

EL SISTEMA ACELEROMETRICO DIGITAL PARA ESTRUCTURAS

ING. J.M. ESPINOSA-ARANDA
ING. M. INOSTROZA
ING. A. GARCÍA

El Sistema Acelerométrico Digital para Estructuras, SADE, es una red digital para adquisición de datos, que interconecta acelerómetros distribuidos en una estructura para obtener información simultánea sobre su comportamiento dinámico, cuando queda sujeta a la acción de sismos fuertes. Esta información es básica para perfeccionar el conocimiento sobre el diseño sísmico de estructuras. El SADE es un desarrollo tecnológico del Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, integrado con microcontroladores, fibra óptica para comunicación digital de alta velocidad y memorias de estado sólido con gran capacidad de almacenamiento; su funcionamiento se controla localmente mediante una computadora portátil y adicionalmente puede ser telecontrolado vía modem. Su costo y requerimientos de operación y conservación compiten con ventaja ante sistemas similares importados.

Después de los sismos de septiembre de 1985, muchos de los proyectos de instrumentación sísmica desarrollados en México han requerido la importación de acelerógrafos; sin embargo, dada la situación económica del país, estos aparatos cada vez son más difíciles de adquirir con lo que se ha limitado la obtención de acelerogramas sísmicos en estructuras; recurso indispensable para investigar y mejorar sistemáticamente las normas de construcción en nuestro país.

Así, con el propósito de apoyar actividades de investigación aplicada a la prevención de riesgos naturales y ante la posibilidad de que nuevos sismos fuertes afecten al Valle de México, autoridades del Departamento del Distrito Federal han auspiciado al CIRES para desarrollar el Sistema Acelerométrico Digital para Estructuras, que permite medir los efectos que causa un sismo fuerte en obras civiles importantes y apoyar el análisis de su comportamiento.

JUSTIFICACION

Para prevenir el riesgo sísmico en edificios, además de cuidar su proceso de construcción, durante su diseño se debe especificar un espectro de respuesta y coeficientes sísmicos que presuponen razonablemente las características de sismos futuros probables (referencia 1), sin olvidar que en el Valle de México según el tipo de suelo se han observado diversos niveles de amplificación del movimiento sísmico (referencia 2). Actual-

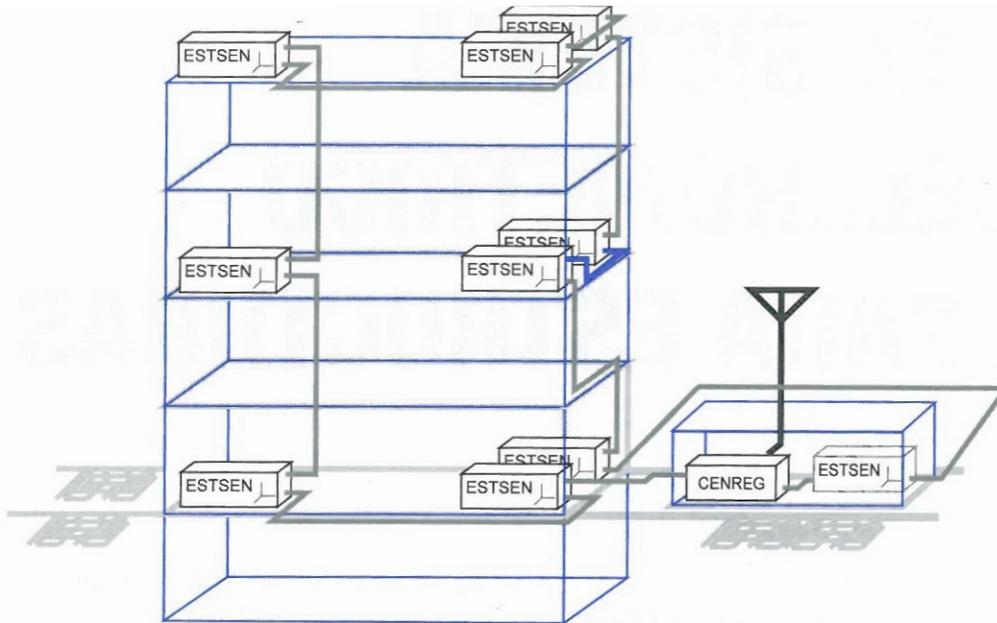


Figura 1. Distribución típica del SADE en un edificio de tres niveles

mente con modernas técnicas de cómputo es posible ensayar modelos matemáticos de estructuras elástico lineales, que si bien tienen limitaciones, mediante el uso de coeficientes de rigidez y amortiguamiento supuestos, permiten estimar teóricamente los parámetros del comportamiento dinámico de una estructura como las frecuencias de sus modos fundamentales de vibrar y con modelos más complejos, la posible interacción entre suelo y estructura.

Además, es posible que una vez que la obra construida entra en servicio, se puedan verificar experimentalmente sus características. El proceso requiere un análisis estadístico del contenido armónico haciendo mediciones de micro vibración ambiental causada por la acción de ruido cultural del entorno o de su respuesta a impulsos mecánicos

provocados (referencia 3). Con esta información se pueden verificar espectros de respuesta y funciones de transferencia de la estructura.

Sin embargo, los parámetros supuestos durante el diseño, así como las medidas obtenidas dentro de su intervalo lineal de comportamiento, pueden mostrar cambios notables cuando la estructura en estudio sufre la acción de un sismo severo que se acerque o exceda su resistencia plástica.

Los sismos son fenómenos naturales de pronóstico incierto. Los de gran magnitud son poco frecuentes, pero cuando ocurren sus efectos llegan a ser desastrosos. Este hecho y la conveniencia de aprender a prevenir sus efectos justifica el objetivo de obtener acelerogramas sísmicos en estructuras (referencia 4). La medición de

las solicitaciones sísmicas sufridas por una estructura permite juzgar el comportamiento de un diseño que resiste, así como del que sufre daños. Este ejercicio mejora el conocimiento sobre el fenómeno, coadyuva el diseño sísmico de estructuras y hace posible su mitigación.

DESCRIPCION GENERAL DEL SADE

El Sistema Acelerométrico Digital para Estructuras consiste de una red de comunicaciones digitales a base de fibra óptica, que interconecta hasta 16 Estaciones Sensoras remotas distribuidas en una estructura, con la Estación Central de Registro. Las Estaciones Sensoras pueden medir aceleraciones sísmicas en tres componentes ortogonales: vertical, longitudinal y transversal. La red de comunicaciones de fibra óptica, permite la transferencia de información en alta velocidad y elimina interferencias electromagnéticas causadas por rayos, así como las inducidas por los motores de servicio hidráulico o neumático de elevadores y generadores de energía eléctrica, comunes en los edificios modernos de gran tamaño. La figura 1 muestra una distribución típica del sistema en un edificio de 3 niveles.

Cuando una o varias Estaciones Sensoras del SADE detectan aceleraciones sísmicas que superan un nivel preestablecido, envían por la red de comunicaciones un "estado de disparo" el cual interpreta la Estación Central de Registro e inicia el almacenamiento en

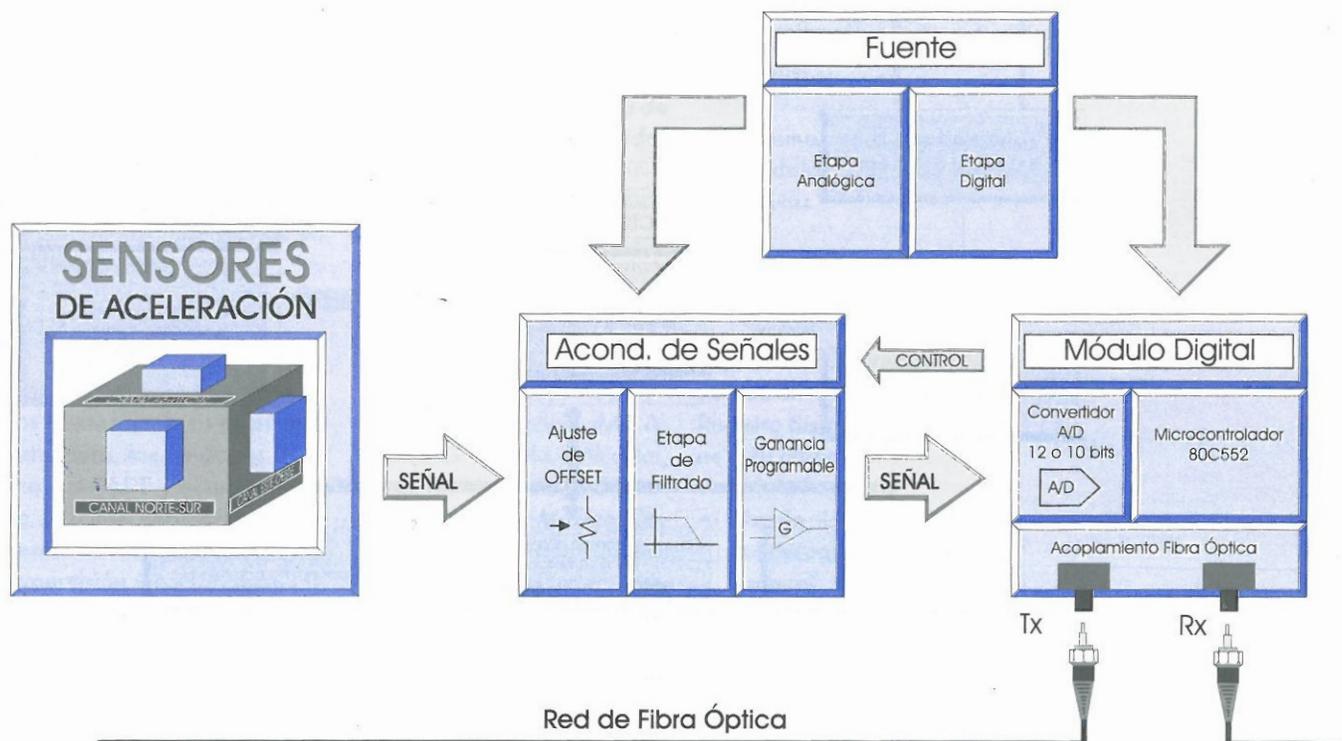


Figura 2. Diagrama de bloques de las Estaciones Sensoras

memoria, si se cumple el criterio de "disparo" establecido por el operador. El SADE registra las aceleraciones sísmicas medidas en forma sincronizada, junto con señales precisas de tiempo en una memoria de estado sólido, tipo tarjeta de crédito norma PCMCIA, de alta capacidad de almacenamiento y bajo consumo de energía.

Opcionalmente, el reloj de tiempo real interno para sincronizar y temporizar todas las funciones que realiza el SADE puede tener alta exactitud. Como señal externa de tiempo el SADE puede grabar códigos como los de la WWV, del Sistema de Navegación OMEGA o del Sistema Global de Posicionamiento (GPS). Los acelerogramas captados pueden ser recupera-

dos para su procesamiento y análisis con una computadora, vía el puerto de comunicaciones o mediante el intercambio de la tarjeta de memoria de estado sólido.

ESTACION SENSORA

La arquitectura de la Estación Sensora, figura 2, muestra un microcontrolador que procesa la información obtenida a partir de un conversor análogo-digital con resolución de 12 bits, que a su vez discretiza continuamente las señales de aceleración previamente acondicionadas en amplitud y contenido armónico, presentes en tres sensores dispuestos ortogonalmente. Los transductores acelerométricos pueden ser de tipo capacitivo, piezoresistivo o servo controlado,

de acuerdo con la precisión requerida. El microcontrolador está programado para calcular promedios largos y cortos de la aceleración presente y puede corregir el corrimiento; además, compara el nivel de salida con el umbral de disparo propuesto y si se supera informa al registrador central.

Desde la Estación Central de Registro, el operador del SADE, puede ajustar el nivel de disparo, compensar los corrimientos medidos, ajustar la ganancia de los amplificadores o las frecuencias de corte del filtro pasa bajas y la de velocidad de muestreo de cada Estación Sensora según sus requerimientos. La información digitalizada en cada Estación Sensora es almacenada temporalmente por el micro-

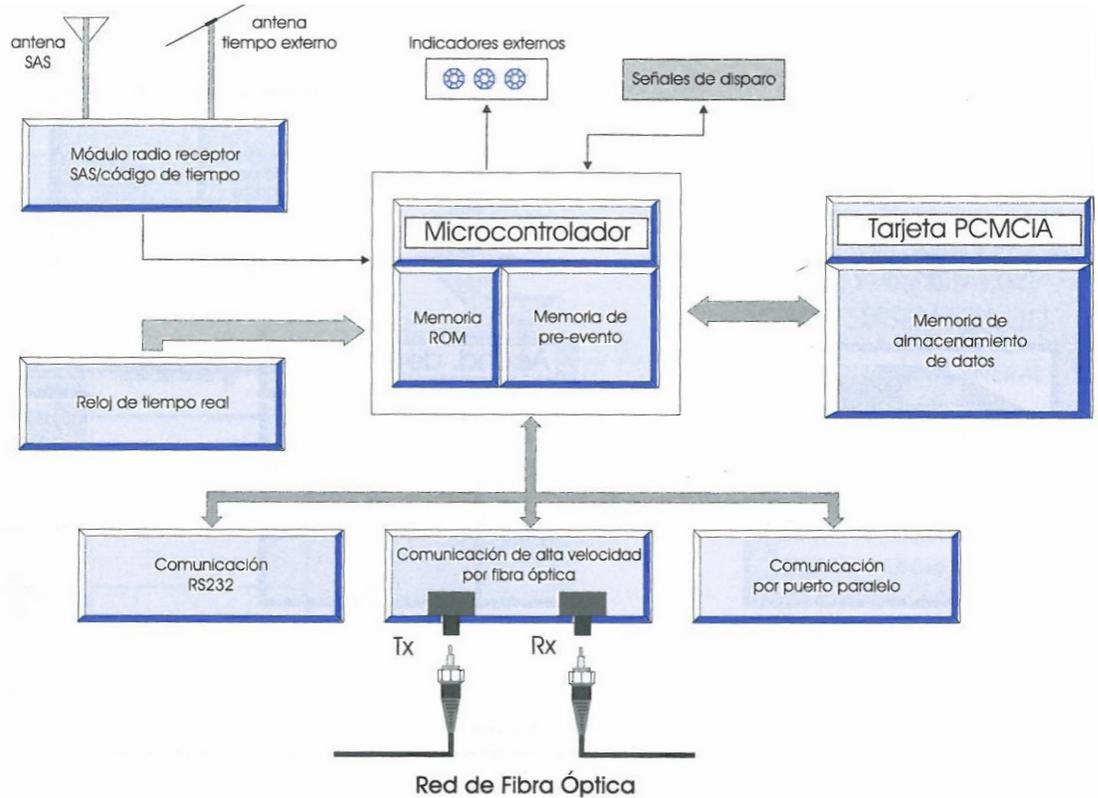


Figura 3. Diagrama de bloques de la Central de Registro

controlador local hasta que la Estación Central de Registro la solicita por la red de comunicaciones de fibra óptica. El sistema de alimentación eléctrica de cada Estación Sensora cuenta con baterías de respaldo para soportar posibles interrupciones del suministro.

CENTRAL DE REGISTRO

La Estación Central de Registro del SADE consiste de un microcontrolador, que ejecuta un programa de comunicación continua con cada una de las Estaciones Sensoras del sistema, guardando temporalmente los valores de aceleración en la memoria de pre-evento. Cuando recibe señales de "disparo" de alguna Estación Sensora, inicia el proceso de alma-

cenamiento secuencial. Esta función comienza automáticamente cuando las variables seleccionadas superan el umbral preestablecido o bien cuando se detecta una señal de disparo externa proveniente de otro sistema de control o del Sistema de Alerta Sísmica (referencia 5).

El SADE graba los datos obtenidos en un módulo de memoria de estado sólido tipo PCMCIA de 8MB, que puede mantener los datos almacenados hasta por un año. Las aceleraciones digitalizadas se almacenan en un formato propio, que puede ser traducido al formato estándar de otros fabricantes de equipos o al formato ASCII. La figura 3 muestra la arquitectura de la

Estación Central de Registro. Las funciones y parámetros de operación del SADE, tales como frecuencia de muestreo, sensibilidad de los sensores, niveles de disparo, así como el canal o canales que participan en el desarrollo de esta función, pueden ser visualizadas o ajustadas en campo mediante una computadora portátil.

El programa para controlar al SADE, además de las funciones de control mencionadas, puede mostrar en la pantalla de la computadora en tiempo real las gráficas de las señales acelerométricas detectadas en cualquier Estación Sensora, para comprobar su correcto funcionamiento o su calibración. El programa puede calcular espectros de Fourier y de

potencia con los acelerogramas obtenidos. Además permite calcular funciones de transferencia entre puntos de la estructura. Con la información obtenida en varios eventos es posible evaluar el comportamiento sísmico histórico de un edificio instrumentado.

COMENTARIOS

Además del valioso registro de los efectos de un sismo en una estructura, las funciones básicas del SADE y su arquitectura, permiten adaptar a este sistema como un equipo de supervisión y control distribuido, para mitigar los efectos sísmicos. El SADE puede generar señales de control, que se podrían aplicar para: alertar a los usuarios de la estructura para ejecutar el procedimiento de prevención convenido, anticipar la operación de plantas de emergencia para asegurar el suministro de energía eléctrica, desarrollar el paro seguro del servicio de elevadores, facilitar el uso de seguridad y control de accesos, practicar el resguardo oportuno de información en sistemas de cómputo, etc.

REFERENCIAS

1. De Buen O. (1996), *Diseño Sísmico: Una Visión de la Práctica*, Revista de Ingeniería Sísmica, enero-abril, No 52.

2. Ordaz M. and Singh S. K. (1992) *Source Spectra and Spectral Attenuation of Seismic Waves from Mexican Earthquakes, and Evidence of Amplification in the Hill Zone of Mexico City*. Bull. Seism. Soc. Am., 82.

3. Muriá-Vila D., R. González, J. M. Espinosa. (1993). *Efectos de Interacción Suelo-Estructura en la Respuesta Sísmica de un Edificio Instrumentado*. Series del Instituto de Ingeniería, No. 555.

4. Prince J. (1988). *Instrumentación Sísmica de Edificios, Teléfonos de México*. Reto Sísmico. pp 273-284.

5. Espinosa-Aranda J. M., A. Jiménez, G. Ibarrola, F. Alcantar, A. Aguilar, M. Inostroza, S. Maldonado. (1995). *Mexico City Seismic Alert System, Sismological Research Letters*, 66, No. 6, November-December, pp. 42-53.

El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C., CIRES, es una organización civil no lucrativa fundada en junio de 1986, bajo el auspicio de la Fundación Javier Barros Sierra, A. C. FJBS, para promover la investigación y desarrollo de tecnología aplicada a la instrumentación sísmica. Entre sus asociados profesionales se cuentan reconocidas autoridades en las áreas de geofísica, ingeniería sísmica y civil, electrónica y computación. En su desempeño y con relación a sus objetivos generales el CIRES tiene logros entre los que destacan los siguientes:

Desarrollo de Tecnología para Instrumentación Sísmica.- El Centro tiene resultados en el diseño y construcción de:

- Sistemas digitales para adquisición de datos por telemetría

- Sistemas para medición de vibración ambiental en edificios
- Sistemas para transmisión de datos utilizando fibras ópticas
- Programas para control de sistemas dedicados

Servicio de Operación y Conservación de Sistemas para Registro Sísmico.- El CIRES tiene a su cargo:

- Desde 1987, la Red de Acelerógrafos del Distrito Federal, que actualmente cuenta con 67 acelerógrafos en suelos característicos del valle de México, 7 en el subsuelo, así como 14 en tres sistemas dispuestos edificios. El CIRES es pionero en el uso de sistemas acelerométricos para captar efectos sísmicos en estructuras y en el subsuelo del valle de México
- 30 acelerógrafos dispuestos desde 1991, en 4 estructuras en la Costa del Pacífico, para analizar el comportamiento dinámico de instalaciones industriales sujetas a la acción de sismos, proyecto patrocinado por el *Electric Power Research Institute, EPRI*
- El Sistema de Alerta Sísmica de la Ciudad de México, que funciona desde agosto de 1991 y permite detectar sismos generados en la Brecha de Guerrero para que la población inicie acciones de prevención anticipada a sus efectos.

Divulgación.- Con acelerogramas sísmicos captados con los sistemas de registro a su cargo, el CIRES apoya investigaciones para coadyuvar el perfeccionamiento sistemático de factores de diseño sísmico del Reglamento de Construcción de Obras Civiles del DF. Esta función se desarrolla mediante presentaciones en congresos y organización de seminarios. Principalmente, el CIRES participa en el Comité para la publicación de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes, en

colaboración con CENAPRED, Instituto de Ingeniería de la UNAM, CICESE, Fundación ICA y CFE, para divulgar los registros obtenidos con sus Redes Acelerométricas.

Formación de Recursos Humanos.- El CIRES promueve la tutoría de estudiantes de licenciatura y posgrado para desarrollo de tesis profesionales colaborando en los proyectos de este Centro.

El CIRES mantiene vínculos con

Instituciones internacionales tales como: el *Electric Power Research Institute, EPRI*, el *United States Geological Survey, USGS* y la compañía *EQE International* de los Estados Unidos de Norte América, así como con el *Centre National de la Recherche Scientifique Université Mont Pelliere II, CNRS*, de Francia. El CIRES está inscrito en el Registro Nacional de Instituciones Científicas y Tecnológicas del CONACYT y es miembro del Comité Consultivo Técnico de esa Institución.