

Impacto de proyectos

Estimación temprana sobre daños probables en la Ciudad de México, después de un sismo

POR EDUARDO REINOSO, MARIO ORDAZ, MIGUEL A JAIMES, LEONARDO ALCÁNTARA Y CITLALI PÉREZ

El sismo del 19 de septiembre de 1985 provocó graves daños en áreas altamente pobladas de la Ciudad de México, donde causó más de 10 000 muertos y alrededor de 250 000 personas quedaron sin hogar; aproximadamente 5 mil personas fueron rescatadas de entre los escombros. Se suspendió el servicio eléctrico ante la falla de subestaciones eléctricas y el telefónico se colapsó al desplomarse los edificios de las centrales, el sistema de tráfico dejó de funcionar por lo que la gente recorrió partes de la ciudad a pie; ya no hubo agua para numerosos sectores de la población debido a roturas en el sistema de agua potable. La respuesta gubernamental resultó ineficiente y las autoridades fueron rebasadas por la respuesta espontánea de la población civil. Una de las lecciones aprendidas más importantes en este desastre es que la carencia de información en una etapa temprana causa complicaciones y retrasos significativos en las actividades de respuesta a la emergencia.

Los avances tecnológicos en instrumentación sísmica y telecomunicaciones permiten ya la implementación de sistemas de alertamiento temprano y de respuesta rápida en tiempo (casi) real. El sistema de alertamiento temprano permite interrumpir sistemas de emergencia susceptibles de daños como instalaciones eléctricas, de transporte, sistemas de cómputo y telefónico, además de difundir señales de alerta sísmica a la población para actuar con tiempo suficiente y de manera adecuada para reducir los daños personales y evitar la pérdida de vidas. Por otro lado, el sistema rápido de respuesta proporciona en unos minutos información sobre la distribución de las intensidades del movimiento sísmico del suelo y daños en edificios y víctimas, donde la atención de la emergencia debe ejecutarse inmediatamente después del sismo. Esto permitiría, sobre todo durante sismos muy intensos, reducir el impacto de los mismos al

mejorar las operaciones de rescate directas e incrementar el número de rescates con vida.

Para el Gobierno del Distrito Federal a través de la Secretaría de Protección Civil, se elaboró un sistema que proporciona mapas de las intensidades sísmicas y daños probables en las edificaciones y red primaria de distribución de agua potable de la Ciudad de México producidos por un temblor, menos de 15 minutos después del inicio del movimiento sísmico. Estos mapas, automáticamente generados, estarán disponibles en medios electrónicos y serán enviados tanto a un centro de operaciones de emergencia como a un grupo preestablecido de usuarios por medio de radio-localizadores o correo electrónico.

El sistema se creó a partir de las siguientes actividades: 1) construcción de una base de datos de edificios reducida a partir de información catastral, 2) determinación de la vulnerabilidad sísmica de sistemas estructurales tipo, 3) generación de mapas de intensidades sísmicas, 4) generación de mapas de daño y 5) elaboración del sistema de comunicación entre el Puesto de la Estación Central (Instituto de Ingeniería de la UNAM) y el Centro de Control de Emergencias (Dirección General de Prevención de la Secretaría de Protección Civil del Gobierno del Distrito Federal).

El sistema automático emplea como referencia un acelerograma registrado en tiempo real para ser transmitido de forma automática y sin intervención humana. Para garantizar la comunicación entre los elementos del sistema, se cuenta con un sistema redundante de dos acelerógrafos comunicados a dos computadoras por diferentes tipos de conexión, uno por internet y otro vía fibra óptica. En ambas computadoras se ejecuta un programa deno-

minado MapasTR, pero se considera que un sistema es el prioritario y el otro sirve como respaldo en caso de falla, para evitar la duplicidad de la información al ser publicada y enviada. Cada sistema determina si el movimiento que continuamente se registra corresponde a un temblor (fig 1). En caso afirmativo, se evalúa la intensidad del mismo y, si alcanza el umbral de un valor previamente establecido, se calculan los mapas y se envían automáticamente. Además, se realiza la notificación del evento sísmico y el envío de los mapas a un grupo preestablecido de usuarios, por medio de radio-localizadores o de correo electrónico.

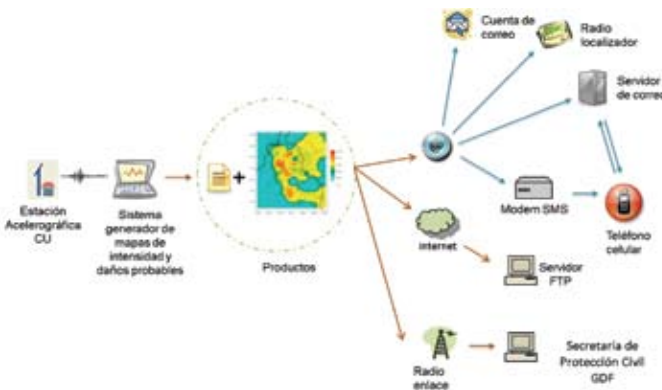


Fig 2. Tipos de notificaciones integradas al sistema SAPS-IUNAM

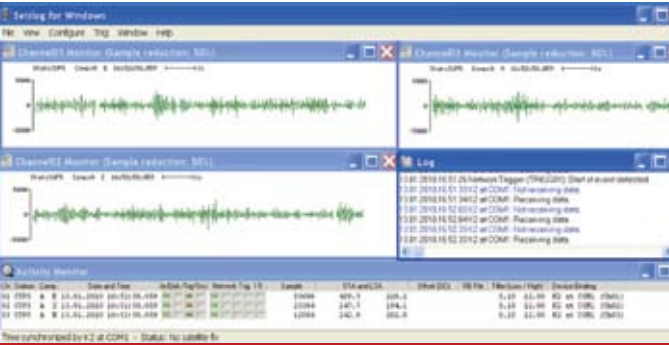


Fig 1. Sistema de adquisición de datos de la estación acelerográfica CUP5 con SEISLOG

archivos de acelerogramas, mapas de intensidades y daño del Puesto de Estación Central al Centro de Control de Emergencias. El sistema de comunicaciones para la transmisión de los mapas de intensidades sísmicas y notificaciones se hace por medio de las siguientes vías: internet, radio frecuencia, mensajes a cuentas de correo electrónico con imágenes adjuntas, mensajes de texto sencillos para cuentas de radio-localizadores y mensajes SMS a teléfonos celulares.

El tiempo de que se dispone es tan corto que todo el procedimiento, desde la recepción de la información preliminar de peligro hasta la impresión de los mapas de daños probables en los sitios de recepción, tiene que ser automático, sin intervención humana. En la fig 2 se presenta un diagrama con el tipo de notificaciones de envío de

En la fig 3 se muestran los mapas que se generarían en el sistema en tiempo real para un escenario similar al del sismo del 19 de septiembre de 1985. Los mapas que se presentan indican con diferentes colores los niveles de intensidad sísmica estimada a lo largo y ancho del Distrito Federal. Cada mapa corresponde a la aceleración máxima que hubiera experimentado un observador localizado en cierta situación. El primer mapa (fig 3a) se refiere a la aceleración

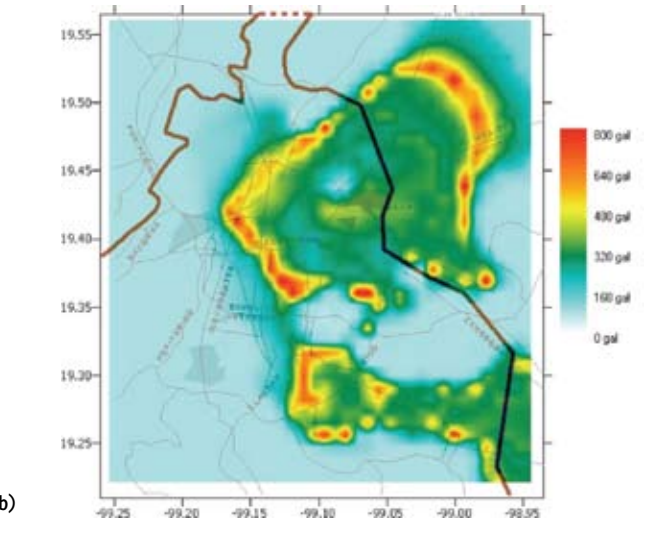
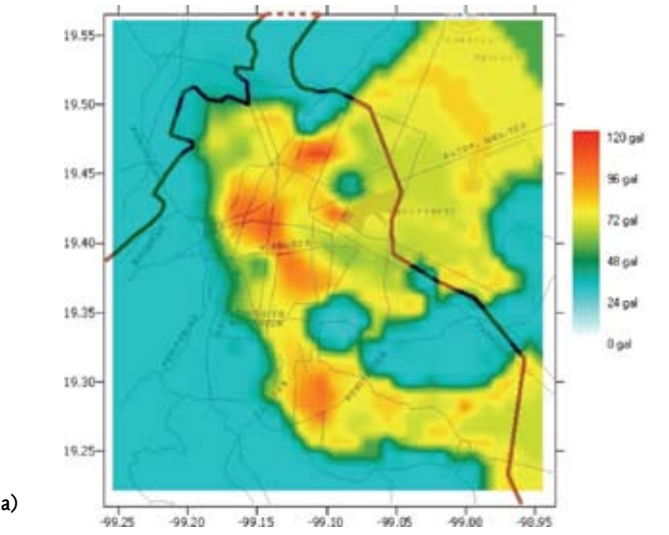


Fig 3. Mapas de intensidades generados por el sistema propuesto. a) aceleración del suelo y b) T = 2 s

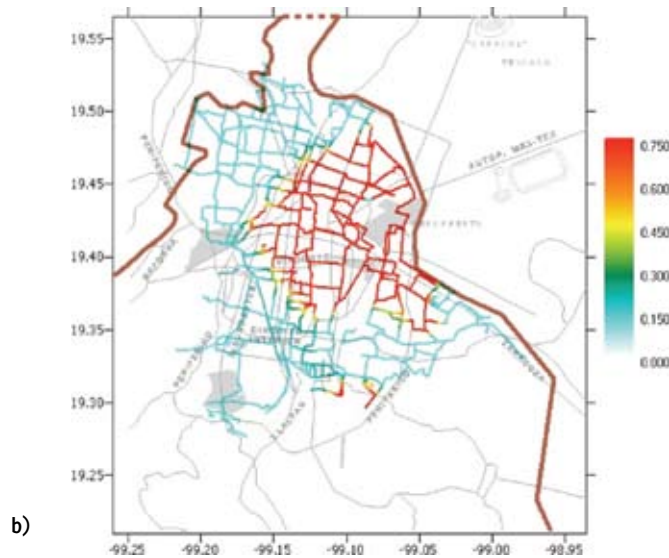
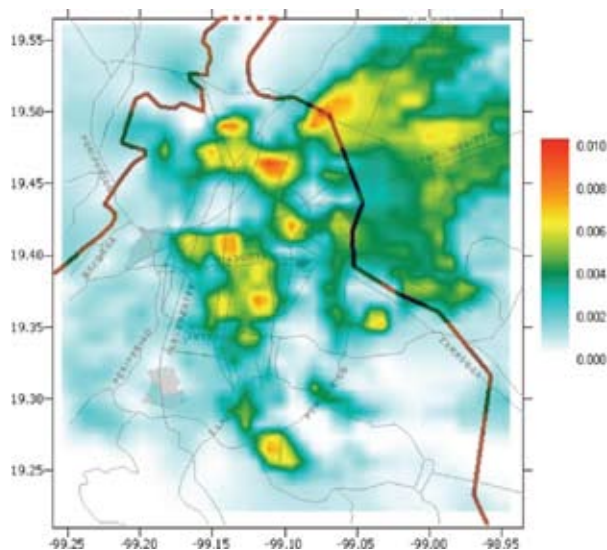


Fig 4. Mapas de daños generados por el sistema propuesto: a) Edificaciones de 1 piso y b) Red principal de agua potable

máxima que experimentaría un observador parado en el suelo. El segundo mapa ($T = 2$ s, fig 3b, siendo T el periodo fundamental de vibrar del edificio) muestra las aceleraciones que se sentirían en la azotea de un edificio de entre 15 y 25 pisos. La gráfica más interesante de la fig 3 es la correspondiente al periodo de dos segundos, ya que es la que mejor se correlaciona con las zonas de daño de sismos ocurridos en el pasado. Se pueden identificar zonas de peligro en zona de lago para construcciones nuevas (por ejemplo, el caso del sur de Xochimilco y Tláhuac), donde comienzan a edificarse estructuras de más de ocho niveles.

Los mapas anteriores presentan intensidades sísmicas, es decir, medidas locales de la severidad del movimiento que se experimentaría en el suelo o en la azotea de edificios de diferentes alturas. Cuanto mayores sean las intensidades, mayores serán las fuerzas que el sismo impondrá a los edificios. Sin embargo, el daño que sufra un edificio depende tanto de la severidad del movimiento como de la resistencia del propio edificio. Dos edificios de la misma altura sometidos al mismo movimiento del suelo podrán tener daños diferentes dependiendo de su diseño y la calidad de su construcción. Además, existen otras características del sismo que hacen que ciertos edificios puedan ser afectados en mayor o menor medida. Por estas razones, los mapas presentados no son mapas de daño esperado.

En la fig 4 se presenta el mapa de daños esperados en edificaciones de un piso (fig 4a), así como los daños esperados

en el sistema principal de agua potable (fig 4b). En el caso de edificios y sistema de agua potable, la medida de daño que se reporta corresponde a distorsiones de entrepiso y desplazamiento del suelo, respectivamente. En los mapas se indican con color azul y rojo las zonas donde se esperan daños menores y severos, respectivamente, por este evento.

Estamos convencidos que este tipo de resultados aportará información valiosa a las autoridades y cuerpos técnicos de la Ciudad para planear estrategias ante escenarios posibles, además de orientar la atención de la emergencia durante la ocurrencia de un sismo en una etapa temprana cuando la información se encuentra escasa y dispersa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el patrocinio del Gobierno del Distrito Federal a través de la Secretaría de Protección Civil. Este *Sistema Automático de Movimiento Esperado* fue parcialmente patrocinado por la Secretaría de Gobernación, de México. El proyecto es resultado del trabajo multidisciplinario, fundamental para proyectos de alto impacto, de distintas coordinaciones del Instituto de Ingeniería. Se agradece, a los ingenieros David Almora, Miguel Torres, Ricardo Vázquez, Mauricio Ayala y Ana Laura Ruiz, su participación en la operación, mantenimiento y diseño del sistema de comunicaciones; así como a los ingenieros Marco Ambriz, Jonathán Velázquez y Mauricio Velázquez, el desarrollo del sistema de notificaciones. 🏢