

ARTÍCULO

## **SISTEMA DE ALERTA SÍSMICA PARA LA CIUDAD DE MÉXICO**

*Armando Cuéllar M, Gerardo Ibarrola Álvarez,  
Samuel Maldonado C. y J. M Espinosa Aranda  
Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C.*

## Sistema de alerta sísmica para la ciudad de México

### Introducción

La posibilidad de reconocer oportunamente el inicio de un sismo fuerte cerca de su epicentro; la diferente velocidad de propagación de las ondas sísmicas y eléctricas, y la distancia entre el sitio del epicentro sísmico y el lugar donde se desea prevenir sus efectos, son los parámetros básicos y las condiciones que hacen posible el desarrollo de un sistema de alerta sísmica (Cooper, 1868, anexo 1). La eficacia de esta tecnología depende, además, del resultado de acciones, como: captar el sismo, pronosticar su magnitud e informar oportunamente a la población en riesgo para que responda adecuadamente. Todas estas acciones tienen posibilidad de falla.

### Antecedentes

Desde 1984, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, con el apoyo de instituciones internacionales, opera y conserva una red de acelerógrafos en el estado de Guerrero, a través de la cual se produce información útil para investigar la generación y los efectos de los sismos fuertes de subducción. El resultado del estudio sismológico de la región, entre Acapulco y Zihuatanejo, Gro., muestra que en esa región puede ocurrir un sismo con magnitud entre 7.9 y 8.2 (Anderson, et al, 1989) y se estima que sus posibles efectos podrían superar los que sufrió la Ciudad de México en 1985, (Rosenbluth, et al, 1989). Estas investigaciones permiten confirmar la existencia de la "Brecha de Guerrero" y el peligro de que se genere un sismo de gran magnitud, (figura 1). La red Guerrero permitió el registro del terremoto M8.1 de Michoacán, el 19 de septiembre de 1985, que causó alrededor de 10,000 muertos y 30,000 heridos en la Ciudad de México (Esteva, 1988). El estudio del evento mostró que las características del terremoto y la resonancia con las estructuras de los edificios, causaron el colapso de éstas y el alto costo en vidas, de quienes, por otra parte, no tuvieron alguna señal de prevención ni la capacidad para una respuesta rápida.

Con el propósito de mitigar los eventuales desastres sísmicos que sufre la Ciudad de México, en 1986 la Fundación Javier Barros Sierra auspició la creación del Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C. (CIRES), en el que, con el apoyo de la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno de la Ciudad de México, se inició en 1990 el desarrollo y la operación del Sistema de Alerta Sísmica (SAS), herramienta que ha permitido avisar a la población del Valle de México, con una anticipación promedio de sesenta segundos, el inicio de algunos sismos importantes que ocurren en Guerrero (Espinosa-Aranda, et al, 1989).

El SAS inició su funcionamiento experimental en agosto de 1991 y su existencia se hizo pública el 14 de mayo de 1993, después de alertar, con avisos anticipados de 65 y 73 segundos, el inicio de sendos sismos de magnitud M5.8 y M6, ocurridos a las 21:10 y 21:12 horas en Guerrero (Espinosa-Aranda, et al, 1995). Después de esta prueba, en agosto de 1993 las autoridades del Gobierno del Distrito Federal anunciaron el inicio de este servicio público, para el que se ha contado con el valioso apoyo de la mayoría de las estaciones comerciales de la Asociación de Radiodifusores del Valle de México y los canales de televisión: 7, 11, 13 y 22, más la Televisión Mexiquense y las estaciones de AM y FM del Estado de México.

El SAS de la Ciudad de México consiste en un Subsistema Sismo-Detector formado por doce Estaciones Sensoras de Campo, implantadas a lo largo de la costa de Guerrero, entre Papanao y Punta Maldonado (figura 2), capaces de evaluar parámetros sísmicos del evento en desarrollo. Cada Estación Sensora puede estimar y transmitir su información en forma instantánea, vía los canales de radio del Subsistema de Comunicaciones Guerrero-DF, hasta la Estación Central de Registro del SAS en la Ciudad de México, a

más de 300 kilómetros de distancia. En este sitio un sistema computarizado registra, analiza y confirma la información recibida y, en su caso, emite el aviso de advertencia. El SAS transmite automáticamente avisos de alerta "Preventiva" cuando pronostica que la magnitud del sismo en desarrollo será moderada, en  $5 < M < 6$ , y alerta "Pública", cuando pronostica que el sismo será fuerte,  $M > 6$ .

Es oportuno destacar que hasta octubre de 2009, después de casi 17 años de funcionamiento continuo, el SAS ha logrado detectar poco más de 2115 sismos de magnitud entre 3.4 y 7.3 y que de esos eventos, sólo 66 sismos fueron de importancia para ser advertidos automáticamente por el SAS en los valles de México y Toluca: 13 con rango de alerta "Pública" y 53 como alerta "Preventiva"; sin embargo, muchos no olvidan que al inicio de su servicio, el SAS no alertó un sismo, y que el 16 de noviembre de 1993 generó un aviso falso, y menos son los que señalan el poco avance logrado en la definición y la práctica de planes de emergencia que requiere la Ley de Protección Civil.

### **Respuesta de la población ante avisos de alerta sísmica**

El jueves 14 de septiembre de 1995, a las 8:04 am, ocurrió un sismo M7.3 en Copala, Gro., aproximadamente a 150 kilómetros al sureste de Acapulco y poco más de 300 kilómetros al sur de la Ciudad de México. Los daños, aunque considerables en pueblos cerca del epicentro, fueron pequeños en la ciudad de México (Anderson, et al, 1995). Durante este evento el SAS mostró su eficacia, porque generó un aviso de alerta "Pública" y anticipó con 72 segundos el arribo de las ondas más fuertes (figura 3). El sismo ocurrió a una hora que mucha gente se traslada a sus trabajos o inicia sus actividades, cuando satura el sistema de transporte público y el METRO, y cuando los alumnos de escuelas básicas se encuentran en los patios antes de iniciar sus clases. Algunas escuelas secundarias y universidades inician clases desde las 7:00 horas. En esa fecha el aviso de alerta que emitió el SAS fue escuchado por poco más de 4 millones de habitantes del Valle de México (tabla 1).

**Escuelas Públicas.** Cuatro jardines de niños, 16 escuelas primarias y seis secundarias, equipadas con radio receptores del SAS, captaron el aviso del sismo de Copala. Se estima que este aviso llegó a 14,200 personas, entre estudiantes, profesores y personal administrativo. Gracias al procedimiento de prevención instruido por la SEP, 90% de los planteles oficiales se vieron beneficiados con el aviso emitido y lograron activar manualmente sus sistemas de alarmas. Las autoridades de la SEP calcularon que el aviso llegó a 1'970,000.00 personas. Los alumnos de las escuelas secundarias que tenían clases, evacuaron ordenadamente, según informe de las autoridades educativas. La mayoría de los niños de escuelas primarias que estaban por entrar a su salón, se ubicaron en los lugares seguros preestablecidos. La respuesta de los niños durante este sismo fue comentada como excelente.

**Escuelas Privadas.** Durante el sismo de Copala, sólo dos escuelas particulares de la Ciudad de México tenían receptores del SAS. Fue desarrollado un estudio comparativo con respecto a la aplicación y la respuesta de dos planteles, con y sin avisos de alerta sísmica. Los alumnos de los dos planteles tenían entrenamiento para efectuar procedimientos de prevención. La respuesta de los niños de la escuela con receptor de avisos del SAS, fue con menos nervios durante y después del sismo, comparada con la de los otros niños que no tenían receptor del SAS. Los primeros lograron regresar a clases inmediatamente y los niños de la escuela sin SAS no pudieron regresar a clases debido al nerviosismo posterior al evento (Arjonilla, 1996).

**Estaciones de Radio en AM-FM.** Durante el evento de "Copala" 24 receptores de la señal de alerta del SAS estaban instalados en radiodifusoras de la Ciudad de México. Según el Instituto Mexicano de la Radio, en la zona metropolitana del Valle de México el nivel de audiencia, entre las 6:00 y las 10:00 horas, es del 10%. Es decir, que el aviso del SAS llegó a casi 2 millones de personas. Además, suponen que cuando una persona escucha un mensaje de alerta lo comunica al menos a una más.

Durante el sismo de "Copala", el proceso de emisión de avisos de alerta, desde las estaciones de radio, era manual y dependía de la acción de un operador. Después de ese evento, para superar retardos y fallas observadas, cada emisora solicitó la instalación de interruptores de programación, telecontrolados por la señal del SAS. Es así como una señal ululante de alerta sísmica sustituye automáticamente un programa de radio durante 60 segundos. El aviso inicia con el tono característico y el mensaje cíclico "alerta sísmica, alerta sísmica", después regresa al programa de radio interrumpido. El aviso puede ser escuchado por la audiencia en ese instante y después. De acuerdo con la importancia del sismo, la emisora podrá informar sobre sus características, las acciones de protección y la descripción de los daños causados.

**Transporte subterráneo.** El METRO de la Ciudad de México usa los avisos del SAS desde 1992. La central de control ordena a los trenes la reducción de su velocidad, parar en la estación siguiente y abrir las puertas. El riesgo de pánico entre los usuarios no entrenados, se reduce sin informar la causa del paro del servicio, porque el comportamiento de las obras civiles del METRO, durante los sismos, ha sido satisfactorio. Se estima que un promedio de 400,000 personas viajan entre las 6:00 y las 10:00 horas o entre las 17:00 y las 21:00 horas.

**Complejo habitacional el Rosario.** Durante el sismo de "Copala", la señal de alerta sísmica del SAS telecontrolaba un amplificador potente de audio, instalado en una torre del multifamiliar El Rosario. El sonido cubrió a una población estimada en 10,000 personas. Este aviso permitió a los residentes de la comunidad evacuar sus departamentos. Los residentes comentan que estuvieron asustados cuando sonó la alerta, pero respondieron rápidamente cerrando el gas, apagando luces y evacuando sus viviendas, de acuerdo a los procedimientos establecidos. Existen vecinos designados específicamente para dirigir a las personas por las rutas de evacuación designadas. No hubo reportes de pánico o acciones asociadas con el miedo extremo.

**Otros.** Algunos usuarios del SAS son organizaciones de emergencia, como: la Secretaría de Protección Civil del Distrito Federal, La Dirección General de Protección Civil del Estado de México, la Cruz Roja Mexicana, el Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED, la Secretaría de Seguridad Pública de la Ciudad de México y el Estado Mayor de la Defensa Nacional, oficinas del Gobierno, edificios públicos, escuelas privadas, universidades y domicilios del personal técnico del CIRES. Se estima que 9,000 personas fueron alertadas en este rubro.

## Uso del SAS

Actualmente se tienen instalados poco más de 230 radio receptores de avisos del SAS, incluidas las 58 estaciones de radio en los valles de México y Toluca, que ayudan a difundir al público los avisos de alerta sísmica. Entre los usuarios importantes destacan la UAM Iztapalapa y la ampliación de la unidad habitacional El Rosario. El primero instaló un sistema de avisos de alerta sísmica con audio amplificadores potentes, que cubren poco más de 15,000 personas, y el segundo, con el apoyo de una empresa distribuidora de gas local, instaló otros dos sistemas potentes de sonido, para ampliar la cobertura de la señal de alerta a 20,000 usuarios más. Los nuevos usuarios frecuentemente implementan conjuntamente procedimientos de respuesta rápida y programas de entrenamiento.

Contrariamente a lo esperado, durante el aviso de una alerta falsa a las 19:00 horas del 16 de noviembre de 1993, ante una audiencia estimada en 2'000,000 de personas, prevaleció la calma y el sentido común de la población. Antes de ese suceso, un argumento usado para limitar la difusión de la señal de alerta a todo público, era que mucha gente podría morir o resultar herida a causa de situaciones de pánico en lugares públicos. Además, en esa ocasión el público no tenía entrenamiento para actuar en una situación de emergencia, sin embargo, nadie resultó herido o muerto por el pánico. Esta experiencia debe ser

revisada y discutida públicamente, con el propósito de promover el entrenamiento para una respuesta rápida, en caso de recibir el aviso de alerta sísmica vía la radio comercial.

### **Disponibilidad y confiabilidad del SAS**

Por su función estratégica, el SAS es objeto de un programa continuo de actividades de investigación, que permiten asegurar y mejorar sus especificaciones técnicas. Además del desempeño rutinario de operación y conservación, se evalúan sus resultados y se prueban los procedimientos y las soluciones propuestas para superar diversos problemas técnicos que han o pueden menguar su desempeño y viabilidad futura.

La información sobre el desempeño y los resultados de operación del SAS, se analiza periódicamente para calcular sus índices de disponibilidad (D) y confiabilidad (R). La primera evaluación de estos factores corresponde al lapso entre septiembre de 1991 y julio de 1993 (Jiménez, et al, 1993).

Observamos que la disponibilidad histórica del SAS es  $D=0.9976$ , gracias a la eficacia de las actividades de operación y conservación de todos los elementos del sistema. El SAS tiene un índice de confiabilidad  $R=0.9929$ . El nivel y la evolución histórica de estos factores indica la eficacia lograda para analizar y resolver las fallas de funcionamiento del SAS, así como la eficacia de las alternativas aplicadas para asegurar la continuidad y la calidad del servicio (Espinosa –Aranda, et al, 1997); sin embargo, es oportuno destacar que para no degradar los factores de disponibilidad y confiabilidad logrados, conviene renovar cíclicamente los elementos obsoletos o descontinuados del SAS.

### **Análisis**

Afortunadamente el sismo de la "Brecha de Guerrero" no ha ocurrido. Como el SAS inició su servicio público desde 1993, los habitantes de la Ciudad de México hemos obtenido un conocimiento empírico sobre su existencia, fallas y aciertos, experiencia en la que han participado algunos medios, con su crítica o promoción. Es conveniente señalar el peligro sísmico, para estimular la práctica regular de simulacros y mejorar el aprovechamiento de los avisos del SAS.

Es común escuchar más discusiones sobre la confiabilidad del desarrollo tecnológico del SAS y sobre la escasa capacidad de respuesta de los usuarios, que sobre la conveniencia de aplicar criterios modernos de construcción contra sismos, desarrollar planes y practicar simulacros de prevención, opciones útiles para mitigar los efectos ante la posibilidad de sufrir nuevos desastres sísmicos en la Ciudad de México.

Según la opinión de sismólogos expertos, el mayor riesgo de un sismo fuerte para la Ciudad de México está hoy en la costa de Guerrero, a poco más de 300 kilómetros, razón que permitiría ver al SAS como un recurso estratégico de gran valor social para la población. Cabe mencionar que el presupuesto 2000 para la operación anual del SAS, que fue de 600 mil dólares, incluyó la renovación y el perfeccionamiento de sus elementos tecnológicos, así como el costo de las actividades imprescindibles de investigación para asegurar su viabilidad.

Determinar la eficiencia de un aviso de alerta es difícil, pero la experiencia del 14 de septiembre de 1995 demostró que la combinación de programas de información y la práctica de simulacros, así como una señal de alerta emitida oportunamente, pueden ayudar a reducir nuevos desastres sísmicos en el Distrito Federal. Los programas de educación mejoraron la capacidad para responder ante un aviso de alerta. Los residentes de zonas sensibles al efecto de los sismos, pueden responder a una señal de alerta, con un margen de tiempo limitado y de forma controlada y racional, como se observó en la población infantil de

las escuelas públicas del Distrito Federal.

Para mejorar la capacidad de respuesta de la población que recibe el aviso de una alerta sísmica, es necesario analizar su comportamiento con información obtenida mediante el levantamiento de una encuesta formal y extensa, después de cada evento alertado.

Para promover el diseño y la puesta en práctica de acciones de prevención y el uso del SAS en la Ciudad de México, es necesario diseñar un programa de información para la población en general, sobre el riesgo que representan los sismos. Afortunadamente, desde enero de 1996 se promulgó la Ley de Protección Civil para la Ciudad de México, que norma el papel de las organizaciones civiles y públicas en situación de desastre, y establece el diseño y la práctica de simulacros de prevención.

### **Sistema de Alertamiento Público EAS/SAME**

Actualmente la señal de Alerta Sísmica "Pública" se difunde al público en general mediante el conjunto de canales de televisión y las difusoras de radio de la Asociación de Radiodifusores del Valle de México (ARVM), que generosamente y como un servicio social hacia su auditorio, colaboran con este servicio. Sin embargo, una limitación importante en este método de difusión, es el requerimiento de mantener encendidos los receptores, en previsión de que en cualquier momento se emita una señal audible de alertamiento. Esta limitación se acentúa durante la noche, cuando la gente descansa y, consecuentemente, apaga sus radios y televisores.

Durante 2009, con el apoyo de la Procuraduría General de Justicia del Distrito Federal, el CIRES adquirió e instaló un conjunto de tres estaciones radiodifusoras del Sistema de Alerta Pública, con la norma EAS/SAME. Estos radiotransmisores permiten transmitir señales de alertamiento sísmico a receptores especiales, los cuales normalmente están en modo silencioso. Cuando reciben la señal de control, cambian su modo de operación a modo audible, además de mostrar en una pequeña pantalla un mensaje descriptivo de aviso de alerta recibido. Los receptores operan con energía eléctrica convencional. Tienen dos o tres baterías comunes para asegurar su funcionamiento en caso de fallas breves del suministro eléctrico.

Los tres transmisores de este sistema operan en tres de las siete frecuencias internacionalmente asignadas para transmitir señales de alerta. En Estados Unidos y Canadá opera este sistema de difusión de señales de alerta, con una cobertura nacional en ambos países, para advertir la presencia de peligros y riesgos por fenómenos meteorológicos, ambientales, incendios, raptos de menores, etcétera. En México se utilizará, en su primera etapa, para conducir la alerta sísmica. Los receptores correspondientes se distribuirán inicialmente en las escuelas del Centro Histórico de la Ciudad de México (figura 4).

### **Conclusiones**

La Ciudad de México ha sufrido los efectos de los terremotos que ocurren en Guerrero. Por esta razón es indispensable estimular las actividades de diseño y aplicación de procedimientos de prevención, con campañas continuas de información pública sobre el riesgo sísmico, típico de esta región, de manera similar a las campañas que se difunden sobre problemas de salud. Además, para aprovechar el desarrollo tecnológico del SAS, conviene mejorar la difusión de los avisos de alerta sísmica y apoyar la instalación de sistemas, mediante el uso de receptores económicos de las señales del SAS. Además, es pertinente ampliar la cobertura y la aplicación del SAS hacia la costa de los estados de Colima, Jalisco, Michoacán, Oaxaca y Chiapas.

El SAS es un desarrollo tecnológico, resultado de diversos retos propuestos por un grupo de científicos y especialistas en geofísica e ingeniería sísmica, nacionales y extranjeros, luego de observar el destrozo que causaron en la Ciudad de México los terremotos de septiembre de 1985 (CONACyT, 1986). El sistema

mexicano de alerta sísmica es capaz de anticipar a la población de los valles de México y Toluca, avisos sobre el inicio de sismos fuertes ocurridos en la costa de Guerrero.

## Reconocimiento

Expresamos nuestro reconocimiento a las diversas administraciones del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Secretaría de Obras y Servicios, por el apoyo continuo que se ha otorgado al proyecto desde su inicio, en octubre de 1989. En este mismo sentido destacamos la colaboración de la Asociación de Radiodifusores del Valle de México y Toluca, y las estaciones locales de televisión en el Distrito Federal: Canal 7, Canal 11, Canal 13, Canal 22 y la Televisión Mexiquense, que apoyan la emisión del aviso del SAS, como un servicio social estratégico para la población de esta región del país. El SAS ha contado además con el apoyo de la infraestructura de radio de TELMEX y la CFE, para enviar sus avisos de alerta.

## ANEXO 1

Tomado del Letter to Editor, San Francisco Daily Evening Bulletin, Nov.3, 1868.

### Indicador de Terremotos

Carta al Editor.- Desde que el indicador magnético Japonés resultó ser un fracaso, nos vemos en la obligación de buscar otros medios que nos permitan pronosticar estas temidas convulsiones y quiero sugerir la siguiente modalidad por medio de la cual podríamos hacer que la electricidad sea el medio, quizás, de salvar la vida de miles de personas en el caso que ocurran más choques severos que aún no hemos experimentado. Es bien sabido que estos choques son producidos por un movimiento ondulatorio de la superficie de la tierra, las ondas irradian desde un centro de la misma manera en que se observa cuando se tira una piedra en el agua. Si el centro resulta estar lo suficientemente alejado de la ciudad, es posible que seamos fácilmente notificados de la aproximación de una onda, a tiempo para escapar de edificios peligrosos antes de que nos alcance. La velocidad, según observada y registrada en el trabajo del Dr. J.B. Trask sobre terremotos en California desde el año 1,800 a 1864, es de  $6 \frac{1}{5}$  (seis y un quinto) millas por minuto o un poco menos por hora (40 millas) que la velocidad de las ondas de marea (maremoto) que se reportó haber viajado a través del océano hasta este puerto desde las islas Sandwich o desde Japón.

Un sencillo mecanismo puede ser instalado en varios puntos de 10 a 100 millas de San Francisco, por medio del cual una onda proveniente de la tierra lo suficientemente alta para provocar daño iniciaría una corriente eléctrica sobre los cables irradiantes de la ciudad, y casi instantáneamente haría sonar una campana de alarma, la cual debería colgarse en una torre muy alta cerca del centro de la ciudad. Esta campana deberá ser muy grande, de sonido peculiar, y conocida por todos como la campana de terremoto. Es obvio que nada sino la distante ondulación de la superficie de la tierra debería hacerla sonar. Este mecanismo sería auto-activado y no dependiente de los telegrafistas, quienes no siempre podrán retener la capacidad necesaria para telegrafiar al momento, o bien podrían hacer sonar la alarma muy a menudo. Como parece que algunos choques provienen del oeste, se puede tirar un cable hacia las islas Farallone, a 25 millas de distancia y así poder mandar avisos de cualquier peligro proveniente de esa dirección. Claro que pueden darse choques cuya fuerza central esté muy cerca de la ciudad para poder predecirse, pero es muy poco probable que ocurra una vez cada 100 veces.

J.D. Cooper, M.D.

8 - xx

Usuario

Receptores

Activados

Población alertada

Comentarios

Escuelas públicas 26 1'970,000 Niños cubiertos con 28 radio receptores, más los operados manualmente

Estaciones de radio AM/FM 22 2'000,000 Personas escuchando la radio.

METRO2 400,000 Personas viajando en hora pico.

Complejo habitacional el Rosario 1 10,000 Residentes del complejo.

Otros 35 9,000 Centros de respuesta a emergencias, oficinas del gobierno, edificios públicos, escuelas privadas, Universidades y personal técnico del CIRES.

TOTAL 86 4'389,000

Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C.