

El perfil urbano de la avenida Paseo de la Reforma de la ciudad de México se está transformando de manera radical. Desde hace varios años decenas de rascacielos se levantan hacia el cielo.

Isaura González Gottdiener

Fotos: Cortesía LBR
Arquitectos



El soporte de un coloso

En materia de construcción todos los rascacielos de la ciudad de México enfrentan retos similares. Uno de ellos es garantizar la seguridad estructural en un subsuelo fangoso que obliga a llevar las soluciones de cimentación a más de 50 m de profundidad. Otro, es el elegir sistemas constructivos eficientes que permitan cumplir los calendarios de obra en tiempo, forma y presupuesto.

En este sentido, el equipo de Torre Reforma –el rascacielos más alto de esta urbe, en proceso de construcción– avanza en las metas que se han fijado con la ejecución de innovadores diseños estructurales. Así, el pasado mes de mayo fueron concluidas las obras de cimentación de este coloso de 244 m de altura. La particularidad es que este edificio de gran altura no contempla pilas en su cimentación, ni columnas en su estructura.

El proyecto

El equipo de LBR Arquitectos explica que el proyecto de este rascacielos de 57 pisos, conservó en la esquina de Reforma y Río Elba una casa catalogada que tuvo que ser movida de su posición durante dos meses para construir parte de la cimentación (ver *CyT*, junio de 2010), mientras que en el otro ángulo del terreno de forma cuadrada (40 x 40 m) se ubica la estructura principal, conformada por dos muros de concreto que en la obra llaman "el libro".

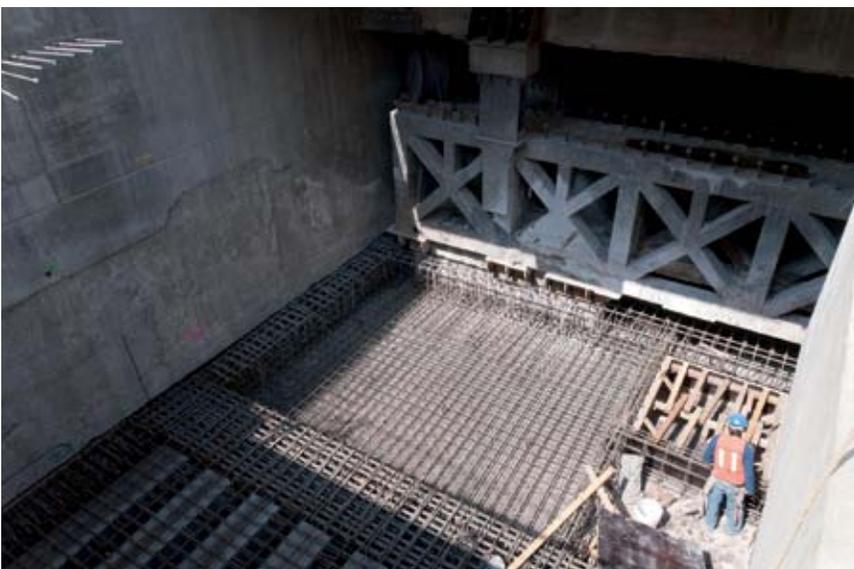
De forma triangular y con la vista orientada hacia el Castillo de Chapultepec, la torre como tal comienza en el nivel 5 (+12 m de altura snb), liberando a la casa completamente de su influencia. Con un uso primordial para oficinas, en los primeros seis niveles habrá un gimnasio y en la parte alta estarán la cisterna y subestaciones. Los niveles de oficinas están organizados en 14 *clusters* de 4 niveles cada uno con un jardín interno a triple altura. Con plantas libres de columnas y tecnología de punta, esta obra espera obtener

la Certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) Platino en la categoría Core & Shell. El futuro rascacielos ya cuenta con nueve sótanos que albergarán el estacionamiento –algo a destacar porque no se habían excavado este número de sótanos en México–, cuya construcción se realizó con el sistema Top-Down. En lo que toca a la superestructura los dos muros de concreto de "el libro" serán colados con cimbra deslizante.

Una cimentación sin pilas

El dr. Rodolfo Valles, de la empresa Ditec, responsable junto con Vamisa y la firma inglesa ARUP del diseño estructural, explica que el predio donde se construye Torre Reforma se encuentra en la zona II, según lo establecido por el Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México. Esta es una zona de transición ubicada entre los límites del terreno firme y los depósitos arcillosos de las zonas del lago (cabe recordar que la ciudad de México se encuentra situada en llanuras lacustres en el llamado Valle de México). En el predio, el espesor de la arcilla es de 23 m, mucho más delgado del que se encuentra en las zonas del lago; sin embargo, las zonas de transición están siendo afectadas por el hundimiento regional del suelo. Para conocer las condiciones del subsuelo y con ello realizar la propuesta de la cimentación, los estudios geotécnicos fueron elaborados por la empresa TGC Geotecnia encabezada por el ing. Enrique Santoyo Villa.

El dr. Valles agrega que, debido a la combinación de restricciones de altura en la parte posterior del predio, y la ubicación de la casa catalogada en una de las esquinas



del mismo, la torre tiene un sembrado asimétrico en planta. Esto origina descargas concentradas muy importantes en los dos ejes de la cimentación que coinciden con los muros de la torre. Dichas condiciones hicieron necesario el complementar los trabajos de exploración del subsuelo para corroborar los parámetros de diseño.

La cimentación está realizada con base en muros-pila (muros Milán) exteriores e interiores que soportarán directamente el edificio. De los nueve sótanos uno será ocupado por el área comercial y ocho serán para estacionamientos subterráneos con capacidad para 600 cajones. "A diferencia de un muro pantalla tradicional, varios de los muros de este proyecto soportan, además de los empujes durante la excavación, el peso de la torre y los efectos del sismo en la misma. Estos muros fueron construidos con una serie de tubos embebidos para su instrumentación, verificación y mejoramiento", dice Valles. Los muros pila tienen profundidades que varían entre 48 y 60m, y espesores de 80 y 120cm, dependiendo de las condiciones y nivel de cargas a las que se ven sometidos. Es importante señalar que si bien en la ciudad de México se han hecho cimentaciones de esta profundidad, las soluciones son a base de pilotes, no de muros Milán. LBR Arquitectos explica que después de realizar un estudio de sondas suspendidas y una prueba de carga, surgió la idea de no tener pilas ya que el terreno es pequeño. "No teníamos espacio para elementos pesados, por eso buscamos lograr la mayor eficiencia tanto en espacio como en la estructura". Esta filosofía de diseño se aplicó también en la superestructura. "ARUP insistía mucho que "el libro" debía ser de estructura metálica. Cuando



entregaron el diseño conceptual recordé que Heberto Castillo decía que en una estructura a los flojos y a los pesados hay que correrlos. Entonces le dijimos a ARUP que estaban equivocados. Si de todos modos teníamos que hacer una fachada había que lograr que trabajara". Así, la columna vertebral de la torre estará compuesta por dos muros de concreto armado que suben toda la altura, de los que se soportarán todas las losas eliminando así las columnas. Estos muros serán colados con cimbra deslizante; la meta es colar 70 cm por día de manera que se complete un piso por semana. Todo el diseño de la torres está pensado en base a la estructura y el procedimiento constructivo.

Regresando a la cimentación, de acuerdo con información proporcionada por la empresa Cimesa (responsable de la ejecución de esta etapa de la obra), para contener el terreno perimetral se construyó el muro Milán estructural definitivo según la normativa internacional con juntas de estanqueidad CWS, control de verticalidad de perforación, control de lodos de perforación, y formulación del concreto específica. Este muro cumple con la doble misión de contener los sótanos y ser la cimentación vertical de "el libro". En lo que toca a la excavación, ésta se realizó con el método conocido como Top-Down (excavación de sótanos bajo losa). Este procedimiento constructivo presenta varias ventajas contra la excavación tradicional: al realizarse bajo las losas se reduce el impacto

acústico y las molestias a los vecinos; las losas de sótano macizas o postensadas son utilizadas como diafragmas horizontales, lo que elimina el troquelamiento provisional resultando en mayor rendimiento y seguridad; toda la obra se desarrolla en el interior del predio con lo que se evita ocupar las calles aledañas; y tiene un menor costo y plazo de ejecución.

En esta etapa de la obra Cimesa ejecutó también pilas de apoyo, ventanas, y pozos de bombeo con bomba sumergible para sacar el agua. En primer término, se realizó la excavación hasta el nivel de la primera losa, después la roza de muro y ejecución de barrenos para la conexión muro/losa; el colado parcial de la primera losa (sólo la parte necesaria para trabajo como diafragma); la construcción del muro de acompañamiento del nivel anterior, según proyecto; la excavación bajo losa hasta nivel de la segunda losa, así como la repetición de fases hasta llegar al colado de la losa de fondo y completado del resto de las losas. En la construcción de esta etapa –que abarca 370 m de muro Milán y 25 mil 200 metros cuadrados de losas de sótano– fueron utilizados 40 mil metros cúbicos de concreto y 7 mil 500 toneladas de acero de refuerzo. El volumen de la excavación de tierras fue de 84 mil 900 metros cúbicos.

Trabajos complementarios

De acuerdo con información proporcionada por LBR Arquitectos y

Ditec, el primer trabajo complementario para verificar el diseño de la cimentación consistió en realizar dos pruebas de carga, para obtener una medición directa de la capacidad de carga por fricción y punta que se puede esperar a diferentes profundidades. Dos pilas de 80 cm de diámetro colocadas a 48 y 57 m de profundidad fueron instaladas en el predio para este fin. A todo lo largo de las pilas se instrumentaron dispositivos para medir los esfuerzos en las varillas y el concreto, así como los desplazamientos en los extremos de las pilas. Estas pruebas de carga directa permitieron corroborar y adecuar las capacidades de diseño para los muros-pila.

Una segunda serie de trabajos complementarios consistió en una medición directa de las velocidades con las que viajan las ondas sísmicas a lo largo de los diferentes estratos que soportarán la estructura. Las mediciones se llevaron a cabo en dos ubicaciones dentro del predio, utilizando una sonda suspendida, y tomando lecturas continuas de la rigidez del suelo hasta 100 m de profundidad. Estos parámetros permitieron calibrar el modelo matemático tridimensional del suelo y la cimentación, en cuanto a las deformaciones esperadas.

La tercera serie de trabajos complementarios consistió en verificar la calidad de los muros-pila construidos, así como su desplante en el terreno. Para corroborar la integridad del concreto se utilizaron algunos de los tubos que se dejaron embebidos en dicho material. Una vez que el concreto adquirió la resistencia esperada, en estos tubos se insertaron emisores y receptores sónicos para verificar que no existieran oquedades en los mismos. Además, se llevaron a cabo sondeos atravesando la parte final



del concreto y el primer tramo de suelo con el fin de corroborar la calidad del contacto entre los muros pila y el terreno. Una cuarta medida fue la instalación de una pantalla de precorte hasta 26 m de profundidad, con una serie de tubos donde se inyectó agua a presión periódicamente, eliminando la fricción negativa originada por los asentamientos regionales.

La quinta serie de trabajos complementarios consistió en inyectar al fondo de los muros-pila una lechada a presión. Esta lechada mejora las características del suelo bajo los muros, y mejora también la superficie de contacto entre muro y suelo. Posteriormente, se procedió a hacer una verificación de los mismos mediante una nueva serie de sondeos en la interface muro-pila y suelo. Por último, durante todo el proceso de excavación y construcción se llevó a cabo un programa de monitoreo de los desplazamientos laterales esperados en muros, así como niveles. Las primeras mediciones fueron para corroborar las deformaciones de los muros conforme se iba excavando y las segundas, para

revisar que los asentamientos que se van presentando en el terreno, conforme este se va cargando con el edificio, sean congruentes o inferiores a los previstos en los modelos matemáticos.

Colofón

Torre Reforma avanza en su construcción y con ello continua marcando precedentes. El primero fue mover la casa catalogada, para garantizar su permanencia y regresarla a su lugar tras construir la cimentación. El segundo, es no tener pilas en su sistema de cimentación que tiene más de 60 m de profundidad. Los siguientes los iremos detallando en *CyT* conforme avance la obra. Experimentar y encontrar soluciones nuevas es un incentivo para el equipo de trabajo de esta obra en el que participan profesionales y empresas nacionales e internacionales de primera línea. **C**

Nota: La autora agradece la información proporcionada por la M. en arq. Julieta Boy (LBR Arquitectos), el dr. Rodolfo Valles (Ditec) y del ing. Marco Fontana (Cimesa).