



# CARACTERÍSTICAS DE LOS SISMOS Y SUS EFECTOS EN LAS CONSTRUCCIONES

(PRIMERA DE DOS PARTES)

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

## *Seismic Characteristics and its 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 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.*

## Introducción

Un terremoto, seísmo, sismo o temblor de tierra es un movimiento vibratorio del suelo que modifica el estado de reposo relativo de los cuerpos que se apoyan directamente sobre él. Cuando un sismo se presenta causa muchas veces temor y pánico porque se mueve aquello que los sentidos nos dicen que debe ser firme y porque en ocasiones destruye las construcciones. Cuando se presenta un temblor intenso que causa pérdidas importantes, tanto económicas como de vidas, la gente se pregunta si los ingenieros y arquitectos sabían realmente lo que hacían al proyectar y construir las obras. También es usual que se con-

fundan términos relacionados con los terremotos y que sea frecuente recurrir a consejas que por lo general no tienen fundamentación. Esto mueve a pensar que no existe un canal de información adecuado entre el público y los especialistas.

Este artículo tiene el propósito de acercar conceptos generales de la ingeniería sísmica a los no especialistas, iniciando con los conceptos básicos de sismología, que comprende el origen y las características de los sismos, para en seguida presentar a nivel básico e informativo el campo de acción de la ingeniería sísmica. Se explica como afectan los sismos a las estructuras, el proceso de diseño sísmico y el comportamiento observado de las estructuras reales durante sismos. Se usan lo menos posible términos y desarrollos técnicos que no son del dominio de la mayoría de las personas.

Para iniciar el tema se presenta a continuación una lista parcial de sismos famosos, acompañada de la tabla 1, donde además se incluye la *magnitud* ( $M$ ) estimada de éstos, concepto que se explica más adelante. En la misma tabla se anotan estimaciones de la magnitud denominada local. En los casos en que se cuenta con información, se incluye también la magnitud  $M_s$  basada en el *momento sísmico*.

*Lisboa 1755.* Fue sentido en varios países de Europa; causó daños en un área muy extensa, pero principalmente es recordado por las averías y muertes que motivó en la ciudad de Lisboa. Se considera que a raíz de este terremoto se inició el concepto moderno de ingeniería sísmica, en particular debido a Sebastiao Jose Carvalho, Marqués de Pombal. Este personaje organizó la reconstrucción de la ciudad, buscó explicaciones científicas del movimiento y sus efectos, reunió información que le permitió hacer el primer mapa de intensidades y estableció fábricas de materiales para la reconstrucción.

*Nueva Madrid, Missouri 1811.* Una serie de temblores afectó una amplia zona del centro-oeste de Estados Unidos, lo que provocó cambios en el curso de los ríos y modificaciones en la topografía. No hubo muertes debido a la baja población existente en esa época. Se le considera famoso porque, además de los efectos que causó, ocurrió en el interior de la placa de Norteamérica y no en sus bordes. Un

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

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

nuevo sismo de estas características en la zona sería una catástrofe de grandes dimensiones por los grandes centros de población que allí existen.

*San Francisco, California 1906.* Este terremoto puso en evidencia la gran vulnerabilidad de la megalópolis por las grandes pérdidas económicas sufridas, principalmente debido a incendios que lo siguieron.

*Kanto (o Kwanto) 1923.* Al igual que en el caso anterior, este sismo representó una amarga experiencia para una ciudad densamente poblada. Nuevamente los incendios fueron causa de gran destrucción. El número de muertes fue muy grande.

*El Centro, California 1940.* Este fue uno de los primeros movimientos sísmicos que se registró completo y permitió realizar una investigación científica sobre dinámica estructural. Aún hoy es usual emplear este registro ya que permite a los estudiosos hacer comparaciones con resultados de trabajos previos.

*México 1957.* El terremoto permitió observar el efecto de amplificación dadas las condiciones locales del terreno. Impulsó a la ingeniería sísmica mexicana, que editó el primer reglamento de construcciones que consideraba el comportamiento dinámico de las estructuras.

*Agadir, Marruecos 1960.* Sismo de baja magnitud, que causó gran destrucción y gran cantidad de muertes.

Asimismo, permitió alertar sobre la vulnerabilidad de centros de población en que las estructuras no son diseñadas convenientemente.

*México 1985.* Este terremoto marcó la necesidad de contar con procedimientos de supervisión más efectivos, además de que destacó la importancia de la interacción entre el suelo, la cimentación y la estructura. También mostró la trascendencia de la participación ciudadana para mitigar un desastre.

*Armenia 1988.* Este sismo dejó entrever la fragilidad de las edificaciones para vivienda cuyo diseño no toma en cuenta las fuerzas laterales provocadas por los temblores de tierra. Fue una advertencia más de lo que puede ocurrir en lugares densamente poblados que no cuentan con la debida preparación.

*Northridge, California 1994.* El movimiento provocó un fuerte desastre en las vías de comunicación debido a las grandes aceleraciones verticales del terreno. Causó daños importantes en sistemas considerados como seguros, por ejemplo, las juntas en estructuras metálicas.

*Kobe 1995.* El temblor representó un duro golpe para la ingeniería sísmica japonesa que suponía que no podía ocurrir un desastre de estas proporciones en aquel país, tomando en cuenta los muchos recursos destinados a la investigación en esa área. Una advertencia a la gran inseguridad que

pueden tener las ciudades modernas asentadas en zonas sísmicas.

La *ingeniería sísmica*, rama de la ingeniería que surgió como tal en este siglo, tiene como función establecer procedimientos para diseñar estructuras que tengan un comportamiento adecuado durante temblores intensos, así como evaluar la capacidad de las ya existentes y en su caso modificarlas (aislar, reparar, reforzar y/o controlar) para garantizar su seguridad. Las modificaciones pueden consistir en: aislamiento de la estructura con relación al terreno, reparación, refuerzo, control o una combinación de éstas. Para ello se vale principalmente de los conocimientos de la sismología, de la ingeniería estructural (incluyendo la dinámica estructural) y de la ciencia de los materiales. Con el fin de proponer soluciones estructurales seguras dentro de ciertos límites económicos, la ingeniería sísmica estudia:

- Las tipos de terremotos y sus acciones que se pueden presentar en una región.
- Los efectos que dichas acciones pueden tener sobre las construcciones.
- El comportamiento de los materiales, elementos y sistemas estructurales cuando se les somete a acciones sísmicas.

El desarrollo de esta disciplina ha sido muy amplio en los últimos años y ha generado mucha información. La que aquí se presenta es solamente una introducción al tema. Para las personas que requieran conocer más sobre este tópico, al final del trabajo se presenta una lista de referencias que se pueden consultar.

### I. Origen de los sismos

Con el objeto de entender el fenómeno sísmico conviene recordar dos puntos asociados:

1. La corteza terrestre es *muy delgada* en relación con el tamaño del globo terrestre. Los conocimientos actuales indican que las únicas partes sólidas

TABLA 1

DATOS DE ALGUNOS SISMOS FAMOSOS

LUGAR	AÑO	NO. DE VÍCTIMAS (APROX.)	MAGNITUD
LISBOA, PORTUGAL	1755	60,000	M ≈ 8.5
NUEVA MADRID, E.U.	1811	---	M ≈ 8.5
SAN FRANCISCO, E.U.	1906	700	M = 8.3, M <sub>w</sub> = 8.2
KANTO; TOKIO, JAPÓN	1923	200,000	M = 8.3, M <sub>w</sub> = 7.9
EL CENTRO, E.U.	1940	9	M ≈ 6.7
CIUDAD DE MÉXICO	1957	55	M ≈ 7.5
AGADIR, MARRUECOS	1960	14,000	M ≈ 5.7
CIUDAD DE MÉXICO	1985	10,000	M = 8.1, M <sub>w</sub> ≈ 8.1
ARMENIA	1988	25,000	M <sub>w</sub> = 6.9
NORTHRIDGE, E.U.	1994	60	M <sub>w</sub> = 6.7
KOBE, JAPÓN	1995	5,000	M <sub>w</sub> = 7.0

del planeta son la corteza y el núcleo interno. El material que forma las capas subyacentes a la primera se encuentran en estado más o menos plástico, según su profundidad y composición. La corteza terrestre, que descansa sobre el manto superior de material plástico (magma) tiene apenas un espesor medio de 30 km, con un mínimo de 10 y un máximo de 80 km. Como se sabe, el radio medio de la tierra es de aproximadamente 6,370 km, por lo tanto, la relación entre el radio del planeta y el espesor medio de la corteza es de 210. Así, el radio es doscientos diez veces mayor que el espesor medio de la última.

2. La escala humana del tiempo es corta al compararla con la escala geológica. A partir de la primera, esperamos que el suelo sea firme —como una roca— pero resulta que el suelo tiembla e inclusive puede abrirse, elevarse o hundirse. En la escala de tiempo geológica se vería el movimiento a la deriva de los continentes, la migración de pedazos inmensos de corteza, la aparición y la desaparición de cordilleras y la elevación o hundimiento del lecho marino. En la escala humana, estos cataclismos se ven como en cámara muy lenta puesto que, generalmente, somos testigos de sólo una de las manifestaciones más temidas: los terremotos.

Son muchos y muy variados los fenómenos que provocan los sismos tales como: impactos de meteoritos, eventos volcánicos, explosiones tanto naturales como causadas por el hombre, colapsos de formaciones geológicas y, principalmente, los que tienen como origen el movimiento propio del planeta en su evolución (terremotos de origen tectónico).

## II. Sismos de origen tectónico

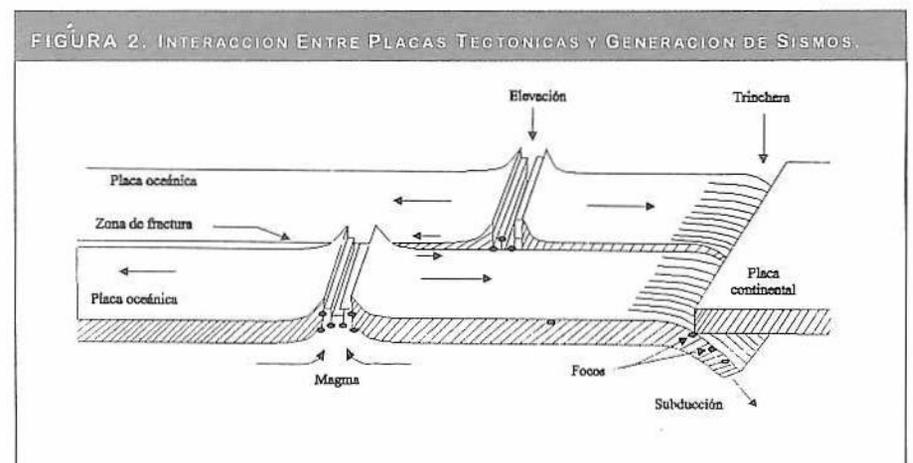
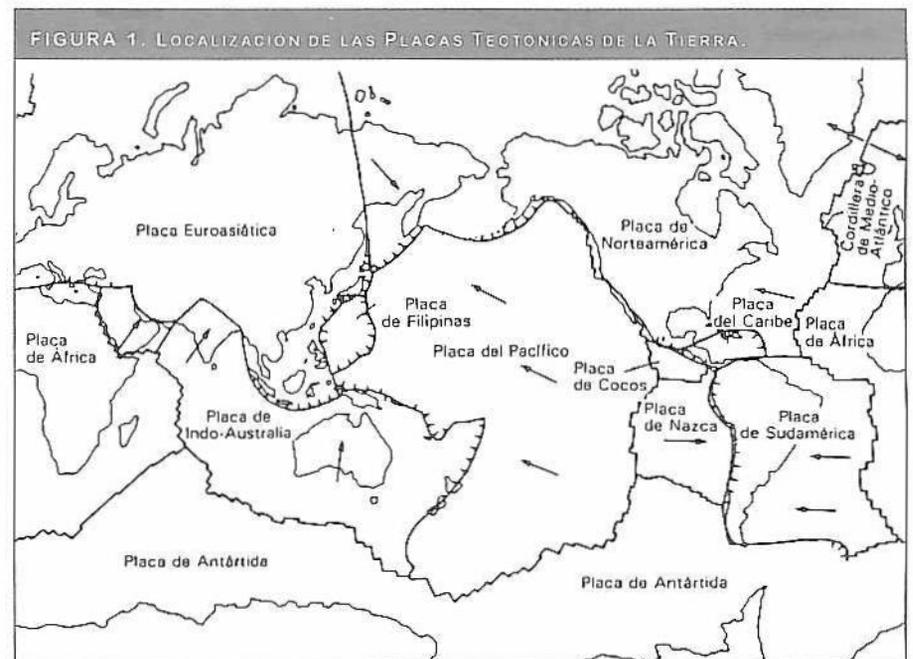
Los sismos de origen tectónico se derivan del movimiento de las placas que forman la corteza terrestre. Una representación de las placas que forman se muestra en la figura 1. El origen de

esta actividad se atribuye al desplazamiento de convección del material del manto en estado semisólido del interior de la tierra a diferentes temperaturas y densidades. Los materiales de mayor densidad caen al centro del planeta y forman un núcleo supuestamente sólido, mientras que los más ligeros emergen y alcanzan la superficie en forma de lava en las llamadas cordilleras mesoocéánicas. A estos flujos de material se les asocia al movimiento de las placas tectónicas.

La emersión de la lava produce empuje sobre los bordes de las placas adyacentes a las cordilleras, lo que genera grandes presiones en las zonas de contacto. A partir de las características propias de cada una de las placas que interactúan, se definen los distintos fenómenos que se presentan. Por

ejemplo, cuando una placa oceánica interactúa con una continental, la primera puede deslizarse por debajo de la segunda, ocasionando la desaparición de parte de la litósfera que se vuelve nuevamente magma. Este fenómeno, que se ilustra en la figura 2, se conoce como *subducción* y a él se debe una parte muy importante del total de energía sísmica que se produce en el planeta.

De forma más general, a una discontinuidad geológica, presente en el borde de las placas (pero también en su interior) se le llama *falla*. Los principales tipos de movimientos que se originan en una falla se ilustran en la figura 3. La falla será activa cuando se presenten movimientos relativos, continuos o intermitentes con cierta periodicidad. Algunas fallas activas es-



tán en constante movimiento, como es el caso de la de San Andrés, la cual se desplaza a razón de 10 a 100 mm anuales. Este parámetro es usualmente aceptado para determinar los periodos de recurrencia de ciertos sismos.

La actividad en las fallas geológicas generalmente no es suave. Debido a irregularidades en sus bordes, se generan fuerzas de fricción que impiden su libre desplazamiento. Cuando tales fuerzas alcanzan niveles que no

pueden ser soportados por las placas, se presenta un movimiento súbito que da lugar a un sismo. La magnitud o el tamaño de este temblor dependerá de la cantidad de energía liberada, la cual es proporcional al área que comprende la movilización entre las placas, a la magnitud de su movimiento relativo y a la dureza de las mismas.

FIGURA 3. TIPOS PRINCIPALES DE FALLAS Y ESFUERZOS QUE LAS CAUSAN: A) ASPECTO DE LA CORTEZA ANTES DE QUE OCURRA EL MOVIMIENTO, B) FALLA NORMAL DEBIDA A ESFUERZO DE TENSIÓN, C) FALLA REVERSA CAUSADA POR ESFUERZOS DE COMPRESIÓN, D) FALLA LATERAL DEBIDA A ESFUERZOS DE CORTE.

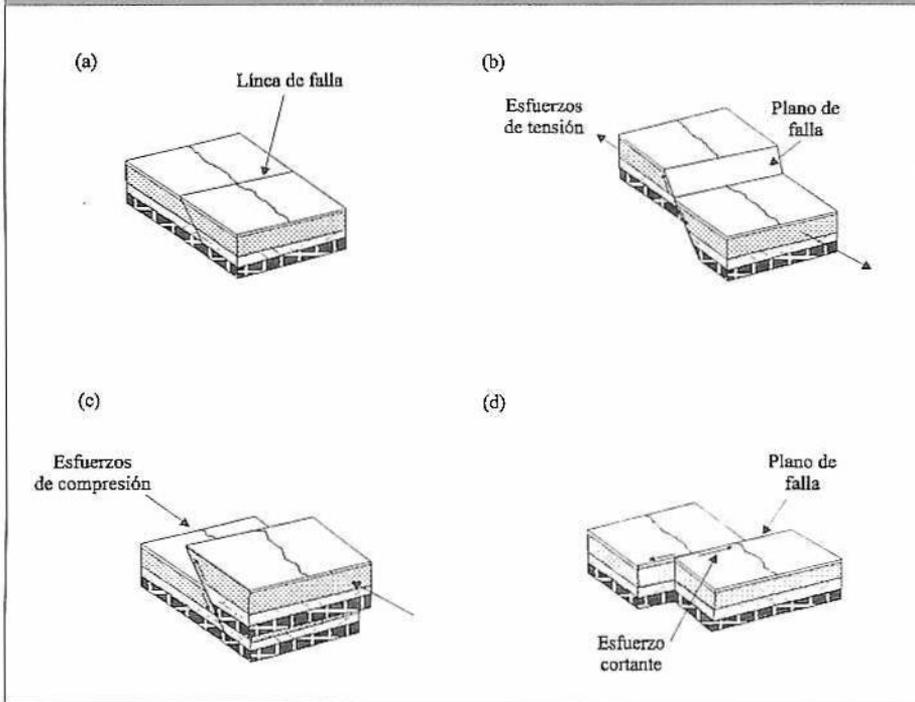
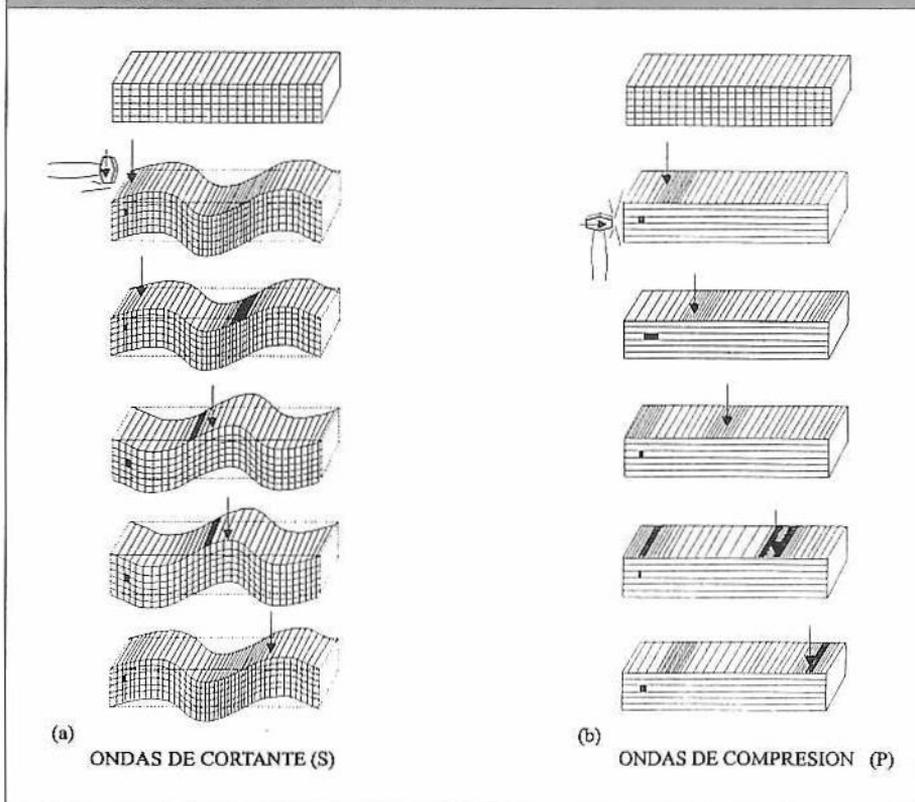


FIGURA 4. ETAPAS EN LA DEFORMACIÓN DE UN BLOQUE AL PASO DE ONDAS DE CORTANTE (S) Y DE COMPRESIÓN (P).



### III. Características generales de los movimientos sísmicos

El punto donde se inicia la ruptura de una falla recibe el nombre de *foco*, *centro* o *hipocentro*. Su proyección sobre la superficie terrestre se denomina *epifoco* o *epicentro*. Las distancias desde el foco o el epicentro hasta el lugar de observación del sismo son las distancias focal y epicentral, respectivamente.

La liberación súbita de energía en la zona de ruptura de una falla provoca la propagación de *ondas de cuerpo*, las cuales al alcanzar la superficie de la corteza y reflejarse en ella originan *ondas de superficie*. Las ondas de cuerpo se producen debido a las deformaciones longitudinales (de compresión) o transversales (de corte) de la roca. Éstas viajan alejándose de la falla y su amplitud generalmente se atenúa con la distancia. Las ondas longitudinales se transmiten por compresión directa y se transmiten a mayor velocidad; éstas son las que se registran en primer lugar en una estación sísmográfica, por ello, se les llama primarias o de forma simplificada, ondas *P*. Por otro lado, las transversales se deben a efectos de corte y por ser captadas después de las ondas *P* se les llama secundarias, o bien, ondas *S*. En la figura 4 se representa esquemáticamente la forma en que se transmiten las ondas *P* y *S*. Hay varias clases de ondas de superficie, las de mayor importancia dentro de la ingeniería son las ondas *L* (ondas de Love) y las *R* (ondas de

Rayleigh). Las ondas *L* tienen lugar en las formaciones estratificadas y vibran en un plano paralelo a la superficie de la tierra y perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Por su parte, las *R* se transmiten en un plano perpendicular al borde de la tierra.

El registro de las ondas sísmicas permite caracterizar al temblor que las produjo así como estudiar aspectos relacionados con la estructura interna de la tierra. Asimismo, la diferencia en tiempo entre la llegada de las ondas *P* y las ondas *S* permite calcular la distancia epicentral. Las diferentes velocidades de transmisión, así como la manera en que son reflejadas dentro de las capas internas de la tierra han permitido establecer teorías sobre la estructura interna del planeta. Por ejemplo, las ondas *S*, por su naturaleza, no se transmiten en líquidos, ya que éstos no tienen resistencia al corte, por lo que al observar que en el núcleo externo de la tierra estas ondas no se envían, se infiere que su estado es similar al de un líquido.

Las ondas sísmicas se generan en la zona de ruptura y se extienden en todas direcciones, por lo que en un punto cualquiera podrá existir una combinación particular de ellas. No se puede establecer que un temblor sea oscilatorio o trepidatorio con base en lo que las personas hayan sentido en un lugar particular. El movimiento del terreno durante un terremoto tiene seis componentes (tres de traslación y tres de rotación).

Al caracterizar un sismo, se deben distinguir los parámetros generales y los locales. Entre los primeros están la localización, el tipo de falla que lo causó y la energía que liberó. Los parámetros locales incluyen el tipo y tiempo de arribo de las ondas sísmicas que determinaron ciertos niveles de aceleración, velocidad y desplazamiento del terreno. De particular importancia son los valores máxi-

mos y las direcciones de estas cantidades. Recuérdese que la teoría de Newton indica que la fuerza es igual a la masa por la aceleración, por lo que contar con datos de la aceleración del terreno causada por un temblor, permite estimar las fuerzas que

se producen en las estructuras. A su vez, lo anterior ayuda a discernir el poder destructivo de un sismo en un lugar específico. En el apartado siguiente se describen de manera general algunas de las formas de medir un terremoto.

FIGURA 5. ISOSISTAS DEL SISMO DEL 28 DE JUNIO DE 1957.



TABLA 2

ESCALA DE INTENSIDADES DE *MERCALLI MODIFICADA* (RESUMEN)

INTENSIDAD	CARACTERÍSTICAS
I	INSTRUMENTAL, PRÁCTICAMENTE NADIE LO SIENTE.
II	SE PERCIBE SÓLO POR ALGUNAS PERSONAS EN REPOSO, ESPECIALMENTE EN PISOS ALTOS DE EDIFICIOS.
III	VIBRACIONES COMO LAS QUE PROVOCA EL TRÁNSITO EN LAS CALLES.
IV	SENTIDO POR LAS PERSONAS EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS O CASAS. LOS MUROS PUEDEN CRUIR EN FORMA SUAVE.
V	SENTIDO POR CASI TODOS, LAS PERSONAS DORMIDAS DESPIERTAN. ROTURA DE ALGUNOS VIDRIOS, TRASTES Y ADORNOS. GRIETAS EN ALGUNOS APLANADOS DE YESO. OSCILACIÓN DE POSTES.
VI	ALGUNAS PERSONAS SON PRESA DEL PÁNICO. MOVIMIENTO DE ALGUNOS MUEBLES. DAÑOS DE Poca CONSIDERACIÓN EN ACABADOS DE LAS CONSTRUCCIONES. CHIMENEAS DAÑADAS.
VII	CONFUSIÓN GENERAL. SENTIDO POR PERSONAS DENTRO DE VEHÍCULOS EN MOVIMIENTO. DAÑOS EN EDIFICIOS ANTIGUOS DE CONSTRUCCIÓN NO RECOMENDABLE PARA ZONAS SÍSMICAS. DAÑOS MENORES EN ESTRUCTURAS ORDINARIAS.
VIII	DAÑOS CONSIDERABLES EN EDIFICIOS ANTIGUOS Y DE CONSTRUCCIÓN NO RECOMENDABLE PARA ZONAS SÍSMICAS. DAÑOS MENORES EN ESTRUCTURAS DISEÑADAS PARA RESISTIR FUERZAS SÍSMICAS. COLAPSO DE CHIMENEAS Y BARDAS SIN REFUERZO. FORMACIÓN DE PEQUEÑOS CONOS DE ARENA Y LODO EN EL SUELO. CAMBIO EN EL NIVEL DEL AGUA EN POZOS.
IX	DAÑOS CONSIDERABLES EN ESTRUCTURAS ESPECIALMENTE DISEÑADAS, COLAPSO DE ALGUNOS EDIFICIOS ANTIGUOS O MAL DISEÑADOS. FALLAS EN CIMENTACIONES Y AGRIETAMIENTO DE TERRENO. FALLA DE TUBERÍAS SUBTERRÁNEAS.
X	LA MAYORÍA DE LOS EDIFICIOS SUFREN DAÑOS IMPORTANTES Y VARIOS SE COLAPSAN. PANDEO DE LAS VÍAS FÉRREAS. DESLIZAMIENTO Y LICUACIÓN DEL TERRENO.
XI	MUY POCAS ESTRUCTURAS QUEDAN EN PIE. GRANDES GRIETAS EN EL TERRENO. CAMBIOS TOPOGRÁFICOS EN TERRENOS SUAVES.
XII	CAOS. SE OBSERVAN "OLAS" EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO. CAMBIOS EN LA TOPOGRAFÍA. OBJETOS Y ROCAS SON LANZADOS HACIA ARRIBA.

FIGURA 6. RELACION ENTRE LAS DIFERENTES ESCALAS DE INTENSIDAD Y MÁXIMA ACCELERACIÓN DEL TERRENO.

MM	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
MSK	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
JMA	0	I	II	III	IV	V	VI	VII					
	0.5	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000		
	Aceleración máxima (cm/s <sup>2</sup> )												

IV. Intensidad y Magnitud

La *intensidad* se refiere al efecto local que causa un terremoto en un sitio determinado, en términos de la manera en que es sentido por las personas y de cómo afecta a los objetos y a las construcciones. En la tabla 2 se anotan las descripciones resumidas de las intensidades de *Mercalli Modificada*, una de las más conocidas y que comprende doce valores. Como se refiere a efectos locales, un temblor tiene diferentes intensidades, una para

cada sitio. Generalmente una intensidad mayor corresponde a zonas próximas al epicentro, mientras que intensidades menores se presentan en sitios más alejados. Por ejemplo, el sismo del 19 de septiembre de 1985 presentó intensidad de X en ciudad Lázaro Cárdenas, Michoacán y de VI en Toluca, México. Para las zonas más afectadas de la ciudad de México las intensidades alcanzaron valores de IX y X para este mismo.

Si se cuenta con datos de intensidad en diferentes puntos para un sismo determinado, se pueden construir *mapas de isosistas*, mediante el trazo de curvas que unen sitios sobre la tierra que experimentaron la misma intensidad. En la figura 5 se presenta como ejemplo el mapa de isosistas correspondiente al terremoto del 28 de junio de 1957, en la costa del Pacífico de la República Mexicana.

La escala de *Mercalli Modificada* (MM) no es la única que se usa para medir intensidades. Otras que tienen bastante uso son la MSK (Medvedov-Sponhever-Karnik), que también consideran doce valores de intensidad y cuya adopción general ha sido recomendada por la UNESCO. Japón ha desarrollado su propia escala de intensidades (JMA) de siete valores. Recientemente se han desarrollado propuestas para definir la intensidad de forma instrumental para evitar diferencias en la apreciación del observador (Hamada, 1991). De manera aproximada (figura 6), se han llegado a relacionar las diferentes escalas con la máxima aceleración del terreno. Esta aproximación, sin embargo, no siempre se cumple, ya que puede haber sismos (como el experimentado en el centro de la ciudad de México en 1985) con niveles bajos de aceleración pero muy destructivos.

La *magnitud* de un temblor es una estimación de la medida del tamaño del mismo que resulta independiente del lugar donde se haga la observación y que se relaciona con la energía liberada.

La teoría que permitió desarrollar el concepto de magnitud se inició en 1935 con los trabajos de Richter para terremotos en el estado de California, Estados Unidos. El objetivo que perseguía era, a partir de mediciones instrumentales, poder distinguir entre sismos pequeños, medianos y grandes. Sus resultados dieron lugar a la escala que lleva su nombre y cuyo uso es universal. En su forma original, la magnitud se refería a la local, que se designa como  $M_L$ . Después se desarrollaron otros tipos, incluyendo el correspondiente a las ondas de cuerpo  $m_p$ , así como la basada en las ondas de superficie,  $M_s$ . Posteriormente, entre 1970 y 1980 se empezó a usar una definición de magnitud de mayor significado físico, basada en el concepto de *momento sísmico*, que se define como la rigidez de la roca mul-

FIGURA 7. REPRESENTACIÓN DE SISMOS EN LA ESCALA DE RICHTER.

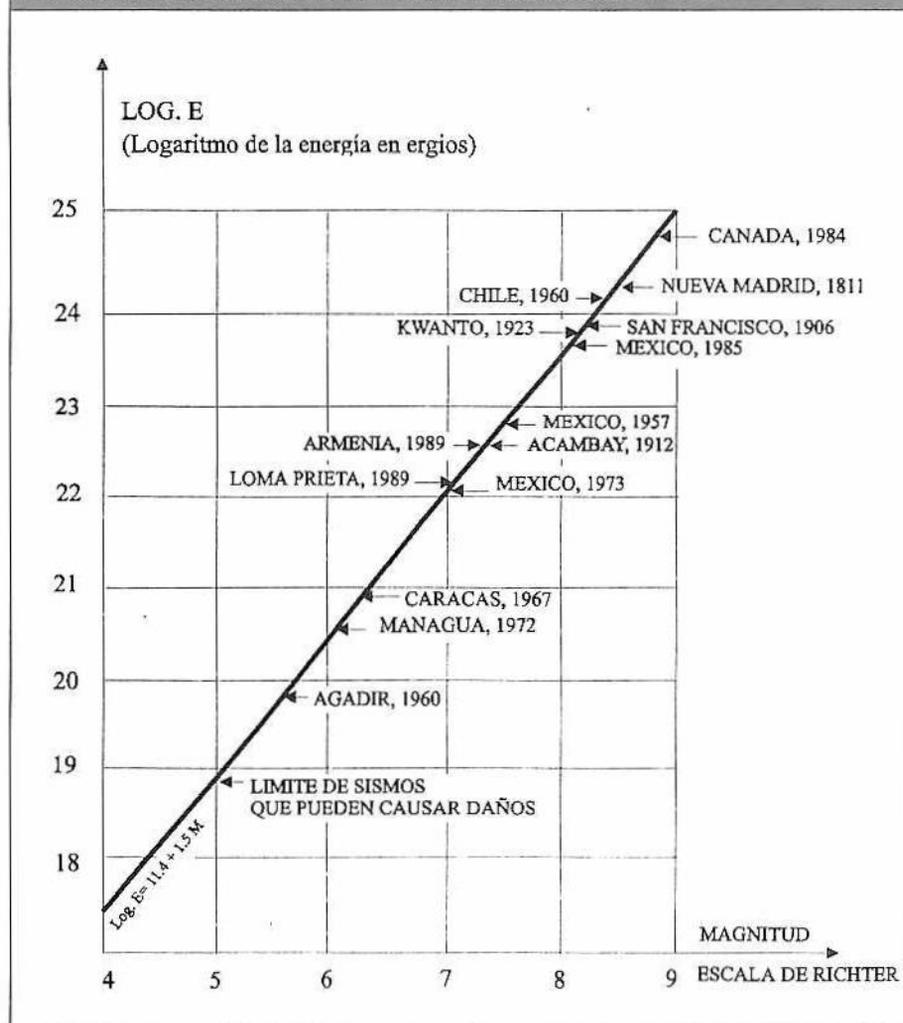
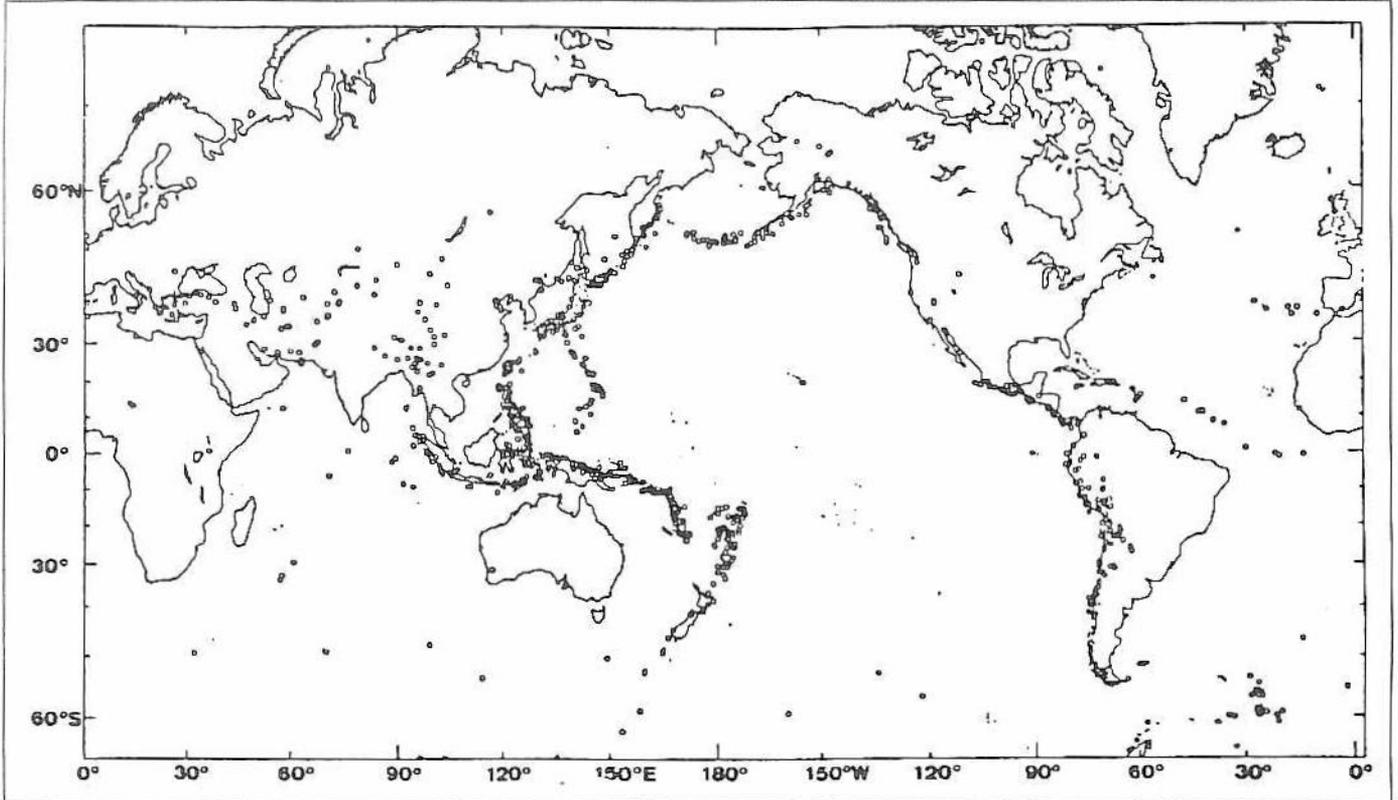


FIGURA 8. EPICENTROS DE TEMBLORES CON MAGNITUD MAYOR O IGUAL A 7, OCURRIDOS ENTRE 1900 Y 1980.



tiplicada por el área de la falla que originó el movimiento y por la longitud del deslizamiento (Bolt, 1978).

Gutenberg y Richter posteriormente desarrollaron una metodología para relacionar la magnitud ( $M$ ) con la energía liberada por un temblor. Para la magnitud basada en ondas de superficie, propusieron  $\log E = 11.4 + 1.5M$ , donde  $E$  es la energía en ergios (ergs). Por ejemplo, el terremoto del 19 de septiembre de 1985, tuvo una magnitud de 8.1, por lo que  $\log E = 23.55$ ,  $E = 3.55 \times 10^{23}$  ergs, que es una cantidad muy grande de energía, comparable a la de 1000 bombas atómicas como la arrojada sobre Hiroshima. La relación entre energía y magnitud permite una interpretación gráfica que resulta interesante. La relación entre  $\log E$  y  $M$  es lineal, por lo que se pueden representar en una recta terremotos acontecidos en diferentes lugares y años (figura 7).

La actividad sísmica en los diferentes puntos de la tierra no es uniforme, puesto que existen zonas con

mayor peligro. Un mapa en donde se localicen los epicentros de temblores cuya magnitud sea mayor a la de un umbral previamente determinado y que hayan ocurrido en cierto periodo, se conoce como mapa de sismicidad. Así, se tiene que de acuerdo con el mapa presentado por Wakabayashi (1990), el cual muestra los epicentros para movimientos de magnitud mayor a 7 para el periodo comprendido entre 1900-1980 (ver figura 8), es factible determinar zonas de incidencia sísmica marcada, las cuales son:

- Zona Circumpacífica, que incluye el lado del Pacífico sur, centro y Norteamérica, las Islas Aleutianas, la península de Kamchatka, Japón, Indonesia y Nueva Zelanda.
- Zona euroasiática, que abarca desde el sureste de Asia hasta el mar Mediterráneo, cruzando el medio oriente.
- La cordillera mezoocéánica.
- Parte de China, Norteamérica y Medio Oriente.

La zona sísmicamente más activa a nivel mundial es la circumpacífica,

donde la mayoría de las áreas incluidas en ellas son arcos de islas cuyas placas tectónicas se sumergen. Aunque la mayoría de los terremotos ocurren precisamente en los límites entre placas, algunos llegan a producirse en fracturas que presentan las placas en su interior. También se detectan ciertas áreas dentro de las zonas sísmicas en las que en años recientes no se han presentado temblores. A estas regiones se les llama brechas sísmicas, en las que habrá que poner especial interés ya que es muy probable que se presenten oscilaciones de considerable magnitud en un futuro cercano.

En México, los sismos de mayor magnitud y frecuencia ocurren por la subducción de la Placa de Cocos debajo de la de Norteamérica. Dicha línea de subducción se localiza a pocos kilómetros fuera de las costas de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Michoacán. A lo largo del mar de Cortés el movimiento relativo entre placas principalmente es de tipo lateral, semejante al que ocurre en la costa occidental de los Estados Unidos. 