

# El concreto y los edificios súper altos en México

Ing. Roberto Stark  
Director General. Stark + Ortiz

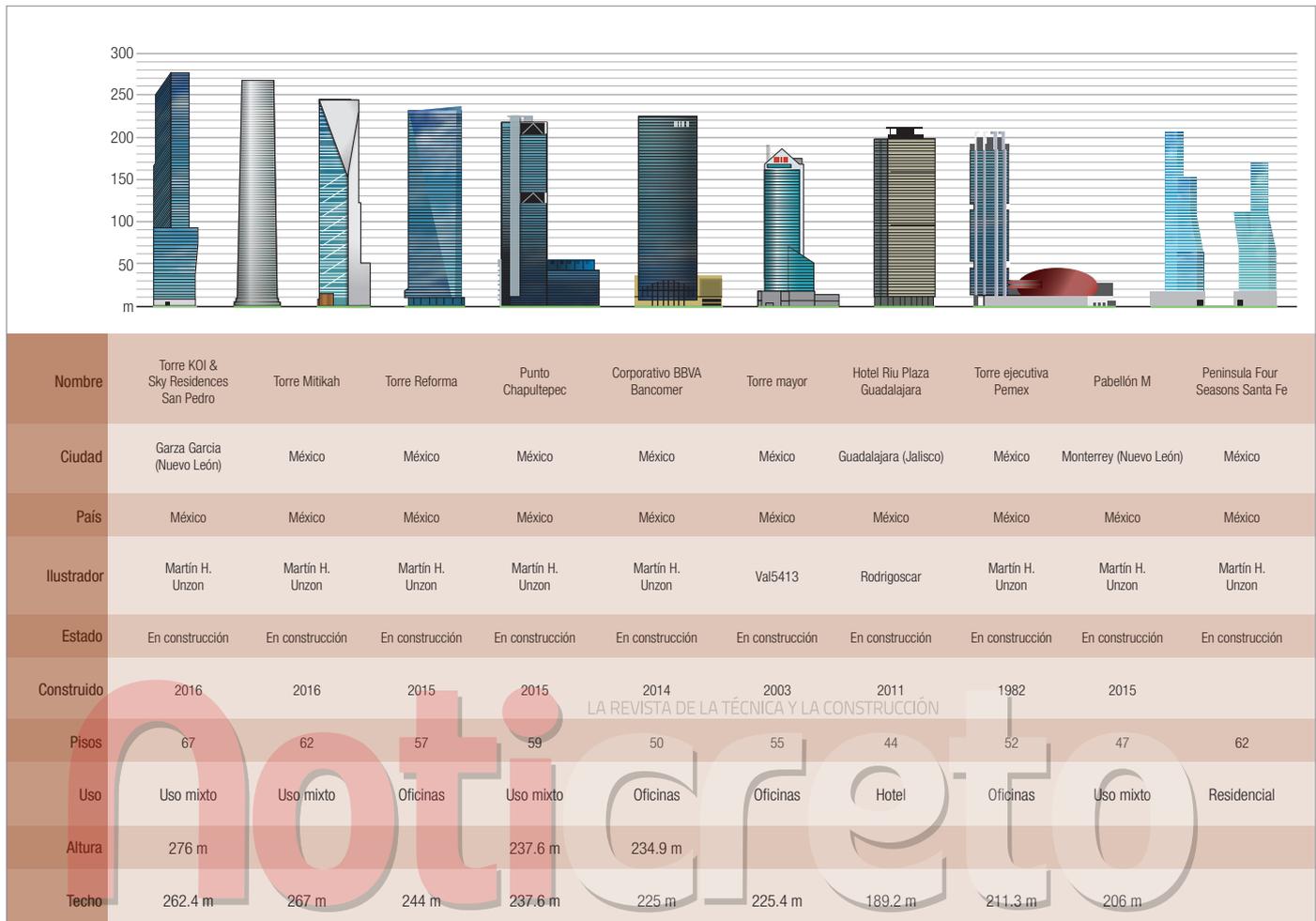
noti

↑ Foto 1. Torre Koi, actualmente el edificio más alto de México, 279,5 m.  
FLICKR - RICK GONZÁLEZ

**Estamos viviendo una gran transformación en las edificaciones** dentro de las zonas urbanas de todo el Mundo; el número de edificios altos aumenta de manera exponencial. De acuerdo con el organismo mundial sobre edificios altos (CTBUH - *Council on Tall Buildings and Urban Habitat*), un edificio alto es aquel que sobrepasa los 200 m de altura, mientras que un edificio súper alto es el que tiene altura mayor a 300 m; uno que supere los 600 m es considerado mega alto.

El 80% de la población mundial vivirá en las ciudades y, por ende, la construcción vertical irá en aumento. También se incrementará el costo de los terrenos en las zonas con mayor actividad económica, por lo cual entre más niveles y más metros cuadrados se puedan construir será menor el impacto que tiene el costo del terreno en el proyecto. En la Figura 1 se muestran los edificios más altos de México en este momento, su evolución en el tiempo y sus características esenciales.

Por lo anterior se necesita buscar técnicas, materiales, nuevos conceptos estructurales y procedimientos constructivos más eficientes, que reduzcan costos y aumenten la velocidad de construcción.



Desde finales de los años setenta, la tecnología del concreto y los procedimientos de diseño de estructuras de concreto reforzado han dado grandes pasos: la producción de concretos de alto rendimiento, que incluye los concretos de alta resistencia, la capacidad de bombear concreto a alturas que hoy día superan los 600 metros sin que pierda propiedades mecánicas, y la posibilidad de diseñar los edificios altos por desempeño. Todo esto ha dado como resultado que hoy día podamos diseñar y construir edificios altos y super altos en concreto reforzado a costo menor que los realizados con las estructuras de acero.

Las ventajas actuales de las estructuras de concreto son, entre otras: menor costo, mejor comportamiento ante las cargas de viento y mayor resistencia al fuego.



↑ Figura 1. Edificios más altos de México. ROBERTO STARK

← Figura 2. Nivel 21 de Torre Koi. Se muestra el outrigger o muro perimetral. ROBERTO STARK

Si nos referimos a la velocidad de construcción, en concreto también se dispone de una eficiencia comparable a la de una estructura de acero: si se crea una estructura conveniente, los tiempos de construcción por nivel son muy rápidos y competitivos; en México se ha logrado construir un piso de aproximadamente 1.000 m<sup>2</sup> en cinco días.

Por lo expuesto, hoy día los edificios de mayor altura y la mayor parte de los edificios altos en el Mundo son diseñados y construidos en concreto reforzado.

La evolución de los sistemas estructurales para resistir fuerzas laterales, como viento y sismo, han migrado de tecnologías del tipo de pórticos, pórtico-muro, tubo o tubo en tubo. En la actualidad el método más utilizado es un núcleo central con el uso de *outriggers* en uno, dos y hasta tres niveles del edificio, dependiendo de su altura.

El concepto de *outriggers* consiste en crear unos brazos muy rígidos que conecten el núcleo central con las columnas perimetrales. Esto permite disminuir los desplazamientos laterales y reducir el momento de volcamiento en la base.

Una manera muy común de conformar estos *outriggers* es crear una armadura espacial entre dos o más niveles aumentando en forma considerable la rigidez

de estos “brazos”. Es importante señalar que los pisos que contienen los *outrigger*s tendrán uso limitado por la interferencia de estos elementos. Por este motivo, estos pisos generalmente se destinan a usos mecánicos donde se instalan los equipos de bombeo, cisternas, aire acondicionado, cuartos de máquina de elevadores, etc. Por otro lado, se debe analizar con mucho cuidado el número y localización de estos *outrigger*s a fin de no hacer más lento el proceso constructivo, debido a la mayor complejidad que tiene la construcción de estos niveles frente a niveles tipo.

Estos *outrigger*s pueden construirse de manera directa, conectando los muros del núcleo central y las columnas del perímetro del edificio con elementos. La otra opción es hacerlo en forma indirecta o virtual, como muestran las figuras 2 y 3. Consiste en construir un muro perimetral de concreto adyacente a una de las columnas perimetrales y, por medio de la unión de las

losas –tanto del nivel de abajo del muro como del nivel superior– lograr el mismo fin.

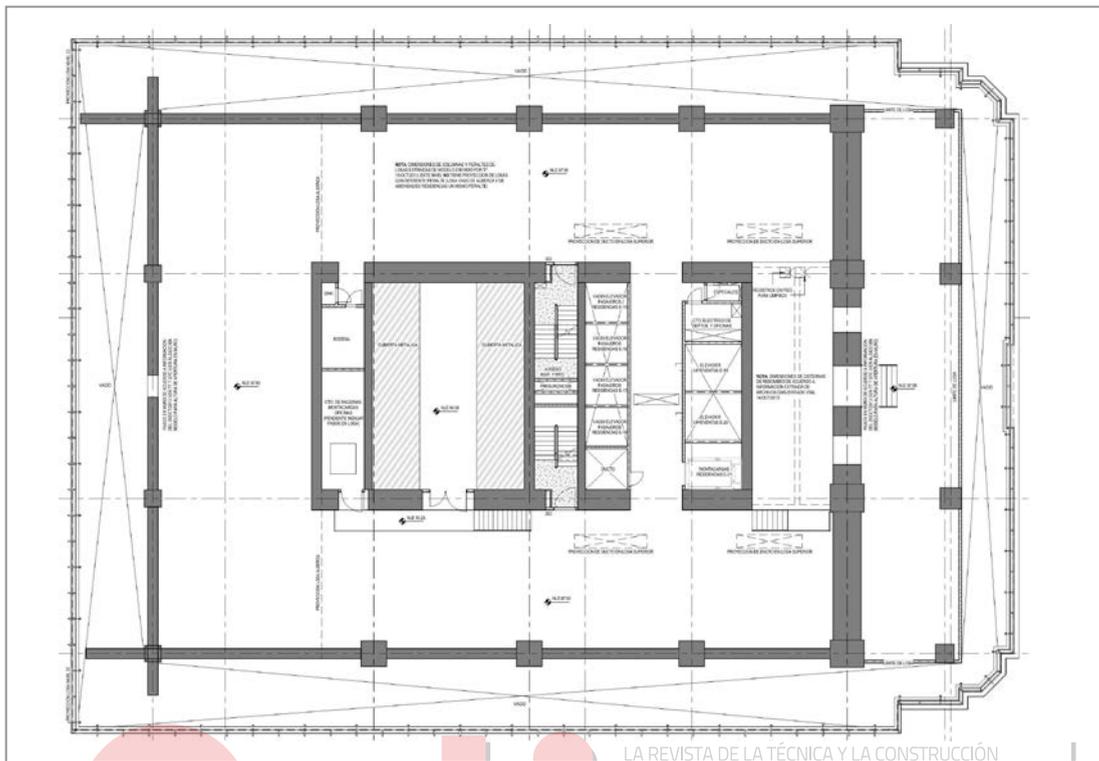
El uso de “*outrigger*s” ofrece la posibilidad de construir de manera muy sencilla y eficiente una estructura 100% de concreto, reduciendo considerablemente los costos de mantenimiento y mejorando la protección contra un eventual fuego dentro del edificio.

En México se están diseñando en la actualidad al menos tres edificios de más de 300 metros de altura: dos de ellos en la Ciudad de México y el otro en Monterrey (ver fotos 2 y 3).

El que se está diseñando en la Ciudad de Monterrey tendrá una estructura muy parecida a la de la Torre Koi debido a sus características similares. Aunque la diferencia radica en su geometría en planta, el viento y el terreno son prácticamente iguales. Es importante resaltar que el riesgo sísmico es muy bajo en esta región del país.

↓ Foto 2. Render del edificio en proceso de diseño en la ciudad de Monterrey.  
ROBERTO STARK





← Figura 3. Muro perimetral, nivel 21 al 22. Vista en Planta del *outrigger*.  
ROBERTO STARK

↓ Foto 3. Rrender de otro edificio en proceso de diseño en la Ciudad de México.  
ROBERTO STARK

Se aproxima un reto muy especial en los dos edificios super altos de la Ciudad de México donde, por una parte, la ubicación del proyecto cuenta con suelo muy blando, pues en uno de los casos la capa dura está a 80 m de profundidad y en el otro a 65 m. De otro lado, el riesgo sísmico es importante, a diferencia de las cargas de viento; sin embargo, es necesario revisar esta condición de carga en el proceso de diseño. En ambos casos el diseño sísmico se realizará por desempeño.

En estos momentos se está evaluando que los materiales utilizados sean lo más ligeros posible para reducir el tamaño de la cimentación y las fuerzas sísmicas.

En ambos casos se planea utilizar un núcleo central de concreto con columnas perimetrales de acero tubulares rellenas de concreto.

La utilización de pilas o barretes en la cimentación se decidirá en la fase final de diseño, una vez estén finalizados los estudios de mecánica de suelos. Por las condiciones de suelo y la cercanía con las construcciones vecinas, el procedimiento de excavación será a través del sistema top-down. Prácticamente en todos los proyectos construidos en los últimos 25 años en esta zona de la ciudad se ha utilizado esta técnica de excavación, con muy buen comportamiento y sin riesgo alguno para las construcciones vecinas ni para la propia construcción.

Las losas de los sótanos son placas macizas en concreto reforzado para conformar un puntal muy eficiente para los empujes laterales del suelo.

La super estructura, como se anotó, se basa en un núcleo central de concreto y columnas perimetrales de acero



en forma de tubo para permitir que sean rellenas de concreto. Con esto obtenemos un sistema muy eficiente para aumentar la rigidez del sistema y el área suficiente para resistir las fuerzas de compresión; al mismo tiempo se logra proteger las columnas contra el fuego.

En estos edificios se planea colocar tres sistemas de *outriggers* en dos o tres niveles del edificio adicionando en los elementos a compresión un sistema de contraventeo marcos reforzados restringidos al pandeo (BRB - *buckling-restrained brace*).

La construcción de edificios altos, súper-altos y mega-altos es una realidad en todos los países del Mundo y la altura final se alcanzará en función de la población y la economía de cada región. Sin embargo, cada día tendremos edificios más altos, es un hecho que deberemos enfrentar.

La creación de sistemas estructurales más eficientes es el reto que los Ingenieros Estructurales tendrán que cuidar. En cada solución se deberá considerar los sistemas constructivos más adecuados para aprovechar mejor los recursos, y a la vez, alcanzar mayor velocidad de ejecución. 