



InterARQ

# Torre Mayor: ingeniería de vanguardia

*esencia y espacio\**



**E**n la ciudad de México, la época de los rascacielos se inició en 1940 con la sede de seguros La Nacional, más tarde, en 1956, la Torre Latinoamericana causó polémica y asombro con sus pilotes de control que han resistido sismos y hundimientos. En 1984 el edificio de Pemex fue el más alto. Actualmente, sobre Paseo de la Reforma miramos la Torre Mayor, el edificio más alto de México y Latinoamérica.

Torre Mayor tiene 55 pisos y 225 metros de altura, remetida de su alineamiento sobre Paseo de la Reforma, cuenta con una gran plaza ambientada con palmeras y jardines interiores, rodeada por tiendas y restaurantes. La inconfundible curva superior del edificio corresponde con el arco de entrada de 10 pisos de altura, donde la fachada se remete para dejar expuestas las columnas y las traveses de la estructura. Desde el vestíbulo recubierto de mármol, se puede acceder al área de elevadores de alta velocidad, al área comercial distribuida en los dos primeros niveles, así como a los elevadores que dan servicio a los estacionamientos.

En el predio donde se ubica, había un edificio de oficinas y locales comerciales, una guardería del IMSS y el cine Chapultepec, desplantados en un área de aproximadamente 80 x 80 metros en el número 503 de la avenida Paseo de la Reforma.

El acceso a la Torre en automóvil es fácil y flexible. El circuito interior cruza Paseo de la Reforma a una cuadra de distancia, proporcionando acceso directo e independiente a sus dos entradas para vehículos. En los alrededores existe toda clase de transporte público, más de 20 líneas de autobuses circulan frente a ella, y en su inmediación se localizan las estaciones del Metro, Sevilla y Chapultepec, así como uno de los principales paraderos de la ciudad.

\*Con información proporcionada por ICA.

Fotos: Tonatíuh Santiago Pablo.

La tecnología y los sistemas de construcción que se utilizaron en la Torre son los más modernos; sus estructuras duales en acero y los sistemas de resistencia de carga se han diseñado para asegurar la confiabilidad de la estructura bajo las condiciones sísmicas más severas. La arquitectura ofrece tanto funcionalidad como resistencia; cuenta con 43 pisos de oficinas libres de columnas interiores, con plantas que van desde mil 700 a mil 840 metros cuadrados, 21 elevadores de alta velocidad a través de un solo punto de seguridad para dar servicio a los usuarios, además de elevadores de servicio y mensajería. Torre Mayor cuenta con 13 niveles de estacionamiento con dos conjuntos de entradas y salidas independientes.

Se dio prioridad especial a los temas relacionados con el medio ambiente, con recursos tales como un sistema de triple filtrado para la toma de aire exterior, un sistema de enfriamiento libre de CFC y un proceso interno para reciclar el agua. Cuenta con el más moderno sistema de fibra óptica y de cobre, con capacidad para siete mil 500 líneas telefónicas.

## Los cimientos

La cimentación está compuesta por pilas empotradas en el estrato resistente del subsuelo a una profundidad de 54 metros y una losa maciza de concreto reforzado con un espesor de 2.40 metros apoyada en ellas. La superestructura del edificio es primordialmente de acero, para aprovechar la gran resistencia y ductilidad de este material. En la mitad interior de la torre, las columnas de acero están encofradas en concreto reforzado para aumentar su resistencia y rigidez.

La Torre está diseñada para cumplir y superar el reglamento de construcción de la ciudad de México, que incluye requerimientos sísmicos que se encuentran entre los más rigurosos del mundo. Está equipada con dispositivos disipadores de energía o amortiguadores altamente eficientes para reducir las fuerzas sísmicas en la estructura y sus consiguientes movimientos.

El sistema de resistencia lateral se basa en el concepto de sistema dual, que es el indicado por los más modernos y avanzados requisitos antisísmicos del mundo. El grupo de columnas que rodean el núcleo central del edificio y los sistemas de contraventeo lateral en las columnas del perímetro aumentan la confiabilidad en el comportamiento de la estructura al crear una redundancia en el sistema de protección sísmica. Este diseño se basa en el concepto de tubo-en-tubo con contraventeo, compuesto de un sistema de macrocontraventeo perimetral en segmentos de seis niveles. Un tubo exterior integrado por las columnas y marcos perimetrales que forman un sistema continuo y en el tubo interior integrado por las columnas y traveses contraventeados del núcleo central.

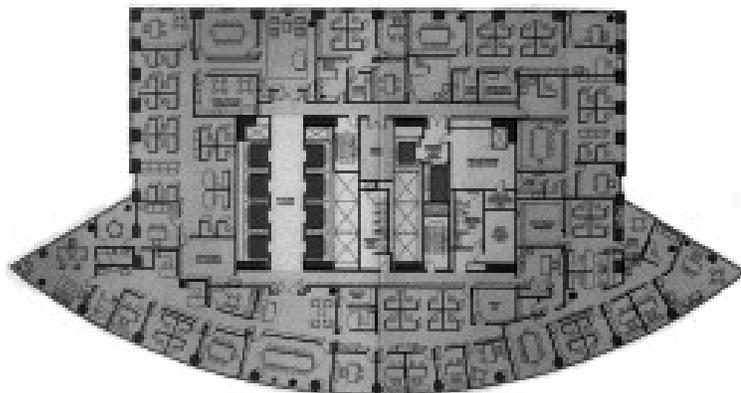
El marco perimetral, complementado por un sistema de abrazaderas en diagonal, crea una estructura tubular eficiente que da forma a la estructura principal en combinación con los diafragmas rígidos de los entrepisos.

El sistema de entrepiso se apoya sobre las vigas de acero de la estructura y está compuesto por losacero, con ductos eléctricos en su interior y un firme de concreto para recibir acabado. El sistema de ductos permite importantes ahorros y gran versatilidad para las adecuaciones de cableado y telecomunicaciones de los ocupantes. La altura de entrepiso de cuatro metros permite alturas libres de 2.74 metros entre piso terminado y plafón, así como un espacio suficiente para albergar las diversas instalaciones y la cámara plena para el manejo de aire acondicionado. Los muros exteriores cuentan con un sistema de paredes con cavidades que actúan como una pantalla protectora, y proporciona dos líneas de defensa contra la infiltración de lluvia y de aire.

Todos los componentes estructurales tienen recubrimientos contra incendio de acuerdo con los parámetros internacionales. El diseño por viento ha sido estudiado por la Universidad de Western Ontario, creando modelos de estudio de resistencia al viento que utilizan técnicas especiales de análisis de flujos, los cuales han dado como resultado la configuración de la Torre, y llevar a niveles óptimos el reforzamiento de la fachada.

Esta última es una combinación de cristal y granito, en cuyo diseño se han incorporado las técnicas de construcción más sofisticadas para crear una estructura sellada que da como resultado ahorro de energía y espacios de oficinas. Torre Mayor es el primer edificio de México que cumple con los parámetros de eficiencia energética de Estados Unidos, conocidos como ASHRE 90.1.

Torre Mayor ha sido diseñada para tener un solo punto de control y acceso a todos los niveles. Los movimientos, tanto internos como externos, estarán controlados por personal de seguridad que se auxiliará con cámaras, detectores de movimiento y de accesos; todo el control se centralizará y efectuará desde el mostrador de seguridad. El edificio



es un modelo de avanzada tecnología en esta materia, ya que cuenta con vigilancia de circuito cerrado en todos los accesos de los pisos de oficinas a nivel de calle y dentro del estacionamiento, además de dispositivos lectores de tarjeta para el personal autorizado. Cuenta con un helipuerto que sirve como plataforma de operaciones de rescate en caso de situaciones de emergencia.

### Proceso constructivo

Para su construcción, el proyecto se dividió en tres etapas. La etapa "A" comprende la cimentación profunda, excavación y estructuración de los cuatro niveles de estacionamiento subterráneo hasta llegar al nivel de banqueta.

La etapa "B" comprendió la construcción de la Torre completa, hasta la plataforma del helipuerto, excepto los acabados de los niveles 22 a 55. La etapa "C", última en la fase de construcción, abarcó los acabados que no contempla su predecesora en los niveles 22 a 55. El tiempo programado para su construcción fue de 30 meses.

Con el objeto de conocer la capacidad de carga de las pilas de cimentación de la Torre Mayor, se realizaron en el sitio de construcción de la obra dos pruebas de capacidad de carga. La prueba de compresión fue la más importante, se efectuó en una pila de concreto armado de 70 centímetros de diámetro desplantada a 34 metros de profundidad, empotrada a un metro de los depósitos profundos y con una longitud efectiva de fuste de 29 metros. A esta pila se le dotó en su extremo inferior de un gato hidráulico plano especial de 50 centímetros de diámetro, 15 centímetros de carrera y mil 90 toneladas de capacidad conocido como Celda Osterberg, la cual fue especialmente instrumentada para conocer de manera directa la presión interna de la celda y los movimientos hacia arriba y hacia abajo de la pila. Se midió al mismo tiempo la capacidad de carga por fricción (adherencia en este caso) y la capacidad de carga por punta. La instrumentación se hizo con equipo eléctrico a lo largo de toda la longitud de la pila y en la cabeza de la misma. Se emplearon deformímetros *-strain gages-*, micrómetros con extensión *-telltaloerods-*, manómetros, entre otros dispositivos.

La cimentación profunda del edificio está constituida por pilas de concreto armado con diámetros de un metro (94 piezas), 1.20 metros (28 piezas) y 1.50 metros (129 piezas). Su desplante va de 35 a 52 metros de profundidad respecto al nivel de banqueta. En total son 251 pilas distribuidas en toda el área del predio. El procedimiento constructivo consistió en la perforación, colocación del armado y colado de concreto, que estabilizan las paredes de las perforaciones con ademe metálico en los primeros cinco metros y con lodo bentonítico en el resto de la perforación. La colo-



cación del acero de refuerzo se hizo al terminar la perforación de la pila, una vez que se certificó que su fondo estuviera libre de azolve, tras limpiarlo con el bote de perforación y verificando con una sonda la profundidad total. Antes de colocar el acero de refuerzo, se realizó una limpieza mediante el método de *airlift*, o por medio de una bomba de succión a través de la tubería tremie. Posteriormente se llevó a cabo la colocación del concreto hidráulico mediante el sistema de tubería tremie de 10 pulgadas de diámetro.

Debido a las dimensiones del predio donde se construyó Torre Mayor, se decidió dividirlo en tres zonas para la excavación, apuntalamiento y estructuración: A (central), B (sur), C (norte). Estas zonas se dividen por dos ejes de tabletas precoladas de concreto  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales se colocaron en forma similar al muro milán, con la diferencia de que las tabletas se ubicaron ya construidas, lo que hace más eficiente el proceso.

Las tabletas son de 0.99 metros de ancho por 20 metros de largo, de las que se colocaron 162 piezas para poder seccionar correctamente el terreno. El muro milán tiene un espesor de 60 centímetros y una profundidad de 20 metros a partir del nivel de calle. La construcción de los muros milán se llevó a cabo en zanjas excavadas, cuyas paredes se estabilizaron con lodo bentoníti-

co. Las parrillas de acero de refuerzo se introdujeron a la excavación con el apoyo de dos grúas montadas sobre orugas de 100 y de 55 toneladas de capacidad. En total se colocaron 60 tableros en las tres zonas que se dividió el terreno.

La losa de cimentación de concreto armado tiene un espesor entre 1.40 y 2.80 metros, con un volumen de concreto de 11 mil 550 metros cúbicos. Sobre la losa se desplantan las columnas metálicas, las cuales irán recubiertas de concreto armado; las losas de entrepiso de los estacionamientos E3 a E1 son de concreto armado, de 25 centímetros de espesor. A partir de la planta baja, el sistema de piso cambia por una cubierta de lámina de acero, sobre la cual se cuela un firme de concreto, reforzado con un lecho de malla electrosoldada.

La estructura metálica, a base de columnas soldadas, travesaños atornillados y amortiguadores sísmicos sujetos de la misma manera, los que poseen una capacidad de entre 270 y 570 toneladas-fuerza, resistencia con la cual reducen los desplazamientos laterales de la estructura en caso de un movimiento telúrico. Las columnas de estructura metálica de la fachada sur están ahogadas en concreto hasta el nivel 30 y las del núcleo de servicios hasta el nivel 35.

El servicio eléctrico se suministra a todos los niveles por un sistema vertical de cableado con una capacidad de 60 watts por metro cuadrado para abastecer los requerimientos normales de fuerza e iluminación. Se cuenta con ductos vacíos destinados a cubrir necesidades adicionales de los usuarios; en caso de una falla en el suministro de energía, hay una planta de emergencia que proporciona electricidad a los servicios básicos del edificio.

La combinación de paneles dobles de vidrio, una fachada sellada y un equipo de aire acondicionado de alta tecnología producen un sistema de control de clima sumamente eficiente y ahorrador de energía. Los sistemas centrales de captación de aire externo filtran el aire utilizando un prefiltro y un filtro final de alta eficiencia que aseguran el suministro constante de aire puro a todos los usuarios de Torre Mayor.

El sistema de manejo de aire instalado también está diseñado con características adicionales altamente sofisticadas, tales como el control de humedad y la capacidad de extracción de humo. Asimismo, cuenta con un sistema secundario de condensación de agua para proporcionar a los ocupantes una ventaja adicional en el ahorro de energía.

## Normatividad

Cumpliendo con el objetivo principal del contratista general responsable del proyecto, en cuanto a calidad, costo y tiempo pactados, el proyecto se desarrolla atendiendo las especificaciones del pro-

pietario y a la norma internacional de calidad ISO-9001, cuyo certificado fue otorgado a ICA en 1998. El sistema de administración por calidad bajo el cual se labora en el proyecto, comprende la integración de una estructura organizacional de operación matricial, la elaboración y seguimiento de procedimiento de trabajo, y la definición de procesos y recursos necesarios, todo ello tiende a alcanzar un nivel de mejora continua.

En cuanto a la seguridad e higiene, los planes propuestos atenúan las causas y condiciones de riesgo, con el fin de prevenir la ocurrencia de accidentes. Otro punto de atención es reducir la frecuencia de los accidentes mediante la aplicación de estrategias de seguridad que incrementen las condiciones adecuadas para laborar. Se ha establecido como meta reducir el índice de siniestralidad para accidentes incapacitantes hasta 1.75, lo que significa la ocurrencia de un caso por cada 114 mil 285 horas hombre laboradas.

La firma Reichmann Internacional, constructora, promotora y encargada de la comercialización de Torre Mayor, pretende amortizar su inversión en el inmueble en diez años 

