

Presentación: Diseño sísmico

Por: Nadie M. Post

EL EDIFICIO MÁS ALTO DE LATINOAMÉRICA LUCE DIAMANTES LLENOS DE AMORTIGUADORES SÚPER EFICIENTES

Edificio en la sísmica ciudad de México sube el estándar en resistencia a terremotos.

De pies en el lecho seco del lago central de la sísmica ciudad de México o “tazón de gelatina”, donde muchos edificios colapsaron en el terremoto con magnitud de 7.3 de 1985, el edificio más alto de Latinoamérica podría confundirse con un gigante sentado a la espera de su siguiente Gran Golpe. Pero mirándola más de cerca, se hace obvio que la Torre Mayor de \$250 millones a más, la cual abrió oficialmente la semana pasada, no es una embustera. La torre de oficinas de 225 metros de altura brilla con soportes superdiagonales en forma de diamantes, llenos de amortiguadores, expresada de forma arquitectónica en su estructura de momento perimetral. Es un panel gigante para la resistencia sísmica. Los diamantes y amortiguadores ofrecen eficiencias estructurales y demás ventajas dentro y fuera, hasta las primas de seguro reducidas.

Los diamantes de acero amortiguados que adornan cada cara externa de la torre ya han probado que son más que revestimientos de ventanas. Los pisos inferiores de la Torre mayor acababan de ser ocupados cuando, el 21 de febrero, un terremoto de magnitud de 7.6 sacudió la ciudad. Casi todos los ocupantes de la Torre Mayor ignoraban el temblor. La torre sobrevivió sin un rasguño (ENR 2/3 p.16).

El secreto del éxito sísmico es “la forma en que organizamos los amortiguadores”, dice Ahmad Rahimian, vicepresidente ejecutivo del Cantor Seinuk Group Inc., una corporación del WSP Group Co. La compañía con base en New York es la consultoría estructural del proyecto junto con Enrique Martinez Romero S.A., el ingeniero local del registro.

El ingeniero utilizó tecnología comprobada; amortiguadores viscosos líquidos y soporte superdiagonal dentro de un tubo perimetral estructural; para subir el estándar en cuanto a la ingeniería sísmica y proporcionar un edificio de 55 pisos que resiste a fuerzas tectónicas casi cuatro veces más eficiente que un edificio con amortiguación convencional.

La brillantez del plan se encuentra en la configuración de la estructura, dicen las fuentes. Las cuatro paredes perimetrales contienen superdiagonales configuradas como diamantes, en vez de Xs. Las caras frontales del norte y sur contienen amortiguadores, los cuales resisten las cargas sísmicas en dirección de este a oeste. Cada elevación tiene cuatro diamantes de acero,

con tramos de 42 m. Los diamantes se superponen los unos a los otros de forma vertical en sus puntos altos y juntas, para formar tres diamantes más pequeños. Cada diamante pequeño tiene cuatro amortiguadores con capacidad de 1,200-kip, uno en cada tramo cerca del ápice o junta.

La estructura se comporta como si hubiera una línea de amortiguadores ensanguchados entre dos megasoportes verticales con redes en zigzag no amortiguadas. Los amortiguadores entre los megasoportes en vez que en sus diagonales, “hace que los amortiguadores trabajen más fuerte”, dice el ingeniero.

Un edificio amortiguado es análogo al cuerpo humano, donde los músculos, o amortiguadores, protegen los huesos, o el esqueleto, para que no se rompa. La Torre Mayor tiene músculos extra. En un terremoto, su parte superior se mueve a 0.6 m menos que un edificio con diseño convencional, dice Rahimian.

Al disipar la energía del terremoto por medio de la amortiguación, “mantienes la ductilidad de la estructura como una segunda línea de defensa”, explica Martínez-Romero. Eso permite que el edificio experimente más ciclos de sacudidas sin utilizar toda la resistencia de reserva.

Es un diseño “realmente elegante”, dice Douglas P. Taylor, presidente de Taylor Devices Inc., North Towanda, N.Y., el fabricante de los amortiguadores. De no ser por la organización geométrica, los soportes serían más grandes y los amortiguadores serían tres veces su diámetro; tan grandes que no cabrían en el edificio.

La razón principal para gastar \$4 millones en un sistema de 98 amortiguadores, incluyendo 74 en su centro, fue para proporcionar un edificio más seguro que lo normal, dice Gerald W. Ricker, director general en la oficina local de Reichmann International, Toronto, el propietario/desarrollador/constructor. La meta era el tener un edificio que ofreciera comodidades, redujera los ataques de pánico durante un temblor y que apenas se saltara alguna operación después de un terremoto.

Pero los amortiguadores casi se pagaron por sí solos, dice el ingeniero, gracias a ahorros que resultaron de las estructuras de acero y concreto. Por ejemplo, la torre usó 18,000 toneladas métricas de acero en vez de 23,000. Los cajones típicos de 1.5 m-diámetro, que soportan una alfombra de concreto reforzado, son apenas 20% más delgados, o 55 m de largo.

El largo de los cajones se optimizó debido a que el análisis sísmico observó tanto los requerimientos del código y la respuesta de espectros del sitio para el lugar específico, dice Raymond J. Poletto, asociado senior del Musser Rutledge Consulting Engineers con base en New York, ingeniero geotécnico de proyecto. “Realizamos pruebas de carga en el campo”, añade.

La reducción en el movimiento permitió una tolerancia de ½ pulgada en las juntas de muros cortinas, en vez de 2 a 3 pulgadas, y redujo las tolerancias en los conductos y tuberías. Además, el alcance limita los daños ocasionados por terremotos a los techos colgantes, rociadores,

tabiques, sistemas mecánicos y revestimientos. Eso a su vez, limita el tiempo muerto de un inquilino y las pérdidas económicas en relación a las computadoras, gabinetes de relleno y muebles. “El edificio completo se...coloca en un rango más seguro”, dice Dalibor Vokac, asociado senior socio de Zeidler Grinnell Partnership, el cual se encuentra asociado con el arquitecto registrado Adamson Associates, ambos en Toronto.

La seguridad tiene sus ganancias. La prima de seguro original se ha reducido en un %33, de acuerdo con Reichmann. Se espera una reducción adicional al %50 del original una vez que los estudios de la mecánica de suelos y cimientos se completen.

La configuración de estructura con amortiguadores es tan inusual que Rahimian la patentó. “Ahmad es el único ingeniero estructural con una patente en una organización de acero para edificios”, afirma Taylor. “Nunca pensé que se podría patentar”, añade Martínez-Romero.

La patente de E.U. No. 6,397,528 B1 aplica a la configuración de amortiguadores y diamantes, no a los amortiguadores centrales con capacidad de 600 kip, los cuales resisten cargas sísmicas en la dirección de norte a sur. Los amortiguadores centrales se encuentran ubicados de forma convencional en las diagonales de los soportes verticales que atraviesan el centro, dos en las paredes de fondo y dos en medio.

Las ventajas de la ingeniería se propagan más allá del edificio. Para cumplir una petición a los funcionarios de la ciudad, Reichmann gastó \$175,000 en un sistema de monitoreo de movimiento de edificios. Los trabajadores se encuentran terminando un cableado de sensores en los cimientos, instalados durante la construcción a una sala de control computarizada, en el piso más bajo de los cuatro niveles de sótano. Los datos compilados se compartirán con ingenieros, de forma local e internacional, para incrementar el conocimiento con respecto al comportamiento de los edificios altos en las zonas sísmicas, dice Ricker.

La Torre Mayor marca el primer uso de amortiguadores para resistencia sísmica en una estructura perimetral, pero probablemente no es la última, Martínez-Romero ya planea usar el sistema.

La torre de 70 x 33 m, tiene un cimiento de concreto estructural que llena el lugar de 80 m cuadrados. Los pisos del uno al diez en la torre, tienen columnas de acero estructural encajonadas en concreto reforzado, las cuales limitan el tamaño de las piezas de acero. La agrupación de los amortiguadores empieza en el piso onceavo. Los diagramas de piso, que conectan la estructura perimetral a un centro de acero estructural de 27.6 x 15 m, proporcionan la rigidez que asegura que todos los elementos, ya sea los amortiguadores, soportes o columnas, respondan simultáneamente y de forma uniforme a un suceso sísmico, dice el ingeniero.

Los trabajadores de mantenimiento inspeccionarán de forma periódica los amortiguadores y revisarán su contenido de aceite. Se espera que se vean comprometidos un máximo de siete a ocho veces cada 50 años. Sin embargo, son probados durante cientos de ciclos.

El equipo de ingeniería también se vio retado al convencer a los funcionarios locales de construcción de que el diseño en base al desempeño cumplía con la intención del código. “Necesitábamos demostrar que con disipación de energía podríamos proporcionar el mismo nivel de protección” al igual que otros sistemas, dice Martínez-Romero.

Después de varias reuniones y revisión exhaustiva de la ingeniería por parte de un equipo independiente, los funcionarios de construcción decidieron que el sistema tenía mérito. “Se encontró que el sistema básico estructural, junto con la amortiguación suplementaria, eran muy eficientes para resistir las cargas sísmicas...”, dice Roberto Meli, profesor emérito en la Universidad Nacional de México, ciudad de México, y miembro del comité técnico que revisó el diseño. “Se espera que el edificio muestre un desempeño sísmico excelente”, dice.

La superestructura expresada puede ser súper fuerte pero, desde el punto de vista de la construcción, los cimientos fueron la parte más formidable. El sitio no sólo se encontraba encerrado por caminos o edificios existentes, también tenía desparramadas pilas de madera de estructuras previas, 150 de las cuales se encontraban en el camino de los cajones nuevos. La estrategia fue el usar una construcción descendente, dividir el sitio en tres secciones y completar una a la vez.

Trabajadores de ICA Solum, el contratista local de concreto y subestructuras, primero construyó un muro pantalla de 80 m cuadrados, con 22 m de profundidad. Luego, empezaron a extraer las pilas. Los equipos insertaron una tubería de acero encajada con una puntera, tan larga como la pila. La tubería tenía un casquillo sobre sí misma que contenía un aparato de agarre. La herramienta cortaba por el suelo, agarraba el fondo de la pila y, por medio de vibraciones, levantaba la pila.

El contratista entonces, usó un método de cavado de lodos para instalar dos paredes divisorias de concreto prefabricado, rompiendo así el sitio en tres secciones. La primera sección abordó el área de 22 m de ancho, directamente debajo del núcleo de la torre. La estrategia permitió que la superestructura del núcleo se pusiera en marcha cuando los cimientos se habían completado sólo en un tercio.

Los trabajadores empezaron a taladrar cajones en el área del centro antes de excavar la capa de relleno de 5m, 3 m de arena arcillosa y 25 m de arcilla suave. Una vez que se taladraron los cajones, los equipos empezaron a excavar 3 m de suelo a la vez e instalaron soportes horizontales perpendicularmente a los divisorios. Los equipos entonces cortaron las partes superiores de las pilas expuestas de madera, usando sierras. Eventualmente, los trabajadores removieron un total de 300 pilas viejas.

El trabajo empezó en el centro de cada sección y siguió hacia los costados, en una excavación en forma de V. una vez instalados los cuatro niveles de soportes, los trabajadores cortaron la sección superior de los cajones y prepararon los topes de los cajones para que reciban una alfombra de 2.5 m de grosor. De forma agigantada, también del centro hacia afuera, los trabajadores instalaron acero reforzado y fundieron la alfombra en tiras de 10 m de ancho.

La banda y el enfoque agigantado evitaron que la base se arrastre en la arcilla suave, dice Poletto. Además, resolvió un problema de logística. En la ciudad de México, debido a la congestión crónica de tráfico, no es sabio traer más de 500 cu yd de concreto en un día con ocho horas laborales, dice Poletto.

Siguiendo de la base hacia arriba, los trabajadores prepararon y fundieron cada piso de concreto del sótano, mientras removían los soportes para que se reúsen en otras secciones. El ritmo fue “instalar, desmantelar, mover y reusar”, dice Poletto.

Tan pronto como se completó el centro, otros trabajadores trajeron la grúa torre y empezaron a erigir el centro de acero. La operación del cimiento se movió entonces de forma secuencial a las otras dos bandas, empezando con la sección sur para que las entregas y etapas pudieran continuar desde el norte.

Antes de quitar las paredes divisorias, los trabajadores cortaron agujeros en las mismas para conectar los soportes horizontales de sección a sección. Los soportes funcionaron como un puntal para soportar el perímetro del muro pantalla hasta que los diagramas del piso del sótano se terminaron. “fue como meter el hilo en la aguja”, dice Poletto.

La operación total fue “muy intensiva”, añade, diciendo que nadie en los EU “contemplaría” este enfoque porque la mano de obra cuesta mucho más.

El trabajo en los cimientos empezó en mayo de 1998 y se completó en 20 meses. La superestructura central empezó en enero de 2001. El núcleo de acero ya tenía 30 pisos de altura antes de que se terminara el sótano.

El enfoque incorporó métodos tradicionales mejicanos de construcción intensiva de cimientos y la tradición americana de empezar en la torre de acero. “Es un movimiento mejicano pero no en tiempo americano”, dice Poletto.

El llama a la torre un “edificio emergente”. A diferencia de la mayoría de los edificios de la ciudad de Méjico que se hundan de 10 a 20 centímetros por año debido a la extracción de agua subterránea, la Torre Mayor fue diseñada para permitir que los suelos exteriores se asienten alrededor de la misma. Después de 10 a 15 años, la vereda tendrá una pendiente más baja al edificio y tendrá que ser reconstruida, dice Poletto.

Ricker de Reichmann dice que el manejo del acero superestructural no fue como un picnic, ya sea porque no hubo espacio para su almacenamiento, andamiaje o para su maniobra. El acero llegaba en camiones la noche anterior a la que se programaba ser erigido.

La parte de acero se terminó el pasado Agosto. “Poder hacer eso en 18 meses en la ciudad de México fue muy bueno”, dice Ricker, quien informa que el proyecto terminó a tiempo y dentro del presupuesto, sin muertes o daños mayores. El propietario impuso estándares de seguridad de EU en México, dice.

El 11 de setiembre de 2001, los ataques terroristas al World Trade Center resonaron hasta la Torre Mayor. En aquel momento, Reichmann se encontraba negociando su primer arrendamiento en el edificio con Marsh & McLennan Cos. La firma perdió 295 empleados en el ataque del 11/9. Después de contratar sus propios ingenieros para revisar el edificio, Marsh & McLennan terminó alquilando incluso más espacio del originalmente previsto, dice Ricker.

Nada se cambió de la Torre Mayor después del 11/9. “Ya estábamos construyendo todo a un alto nivel”, dice Ricker, debido a las preocupaciones de seguridad previas existentes en México. Ricker añade que los amortiguadores no diferencian; éstos proporcionan una resistencia aumentada a cualquier impulso, sea un terremoto o una explosión.

Torre Mayor eleva el nivel. “No estamos tan orgullosos de la altura como lo estamos de la ingeniería”, dice Martínez-Romero. “No fue una cuestión de construir el edificio más alto de Sur América”, dice. “El mérito se encuentra en construir el edificio más seguro”.