

APENDICE 1.1 Escala de Mercalli modificada

La escala mejorada de intensidades de Mercalli (1902) sirvió de base a la escala propuesta por Wood y Neumann (1931), conocida como la escala de Mercalli modificada y comúnmente abreviada MM. La versión modificada se describe a continuación con algunas mejoras por Richter (1958). Las siguientes notas son tomadas casi al pie de la letra de *Elementary Seismology* por Charles F. Richter (W. H. Freeman and Company, San Francisco, © 1958).

Para eliminar muchas repeticiones verbales en la escala original, se ha adoptado el siguiente acuerdo. Cada efecto se nombra con aquel nivel de intensidad con el que aparece primero frecuente y característicamente. Cada efecto puede encontrarse menos fuerte o, en menos casos, en el siguiente grado inferior de intensidad; más fuerte o, en más casos, en el siguiente grado superior. Unos pocos efectos se nombran en dos niveles sucesivos para indicar un incremento más gradual.

Mampostería A, B, C, D. Para evitar ambigüedad en el lenguaje, la calidad de la mampostería, tabiques u otro tipo, se especifica con las siguientes letras (que no tienen conexión con la construcción común Clase A, B y C).

Mampostería A. Buena mano de obra, mortero y diseño; reforzada, en especial, lateralmente y unida utilizando concreto, acero, etc.; diseñada para resistir fuerzas laterales.

Mampostería B. Buena mano de obra y mortero; reforzada pero no diseñada en detalle para resistir fuerzas laterales.

Mampostería C. Mano de obra y mortero ordinario; sin puntos débiles en el extremo como falta de unión en esquinas, pero no reforzada ni diseñada contra fuerzas horizontales.

Mampostería D. Materiales débiles como adobe; mortero pobre; baja calidad de la mano de obra, horizontalmente débil.

Escala de intensidades de Mercalli modificada de 1931 (abreviada y reescrita por C. F. Richter).*

1. No percibido. Marginal y período largo de grandes sismos.
2. Percibido por personas en reposo, en pisos superiores o favorablemente colocadas.
3. Percibido en interiores. Los objetos suspendidos oscilan, hay vibraciones como si pasaran camiones ligeros. Duración estimada. Puede no ser reconocido como un sismo.

4. Los objetos suspendidos oscilan. Se perciben vibraciones como si pasaran camiones pesados o sensación de una sacudida como si una pelota pesada golpeará las paredes. Los vehículos en reposo oscilan. Las ventanas, los platos y las puertas resacaen.¹ Los vasos, botellas, etc., se desmoronan.

5. Se percibe en el exterior; dirección estimada. Se despierta la gente. Se perturba el reposo de los líquidos; algunos se derraman. Objetos pequeños inestables se desplazan o se voltean. Las puertas oscilan, se abren y se cierran. Las persianas y los cuadros se mueven. Los relojes de péndulo se detienen, se ponen en marcha, cambian su ritmo.

6. Es percibido por todos: muchos se asustan y echan a correr hacia el exterior. Las personas caminan tambaleándose. Las ventanas y los platos se rompen. Los libros se caen de los libreros. Los cuadros se desploman de las paredes. Los muebles se mueven o se voltean. El enyesado débil y mampostería D se agrietan. Las campanas pequeñas (iglesias, escuelas) tañen. Los árboles, arbustos son sacudidos visiblemente o se oye el murmullo de sus hojas.

7. Difícil mantenerse en pie. Percibido por choferes. Los objetos colgantes vibran. Los muebles se rompen. Daño a mampostería D, aparecen grietas. Las chimeneas débiles se rompen en la línea del techo. Caen el yeso, se aflojan ladrillos, piedras, tejas, cornisas, parapetos no afianzados y ornamentos arquitectónicos. Aparecen algunas grietas en mampostería C. Se forman olas en estanques; agua turbia con lodo. Hay pequeños derrumbes y deslizamientos en taludes de arena o grava. Las campanas grandes tañen. Los canales de concreto de irrigación se dañan.

8. Dirección del auto afectada. Daño a mampostería C; colapso parcial. Algunos daños a mampostería B; ninguno al tipo A. Caída de estuco y algunos muros de mampostería. Torcimiento y caída de chimeneas, monumentos, torres, tanques elevados. Los marcos de casas habitación se mueven sobre la cimentación si no se anclan; los paneles de muros sueltos se desprenden. Los pilotes deteriorados se rompen. Las ramas de los árboles se desprenden. Hay cambios en flujo o temperatura de manantiales y pozos. Aparecen grietas en terreno húmedo y taludes empinados.

9. Pánico general. Mampostería D destruida; mampostería C seriamente dañada, a veces con colapso completo; mampostería B seriamente dañada. Daños generales en cimentaciones. Los marcos de estructuras no anclados, levantados de la cimentación. Marcos llevados por el viento. Grietas visibles en el suelo. En áreas aluviales se expulsan arena y lodo, se forman manantiales sísmicos y cráteres de arena.

10. La mayor parte de las estructuras de mampostería destruidas con sus cimentaciones. Algunas estructuras bien construidas y puentes de madera destruidos. Serios daños a presas, diques, terraplenes. Hay grandes derrumbes. El agua es arrojada sobre los bordos de canales, ríos, lagos, etc. La arena y el lodo son desplazados horizontalmente en playas y terreno plano. Los rieles se doblan ligeramente.

11. Rieles muy doblados. Las tuberías subterráneas quedan completamente fuera de servicio.

12. Daño casi total. Grandes formaciones rocosas son desmoronadas. Se destruyen

Espectros de temblores y su aplicación

JORGE PRINCE*

Los daños sufridos por las construcciones como consecuencia de un temblor son solamente la culminación de un complicado proceso que se inicia en el mismo momento que el movimiento sísmico. Sin embargo, la espectacularidad de los daños y de los efectos inmediatos, como el pánico de la población, concentra la atención en esos aspectos y relega a un plano secundario la importancia de las diversas etapas del proceso en sí.

El estudio y conocimiento de esas etapas constituye uno de los objetos de la Ingeniería Sísmica; su fin es permitir que construcciones de todas clases sean proyectadas y construidas cada vez con mayor economía y seguridad, a la luz de los nuevos descubrimientos en ese campo. Continuamente se logran avances relacionados con el comportamiento de las estructuras ante la acción de los temblores, y en muchos casos encuentran rápida aplicación en la práctica.

La utilización de los avances conseguidos requiere del conocimiento completo de las condiciones locales, en lo que se refiere a materiales y tipos de construcción, influencia de la geología regional, determinación de epicentros, etc. Por esta razón, en México se han iniciado desde hace tiempo diversos estudios encaminados a mejorar estos conocimientos. Este trabajo se referirá concretamente a algunos conceptos relacionados con la ocurrencia de temblores, señalando los beneficios obtenidos de su estudio, así como los medios empleados para llevar a cabo tales estudios.

IMPORTANCIA DEL PROBLEMA SISMICO EN MEXICO

Se denomina Cinturón Circumpacífico a la zona relativamente angosta que rodea al Océano Pacífico, extendiéndose desde Nueva Zelanda hasta Chile como se muestra en la fig. 1.

A grandes rasgos comprende numerosas islas del Pacífico Sud-occidental, Nueva Guinea, Filipinas, Japón, la península de Kamchatka y las islas Aleutianas. Finalmente abarca toda la costa oeste del Continente Americano. Es

* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM.

notable en el mundo por su gran actividad sísmica.

Nuestro país forma parte destacada de esa zona ya que... "en lo referente a temblores de origen a poca profundidad, la sismicidad de la región central de la costa mexicana del Pacífico es la más alta del Hemisferio Occidental". Esta aseveración queda justificada por el número de temblores registrados por el Servicio Sismológico durante los primeros cincuenta años de operación (1909-1959), que asciende a 18,211² es decir, un promedio muy cercano a uno por día. Desde luego, un gran porcentaje de ellos han sido de intensidad tan leve que sólo los instrumentos de estaciones sismológicas pudieron percibirlos, o bien fueron sentidos por unas cuantas personas en situaciones favorables. Si se consideran únicamente aquellos de intensidad superior a II (MM)³ se cuentan 520, es decir, un promedio algo superior a 10 por año. Entre ellos, a 48 se les atribuyó una intensidad de V o mayor, o sea que durante el período mencionado se sintió prácticamente cada año, en el país, un temblor que puede considerarse como fuerte.

Esta frecuencia y la improbabilidad de que disminuya en el futuro, explican la necesidad que hay en México de lograr una mejor comprensión del mecanismo sísmico. Además, no debe olvidarse que nuestro país está expuesto a temblores mucho más fuertes que los ocurridos hasta ahora. El monto oficial de los daños en julio de 1957 fue inferior a 30 millones de dólares y el número de víctimas fue 71; en 1923 en Tokio las pérdidas llegaron a 2.500 millones de dólares, 100,000 muertos y 43,000 desaparecidos.

DE LA INTENSIDAD Y REGISTRO DE LOS SISMOS

La intensidad de un temblor se indica mediante un grado de una de las varias escalas

¹ B. Gutenberg y C. F. Richter, "Seismicity of the Earth", 2a. edic., Princeton University Press (Princeton, New Jersey, 1954), p. 36.

² J. Figueroa, "Carta sísmica de la República Mexicana", *Anales del Instituto de Geofísica*, UNAM, Vol. 5, 1959, pp. 59 y 127.

³ Escala de Mercalli Modificada.

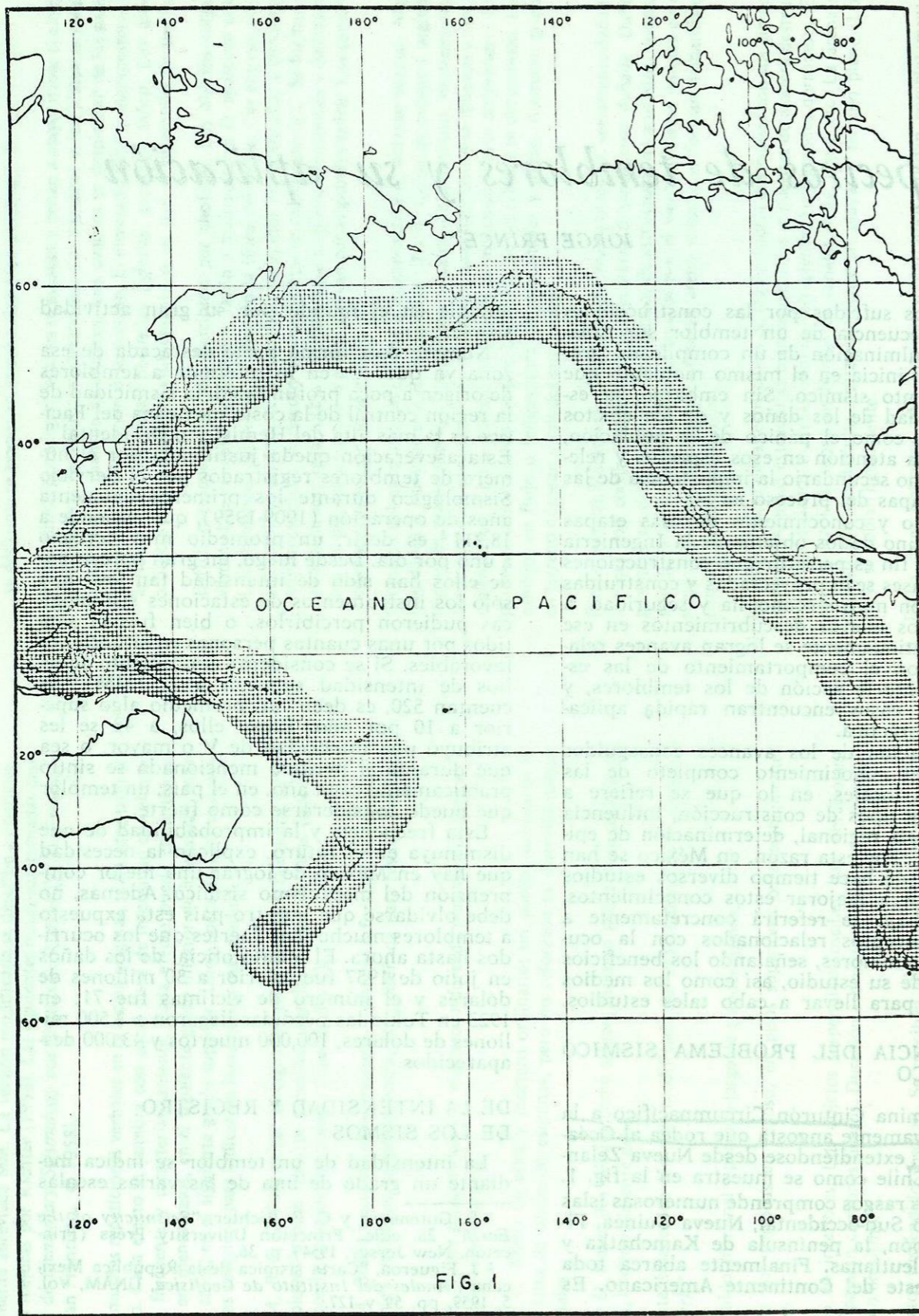


FIG. 1

existentes. Las más usuales basan su graduación principalmente en el efecto que el temblor produce en las personas y en los daños que, apreciativamente, sufren las construcciones más o menos típicas, es decir, son escalas puramente subjetivas.

En consecuencia, la intensidad atribuida a un temblor no proporciona ninguna de las características con que es posible definir cuantitativamente el movimiento mismo: aceleración, velocidad, desplazamiento, dirección, duración, etc.

Para obtener dichas características es necesario el empleo de instrumentos diferentes de aquellos que se utilizan en estaciones sismológicas. Estos sismógrafos no son construidos para el registro de movimientos fuertes, sino que son de alta sensibilidad, lo que permite captar movimientos sísmicos originados a gran distancia para estudios de índole totalmente diferente. Por tanto, decir que "se saltaron las agujas" no significa que el instrumento haya fallado sino que cuenta con un mecanismo de protección que actúa al exceder el movimiento un cierto límite o que, simplemente, la línea sale del registro.

Para obtener registros completos se han diseñado aparatos menos sensibles denominados "acelerógrafos", capaces de registrar movimientos de gran violencia. Han sido usados extensamente en Japón y Estados Unidos desde hace más de 25 años, al hacerse patente la necesidad de conocer los sismos en toda su duración. Por lo expuesto, sería razonable preguntarse lo siguiente: ¿Cuáles son las ventajas de obtener esos registros si los temblores que sigan no serán iguales a los ya ocurridos?

Debido a las modificaciones que sufren las ondas sísmicas al recorrer la corteza terrestre desde donde se originaron y a la influencia del suelo de cada lugar, temblores sucesivos, con ondas sísmicas diferentes, presentan características comunes que interesa conocer, pues indican en términos generales cómo se mueve el suelo durante cualquier temblor.

FACTORES QUE DETERMINAN EL EFECTO DE UN SISMO

Los efectos de un temblor sobre una cierta estructura dependen de los factores siguientes:

- 1° Las características de la estructura misma.
- 2° Las características de las ondas que llegan.
- 3° La naturaleza del suelo en el lugar.

Al mencionar las características de la estructura, conviene hacer notar que la gran variedad de formas de edificación y de materiales usados contribuyen al conocimiento incompleto de lo que ocurre en un edificio en particular, al sujetarlo a movimientos más o menos re-

peninos de su base. Sólo las formas más simples se pueden analizar sin gran dificultad en un tiempo razonable; la disposición irregular de sus elementos complica en grado extremo el análisis.

Por su parte los materiales constituyen otra incógnita de importancia; en general, sus propiedades varían de un caso a otro y dependen del tipo de cargas a que se sometan. A esto se debe, en parte, el hecho observado con frecuencia de que dos edificios aparentemente iguales sufran daños de muy diversa importancia bajo la acción de un temblor.

Es conveniente tratar en forma conjunta para los fines de este trabajo, los dos últimos factores mencionados, es decir, las características de las ondas sísmicas y la naturaleza del suelo, ya que las propiedades del subsuelo tienen una notable influencia sobre las ondas sísmicas que lo atraviesan. Un mismo temblor puede hacerse sentir con mayor fuerza y duración en terreno blando que en terreno duro; si el cambio en las propiedades del subsuelo es brusco, la diferencia puede ser importante aún a la distancia de 100 metros.

El estudio del efecto combinado de estos dos factores es de mayor utilidad que el de cada uno por separado, ya que en esta forma es posible obtener las características comunes, mencionadas antes, de diferentes temblores en un mismo lugar. Estas características comunes las proporcionan los registros de temblores. Como la información que se obtiene de cada registro es exclusiva del lugar, será de más extensa aplicación cuanto mayor sea el área en que se conserven las mismas propiedades del subsuelo. Si se considera el caso de la ciudad de México, sería de gran utilidad para la construcción conocer la influencia de los cambios de las propiedades del subsuelo en diferentes puntos de la ciudad. De acuerdo con lo expuesto, estos resultados no serían aplicables en Acapulco, por ejemplo, donde las condiciones locales son enteramente diferentes.

Podemos resumir diciendo que el efecto combinado de las ondas sísmicas y naturaleza del suelo se obtiene de registros completos de temblores.

Existe un método que permite estudiar el efecto simultáneo de los tres factores: los dos mencionados en el párrafo anterior y las características de la estructura. Su publicación en 1932 por M. Biot dio a la Ingeniería Sísmica una de sus herramientas más valiosas. Con este método se obtiene una característica intrínseca de cada temblor que se denomina espectro de respuesta. Para proceder a su descripción es necesario introducir algunos conceptos auxiliares.

PERIODOS DE OSCILACION

Todas las características de una estructura como peso, dimensiones, etc., pueden combi-