

# CARACTERÍSTICAS DE LOS SISMOS Y SUS EFECTOS EN LAS CONSTRUCCIONES

(SEGUNDA DE DOS PARTES)

JAIME DE LA COLINA MARTÍNEZ Y HORACIO RAMÍREZ DE ALBA\*

Recepción: 03 de diciembre de 1998

Aceptación: 17 de diciembre de 1998

## *Seismic Characteristics and their Effects on Buildings*

**Abstract.** *This work intends to divulge general concepts of earthquake engineering among no specialists starting from the basic concepts on seismology. It includes the origin and the characteristics of seismic movements and presents, in a basic level, the activity field of earthquake engineering. The way earthquakes affect structures, the seismic design process and the observed behavior of buildings during earthquakes are also presented. Technical terms which are not common to people are avoided.*

## **V. Instrumentos para medir los movimientos del terreno durante sismos fuertes**

Los *sismómetros* son instrumentos para registrar los movimientos lejanos al epicentro, ya que cuando el temblor se presenta muy próximo, estos instrumentos pueden salir de su intervalo de medición. Para medir vibraciones fuertes se usan los *acelerómetros*, que pueden ser calibra-

dos para que inicien su funcionamiento a un nivel dado de aceleración, lo cual impide que registren oscilaciones diferentes, como aquellas provocadas por el tráfico de vehículos o el paso de personas.

Los avances de la electrónica han permitido el desarrollo de instrumentos de amplio espectro que permiten registrar desde sacudidas muy leves, imperceptibles para las personas, hasta movimientos muy fuertes. Además, se cuenta con la posibilidad de intercomunicación entre varios aparatos en red, así como el control y la obtención de datos a distancia. Estas tecnologías, sin embargo, representan inversiones fuertes, por lo que suelen adquirirse por instituciones o grupos de instituciones como el Centro Nacional de Prevención de Desastres, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la Fundación Javier Barros Sierra, que mantienen redes acelerográficas tanto en el estado de Guerrero como en la ciudad de México. El Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica, que engloba ocho instituciones de educación superior, incluyendo la Facultad de Ingeniería

de la UAEM, opera una red (RIS) que tiene aparatos en las ciudades de México, Puebla, Chilpancingo, Tuxtla Gutiérrez, Guadalajara, Morelia y Toluca. Cuando se presenta un sismo importante, se publica un boletín por parte de esta Red Interuniversitaria, que contiene los registros de los movimientos detectados en las diferentes estaciones que la componen, así como el procesamiento de la información.

## **VI. Respuesta de las estructuras en los sismos**

Durante un terremoto, la base de las construcciones sigue casi fielmente el movimiento del terreno sobre el que se apoya. Sin embargo, debido a la inercia (propiedad intrínseca de todo cuerpo que trata de mantener su estado de reposo o movimiento) y

\* Facultad de Ingeniería, UAEM. Tel.: 14 08 55. Correo electrónico: jcolina@coatepec.uaemex.mx y hra@coatepec.uaemex.mx

Agradecemos ampliamente el apoyo de Liliana Romero Guzmán, participante del programa "Asómate a la Ciencia 1998", quien llevó a cabo el dibujo en computadora de varias de las figuras de este artículo.

a la flexibilidad del edificio, es más fácil para las partes superiores mantener su estado de reposo inicial. Esto ocasiona que mientras la base es obligada a seguir la oscilación del terreno, las partes superiores obedecen más a la inercia que al movimiento de los niveles inferiores. Así, para que estos desplazamientos relativos ocurran, la estructura debe deformarse para mantener su integridad. Resulta

interesante observar que la ocurrencia de un temblor impone a la estructura deformaciones, no fuerzas. Tal estado también se podría adquirir si la base se mantuviera fija y se aplicaran fuerzas (laterales) como se indica en la figura 9, donde se ilustra una vista simplificada de una construcción. Esta equivalencia entre un movimiento en la base y fuerzas externas artificiales, se usa frecuentemente

para el diseño y en los laboratorios donde se estudian estructuras o porciones de ellas. Como se comentó antes, durante un sismo el terreno experimenta movimientos en todas direcciones; sin embargo, las aceleraciones horizontales de la superficie generalmente son mayores que las verticales, particularmente en sitios alejados del epicentro. Además, para un edificio o alguna otra construcción, las acciones (fuerzas o aceleraciones en la base) laterales son más dañinas que las acciones verticales. Sólo en casos excepcionales, como en el terremoto de Northridge, California, en 1994, las aceleraciones verticales del terreno contribuyeron de manera significativa en el daño a las estructuras. Por lo anterior, en el resto de este ensayo se hace énfasis en el estudio de la respuesta de éstas a aceleraciones horizontales.

Con el fin de analizar la respuesta de las edificaciones durante los temblores, es útil considerar un modelo simple. La figura 10 ilustra el caso de un inmueble idealizado por un peso concentrado  $W$ , el cual se sujeta a una base móvil (el suelo) por medio de un resorte. En esta figura,  $W$  representa una porción del peso total del edificio. La estructura, que brinda la parte resistente de una construcción, se caracteriza aquí por medio de un resorte con rigidez lateral  $k$ . La rigidez es proporcionada principalmente por muros, columnas y traveses, y es igual a la fuerza  $F$  que ocasiona un desplazamiento unitario ( $x = 1$ ) de  $W$  con respecto a su base, i.e.,  $k = F/x$ . De esta relación se infiere que si el valor de  $k$  es conocido, los valores de  $F$  y de  $x$  quedan relacionados directamente. El análisis de la respuesta de una estructura durante un sismo se puede lograr a través del estudio de los valores relativos máximos del desplazamiento  $x$  o de

FIGURA 9. EQUIVALENCIA ENTRE UN MOVIMIENTO EN LA BASE (SIN FUERZAS) Y FUERZAS APLICADAS (SIN MOVIMIENTO).

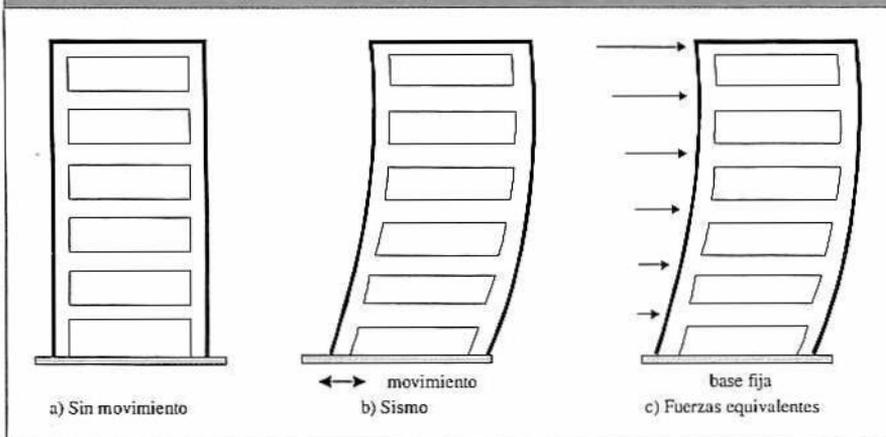
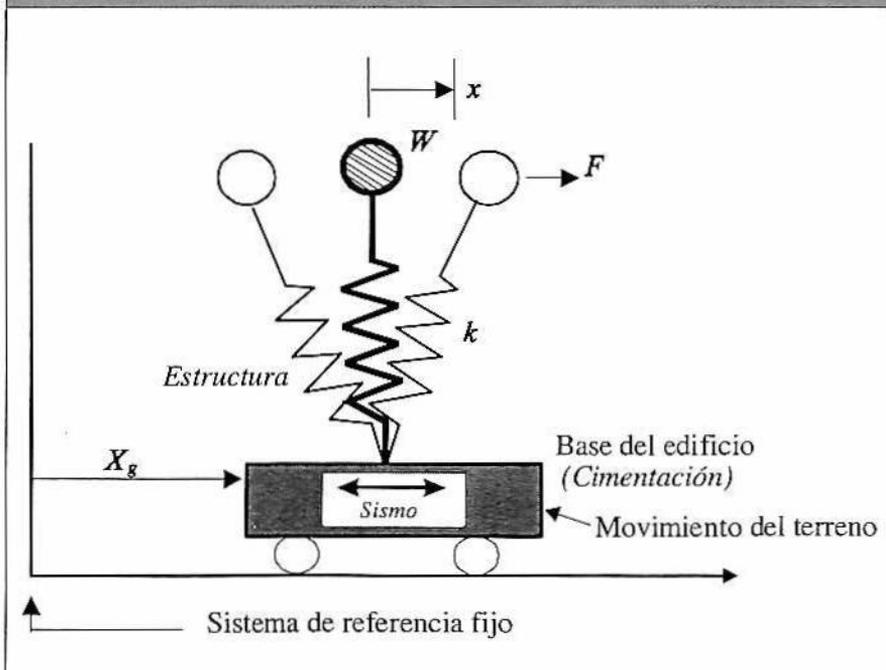


FIGURA 10. MODELO SIMPLE PARA EL ESTUDIO DE EDIFICIOS SUJETOS A MOVIMIENTOS EN SU BASE.



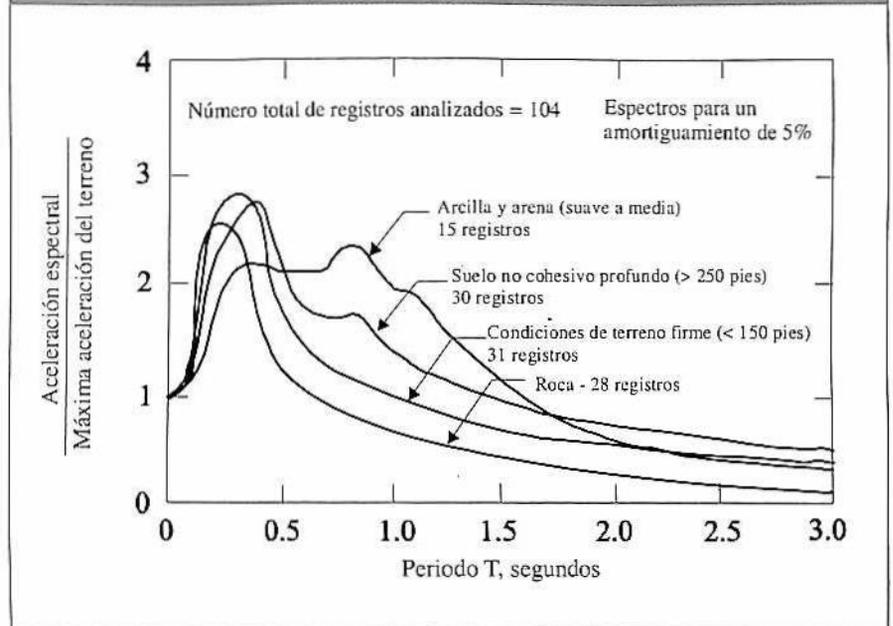
la aceleración  $a = F/m$  de  $w$ , donde  $m = W/g$  ( $g$  = aceleración de la gravedad).

La masa  $m$  y la rigidez  $k$  definen el periodo de vibración  $T$  de la construcción,  $T = 2\pi/(k/m)^{1/2}$ . Esta cantidad intrínseca de cada estructura es útil para describir su respuesta ante sismos y se refiere al tiempo que ésta tarda en completar un ciclo durante su vibración (lateral). Un valor grande del periodo (por ejemplo  $T = 3.0$  s) es típico de edificios altos, mientras que un valor pequeño (por ejemplo  $T = 0.3$ s) es característico de construcciones de poca altura.

La respuesta sísmica no sólo depende de la edificación, sino también del tipo de movimiento en su base. Este último depende principalmente del carácter del temblor, de la distancia epicentro-estructura y del suelo sobre el que se apoya la construcción.

Así, seleccionado como parámetro de respuesta estructural al promedio de las máximas aceleraciones  $a_{max}$  que experimenta un modelo con periodo  $T$  en varios sismos, resultan curvas como las de la figura 11 (Clough y Penzien, 1993). Estas curvas se obtuvieron normalizando la máxima aceleración del sistema entre la máxima aceleración del terreno. Cada curva identifica la variación de  $a_{max}$  para diferentes condiciones del suelo. Se puede notar que las curvas correspondientes a estratos duros alcanzan valores mayores que las correspondientes a suelos blandos. Sin embargo, las de suelos blandos son más amplias que las correspondientes a suelos firmes. Si se toma en cuenta que la ordenada de estas curvas representa el cociente de la máxima aceleración del sistema entre la máxima aceleración del terreno, se puede determinar el efecto de los sismos en inmuebles caracterizados por su periodo de vibración. Por ejemplo, si una estructura con  $T =$

FIGURA 11. ESPECTROS DE RESPUESTA PROMEDIO PARA DIFERENTES CONDICIONES DE TERRENO (ADAPTADA DE CLOUGH Y PENZIEN, 1993).



1.0s (como un edificio de diez pisos) se desplanta en terreno blando, experimentará fuerzas laterales del orden de  $2m$  veces la máxima aceleración del terreno, donde  $m$  es la masa de la edificación. Por el contrario, si se desplanta en superficie firme, las fuerzas que experimentará sólo serán del orden de  $0.6m$  veces la máxima aceleración del terreno. Como se dijo antes, estas aceleraciones (o fuerzas) resultan del movimiento que impone el sismo a la base de la estructura.

### VI. Espectro de respuesta

De este breve análisis se deduce que la manera como responde una estructura a un sismo depende tanto de las características de masa y rigidez de la edificación como del tipo de movimiento en su base. Gráficas como la mostrada en la figura 11, o con ordenadas que representen los desplazamientos o las velocidades máximas de  $w$ , se conocen como *espectros de respuesta*. Éstos también se emplean para proponer espectros de diseño que

usa el ingeniero para estimar las fuerzas laterales durante el diseño de la construcción.

### VII. Respuesta no lineal de las estructuras

El análisis previo de sistemas simples como el ilustrado en la figura 10 para mostrar la respuesta de los inmuebles ante los sismos, ha supuesto que el valor de la rigidez del resorte  $k$  es constante. Aun cuando esto es cierto para pequeñas magnitudes de deformación, en realidad la relación entre el desplazamiento  $x$  y la fuerza  $F$  no es tan simple como se indicó antes y depende de: 1) el tipo de material de la estructura, 2) la magnitud de las deformaciones causadas por el temblor al edificio y 3) el desarrollo cíclico de la deformación. Tanto para construcciones de acero, como de concreto reforzado o de madera, la relación fuerza-desplazamiento no es única cuando las deformaciones que impone el movimiento son grandes y/o cíclicas. Por

FIGURA 12. MODELO SIMPLIFICADO DE RELACIONES FUERZA-DESPLAZAMIENTO DE SISTEMAS NO LINEALES DE CONCRETO REFORZADO.

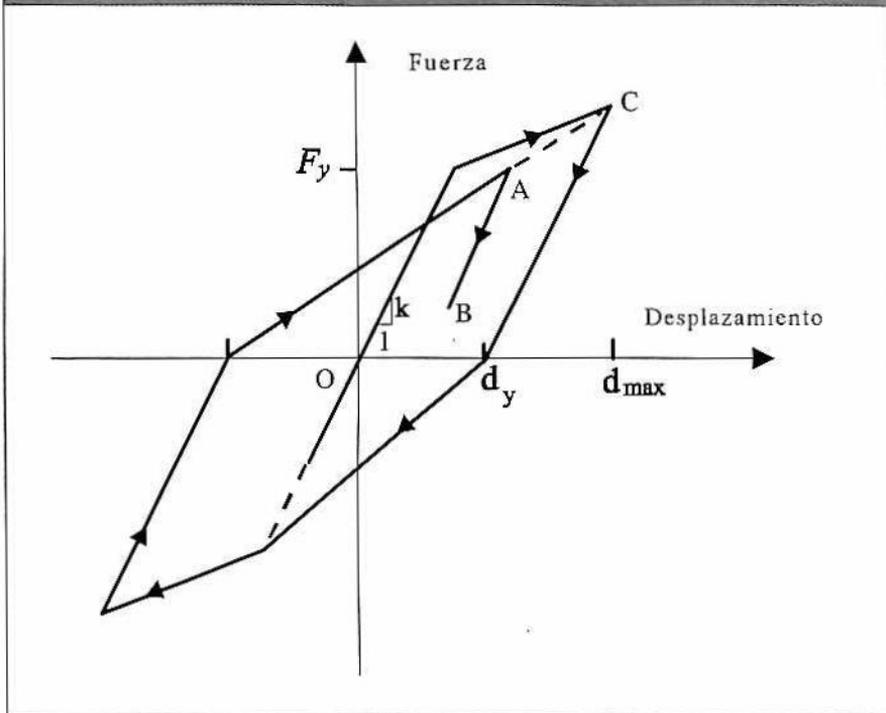
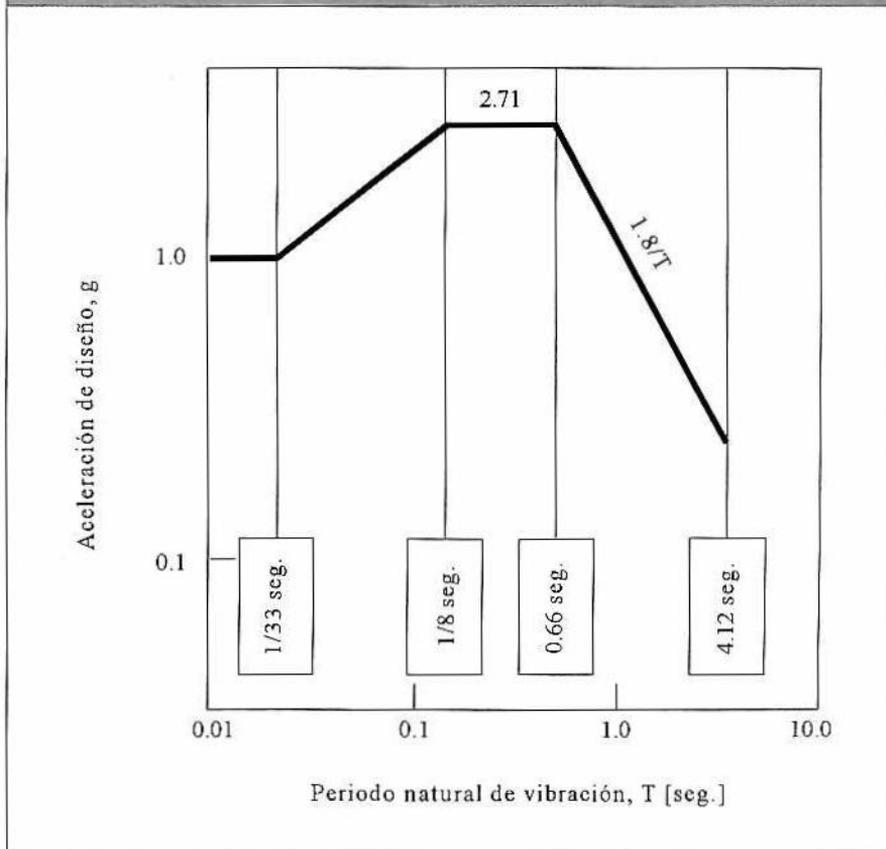


FIGURA 13. ESPECTRO DE DISEÑO TÍPICO (ADAPTADA DE CHOPRA, 1995).



ejemplo, si el resorte idealizado en la figura 10 fuera de concreto reforzado y se aplicaran deformaciones cíclicas de gran amplitud, como generalmente ocurre durante los terremotos, se obtendrían curvas  $F-x$  (fuerza-desplazamiento) como las mostradas de manera simplificada en la figura 12. En ellas se puede identificar una primera parte que es prácticamente lineal (despreciando el agrietamiento en el concreto reforzado) hasta llegar a un punto donde la inclinación o pendiente de la curva disminuye considerablemente. La fuerza correspondiente a este punto es la fuerza de fluencia  $F_y$  y es un valor importante en la etapa del diseño sísmico. El desplazamiento correspondiente a  $F_y$  es el desplazamiento de fluencia  $d_y$ . Otra cantidad importante dentro de la ingeniería estructural es la ductilidad de desplazamiento  $\mu$ , la cual se puede definir como el cociente del desplazamiento máximo desarrollado por la estructura  $d_{max}$  entre el desplazamiento de fluencia  $d_y$ , i.e.,  $\mu = d_{max}/d_y$ .

De acuerdo con estas curvas, el incremento de fuerza de reacción de la estructura para movimientos mayores que  $d_y$  es mucho menor que el incremento de fuerza que se tiene antes de llegar a fluencia para un mismo incremento de desplazamiento. Este comportamiento, conocido como comportamiento no lineal o inelástico, tiene algunas implicaciones en la respuesta sísmica y en el diseño de las construcciones: 1) la relación básica vista anteriormente entre  $F$  y  $x$  se pierde; 2) la magnitud de los desplazamientos (y las deformaciones) de sistemas inelásticos es aproximadamente igual a la de estructuras elásticas (para los que tienen periodos cortos, entre 0.125s y 0.5s, la estimación del desplazamiento no lineal se puede mejorar multiplicando el des-

plazamiento elástico por  $\mu/(2\mu - 1)^{1/2}$  (Clough y Penzien, 1993)); 3) la magnitud de la fuerza máxima sísmica desarrollada por la estructura en el caso inelástico es aproximadamente igual a la fuerza de una estructura lineal dividida entre  $\mu$  para sistemas con periodos largos o entre  $(2\mu - 1)^{1/2}$  para periodos cortos; 4) a diferencia del caso lineal, en el no lineal generalmente quedan desplazamientos (y deformaciones) permanentes después de un sismo y; 5) el periodo de vibración de sistemas no lineales crece respecto al de los lineales con la misma rigidez inicial. Es importante destacar que aun cuando los no lineales muestran una degradación de rigidez desde el punto de vista de diseño sísmico es imperativo impedir una degradación significativa de resistencia para los niveles de deformación esperados.

### VIII. Espectro de diseño y proceso de diseño sísmico

El diseño sísmico toma en cuenta el comportamiento no lineal de las estructuras. De acuerdo con el procedimiento de diseño usual, basado en la aplicación de fuerzas laterales a la construcción, se emplea un *espectro de diseño* en términos de aceleraciones. Este espectro generalmente se especifica por los reglamentos de construcción de acuerdo con las características sismológicas del lugar y es similar a los espectros de respuesta considerados anteriormente para inmuebles elásticos (figura 11) con algunas modificaciones: 1) se basa en espectros de respuestas de sistemas no lineales y; 2) trata de cubrir en lo posible las curvas correspondientes a los de respuesta característicos del lugar. Es importante mencionar que la definición de un espectro de diseño también toma en cuenta, en cierto

modo, las incertidumbres relacionadas con las magnitudes de las aceleraciones esperadas en terremotos futuros. Un espectro de diseño típico (adaptado de Chopra, 1995) se muestra en la figura 13 y representa gráficamente el nivel de aceleración relativa que debe emplearse para calcular una fuerza de diseño para una estructura con periodo de vibración  $T$ .

El proceso de diseño sísmico se puede resumir como sigue. Primeramente se analiza el anteproyecto arquitectónico con el fin de conciliar un plan que sea arquitectónica y estructuralmente conveniente. Por lo que se refiere a la parte de ingeniería, se busca que la construcción cumpla, dentro de lo posible, con una planta regular de sistemas resistentes bien definidos y con distribuciones de masa y rigidez más o menos uniformes en planta y en elevación. Esto conduce a la definición del o de los materiales por emplear y de las dimensiones preliminares de columnas, trabes, muros, entre otros. De acuerdo con el lugar donde se construirá y de la importancia de la estructura, se define o se selecciona un espectro de diseño sísmico. El nivel de deformación esperado del sistema deberá ser congruente con el nivel de reducción de fuerzas sísmicas. Con base en este último, así como en las dimensiones preliminares de los elementos, se realiza un análisis estructural, el cual proveerá las magnitudes de los desplazamientos y de las fuerzas en los componentes de la edificación, con los cuales se dimensionan estos últimos. Si no hay diferencias significativas en las dimensiones propuestas, se procede a detallar la estructura. Este último paso es de suma importancia, ya que permitirá que ésta pueda absorber las deformaciones impuestas por el temblor sin pér-

da significativa de su resistencia. El proceso de diseño termina con la elaboración de los planos y de las especificaciones que reflejan los resultados. La labor del ingeniero pudiera terminar aquí, sin embargo se recomienda que también participe en la supervisión de la obra, a fin de evitar o corregir diferencias entre lo proyectado y lo construido.

### IX. Comportamiento sísmico de estructuras diseñadas contra terremotos

El comportamiento de sistemas planeados contra sismos es generalmente mejor que el comportamiento de estructuras sin este diseño. Sin embargo, ello no implica que los sistemas proyectados contra temblores no exhiban síntomas al ocurrir éstos. Si las estructuras diseñadas contra terremotos se identifican con la letra *S* y las que no con la *N*, se pueden esperar los comportamientos indicados en la tabla 3 para un sismo intenso esperado. Es importante aclarar que el diseño de las edificaciones se lleva a cabo con la suposición de que en su vida útil serán sometidas a un tipo de temblor esperado (*sismo de diseño*). Dada la incertidumbre asociada a esta suposición, es claro que si la intensidad resulta mayor que la del *sismo de diseño*, la respuesta de las estructuras será más desfavorable de lo previsto, como ocurrió en algunas zonas de la ciudad de México en 1985.

### Comentarios finales

Para finalizar, resulta importante hacer algunas observaciones sobre la actividad sísmica y sus efectos en los centros de población:

1. Puede haber terremotos de relativamente baja energía liberada pero

TABLA 3

COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS <i>S</i> (DISEÑADAS SÍSMICAMENTE) Y <i>N</i> (NO DISEÑADAS SÍSMICAMENTE)				
CASO	COMPORTAMIENTO OBSERVADO	ESTRUCTURA TIPO <i>S</i>	ESTRUCTURA TIPO <i>N</i>	COMENTARIOS
1	MOVIMIENTO LATERAL OSCILATORIO MUY APRECIABLE, PARTICULARMENTE EN PISOS SUPERIORES DE EDIFICIOS	SÍ, PERO CONTROLADO	SÍ, PERO PUEDE CRECER SIN LÍMITE HASTA EL COLAPSO	EL MOVIMIENTO OSCILATORIO CONTROLADO INDICA QUE LA ESTRUCTURA AÚN RESPONDE ANTE LAS FUERZAS DE INERCIA
2	ASENTAMIENTOS Y/O DESPLOMES DE LA ESTRUCTURA	NO	POSIBLES	UNA FALLA DEL TERRENO PUEDE TENER GRAVES CONSECUENCIAS
3	AGRIETAMIENTO EN COLUMNAS Y/O MUROS DE CONCRETO REFORZADO	SÍ, PERO MÍNIMO. PUEDE SER REPARADO	EXCESIVO Y DIFÍCIL DE REPARAR.	LA INTEGRIDAD DE ESTOS ELEMENTOS GENERALMENTE ES VITAL PARA LA ESTABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN.
4	AGRIETAMIENTO EN TRABES DE CONCRETO REFORZADO	SÍ, PERO NO EXCESIVO	EXCESIVO	EL NIVEL DE AGRIETAMIENTO DEBER SER MENOR EN COLUMNAS QUE EN TRABES
5	PANDEO LOCAL O GLOBAL DE PATINES O ALMAS DE PERFILES EN COLUMNAS DE ACERO	NO	POSIBLE	ESTOS MODOS DE FALLA DEBEN EVITARSE YA QUE USUALMENTE CONDUCE A MODOS DE FALLA SÚBITOS
6	PANDEO LOCAL DE PATINES O ALMAS DE PERFILES EN TRABES DE ACERO	ES POSIBLE, PERO DEBERÁ SER MÍNIMO	EXCESIVO	EN GENERAL UN DISEÑO SÍSMICO TRATA DE CONCENTRAR EL POSIBLE COMPORTAMIENTO INELÁSTICO EN LAS VIGAS Y NO EN LAS COLUMNAS
7	ROTURA DE CONEXIONES ATORNILLADAS O SOLDADAS	NO	POSIBLE	UNA FALLA DE ESTE TIPO PUEDE CONducIR AL COLAPSO DE UNA ESTRUCTURA YA QUE IMPIDE LA TRANSMISIÓN DE FUERZAS ENTRE VIGAS Y COLUMNAS
8	AGRIETAMIENTO DE MUROS DIVISORIOS, ROTURA DE VIDRIOS, CAÍDA DE PLAFONES Y/O DESPRENDIMIENTO DE RECUBRIMIENTOS	ES POSIBLE, PERO DEBERÁ SER MÍNIMO	EXCESIVO	GENERALMENTE ESTE COMPORTAMIENTO NO REFLEJA EL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

que ocasionen daños importantes y pérdidas elevadas de vidas. Esto ocurre cuando el epicentro queda muy próximo a un centro de población importante y además no se tiene la debida preparación en cuanto a diseños estructurales especiales para la resistencia de fuerzas sísmicas, planes de emergencia, entre otros. Este es el caso del temblor que ocurrió en Agadir, Marruecos, el 29 de febrero de 1960. La magnitud se estimó en 5.7; la ciudad quedó prácticamente destruida y murieron 12 mil personas de una población de 33 mil habitantes. También el de la ciudad de Managua, ocurrido en 1972 se puede considerar de este tipo. La ciudad sufrió grandes daños y se estima que murieron 10 mil personas, sin embargo, la magnitud del movimiento fue de sólo 6.1.

2. Un sismo que libere gran energía puede causar modificaciones importantes en la superficie, como ele-

vaciones o hundimientos del terreno, cambios en el cauce de ríos, o en la localización y profundidad de lagos. No obstante, puede no provocar daños a grupos humanos simplemente por el hecho de ocurrir en zonas deshabitadas. Este es el caso de un temblor de gran magnitud, como el de Canadá ( $M = 8.9$ ) que causó aceleraciones de dos veces la correspondiente a la gravedad y por lo tanto cambió la topografía del lugar y lanzó rocas hacia arriba (Hodgson, 1964).

3. Existen zonas en el planeta en que se pueden presentar terremotos importantes y que la población no está preparada; por consiguiente, los daños y las pérdidas de vidas y económicas son de mayor consideración que si se hubieran tomado las debidas precauciones a la luz de los conocimientos actuales. El ejemplo más reciente es el de Armenia, donde no se había presentado un temblor im-

portante desde hace 300 años. Las construcciones no estaban cabalmente diseñadas para resistir las tremendas fuerzas que generó una magnitud de 7.3 y que provocó grandes daños en diferentes ciudades. Igualmente la ciudad de México y otros sitios del país no estaban debidamente preparados cuando ocurrió el sismo de septiembre de 1985, aunque se tenían precedentes de temblores que provocaron daños en las estructuras existentes, como el de 1957, cuya magnitud fue de 7.6, y fue denominado "del ángel" por que se vino abajo la escultura colocada en la parte superior de la columna de la Independencia. En 1985, se suponía que la ciudad de México estaba preparada para sismos que generaran aceleraciones en el terreno comparables a las observadas en 1957, de aproximadamente un cuarto de la correspondiente a la gravedad; sin embargo, durante el terremoto se registraron aceleraciones más

grandes. Parte de esto se puede explicar porque éste liberó mucho más energía que el anterior; a pesar de que en la escala de Richter sólo los separan entre sí cinco décimas. La diferencia en energía liberada es muy grande por ser ésta escala logarítmica.

4. El temblor que sucedió cerca de la ciudad de Santa Cruz, California, Estados Unidos el 17 de octubre de 1989, llamado de "Loma Prieta", fue muy inferior a lo que se puede esperar en esa zona. En 1906 ocurrió otro con 8.3 de magnitud, que destruyó la ciudad de San Francisco, éste representó 63 veces más energía que el de Loma Prieta. Las pérdidas económicas estimadas debido al sismo de Loma Prieta fueron de diez mil millones de dólares. Estos datos dan idea del grave riesgo que corren algunas zonas del planeta con altas densidades de población.

5. A pesar de tantas lecciones, no se tiene aún en las ciudades el grado de preparación que se requiere. Aparte de la ciudad de México, en el país existen importantes centros de po-

blación que apenas empiezan a tomar conciencia de lo que los terremotos representan y de que la ocurrencia de alguno intenso podría provocar un desastre, tal es el caso de Guadalajara, Acapulco y Puerto Vallarta.

6. Además de la ciudad de México, en otras ciudades no se cuenta con la debida preparación en el caso de un temblor. En especial hacen falta reglamentos de construcción que recojan los conocimientos recientes de la ingeniería sísmica, la revisión y reforzamiento de estructuras propensas al daño, principalmente escuelas, hospitales, centros de reunión y edificios públicos. También es importante la organización ciudadana para atenuar el riesgo en caso de que suceda un sismo intenso. Las ciudades más importantes del Estado de México están en este caso.

Finalmente, vale hacer una aclaración importante. En este artículo se presentaron conceptos básicos de la ingeniería sísmica; se enfatizan los aspectos que los autores consideran

importantes tomando en cuenta que un trabajo de este tipo no puede ser muy extenso. Por el objetivo que se persigue, se pudo dar la impresión de que todo lo relacionado con esta área del saber es conocido y está entendido. Esto definitivamente no es así; existen muchas incertidumbres, principalmente en lo relacionado con el mecanismo de generación y transmisión de ondas sísmicas. Esto se puede comprobar después de un terremoto extraordinario, al observar elementos que no habían sido considerados o no se habían entendido con suficiente profundidad.

Como en todos los campos del conocimiento, falta mucho por hacer. Varios investigadores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México, incluyendo a los autores, trabajan actualmente en áreas relacionadas con el tema de este artículo. Por la importancia de divulgar este tema, se consideró conveniente presentar el trabajo de un modo general en lugar de hacerlo de manera especializada. 



## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V. y Suárez, G. (1996). *Los sismos en la historia de México*. Tomo I. Ediciones Científicas Universitarias, UNAM-CIESAS-FCE, México, D. F.
- Bolt, B. (1978). *Earthquakes - A Primer*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, California, Estados Unidos.
- Chopra, A. K. (1995). *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Nueva Jersey, Estados Unidos.
- Clough, R. W y Penzien, J. (1993). *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill, Nueva York, Estados Unidos.
- Esteva, L. y Ordaz, M. (1995). "Riesgo sísmico y espectros de diseño en la República Mexicana", en *Ingeniería Civil*, No. 310. CICM A.C., México, D. F.
- Hamada, K. (1991). *General Seismology*. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, BRI. Tsukuba, Japón.
- Hodgson, J. H. (1964). *Earthquakes and Earth Structure*. Prentice Hall, Nueva Jersey, Estados Unidos.
- Irikura, K. (1991). *Strong Ground Motion*, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. BRI. Tsukuba, Japón.
- Pavón, V. (1998). *Los Temblores de Tierra*. Instituto Mexicano del Cemento del Concreto, México, D. F.
- Rosenblueth, E. (1986). *Diseño sismoresistente de estructuras*. Editor E. Rosenblueth, Instituto Mexicano del Cemento del Concreto, México, D. F.
- Wakabayashi, M. (1990). *Diseño de estructuras sismoresistentes*. McGraw Hill. México, D. F.