de que un sismo con capacidad destructiva, pueda afectar a la Ciudad de México.

Que la distancia mínima a la que ocurren los grandes sismos de subducción, es de al menos 290 km a la Ciudad de México.

Que los movimientos sísmicos generan ondas acústicas de distintos tipos, siendo preponderantes las P y S. Las primeras (primarias) son del tipo longitudinal compresional y viajan a través de la corteza terrestre con velocidades de propagación omnidireccional en el orden de los 6 kilómetros por segundo (km/s), mientras que las segundas (secundarias) son del tipo transversal y aparecen en el terreno un poco de tiempo después que las P. su velocidad de propagación omnidireccional es de los 3 km/s.

Que dadas estas propiedades, el arribo de las ondas P a la Ciudad de México ocurre a la mitad del tiempo con respecto de las S si son detectadas con equipos de registro adecuados, es posible tener un tiempo previo de alertamiento antes de la llegada de las S, las cuales por su efecto de cortante, son las que ocasionan el movimiento perceptible y que afectan a las edificaciones e infraestructura.

Que la tecnología actual produce equipos sísmicos que detectan movimientos importantes, mayores a 4 gales (cm/s²), que corresponde a la aceleración a la cual el ser humano comienza a percibir movimientos del terreno.

Que es posible tener sistemas de alertamiento sísmico en la Ciudad de México, que detecten los arribos de las ondas P (compresionales) de sismos grandes y potencialmente destructivos, anticipando el arribo de las ondas S (superficiales o de corte).

Que el aviso anticipado de la llegada de un sismo de magnitud importante permitiría salvar vidas y reducir daños.

Que es necesario que los sistemas de alertamiento sísmico, se elaboren considerando los más altos criterios técnicos y de ingeniería desarrollados en la actualidad, contando con la supervisión y asesoría de investigadores destacados en materia de Ingeniería Sísmica y Sismología.

Que dicho sistema deberá cumplir con las especificaciones mencionadas en la presente norma técnica, con el fin de tener seguridad de que no presente fallas y cumpla el cometido fundamental de emitir una alerta del arribo de las ondas destructivas asociadas a un sismo.

Que la prevención es el medio más eficaz, para alcanzar los objetivos de la Protección Civil, que es salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y el entorno.

Que el artículo 6° fracción XIII de la Ley de Protección Civil del Distrito Federal, establece la facultad de ésta Secretaría de elaborar las normas técnicas complementarias en materia de Protección Civil.

Por lo anterior, he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA AL REGLAMENTO DE LA LEY DE PROTECCIÓN CIVIL DEL DISTRITO FEDERAL NTC-002-SPCDF-PV-2010, QUE ESTABLECE LOS LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA APROBACIÓN, UTILIZACIÓN, OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS DE ALERTAMIENTO SÍSMICO EN INMUEBLES DEL DISTRITO FEDERAL.

Índice.

1. Introducción.
 - 1.1. México en el entorno de la sismicidad mundial.
 - 1.2. Riesgo sísmico en la Ciudad de México.
 - 1.3. Zonificación estratigráfica.
 - 1.4. Zonificación sísmica.
2. Objetivos.
3. Ámbito de aplicación.
4. Glosario de términos.
5. Características técnicas y de instrumentación.
 - 5.1. Introducción.
 - 5.2. Características del equipo.
 - 5.2.1. Sobre el sensor detector de ondas P de los instrumentos de alertamiento sísmico.
 - 5.2.2. De las características de la alerta que emiten los instrumentos de alertamiento sísmico.
 - 5.2.3. De las fuentes de energía de los instrumentos de alertamiento sísmico.
 - 5.3. Condiciones de seguridad de los equipos de alertamiento sísmico.
 - 5.4. Comprobación técnica del funcionamiento.
6. Garantía del funcionamiento del sistema de alertamiento sísmico.
7. Interpretación de la norma.
8. Bibliografía.

1. Introducción.

La presente norma es promovida por la Secretaría de Protección Civil del Distrito Federal, con la finalidad de contribuir a la política de prevención en materia de riesgo sísmico. Las características geográficas, geológicas, poblacionales así como de desarrollo de infraestructura en la Ciudad de México, la colocan en una condición de riesgo ante la presencia de fuerzas sísmicas. Por tal motivo resulta de suma importancia contar con una normatividad que establezca los criterios y aspectos técnicos para la aprobación, utilización de instrumentos y/o sistemas de alertamiento sísmico. Con el cumplimiento de esta norma, se pretende que los inmuebles localizados en las zonas de potencial afectación, cuenten con un sistema que permita a la población tener un tiempo de respuesta previo al arribo de las ondas sísmicas responsables de causar daños severos (ondas S). Lo anterior permitirá reducir las afectaciones así como el número de pérdidas humanas en caso de que un sismo de magnitud importante y con potencial destructivo afecte a la Ciudad de México.

La elaboración de esta norma tiene por objeto establecer los criterios técnicos en la actualidad para valorar el funcionamiento y operatividad de los sistemas de alertamiento sísmico, contando con la supervisión y asesoría de investigadores destacados en materia de Ingeniería Sísmica y Sismología.

1.1. México en el entorno de la sismicidad mundial.

La República Mexicana se caracteriza geológicamente por su gran actividad sísmica y volcánica. En el contexto de la Tectónica de Placas, México está ubicado en el llamado Cinturón de Fuego, donde se registra gran parte de los movimientos telúricos a nivel mundial. El país se ubica en la Placa Norteamericana, limitado en su porción sur y oeste, con las placas de Cocos, Rivera y del Pacífico.

La región de Mesoamérica, que abarca México y Centroamérica, se caracteriza por su alta actividad tectónica, resultado de la subducción de la placa de Cocos a lo largo de la Trinchera Mesoamericana. En el sur y oeste de México, la tectónica es más compleja debido a que es controlada por la subducción de la placa de Cocos bajo las placas de Norte América y del Caribe en el sureste. A su vez, las placas de Norte América y el Caribe tienen un límite transcurrente lateral izquierdo a lo largo de la fosa del Caimán y del sistema de fallas Motagua-Polochic.

Otro rasgo no menos importante es el *arco volcánico centroamericano*, el cual resulta de la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Caribe y que corre a lo largo de 1,500 kilómetros desde Guatemala hasta la frontera de Costa Rica- Panamá.

México es uno de los países del mundo con mayor actividad telúrica, ya que según estadísticas, se registran más de 90 sismos por año con magnitud superior a 4 grados en la escala de Richter, lo que equivale a un 60% de todos los movimientos telúricos que se registran en el mundo. La Tabla 1 muestra los sismos más importantes ocurridos en México durante los últimos años.

Con base en el registro estadístico, los estados con mayor riesgo y donde ocurren sismos de gran magnitud que pueden afectar a la Ciudad de México son: Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Estado de México y Veracruz.

Tabla 1.- Sismos importantes en México.

<p>En 1912 (19 de noviembre) ocurrió un sismo de magnitud 7.0 en la escala de Richter que afectó al Estado de México con intensos deslizamientos de tierras y causó la muerte de 202 personas.</p>
<p>En 1920 (3 de enero), otro sismo de magnitud 6.4 afectó a los Estados de Puebla y Veracruz, provocando derrumbes en las laderas de montañas y dejando 430 muertos.</p>
<p>En 1932 (3 de junio) el sismo de mayor intensidad en el siglo, grado 8.4, afectó a los estados de Jalisco y Colima ocasionando un total de 300 muertos y 400 heridos.</p>
<p>En 1941 (15 de abril) otro de 7.9 grados de intensidad, afectó a los estados de Michoacán y Jalisco, destruyó la Catedral de Colima y dejó 90 muertos y 300 heridos.</p>
<p>En 1957 (28 de julio) un sismo de 7.7 grados, afectó el estado de Guerrero, produciendo tsunamis en Acapulco y Salina Cruz, dejando 28 muertos así como numerosos edificios y casas derrumbadas.</p>
<p>En 1964 (6 de julio) un sismo de 6.7 grados, afectó los estados de Guerrero y Michoacán, resultando 40 muertos y cuantiosas pérdidas materiales.</p>
<p>En 1973 (28 de agosto) otro de grado 6.8 afectó los estados de Oaxaca y Veracruz, ocasionó 527 muertos más de 4 mil heridos y pérdidas millonarias derivadas del derrumbe de casas y edificios.</p>
<p>En 1979 (14 de marzo) a las 5:07 hrs., otro de grado 7.6 con epicentro en las costas de Zihuatanejo, Guerrero ocasionó que cayeran tres edificios de un conjunto de doce en la Universidad Iberoamericana en el sur de la Ciudad de México , resultando afectados aproximadamente 600 inmuebles según los informes oficiales.</p>
<p>En 1985, el 19 de septiembre, las 7:19 a.m. hora del Centro, se produjo un sismo con una magnitud de 8,1 grados en la escala de Richter, con epicentro en el Océano Pacífico, frente a la desembocadura del Río Balsas, entre los límites Michoacán y Guerrero, el cual provocó la mayor devastación urbana del siglo en el país, causando también 6,000 muertos según cifras oficiales. Posteriormente, el 20 de septiembre, se presentó una réplica de Ms 7.5 grados.</p>
<p>En 1999 ocurrieron dos sismos que causaron importantes pérdidas materiales y 50 decesos. El primero fue en Puebla y estados vecinos el 15 de junio de grado 6.7 que causó pérdidas por 1400 millones de pesos y el otro en Oaxaca el 30 de octubre de grado 7.5 con pérdidas por 1500 millones de pesos.</p>

1.2. Riesgo sísmico en la Ciudad de México.

Se denomina Riesgo Sísmico a la probabilidad de ocurrencia, dentro de un periodo y lugar determinados, de un sismo que cause ciertas pérdidas o daños. En el riesgo influyen el peligro sísmico, los posibles efectos locales de amplificación de las ondas sísmicas, la vulnerabilidad de las construcciones, la capacidad de respuesta de Instituciones y Autoridades así como las posibles pérdidas humanas y económicas.

El riesgo sísmico varía de una región a otra, dependiendo de la cercanía a las fallas activas, al tipo de suelo, a la edad y diseño de las edificaciones y en gran medida de la cantidad y tipo de asentamientos humanos localizados en el lugar. El riesgo sísmico en la Ciudad de México varía mucho de una zona a otra debido a la heterogeneidad y comportamiento de los suelos así como a la diversidad de los asentamientos humanos: por ejemplo, es alto en la zona centro, construida sobre sedimentos lacustres, donde el efecto local de amplificación de ondas de periodos del orden de 2 segundos, derribó gran cantidad de construcciones durante el sismo del 19 de septiembre de 1985, y es bajo en zonas como el Pedregal de San Ángel, donde las construcciones están asentadas sobre roca o sedimentos muy bien compactados.

Los daños sufridos debido a los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985, mostraron el grado de vulnerabilidad que tiene la Ciudad de México. La gran concentración de población e infraestructura, la presencia de arcillas lacustres con una peculiar respuesta dinámica, aunado a la cercanía a zonas sismogénicas de importancia, colocan a la Ciudad en un escenario desfavorable ante la ocurrencia de sismos.

Aun cuando los reglamentos de construcción se adecuaron y contemplan normas más estrictas, esto aplica para las construcciones actuales, no así para un gran número de inmuebles cuyas características estructurales, de mantenimiento y antigüedad, los coloca en situación de riesgo potencial en caso de que un sismo de magnitud importante afecte a la ciudad. Aunado a esto, el gran núcleo poblacional que representa la ciudad y la presencia de infraestructura estratégica, obligan a contar con sistemas de alertamiento sísmico que ayuden a reducir la vulnerabilidad así como las pérdidas humanas y materiales.

1.3. Zonificación estratigráfica.

Como lo define el artículo 170 del Capítulo VIII, del Título Sexto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, para fines de la presente norma la ciudad se divide en tres zonas con las siguientes características generales:

a) Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de quevedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados;

b) Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros; y

c) Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

El sistema de alertamiento sísmico debe ser considerado como prioritario en las zonas de lago y de transición (zonas II y III), ya que en dichas zonas la respuesta de terreno es desfavorable para el comportamiento de las estructuras.

1.4. Zonificación sísmica.

Diversas investigaciones y trabajos científicos en materia de Ingeniería Sísmica, han dado como resultado una zonificación sísmica de la Ciudad de México, que muestra las zonas con mayor impacto y que presentan aceleraciones del terreno desfavorables para la estabilidad de la infraestructura civil. De esta forma las delegaciones con mayor riesgo sísmico de la ciudad son: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco, Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac.

Para los efectos de diseño sísmico de las estructuras, las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, consideran la zonificación estratigráfica del Distrito Federal que fija el artículo 170 del Reglamento. Adicionalmente, la zona III se divide en cuatro subzonas (IIIa, IIIb, IIIc y IIId), según se indica en la figura 1.

El coeficiente sísmico (c) es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo (V_0) entre el peso de la edificación sobre dicho nivel (W_0).

El coeficiente sísmico para las edificaciones clasificadas como del grupo B en el artículo 139 del Reglamento (viviendas, hoteles, comercios e infraestructura no vital) se tomará igual a 0.16 en la zona I, 0.32 en la II, 0.40 en las zonas IIIa y IIIc, 0.45 en la IIIb y 0.30 en la IIId (ver tabla 2).

Zona	c
I	0.16
II	0.32
III _a	0.40
III _b	0.45
III _c	0.40
III _d	0.30
Tabla 2	

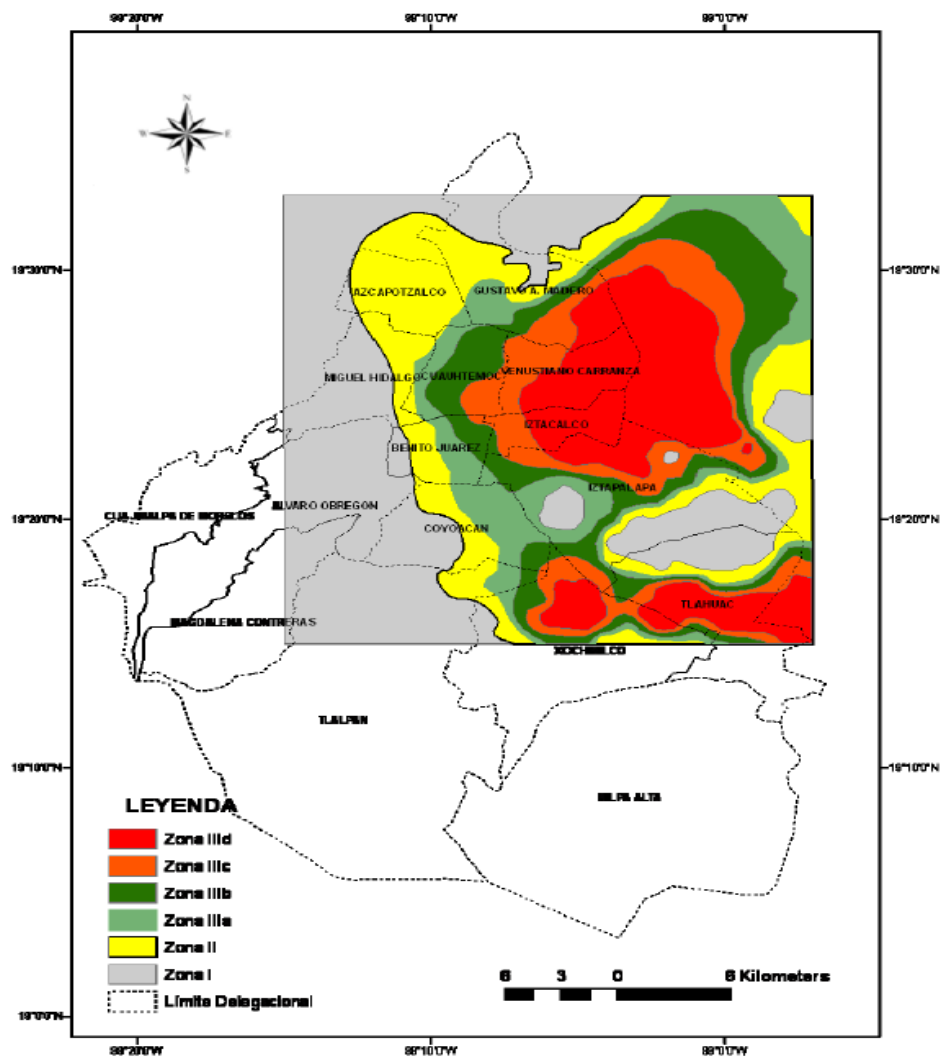


Fig. 1. Zonificación para fines de diseño sísmico de estructuras.

2. Objetivos.

- 1) Determinar las características técnicas mínimas e indispensables que deben cumplir los instrumentos y sistemas de detección sísmica para ser considerados adecuados en el ejercicio de alertamiento sísmico a la población.
- 2) Definir los lineamientos técnicos para la instalación y operación de instrumentos de alertamiento sísmico en inmuebles del Distrito Federal

3. Ámbito de aplicación.

La presente norma rige en todo el Distrito Federal y se aplica para determinar las características técnicas mínimas e indispensables que deben cumplir los sistemas o instrumentos de alertamiento sísmico en inmuebles del Distrito Federal.

4. Glosario de términos.

Acciones sísmicas: fenómenos físicos asociados o causados por los sismos, por ejemplo sacudida violenta del terreno, oscilación de los edificios, desplazamiento en fallas, inestabilidad y asentamiento del terreno, deslizamientos de tierra, avalanchas, licuefacción, y otros.

Acción preventiva: conjunto de medidas y acciones, tanto teóricas como operativas, encaminadas a disminuir los efectos de un potencial desastre.

Aceleración: ritmo o tasa de cambio de la velocidad sísmica por unidad de tiempo.

Acelerógrafo: instrumento sismográfico que registra la aceleración del terreno en función del tiempo.

Acelerograma: registro de la aceleración del terreno en un sitio dado en función del tiempo. La aceleración se registra generalmente en tres direcciones: dos componentes horizontales, ortogonales entre sí, y una vertical.

Actividad telúrica: conjunto de procesos tectónicos que se desarrollan en la corteza terrestre generadores de sismos.

Alerta previa: señal de aviso, ya sea visual o auditiva, de la inminente llegada de ondas sísmicas destructivas.

Amenaza sísmica (también **peligro sísmico**): cuantificación de las acciones sísmicas o de los fenómenos físicos asociados con un sismo que pueden producir efectos adversos al hombre y sus actividades. Parámetro que cuantifica la ocurrencia de futuros eventos sísmicos y las acciones sísmicas asociadas. Es expresada en términos de probabilidad de excedencia de determinado valor, por ejemplo la intensidad o aceleración, en un número de años dado.

Arcillas lacustres: suelo constituido por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm.

Area epicentral: región situada alrededor del epicentro que se caracteriza generalmente por ser la zona de mayor intensidad de la sacudida y de mayores daños causados por el sismo.

Asentamientos humanos: lugar donde se establece una persona o una comunidad. Estos varían en complejidad dependiendo de factores sociales, económicos, políticos y ambientales. Pueden ser una desde una Ciudad, Colonia, Municipio, Pueblo, Villa hasta un pequeño grupo de personas en una zona irregular.

Asísmico o sismorresistente: se dice de una edificación diseñada para resistir las sollicitaciones sísmicas. Se aplica también para designar zonas exentas de actividad sísmica (región asísmica).

Atenuación: disminución de la amplitud de las ondas sísmicas debido a su transmisión a través del interior y por la superficie de la Tierra. Las leyes o curvas de atenuación describen la variación de la intensidad del movimiento del terreno en función de la magnitud y de la distancia epicentral o de la distancia a la fuente sísmica.

Brecha sísmica: zona de una falla o de un segmento de borde entre placas tectónicas, de conocida sismicidad histórica e instrumental, en la cual se registra un período prolongado de calma o quietud sísmica en la cual se han acumulado progresivamente grandes cantidades de energía elástica de deformación, y que, por lo tanto presenta una mayor probabilidad de ruptura y de ocurrencia de un evento sísmico.

Coefficiente sísmico: El coeficiente sísmico, c , es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo, V_o , entre el peso de la edificación sobre dicho nivel, W_o .

Corteza terrestre: parte exterior del globo terrestre, rígido y constituido por rocas cristalinas de composición basáltica y granítica, incluyendo sedimentos asociados.

Curva de atenuación: curva que relaciona la severidad del movimiento del terreno, expresada con parámetros tales como aceleración, velocidad o intensidad Mercalli, en función de la magnitud del evento y de la distancia al epicentro o al foco sísmico.

Distancia epicentral: distancia, medida sobre la superficie terrestre, desde el punto de observación de un sismo al epicentro del mismo.

Duración de un sismo: longitud en el sismograma, medida en segundos, en la cual se registran pulsos de amplitud significativa; por ejemplo, en un acelerograma la longitud del registro en el cual las amplitudes son mayores a 0,05 g. Tiempo durante el cual la sacudida del terreno causada por un sismo es percibida por las personas, el cual es siempre menor al registrado instrumentalmente.

Energía elástica: energía acumulada en un sólido producto de la deformación.

Energía sísmica: parte de la energía elástica de deformación liberada durante el proceso de ruptura de la roca en una falla, que es irradiada en forma de ondas elásticas u ondas sísmicas; la mayor parte de la energía elástica acumulada es disipada en forma de calor.

Enjambre de sismos: secuencia o serie de sismos pequeños que ocurren en la misma región durante un tiempo corto, no siendo ninguno de ellos de magnitud significativa o sobresaliente respecto a los demás.

Epicentro: punto sobre la superficie terrestre situado directamente sobre el foco o hipocentro del sismo. La proyección vertical del foco sobre la superficie terrestre.

Espectro de frecuencias: es una medida de la distribución de amplitudes de cada frecuencia. También se llama espectro de frecuencia al gráfico de intensidad frente a frecuencia de una onda particular.

Escala de intensidad: escala empleada para designar la severidad de la sacudida del terreno producida por un sismo, asignándole, en forma subjetiva, grados de intensidad según como sea sentido el evento y de acuerdo con los daños causados a las edificaciones. Una escala muy generalizada es la Mercalli Modificada.

Evento máximo posible: evento sísmico más grande que puede ocurrir en un segmento de falla o región, cuya magnitud ha sido determinada con base en las condiciones tectónicas y geológicas y en las propiedades mecánicas de la corteza, que hacen que la ocurrencia de un evento de magnitud mayor no sea posible.

Evento máximo probable: evento sísmico más grande que, en términos razonables, se espera pueda ocurrir en determinado segmento de falla o región. También se define como el evento que en un sitio dado pueda causar la sacudida más severa del terreno, y cuya probabilidad de ocurrencia está basado en información geológica, tectónica y sismológica conocida. A veces se define el evento máximo probable como el sismo que tiene un período de retorno de 100 años o un sismo que, mediante determinación probabilística de recurrencia, puede ocurrir durante la vida útil de una obra.

Falla geológica: zona de fractura en el material de la corteza a lo largo de la cual dos bloques adyacentes han sufrido una dislocación o un desplazamiento relativo paralelo a la falla; el plano de falla puede ser vertical u oblicuo, y la dislocación total puede ser de centímetros o de metros.

Falla activa: falla geológica en la cual se han producido desplazamientos en la última etapa geológica del Cuaternario (desde el Pleistoceno Superior); es una falla en la que, con base en evidencias históricas, sismológicas o geológicas, se ha constatado que han ocurrido desplazamientos durante los últimos 10.000 a 40.000 años y la cual, por lo tanto, tiene cierta probabilidad de sufrir ruptura y causar un sismo.

Falla inactiva: falla geológica en la cual no se han detectado desplazamientos durante los últimos 10.000 a 40.000 años.

Foco sísmico o hipocentro: punto de la falla donde se origina la ruptura y en el que se genera el primer pulso de las ondas longitudinales P registrado en las estaciones sismológicas. Se define mediante las coordenadas de longitud y latitud y la profundidad focal.

Frecuencia: es una medida que se utiliza para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo.

Frecuencia de onda: número de veces que se repite un proceso cíclico por unidad de tiempo; número de ciclos por unidad de tiempo de un proceso oscilatorio. La unidad de frecuencia es el hertz y se mide en ciclos por segundo; la frecuencia es el inverso del período de vibración o del período de onda.

Fuente sísmica o fuente sismogénica: región tectónica o segmento de una falla donde en forma recurrente se generan sismos a causa de la ruptura de la roca.

Fuerzas sísmicas: conjunto de sollicitaciones o empujes adicionales que inducen los sismos sobre las estructuras.

Gal: nombre que se le asigna, en honor a Galileo Galilei quien fue el primero en medir la aceleración de la gravedad, a la unidad de aceleración en el sistema cegesimal, esto es, al centímetro por segundo al cuadrado. El símbolo de esta unidad es Gal.

Por definición $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 0,01 \text{ m/s}^2$.

Inmuebles en riesgo sísmico simple: Se considera a todas aquellas edificaciones de la Ciudad destinadas a la vivienda que no excedan de cuatro niveles, así como todas aquellas en las que se realicen actividades de pequeño comercio.

Inmuebles en alto riesgo sísmico: Todas aquellas edificaciones cuya falla estructural o colapso represente un número elevado de pérdidas humanas y/o económicas, o las que representen un riesgo probable por contener sustancias tóxicas, inflamables o explosivas. Asimismo se consideran los inmuebles de carácter vital, estratégico y de servicios para la Ciudad.

Intensidad: medida cualitativa o cuantitativa de la severidad de la sacudida del terreno producida por un sismo en determinado lugar. La acepción generalizada de intensidad es una medida subjetiva, no instrumental, de los efectos aparentes causados por el evento; para ello se emplean escalas, por ejemplo la escala Mercalli Modificada, que asigna diferentes grados a la forma en que el temblor es sentido y según los daños a edificaciones y los cambios geológicos causados por el terremoto. Existen también medidas cuantitativas e instrumentales de la intensidad dadas por parámetros tales como la aceleración máxima, la velocidad o el desplazamiento del terreno. La intensidad es un parámetro que depende del sitio de observación y en general decrece en función de la distancia a la fuente sísmica o al epicentro.

Instrumentos de detección sísmica: aparatos diseñados con el fin de detectar el arribo de las ondas primarias P con fines de alertamiento.

Isosistas: líneas en un mapa que unen sitios que han experimentado igual intensidad, o en su defecto, líneas que separan sitios de diferente grado de intensidad.

Licuefacción: transformación de suelos granulares saturados y poco consolidados, por ejemplo arena, en una masa con propiedades de un líquido o fluido debido a la vibración del terreno causada por un sismo.

Magnitud: medida cuantitativa del tamaño de un sismo en su fuente, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura en la falla. Es un parámetro independiente del sitio de observación y se determina midiendo la máxima amplitud de las ondas en un sismograma. Las medidas más usuales son la magnitud Richter M o magnitud local ML, magnitud de ondas de cuerpo (mb), magnitud de ondas de superficie (Ms), y magnitud momento (Mw).

Mercalli Modificada: escala de intensidad que abarca de grado I a grado XII, que sirve para designar la intensidad de un sismo en un sitio dado. La intensidad se asigna en forma subjetiva según el sismo sea percibido por las personas (grados I a VI), según los daños que ocasione a las edificaciones (grados VII a X) y según los cambios geológicos que éste produce (grados XI a XII).

Onda primaria (P): son ondas longitudinales o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material líquido o sólido.

Onda secundaria (S): son ondas en las cuales el desplazamiento es transversal a la dirección de propagación. Su velocidad es menor que la de las ondas primarias, por lo que éstas aparecen en el terreno después de las ondas P. Estas ondas son las que generan las oscilaciones durante el movimiento sísmico y las que producen la mayor parte de los daños. Sólo se trasladan a través de elementos sólidos.

Ondas sísmicas: ondas elásticas generadas por un sismo que se propagan a partir del foco en todas direcciones. Vibración de la roca o partículas de terreno causada por un sismo.

Out-put: salida electrónica del instrumento de alertamiento que podrá controlar o apagar automáticamente diversos sistemas o dispositivos que durante un sismo puedan poner en riesgo la integridad física de las personas cercanas o bien que puedan causar daños secundarios por causa del sismo

Peligro sísmico: ver **amenaza sísmica**.

Período de onda: intervalo de tiempo entre dos crestas sucesivas en una onda sinusoidal; intervalo entre amplitudes máximas de ondas sísmicas. El período se mide en segundos y es el inverso de la frecuencia de onda.

Período de recurrencia promedio: tiempo promedio entre la ocurrencia de eventos sísmicos en una falla o una región tectónica dadas.

Período de retorno: en un sitio dado, el tiempo promedio entre la ocurrencia de eventos o de movimiento del terreno de características dadas; equivale al inverso de la probabilidad de excedencia anual.

Placa tectónica: segmento relativamente grande y rígido de la litosfera que incluye la corteza y la parte superior del manto, que se desplaza moviéndose en relación a las placas adyacentes. La superficie de la Tierra está dividida en unas 17 placas mayores.

Probabilidad de excedencia: probabilidad de que determinado valor de aceleración o intensidad del movimiento del terreno, o que ciertos efectos o consecuencias económicas producidas por un sismo, sean excedidas durante un período de exposición dado.

Probabilidad de ocurrencia: probabilidad de que un evento ocurra durante un intervalo de tiempo dado.

Profundidad focal: profundidad del foco o hipocentro del sismo bajo la superficie terrestre.

Reacción de resguardo: medidas de seguridad y de protección que se deben de tomar ante la inminencia de un evento sísmico potencialmente destructivo.

Registro sísmico: ver. **Acelerograma.**

Recurrencia: ver **período de recurrencia promedio.**

Región asísmica: región de la Tierra tectónicamente estable, que está casi exenta de sismos.

Regionalización sísmica: proceso de determinación del peligro o amenaza sísmica en muchos sitios comprendidos dentro de una región o país con el objeto de delimitar zonas sísmicas sujetas a un grado similar de riesgo.

Réplicas: secuencia de sismos menores que ocurren después del evento principal, o sea el mayor sismo de la sede, y que se concentran en una zona que coincide generalmente con el área de ruptura y de liberación de energía, o sea, el área donde se generó el evento principal.

Riesgo sísmico: probabilidad de que en determinado sitio y durante un tiempo de exposición dado, las consecuencias económicas y sociales producidas por un evento sísmico excedan valores prefijados, por ejemplo víctimas, cuantía de daños, pérdidas económicas, etc. Se define también como la amenaza sísmica relativa o comparativa de un sitio a otro.

Rigidez: propiedad física de un material; está dada por la razón entre un determinado esfuerzo (normal, o de corte) y el valor de la correspondiente deformación unitaria (axial o ángulo de distorsión) que éste produce en la roca.

Sensor sísmico: sistema de péndulos y dispositivos electrónicos altamente sensibles que detectan las ondas P de un sismo al superar una aceleración de 5 gales.

Simulacros: ejercicios preventivos donde se reacciona ante un potencial evento ficticio, pero cuya respuesta sirve para evaluar y mejorar los tiempos de respuesta y el comportamiento tanto individual como colectivo ante un suceso real.

Sismicidad: parámetro que describe la actividad sísmica en un área geográfica dada, definido por la ocurrencia de sismos en tiempo y espacio. Generalmente se refiere a la frecuencia de ocurrencia y a la magnitud de sismos pasados; puede estar dada por el número promedio por unidad de tiempo de ocurrencia de sismos de características dadas, por ejemplo $M > 6$, en una región o segmento de falla.

Sismo: evento físico causado por la liberación repentina de energía debido a una dislocación o desplazamiento en la corteza terrestre; parte de la energía es irradiada en todas direcciones en forma de ondas elásticas u ondas sísmicas. Este fenómeno es conocido como sismo tectónico, para diferenciarlo del sismo volcánico. Es percibido en la superficie como una vibración del terreno, y se le denomina temblor cuando no causa daños, y terremoto cuando la sacudida es violenta y el evento es destructivo, causando daños severos o víctimas. Ver **temblor** y **terremoto**

Sismo volcánico: evento físico que causa propagación de ondas y vibraciones en el terreno pero asociadas al ascenso de magma hacia la superficie.

Sismógrafo: instrumento para registrar el movimiento de la superficie de la Tierra producido por un sismo; el registro obtenido, llamado sismograma, es una representación amplificada del movimiento en función del tiempo.

Sismógrafo de movimiento fuerte (ver **acelerógrafo**): instrumento sismográfico para registrar el movimiento del terreno en áreas donde la intensidad es severa, por ejemplo en el área epicentral. Los acelerógrafos son sismógrafos de movimiento fuerte diseñados para registrar la aceleración del terreno en función del tiempo.

Sismograma: registro obtenido de un sismógrafo, que es una representación amplificada del movimiento del terreno en función del tiempo.

Sismología: rama de la ciencia que estudia los sismos, las fuentes sísmicas y la propagación de las ondas sísmicas a través del medio sólido o líquido de la Tierra.

Sismómetro: parte del sismógrafo; un sensor, generalmente un péndulo suspendido, que capta la señal del movimiento y la transmite por medios ópticos o impulsos eléctricos para ser amplificada y registrada.

Sismos de subducción: sismos provenientes de las costas del Océano Pacífico, en el contacto entre las placas de Cocos, del Pacífico y de Norteamérica.

Sistema de alertamiento sísmico: equipamiento tecnológico capaz de detectar el arribo de las ondas primarias con el fin de emitir una señal que permita tomar acciones preventivas, de resguardo o de evacuación.

Subducción: ver **zona de subducción**.

Tectónica de placas: la teoría del movimiento e interacción de las placas tectónicas que trata de explicar los sismos, volcanes y la formación de montañas como una consecuencia del desplazamiento relativo y la interacción entre dichas placas continentales.

Temblor: evento sísmico percibido en la superficie como una vibración o sacudida del terreno, sin causar daño y destrucción.

Terremoto: evento sísmico destructivo que causa daños severos y víctimas.

Vulnerabilidad: grado de daño o pérdida a que está sujeta determinada obra o elemento a causa de un sismo de una magnitud e intensidad dada, expresada generalmente en una escala que varía de 0 (ningún daño) a 10 (colapso y pérdida total).

Zona de subducción: segmento de placa oceánica que desciende y se sumerge bajo una placa continental u oceánica a lo largo de la fosa marina; en ella se sitúan generalmente los focos de sismos que definen la zona de Wadati-Benioff o zona de Benioff.

Zona sísmica: área geográfica delimitada dentro de una región sísmica, en la cual la amenaza y el riesgo sísmico son similares y los requerimientos para el diseño sismorresistente son iguales.

Zona sismogénica: área geográfica donde, por sus características geológicas y estructurales, la ocurrencia de sismos es relativamente frecuente.

Zonificación sísmica: (ver **regionalización sísmica**). Proceso de determinación de la amenaza sísmica en varios sitios con el propósito de delimitar zonas sujetas a un grado similar de riesgo.

5. Características técnicas y de instrumentación.

5.1. Introducción.

Esta norma establece las condiciones técnicas mínimas que debe cumplir tanto un instrumento como un sistema de alertamiento sísmico, con el fin de tener seguridad de que no presente fallas y cumpla el cometido fundamental de emitir una alerta del arribo de las ondas destructivas asociadas a un sismo, a fin de evitar al máximo pérdidas humanas y materiales.

El riesgo sísmico que presenta el país y particularmente el Distrito Federal, hacen necesaria la regularización y aplicación de una normatividad técnica que gestione el uso de un instrumento, diseñado con tecnología validada y comprobada, para alertar de la llegada de movimientos sísmicos potencialmente destructivos.

Por tal motivo, se emite la presente Norma Técnica del sistema de alertamiento sísmico, cuyo fin esencial está basado en una acción preventiva y de respuesta rápida por parte de la población y las autoridades gubernamentales encargadas de la Protección Civil, para contar con un tiempo de alerta que permita:

- 1) salvar vidas;
- 2) reducir los efectos secundarios asociados a un evento sísmico relevante;
- 3) activar una reacción de resguardo y rescate antes de que se sienta el movimiento y antes de que las redes de comunicación y de energía eléctrica se pierdan a consecuencia del fenómeno sísmico.

5.2. Características del equipo.

5.2.1. Sobre el sensor detector de ondas P de los instrumentos de alertamiento sísmico.

Los requisitos y métodos de prueba de esta norma se aplican a los instrumentos de detección sísmica de uso comercial o industrial que utilizan para su alimentación tanto la energía eléctrica de las redes públicas como otras fuentes de energía como pilas, baterías o acumuladores y que se diseñarán para operar hasta 3 200 m de altitud sobre el nivel del mar.

Las frecuencias de detección deben estar comprendidas entre los 0,1 a 10 Hz, siendo ésta la frecuencia producida por las vibraciones sísmicas. Asimismo deben garantizar el no afectar otros medios de telecomunicación.

Los instrumentos deberán tener la capacidad de emitir una alerta al detectar sismos provenientes de epicentros en un radio de 360°, con una aceleración mayor a 4 gales generada por la onda primaria, tanto de sismos cercanos como lejanos.

El principio de funcionamiento de los instrumentos deberá utilizar acelerómetros altamente sensibles y calibrados para detectar las aceleraciones del terreno dentro de un amplio espectro de frecuencias sin saturación de la señal.

Los instrumentos deberán ser capaces de discriminar el ruido u otros agentes ajenos a los efectos propios de un sismo, como vibraciones del suelo por tráfico, vibraciones o impactos generados por el hombre (caída de objetos pesados, azotes en puertas o ventanas) así como vibraciones generadas por maquinaria.

El instrumento deberá emitir su alarma dando un tiempo antes de la llegada de la parte más intensa del sismo a la Ciudad de México.

El dispositivo deberá ser de utilidad para reducir los daños y la pérdida de vidas, siempre que el tiempo de alertamiento sea con la anticipación suficiente para llevar a cabo medidas de seguridad previamente establecidas.

La mecánica del instrumento tendrá que garantizar la desactivación de la alarma después de un periodo de 2 minutos, regresando en forma automática a su estado original para poder alertar nuevamente en caso de que se presenten réplicas del sismo.

Los instrumentos deberán contar con una calibración directa de fábrica y no permitirán la manipulación del sensor al usuario final.

El sensor deberá someterse a pruebas, con información sísmica real con datos de sismos históricos sufridos tanto en el área de aplicación como sismos importantes ocurridos en el mundo. Para ello deberá avalarse la realización de pruebas con acelerogramas registrados en eventos previos, reproducidos por mesas vibratorias que puedan generar movimientos en los tres vértices al mismo tiempo, por medio de archivos recolectados por estaciones sismológicas.

Los instrumentos deberán contar con un sistema de prueba de funcionamiento para que el usuario tenga la garantía de la correcta operación actual. Esta prueba también podrá ser destinada para la aplicación de simulacros.

Los equipos deberán ser resistentes a uso industrial y a condiciones extremas.

Los instrumentos deberán de proveerse con una conexión remota a una central de monitoreo y reacción (Atlas de Riesgo y Protección Civil), que proporcionarán información y ubicación física del inmueble así como datos generales de los ocupantes.

El equipo deberá contar con una salida "output" para interactuar en forma automática con sistemas electrónicos, mecánicos y eléctricos de reacción secundaria (sistemas electrónicos, controles de maquinaria, electricidad, cierre de válvulas de gas, fluidos, entre otros). Esta salida podrá controlar o apagar automáticamente diversos dispositivos que durante un sismo puedan poner en riesgo la integridad física de las personas cercanas o que puedan causar daños secundarios por causa del sismo.

Los instrumentos sísmicos deberán contar con un sistema de prueba para que el usuario tenga la garantía de operación, esta prueba también podrá ser destinada para el ejercicio de un simulacro.

5.2.2. De las características de la alerta que emiten los instrumentos de alertamiento sísmico.

La alerta deberá ser de tipo visual y auditiva de manera que garantice su percepción por el mayor número de personas, podrá ser formada por sistemas de luz ultra brillante que no generen un daño a la vista y un sistema de voceo por medio de bocinas de audio con salida de potencia mínima de 20 watts y 100 decibeles garantizando que el mensaje será escuchado por todo el personal y en todas las áreas del inmueble, tomando en cuenta el ruido natural del lugar.

La alerta auditiva deberá permitir la reproducción de un mensaje de audio pregrabado para reconocer el evento sísmico y no confundirlo con otro tipo de eventos.

5.2.3. De las fuentes de energía de los instrumentos de alertamiento sísmico.

Los instrumentos deberán funcionar en forma autónoma, sin depender de otras fuentes o aparatos remotos, emitiendo una alerta únicamente si el lugar donde está instalado tiene potencial de riesgo por el sismo.

Los instrumentos podrán funcionar con un voltaje de 6 a 12 Volts de corriente directa (CD), suministrado por baterías de uso común.

Los instrumentos podrán conectarse al suministro de corriente eléctrica siempre que cuenten con un sistema de respaldo de energía para continuar su funcionamiento normal, en casos de interrupciones de suministro eléctrico.

5.3. Condiciones de seguridad de los equipos de alertamiento sísmico.

El diseño y construcción de los sensores sísmicos, que utilizan para su alimentación tanto la energía eléctrica del servicio público como otras fuentes de energía tales como pilas, baterías, acumuladores, entre otros, deberán cumplir con la NOM-001-CSFI-1993, con el propósito de prevenir y eliminar los siguientes riesgos para la incolumidad corporal de los usuarios y para la conservación de sus bienes:

- a) Descargas eléctricas provocadas por fugas de corriente eléctrica o descargas entre los aparatos y el cuerpo humano.
- b) Quemaduras del cuerpo humano provocadas por contactos accidentales o voluntarios con partes accesibles sobrecalentadas.
- c) Daños corporales y afectaciones materiales provocados por la inestabilidad mecánica de los aparatos y/o por el funcionamiento de sus partes móviles.
- d) Daños corporales y afectaciones materiales por fuegos e incendios originados por los aparatos durante el funcionamiento.
- e) Consecuencias patológicas y genéticas de la exposición del cuerpo humano a dosis excesivas de radiaciones ionizantes emitidas durante el funcionamiento de los aparatos que incluyan circuitos con potenciales iguales o superiores a 16 KV (cresta).
- f) Cada requisito de seguridad de los aparatos, será definido en cuanto a límites y métodos de prueba correspondientes, de forma tal que la presente norma constituye una base unificada y de común entendimiento que permita a los diseñadores, fabricantes, compradores, vendedores, usuarios y autoridades competentes incorporar, exigir y evaluar la seguridad sobre criterios unificados con resultados certeros y repetitivos.

5.4. Comprobación técnica del funcionamiento.

El funcionamiento del sistema de alertamiento sísmico deberá ser valorado por una institución académica con reconocimiento nacional e internacional en materia sísmica, a través de pruebas de laboratorio con la finalidad de demostrar su principio de alertamiento anticipado, con la detección de las primeras ondas sísmicas. Para ello, se deberán reproducir sismos reales en mesas vibratorias tridimensionales, simulando tanto sismos locales como sismos ocurridos en otros países, al igual que pruebas de campo para comprobar que el equipo no emite falsas alarmas por vibraciones no sísmicas.

Asimismo, el aparato deberá contar con una patente de clase internacional, en donde se muestre el principio del sensor sísmico y su origen de procedencia para validar la compatibilidad con el territorio nacional.

El sistema de alertamiento sísmico deberá haber permanecido en observación de su desempeño en la Institución académica de referencia por un periodo mínimo de dos años, para lo cual deberá emitir un reporte de los resultados.

El sistema de alertamiento sísmico deberá ser sometido a pruebas de campo en donde se generen vibraciones no sísmicas cerca del equipo para probar que no produce falsas alarmas.

El equipo debe de respaldarse con un manual técnico de operación que incluya las especificaciones del producto y la forma de instalación.

6. Garantía del funcionamiento del sistema de alertamiento sísmico.

Quienes obtengan la aprobación de la Secretaría de Protección Civil del Gobierno del Distrito Federal, respecto de un sistema de alertamiento sísmico para la instalación en inmuebles del Distrito Federal deberán contratar un seguro de responsabilidad civil que responda por los daños y perjuicios que cause por su eventual funcionamiento inadecuado.

Los promoventes de la aprobación del sistema de alertamiento sísmico deberán exhibir en las oficinas de la Dirección General de Prevención de la Secretaría de Protección Civil del G.D.F. la póliza o documento correspondiente que avale la contratación del seguro de responsabilidad civil.

7. Interpretación de la norma.

Para efectos técnicos la interpretación de la presente norma corresponderá a la Secretaría de Protección Civil del Distrito Federal por conducto de su Dirección General de Prevención.

8. Bibliografía.

Espinosa– Aranda, J.M., A. Jiménez, G. Ibarrola, F. Alcantar, A. Aguilar, M. Hinostraza y S. Maldonado, 1995. *Sistema de Alerta Sísmica de la Ciudad de México. Seism. Res. Lett.* 66, 6, 42 – 53.

Iglesias, A., S. K. Singh, M. Ordaz, M. A. Santoyo y J. F. Pacheco, 2007. *El Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México: una evolución de su desempeño y una estrategia para su mejoramiento. Bull. Seism. Soc. Am.* 97, 5, 1718 – 1729.

Wessel, P. y W. H. F. Smith, 1998. *Nueva versión mejorada de las Herramientas de Mapeo Genérico Liberadas. EOS* 79, 47, 579.

Hofstetter, A. *Evaluation of Two Experimental studies of the Earthquake warning device*, E. Q. Earthquake Ltd.

García, D., Singh, S. K., Iglesias, A., Quintanar, L., Valdés, C., 2008. *Unidades acelerográficas de bajo costo como dispositivos de alerta sísmica para la Ciudad de México: ¿qué tan bien funcionarían?. Inst. Geofísica, UNAM. 48 (2), 211 – 220 (2009).*

Andrei M. Reinhorn, PE, Ph.D., Dohwan Kong, MS, 2008. *Experimental Evaluation of "earthquake alert" device.* University at Buffalo, New York.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- Publíquese en la Gaceta Oficial del Distrito Federal para su debida observancia y aplicación general.

SEGUNDO.- La presente Norma Técnica entrará en vigor al día siguiente de su publicación en la Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Dado en la Ciudad de México a los veintinueve días del mes de julio del año dos mil diez.

**EL SECRETARIO DE PROTECCIÓN CIVIL
DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.**

(Firma)

DR. ELÍAS MIGUEL MORENO BRIZUELA.