



EDIFICIOS DE MADERA ANTISÍSMICOS

M. Sc. Ing. Luis Alberto Cabrera Serrudo
DOCENTE DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

INTRODUCCIÓN

Los eventos sísmicos son fenómenos naturales impredecibles y capaces de generar muerte y destrucción. Esto se hizo patente en Taiwán, más precisamente en la localidad de Hualien, cuando el reciente 2 de abril del año en curso acaeció un terremoto de 7.5 grados en la escala de Richter, el cual dejó muchas edificaciones destruidas y lastimosamente la pérdida de vidas humanas



Figura 1. Edificios dañados y destruidos en Hualien – Taiwán. (Infobae, 2024)

Este tipo de acontecimientos, representan un desafío para la industria de la construcción y son una invitación a replantear e innovar la forma en la que se diseñan y se construyen las estructuras civiles en la actualidad y a futuro.

En ese sentido, se está llevando adelante en la Universidad de California en San Diego, una investigación en la que se ha construido el edificio de madera laminada más grande del mundo (10 pisos) y va a ser puesto a prueba en la mesa vibratoria más grande del mundo. Este ensayo va a proporcionar innovaciones que pueden cambiar las tendencias en la construcción de edificios, volviéndolos más resilientes ante eventos sísmicos.

¿CÓMO SE CONSTRUYE EN LA ACTUALIDAD?

En cuanto a diseño y construcción antisísmica, la filosofía actual es concebir estructuras que tengan bastante rigidez lateral. En el caso de estructuras de hormigón armado, por ejemplo, se dispone de muros de corte, los cuales deben ser de dimensiones generosas y deben tener bastante acero de refuerzo. En el caso de estructuras metálicas, se disponen elementos diagonales de arriostramiento los cuales están encargados de proporcionar la mencionada rigidez lateral para que la edificación resista el embate de un sismo.



Figura 2. Muros de corte en estructuras de hormigón armado. (www.infobasicingcivil.com, 2020)



Figura 3. Elementos diagonales en estructuras de acero. (blog.laminasyaceros.com, 2020)

No se puede decir que estos métodos convencionales no han dado resultados positivos. De hecho, gracias a los muros de corte y a las diagonales de arriostramiento, se han salvado muchas vidas en varios lugares del mundo en donde han ocurrido terremotos. Sin embargo, estas formas constructivas tienen un defecto: No son “resilientes”, a pesar de que poseen resistencia y rigidez e incluso el edificio no vaya a colapsar durante un terremoto.

Por ejemplo, en un edificio de hormigón armado, que esté apropiadamente construido con muros de corte, ante la acción de un terremoto, los muros de corte empiezan a trabajar y resisten las fuerzas de cortante basal y el edificio no colapsa, pero surge un problema: el edificio queda dañado y de acuerdo a las normas actuales, eso es aceptable. Sin embargo, si el edificio está dañado, eso implica que los usuarios de dicha edificación, están impedidos de volver a ocuparlo hasta que se hagan las reparaciones necesarias y además tendrán que pagar por dichas reparaciones las cuales, por cierto, no serán nada económicas. En el peor de los casos, el edificio puede resultar tan dañado que sea irreparable y la única opción sea demolerlo y volver a construir un nuevo edificio. En pocas palabras un edificio de hormigón armado con muros de corte no tiene resiliencia.



Figura 4. Severos daños en un muro de corte luego de un terremoto. (Sarhosis et al, 2022)

muros de corte empleando madera laminada. La madera laminada consiste en tablas o láminas de madera unidas por medio de un adhesivo especial, de manera que se obtenga un elemento compuesto que será masivo y resistente.



Figura 5. Sección transversal y vista isométrica de un elemento conformado de madera laminada. (www.maderea.es, 2024)

En el siguiente párrafo se dará respuesta a la pregunta planteada en el subtítulo de esta sección: ¿Por qué construir edificios de madera? La respuesta a esta pregunta es: porque en la actualidad, los ingenieros estructurales, buscan que los edificios sean resilientes. De acuerdo a diccionario de la Real Academia Española la resiliencia se define como “La capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido”. En ese sentido, los edificios diseñados y construidos con madera laminada, ofrecen la posibilidad de ser resilientes.

¿POR QUÉ CONSTRUIR EDIFICIOS DE MADERA?

A pesar de que la madera no es considerada un material adecuado para construir edificios en nuestro medio, en Estados Unidos, se viene investigando la aplicación de este material en la construcción de edificios de hasta 10 niveles. Una de las principales ventajas de la madera es que es un recurso renovable y su uso implica reducir las emisiones de CO2 en comparación con el uso de perfiles de acero o elementos de hormigón armado.

El secreto para poder construir edificios con elementos de madera radica en la conformación de

MUROS DE CORTE OSCILANTES

El elemento estrella en los edificios de madera son los denominados “muros de corte oscilantes” los cuales están hechos de madera laminada y se constituyen en la columna vertebral del edificio e impiden que el edificio se vuelque ante cargas de viento y sismo. Este tipo de muros tienen dos características que los hacen especiales:

- Son innovadores: En la actualidad, ningún edificio emplea para tener rigidez lateral, muros de corte de madera. Usualmente los muros de corte son de hormigón armado o también se emplea estructuras metálicas con diagonales de arriostramiento ya que se considera que son elementos y materiales más resistentes y más rígidos que la madera.
- Son resilientes: Los muros de corte oscilantes hechos de madera laminada ofrecen una característica que el hormigón no puede ofrecer: la Resiliencia. Es decir que este tipo de muros logra tener poco o casi ningún daño luego de finalizado un movimiento sísmico, lo cual es una gran ventaja, ya que los edificios podrían seguir en servicio casi de inmediato luego de haber sufrido un sismo.

Para lograr concebir este sistema estructural innovador, los ingenieros investigadores tuvieron que romper la filosofía actual que lleva a diseñar estructuras con núcleos masivos, empleando bastante concreto y bastante acero. En vez de luchar contra el sismo, el edificio debe procurar moverse junto con el sismo. Bajo esta premisa, se elaboran muros de corte con madera laminada y posteriormente estos muros son postensados con cables de acero los cuales mantienen a los muros con una tensión permanente hacia el suelo, lo cual proporciona estabilidad lateral ante las sollicitaciones de viento o de sismo. Un esquema de un prototipo de este tipo de muros de corte puede apreciarse en la figura 6.

En el momento en el que una carga sísmica comience a actuar sobre este tipo de sistema estructural, el muro de corte oscilante, como su nombre indica, empezará a mecerse acompañando el movimiento del sismo. La unión del muro de corte con la fundación se hará por medio de conexiones dúctiles que permitirán que el muro pueda “separarse momentáneamente” de su fundación y será el cable postensado el encargado de devolver al muro a su posición original. Con este mecanismo de comportamiento, se logra reducir los daños estructurales en gran medida, logrando una edificación resiliente. Un esquema de este comportamiento puede apreciarse en la siguiente figura:

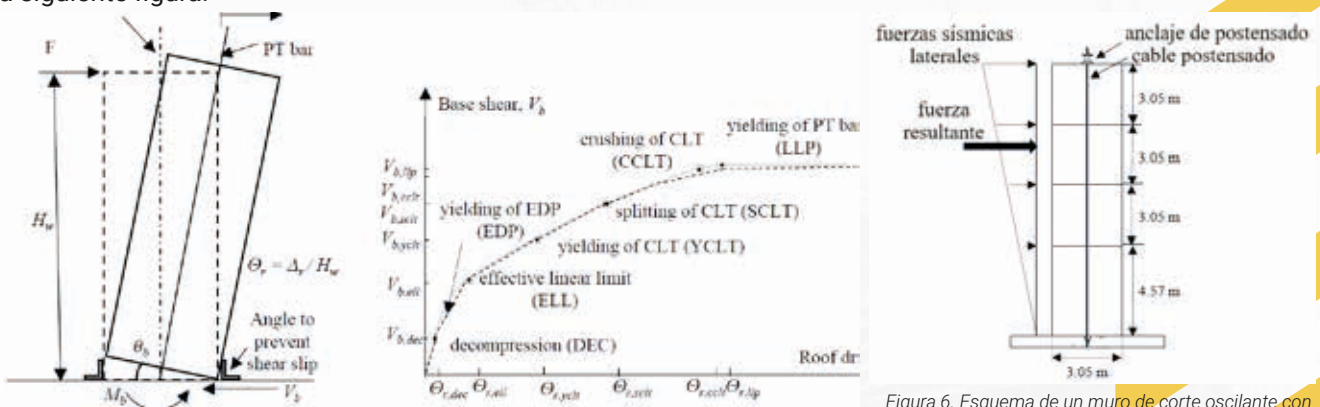


Figura 7. (a) Mecimiento del muro ante una carga lateral; (b) Relación entre la deriva del muro vs el cortante basal en la fundación. (Akbas et al, 2017)

Figura 6. Esquema de un muro de corte oscilante con su sistema de postensado que lo mantiene estable ante una carga sísmica. (Akbas et al, 2017)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE EDIFICIOS DE MADERA NHERI

Todo lo indicado hasta el momento, es simple teoría. Para saber si esta iniciativa realmente puede funcionar ante una situación real de sismo, el “Instituto de Investigación de Riesgos Naturales en Infraestructura” (NHERI) perteneciente a la Universidad de California, está llevando adelante una investigación en la cual sacan provecho de contar con la mesa vibratoria más grande del mundo para poner a prueba un prototipo de edificio de madera con muros de corte oscilantes construido a escala real, el cual contará con 10 niveles.



Figura 8. Mesa vibratoria equipada con pistones hidráulicos para emular un sismo. (nheritallwood.mines.edu, 2024)



Figura 9. Imagen renderizada del prototipo de edificio ensayado en la mesa vibratoria de la Universidad de California. (nheritallwood.mines.edu, 2024)



Figura 10. Prototipo del edificio de 10 niveles listo para ser ensayado en la mesa vibratoria. (nheritallwood.mines.edu, 2024)

Una mesa vibratoria es básicamente un dispositivo que consiste de una plataforma conducida por pistones hidráulicos controlados por computadoras, el cual es capaz de reproducir los movimientos del suelo durante un evento sísmico gracias a registros históricos de sismos acontecidos en el pasado. En ese sentido, los investigadores aplicarán al prototipo de edificio el sismo de magnitud 7.7 en la escala de Richter ocurrido el 21 de septiembre de 1999 en la localidad de Chi-chi en Taiwan, uno de los terremotos más destructivos de los que se tenga registros, en cual ocasionó alrededor de 2400 fallecidos, 10000 heridos, 10000 edificaciones destruidas y 7500 edificaciones parcialmente dañadas.

Una vez que se ha realizado la prueba, se puede decir que el prototipo se comporta de la manera esperada, es decir, que luego de soportar el sismo emulado, se observó que el edificio casi no presenta daños y el edificio no presenta derivas residuales. En la siguiente figura se puede apreciar que, durante la prueba, uno de los muros de corte se mece y se levanta ligeramente de la fundación, pero no llega a colapsar gracias a los cables postensados que devuelven al muro a su posición original. Nótese también que no se presentan fisuras a diferencia de lo que ocurriría en un muro de hormigón armado.

cables postensados que devuelven al muro a su posición original. Nótese también que no se presentan fisuras a diferencia de lo que ocurriría en un muro de hormigón armado.

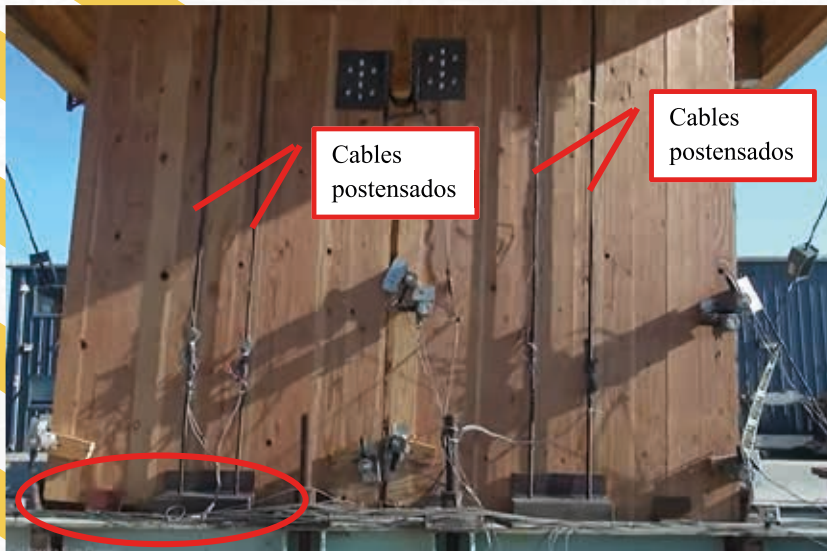


Figura 12. Muro de corte oscilante durante la prueba en la mesa vibratoria. (nheritallwood.mines.edu, 2024)

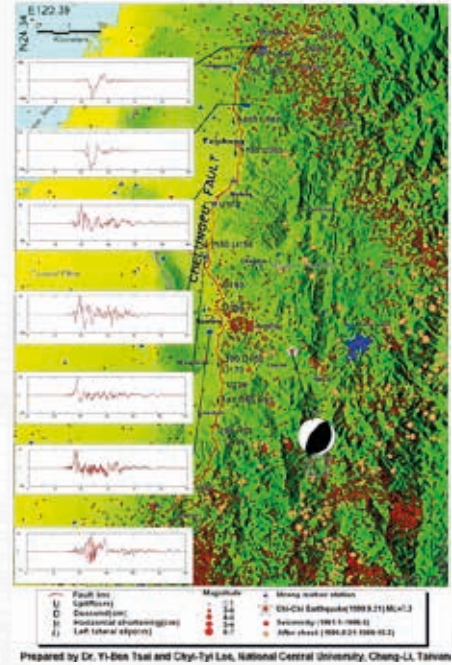


Figura 11. Registros sísmicos del terremoto de Chi-Chi de 1999 en Taiwán. (Tsai Y, y Huang M., 2000)

Si bien el prototipo con los muros de corte oscilantes de madera se ha comportado de manera satisfactoria en la prueba, demostrando tener resiliencia. Existen aún dos desafíos que esta innovación debe vencer:

- Al tratarse de un nuevo concepto de diseño y construcción, presenta mucha complejidad en las uniones entre elementos que incluye la instalación de innumerables pernos y los anclajes de los cables postensados en la madera.
- La percepción negativa en el público acerca del comportamiento de la madera frente a un incendio, a pesar de que se han hecho ensayos de fuego controlado en elementos de madera laminada y los resultados son alentadores y estarían cumpliendo con las normativas.

En conclusión, la exitosa prueba sísmica del edificio construido de madera laminada marca un hito en la innovación de la construcción sismorresistente. Sin embargo, aunque prometedor, esta técnica aún debe perfeccionarse para garantizar su viabilidad práctica a gran escala. Además, es crucial abordar la percepción pública negativa sobre la resistencia al fuego de las estructuras de madera. A pesar de estos desafíos, este estudio representa un paso importante hacia la construcción de edificios más seguros y sostenibles en el futuro.

REFERENCIAS

- Sarhosis, V., Giarlelis, C., Karakostas, C. et al (2022) "Observations from the march 2021 Thessaly Earthquakes: an earthquake engineering perspective for masonry structures" en Bulletin of Earthquake Engineering. Volume 20, pp. 5483-5515.
- Tsai, Y. y M. Huang, (2000) "Strong Ground Motion Characteristics of the Chi-Chi, Taiwan Earthquake of September 21, 1999" en Earthquake Engineering and Engineering Seismology. Volume 2, Number 1, pp. 1-21.
- Akbas, T. et al., (2017) "Analytical and Experimental Lateral-Load Response of Self-Centering Posttensioned CLT Walls" en ASCE Journal of Structural Engineering. Volume 143, Issue 6.
- Ganey, R. et al., (2017) "Experimental Investigation of Self-Centering Cross-Laminated Timber Walls" en ASCE Journal of Structural Engineering. Volume 143, Issue 10.
- Pei, S. et al., (2019) "Experimental Seismic Response of a Resilient 2 Story Mass-Timber Building with Post-Tensioned Rocking Walls" en ASCE Journal of Structural Engineering. Volume 145, Issue 11.
- Blomgren, H. et al., (2019) "Full Scale Shake Table Testing of Cross-Laminated Timber Rocking Shear Walls with Replaceable Components" en ASCE Journal of Structural Engineering. Volume 145, Issue 10.
- National Science Foundation (2024) "NHERI Tallwood Project" [En línea]. United States of America, disponible en: nheritallwood.mines.edu [Accesado el día 5 de abril de 2024].