

# Los sismos en México son trepidatorios u ondulatorios ¿mito o realidad?



**Dr. Edgar Tapia Hernández**  
**Ricardo Gutiérrez Medellín**  
*Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco*

## Resumen

Después de los sismos del 2017 fue notorio el uso de redes sociales para difundir información relacionada con la actividad sísmica, la que no confiable en todos los casos. Un caso notorio es el hecho que los sismos se clasifique en oscilatorios y ondulatorios, que intentan relacionar la dirección de la propagación de las ondas sísmicas con el daño estructural en los edificios. En este artículo se discute la propagación de las ondas sísmicas, su estudio y medición para aclarar que todos los sismos tienen componentes horizontales y verticales. Se discuten requerimientos normativos que han intentado definirlos con fines de diseño sísmico como una proporción de las fuerzas laterales.

## Abstract

After the 2017 earthquakes, the use of social media to disseminate information related to seismic activity was notorious, which is unreliable in all cases. A notorious case is the fact that earthquakes are classified as oscillatory and undulatory, which attempt to relate the direction of seismic wave propagation with structural damage to buildings. This paper discusses the propagation of seismic waves, their study, and their measurement to clarify that all earthquakes have horizontal and vertical components. Normative proposals that have tried to define them for seismic design purposes as a proportion of lateral forces are discussed.

**Palabras clave:** Sismo; edificio; componente vertical; componente horizontal

**Keywords:** Earthquake, building; vertical component; horizontal component

## Sismo trepidatorio y ondulatorios

Después de un sismo intenso, es común escuchar conversaciones de personas que

relacionan el daño en las estructuras o elementos estructurales con la dirección de las demandas sísmicas. Si la demanda que percibieron fue vertical se refieren que se trató de un sismo trepidatorio y si la demanda que predomina en su percepción es horizontal, le llaman sismo ondulatorio, pero ¿esto es correcto?

La realidad es que los sismos no se pueden clasificar simplemente en trepidatorio u oscilatorio, sino que durante todos los sismos existen ondas que se propagan a través del suelo en el plano horizontal y con una componente vertical. La predominancia de las componentes en una cierta posición depende de: i) la profundidad donde ocurrió el sismo, ii) el tipo de contacto entre las placas tectónicas que originaron el sismo y iii) las características de los estratos de suelo que cruzaron hasta llegar al sitio.

Los sismos se originan por el movimiento de placas tectónicas. Ese movimiento relativo genera esfuerzos cortantes en la zona de contacto entre las placas. Cuando se supera el esfuerzo resistente se libera energía como un terremoto que se transmite a la corteza en todas direcciones.

## Las ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se dividen en primarias (ondas P) y las secundarias (ondas S), que se subdividen en ondas Rayleigh y ondas Love. Las ondas P son compresivas y se propagan en un plano longitudinal. Las ondas S se propagan en dirección ortogonal con movimientos arriba – abajo, izquierda – derecha e, incluso, con un movimiento elíptico retrogrado y, por ello, son las más destructivas.

La propagación de ondas durante un sismo se estudia mediante estaciones acele-

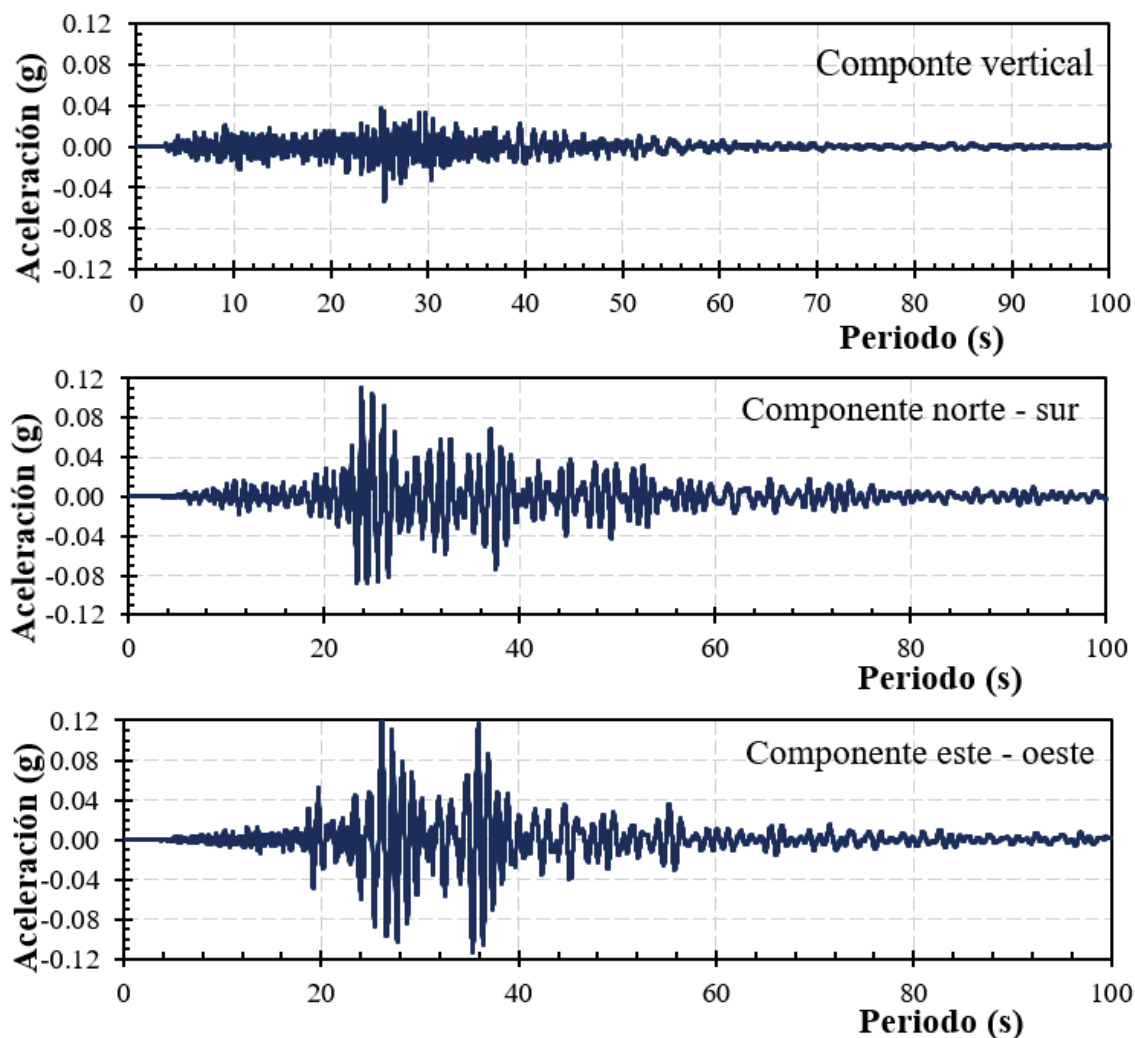


Figura 1. Registro de la estación en la Alberca Olímpica del 19 de septiembre del 2017

rométricas que registran los cambios de aceleración que tiene el terreno durante el evento. Con fines ilustrativos, en la figura 1 se muestra la historia de aceleraciones que se grabó en la Alberca Olímpica en la Alcaldía Benito Juárez en la Ciudad de México durante el sismo del 19 de septiembre del 2017 de magnitud  $M_w = 7.1$  (Tapia y García 2020). Se muestran las aceleraciones que se grabaron en la dirección norte – sur, este – oeste y en la dirección vertical. Este sismo se registró en el límite del Estado de Puebla y Morelos a menos de 120 km del punto donde se localiza la estación.

Entre más cerca esté el acelerómetro del epicentro, la componente vertical será más importante, pero no dejaría de existir las componentes horizontales. Entonces, dado que los sismos tienen las tres componentes (dos en el plano horizontal y uno en la vertical), la supuesta clasificación de un sismo en trepidatorio y oscilatorio está basado íntegramente en la percepción.

Si una persona está en el piso 30 de un edificio alto, es bastante probable que las componentes en el plano dominen su percepción dado el desplazamiento horizontal

de la estructura y la persona argumentaría que se trató de un sismo oscilatorio. Si hubiera otra persona a nivel de banqueta en el mismo edificio, donde los estratos del suelo pudieran reflejar la sensación de que la componente vertical es muy grande, para el mismo evento, se argumentaría que se trató de un sismo trepidatorio.

### Cargas laterales sobre los edificios

Debido a que los edificios tienen una respuesta gobernada por los desplazamientos laterales, las demandas sísmicas en el plano horizontal son más dañinas (figura 2). De hecho, los códigos especializados como la Norma Técnica Complementaria para el Diseño por Sismo (NTC-DS) del Reglamento de la Ciudad de México dedican esfuerzos estrictos para definir las demandas sísmicas horizontales con el mayor detalle posible, puesto que la carga lateral rige la respuesta de los edificios. Las demandas verticales tienen poca relevancia en edificios, salvo en casos donde hay volados o balcones de claros muy largos y, de hecho, no están formalmente definidas en las NTC-DS.



Figura 2. Daño en edificios provocados por demandas sísmicas en la Ciudad de México.

En contraste, si se trata de una estructura gobernada por los desplazamientos verticales, como en los puentes, la componente vertical rige el diseño de los elementos estructurales. Igualmente, esa componente vertical puede ser importante si el epicentro del sismo se localiza muy cerca del edificio. Por ejemplo, durante el sismo del 19 de septiembre del 2022 ocurrió el colapso de una estructura en Manzanillo, Colima (figura 3) por un problema en la conexión que pudo deberse a la acción combinada de la componente horizontal y vertical.



Figura 4. Daño por sismo en edificio en la zona epicentral en Manzanillo, Colima.

Se han realizado algunos esfuerzos por definir las demandas sísmicas de la componente vertical como una proporción de la componente horizontal  $V/H$  en función de las características dinámicas del edificio como el periodo fundamental  $T$  (figura 3). Uno de los esfuerzos más conocido y más utilizado durante muchos años, está publicado en Newmark *et al.* (1973), a partir de sismos registrados en la costa de California en Estados Unidos, que propuso  $V/H= 0.5$ . En Japón, el estudio más difundido lo realizaron Kawashima *et al.* (1985), que para los registros japoneses propusieron  $V/H= 1/3$ . En ambos

casos, la propuesta es constante e independiente de las características del edificio.

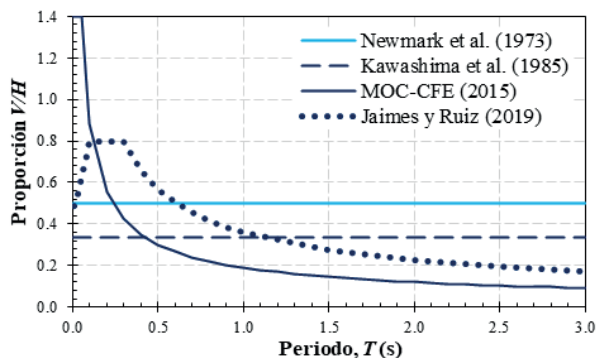


Figura 3. Proporción entre la componente vertical y la componente horizontal  $V/H$ .

Más recientemente, Jaimes y Ruíz (2019) desarrollaron una propuesta para las condiciones específicas de la Ciudad de México (figura 3), que es dependiente de las propiedades dinámicas del edificio, en función del periodo  $T$ . Finalmente, el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad contiene una propuesta (MOC-CFE 2015), que debido a que pretende ser aplicable para todo el país no consigue ser una aproximación conservadora en todos los casos (Tapia y Gutiérrez 2022). Pese a estos esfuerzos, se requieren más estudios para establecer la proporción entre la componente horizontal y la vertical para poder integrar propuestas sólidas en los reglamentos de diseño sísmico.

### Conclusiones

Todavía hay un largo camino que recorrer para conocer el comportamiento de las placas tectónicas. De hecho, es poco lo que se ha podido explorar físicamente y son pocos años en los que ha podido contar con la tecnología para la medición de los sismos. Pese a este panorama, es algo cierto que todos sismos tienen componentes horizontales y verticales y, por ende, no se deben clasificar en trepidatorios u oscilatorios.

El hecho que una componente domine es algo relativo y depende altamente del sitio donde se encuentre la persona al momento del sismo. Lo que sí es una realidad, es que la ocurrencia de sismos en la mayor parte de México es una amenaza constante, por lo que siempre hay que estar preparados y bien informados. Igualmente, conviene seguir implementando esfuerzos para estudiar la proporción entre las componentes del sismo en la dirección horizontal y vertical para que los edificios sean seguros ante sismos intensos.

### Referencias

CFE-MOC (2015). “Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo. Recomendaciones y Comentarios”. Instituto de Investigaciones Eléctricas (INEEL), Comisión Federal de Electricidad (CFE). Diciembre.

Jaimes, M.A. y Ruiz-García J. (2019), “New vertical-to-horizontal ratio spectrum due to intraslab earthquakes for soft-soil sites of Mexico City”. *Soil Dynamic Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105804>

Kawashima, K., K. Aizawa y K. Takahashi (1985), “Attenuation of peak ground motion and absolute acceleration response spectra of vertical ground motion”, *Memorias, Japan Society of Civil Engineers*, Vol. 1, No. 2, pp. 169-176. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej1984/1985/362/1985\\_362\\_169/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscej1984/1985/362/1985_362_169/_pdf)

Newmark, N.M. (1973), “A Study of vertical and horizontal spectra”, *Reporte WASH-1255*, Washington, D.C., U.S. Atomic Energy Commission, Directorate of Licensing. [https://engineering.purdue.edu/~ce573/Documents/A%20Study%20of%20Vertical%20and%20Horizontal%20Earthquake%20Spectra%20\(Newmark\).PDF](https://engineering.purdue.edu/~ce573/Documents/A%20Study%20of%20Vertical%20and%20Horizontal%20Earthquake%20Spectra%20(Newmark).PDF)

NTC-DS-2020 (2020). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo. En Gaceta Oficial de la Ciudad de México. Gobierno de la Ciudad de México. Junio.

Tapia E. y García J.S. (2020), “Damage assessment and Seismic behavior of Steel Buildings during the Mexico Earthquake of September 19, 2017”. Earth-

quake Spectra. Vol. 36, Issue 1. <https://doi.org/10.1177/8755293019878186>

Tapia E. y Gutiérrez R. (2022), “Componente vertical en sismos registrados en la Ciudad de México”, Memorias, XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Noviembre, Zacatecas, Zacatecas.