

# Mil metros sobre el suelo

*Un acercamiento a uno de los megaproyectos que se encuentra actualmente en ejecución. Un nuevo edificio se vuelve a alzar como el más grande del mundo, pero esta vez sobrepasando la barrera de los mil metros. ¿Cómo está diseñado?, ¿Cuál es su proceso constructivo?, ¿Qué retos enfrenta?, ¿Quiénes son los involucrados?, son algunas de las interrogantes que este artículo abarca.*



Figura 1. Planta inferior y vista de la cimentación de la torre CP © AS+GG

Paola Torres Quiroz - [paola.torresq@pucp.pe](mailto:paola.torresq@pucp.pe)  
Alumna PUCP

El año 2019, un nuevo rascacielos se alzará con el título del edificio más alto del mundo. The Kingdom Tower fue concebida en 2007 como la fase inicial del plan urbano preparado para la ciudad de Yeda en Arabia Saudita, llamado The Kingdom City, que contempla una inversión de 20 billones de dólares.

El proyecto fue promovido por The Kindom Holding Company, y fue respaldado por el billonario príncipe saudí Alwaleed bin Talal. El diseño de la torre estuvo principalmente a cargo del arquitecto Adrian Smith, de Adrian Smith + Gordon Gill Architecture (AS+GG), arquitecto que también realizó el diseño del Burj Khalifa, el actual edificio más alto del mundo, de 828 metros de altura. El proyecto busca convertir a Yeda en un punto de confluencia para los negocios internacionales. Esta ciudad es la segunda más grande de país árabe y marca la entrada a la sagrada ciudad de La Meca. La inversión total necesaria para la edificación asciende a 1.230 millones de dólares, inversión que el príncipe saudí espera recuperar en no más de 10 años.

## Diseño y construcción

La preparación del terreno se inició el año 2012, los cimientos de la torre se terminaron en febrero de este año y la construcción por encima del nivel del terreno comenzó en abril.

La superficie construida será de 530'000 m<sup>2</sup>. El diseño estructural estuvo a cargo de la firma Thornton Tomasetti y la constructora elegida fue Saudi BinLadin Group (SBG). Langan (Engineering & Environmental Services) fue la principal consultora para el diseño de los cimientos. La misma estuvo a cargo del desarrollo y supervisión del estudio del subsuelo, del diseño para la gestión del agua pluvial, del planeamiento de la integración a la ciudad del volumen de demanda y circulación que tendrá la obra en el plan maestro de tráfico de The Kingdom City. La Compañía Nacional de agua ya firmó un contrato por 25 años para proveer 156'000 m<sup>3</sup> de agua diariamente al proyecto

## The Kingdom City.

La compañía alemana Bauer fue contratada para la instalación de los pilotes, para lo cual se empleó la plataforma de perforación rotaria BG 40. Fueron instalados 72 pilotes de 110 metros de profundidad y 1.5 metros de diámetro, 154 pilotes de 1.5 metros de diámetro y una longitud entre 49 y 89 metros, y 44 pilotes con 1.8 metros de diámetro a 50 metros de profundidad. El control de calidad está a cargo de la empresa libanesa Advanced Construction Technology Services (ACTS). Para cumplir con esta tarea un laboratorio ha sido instalado en el lugar de la construcción, donde trabajan más de 100 empleados que se harán cargo de las pruebas de concreto y acero. Se prevé el uso de medio millón de metros cúbicos de concreto y 800 toneladas de acero en el proyecto, materiales de construcción que tendrán que pasar por las medidas de control de calidad respectivas.

## Diseño estructural

La forma en “Y” de la base del edificio está diseñada funcionalmente: la separación de 120° entre las alas provee al edificio de más espacio entre las paredes exteriores y el área interna, lo cual maximiza las vistas para las residencias y la exposición a la luz. También permite la extensión vertical de la torre sin la necesidad incrementar la distancia entre la cara externa del núcleo y la cara interior de las paredes externas (léase span). La torre debe soportar fuerzas del viento y gravedad; por ello, los tres lados están diseñados para ser aerodinámicos. La forma de la base ayuda a desarrollar un simple diagrama estructural donde cada elemento participa para enfrentar ambas fuerzas, asegurando la estabilidad lateral de la torre.

La forma se asemeja a una viga de ala ancha, en la que el alma tiene forma de Y y está conformada por los pasillos interiores (placas de corte) y el núcleo del edificio. En las alas, en cada extremo, se colocará gran parte de la masa estructural, pues ahí es donde se presentará el mayor esfuerzo por flexión inducido por el viento. La forma triangular del núcleo brinda muy buena resistencia a la torsión causada por el viento. Las tres patas facilitan el diseño de las escaleras, pues el edificio tendría por lo menos tres, encerradas dentro de las paredes continuas de hormigón de los muros de cortes, lo cual crea un ambiente seguro dentro de la estructura. El espesor de los muros de corte también funcionará como aislador de sonido entre los pasillos públicos y las residencias privadas. Otro aspecto importante es el análisis de viento, ya que se trata de una zona con fuertes corrientes, principalmente debido a la proximidad del Mar Rojo. La empresa canadiense RWDI, que realizó el análisis de viento para las Torres Petronas, el Taipei 101y el Burj Khalifa, viene trabajando en ello desde 2010.

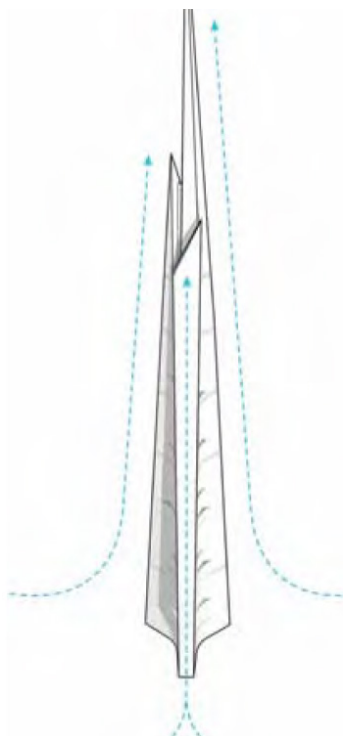


Figura 2. Disminución gradual de la sección en cada ala  
© AS+GG

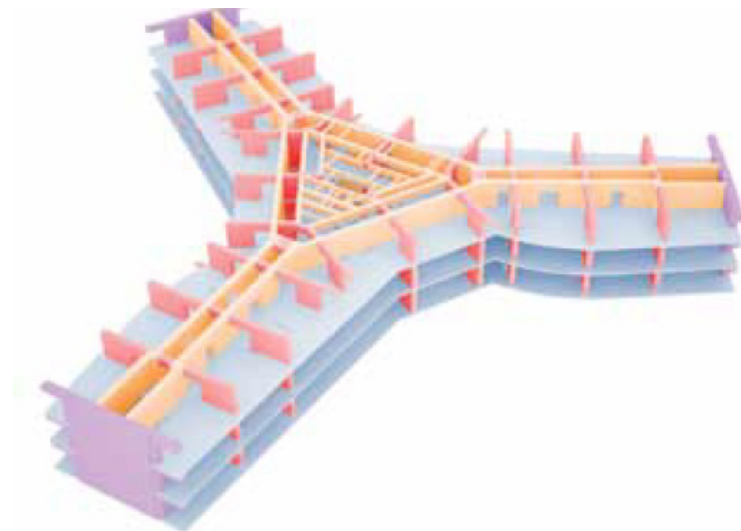


Figura 3. Elementos estructurales © AS+GG

La sección de la torre no puede ser constante, porque los vórtices de viento que se originan en los lados se amplificarían en los pisos superiores, lo cual induciría aceleraciones laterales por encima de los niveles aconsejables, pues estos vórtices amplificados se acercarían a la frecuencia de resonancia del edificio. Para contrarrestar este efecto, la sección de la torre se va reduciendo de forma continua, a diferencia del Burj Khalifa, donde la reducción se da en forma de gradas cada cierta altura. Esta diferencia permite que el proceso de construcción sea más eficiente, continuo e ininterrumpido.

La reducción de la sección se da en diferente medida en las tres alas de las torres, lo que crea tres terminaciones distintivas (también llamadas chapiteles) que caracterizan al edificio. La forma de las alas de la torre se puede interpretar como la de las hojas de una planta desértica, que al crecer van separándose. Según los diseñadores, la estética de la torre la simboliza como un catalizador de desarrollo para sus alrededores. Otro aspecto que la caracteriza es la orientación de las alas en el plano. Una de ellas apunta hacia La Meca, y la otra apunta casi directamente al norte. De esta manera se redujo la carga de los rayos solares, y al mismo tiempo se mejoró la vista de la mayoría de las unidades residenciales.

La torre está compuesta enteramente de muros de concreto reforzado vaciados in situ, vigas de acople y losas macizas bidireccionales. La estructura no cuenta con columnas o paredes externas que funcionen como estabilizadores y transmisores de carga. Todos los muros de corte son verticales, y el ancho de aquellos ubicados al borde de cada nivel disminuye gradualmente para dar forma a la torre, lo cual se consigue dejando losas voladizas en los bordes. Gracias a la continuidad vertical de la torre, es posible utilizar un eficiente sistema de encofrado deslizante. Además, los encofrados de las losas pueden ser reutilizados, debido a la geometría repetitiva de los pisos. Se espera que la resistencia a compresión del concreto para la estructura de la torre no supere los 115 Mpa (1073 kg/cm<sup>2</sup>), y los 60 a 80 Mpa en los niveles más elevados.

Estas resistencias son medidas en probetas cúbicas; la que se obtendría en una probeta cilíndrica representaría el 0.85 de dicha resistencia. Sin embargo, para concretos de alta resistencia el factor se acerca bastante a 1. Para lograr colocar este concreto de alta resistencia en las los niveles superiores se requerirá emplear los últimos avances en diseño de mezclas concreto y tecnología de bombeo.

## Rompiendo récords

En un edificio de esta altura, una de las tareas más desafiantes fue el diseño de los elevadores. El encargado fue James Fortune, quien también diseñó los elevadores para el Taipei 101 y el Burj Khalifa. The Kingdom Tower romperá varios récords; entre ellos, tendrá el elevador de dos pisos más rápido del mundo (viajará a 10 m/s) y el canal de elevador más largo (660 m de longitud). Serán instalados 59 elevadores, 4 de doble piso y 2 de tres, y 12 escaleras mecánicas. Además, el uso de una nueva tecnología de cuerdas de fibra de carbono, de parte de la empresa Kone, permitirá reducir el peso por elevador de 20 a 3 toneladas.

La torre, que recién empieza 20 metros por encima del nivel del suelo, tiene un primer piso de 6'700 m<sup>2</sup> de área y cuenta con tres entradas. La torre tendrá en total 252 niveles, con solo 167 piso ocupados, que tendrán diferentes usos. Entre ellos, albergará 200 habitaciones y el área de departamentos el hotel Four Seasons, pisos de oficinas y 530 apartamentos de lujo. La planta más grande tendrá 85'000 m<sup>2</sup>, y allí funcionará el servicio de estacionamiento para 2'200 autos. En el piso 157 se encontrará el observatorio más alto del mundo, un balcón circular de 20 metros de diámetro, a 630 m de altura. Para evitar problemas con el reflejo de los rayos solares en los vidrios, las ventanas exteriores cuentan con vidrios tintados. Asimismo, las paredes externas contarán con un sistema que involucra nuevas tecnologías para la conservación de la energía, que minimiza el consumo de energía mediante la reducción de cargas térmicas.

## La maldición de los rascacielos

Pareciera que la construcción de rascacielos cada vez más altos es una competencia entre países que, en un momento de bonanza económica, quieren demostrar su superioridad. Tan solo en 2014, 97 edificios que superan los 200 metros fueron construidos en el

mundo. Durante el último siglo, la construcción de un edificio que establecía un nuevo récord de altura ha coincidido más de una vez con el inicio de una crisis económica, ya sea local o internacional. Este fenómeno ha sido denominado "skyscraper curse" o "maldición de los rascacielos", nombre que fue utilizado por primera vez en 1999 por un analista bancario, Andrew Lawrence, que identificó esta correlación de hechos. La decisión de llevar a cabo un proyecto de tal magnitud, costoso en su ejecución y difícilmente rentable, puede llegar a afectar seriamente a la economía (algunos ejemplos se pueden observar en el gráfico adjunto). Actualmente la mayoría de los rascacielos más altos se encuentran en China y el Medio Oriente, zonas en las que las brechas económicas y sociales son muy profundas.

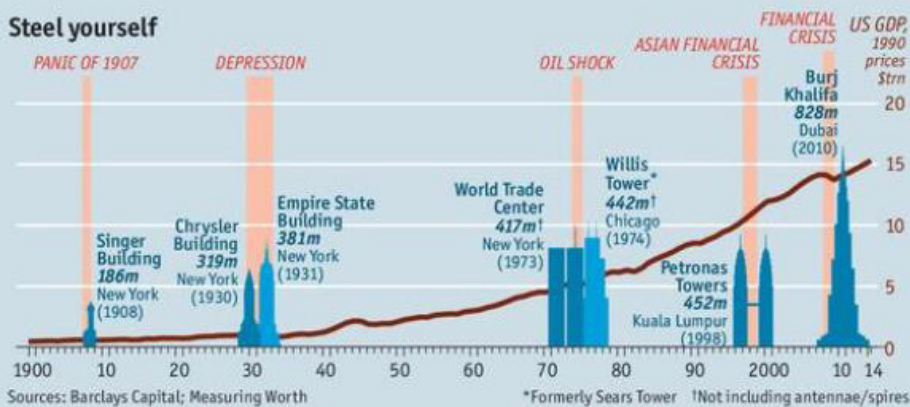
Por ahora, en el Perú, el edificio más alto mide 120 m: el Westin Hotel y la Torre Begonias. Sin embargo, se prevé que este año se finalizará la Torre Hito Cultural en San Borja, que tendrá una altura de 138 m, y la Torre Rímac, cuyo año de inauguración es 2019, alcanzará los 208 m. Aun con estos proyectos en marcha, nos encontramos lejos en la competencia por la cima, ya sea debido a nuestra naciente economía, a la falta de la industria necesaria para llevar a cabo proyectos de esta magnitud o a que estamos localizados en una zona altamente sísmica. Es probable que en el futuro se construyan aquí edificios de mayor altura, como en Chile, cuyo edificio más alto mide 300 metros. Esperemos que sean proyectos bien planeados y que realmente beneficien al país.



## BIBLIOGRAFÍA:

- Weismantle, P., & Stochetti, A. (2013). Case Study: Kingdom Tower, Jeddah. CTBUH Journal, (1), 1-10. Descargado el 1 de abril 2015, de <http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/20-case-study-kingdom-tower-jeddah.pdf>
- Kingdom Tower in Jeddah. (2011). consultado el 1 de marzo de 2015, de <http://www.kingdomtowerskyscraper.com/index.html>
- CTBUH SKYSCRAPER CENTER. 2014. Skyscraper Database. Descargado el 1 de abril de 2015, de <http://www.skyscrapercenter.com/jeddah/kingdom-tower/2>.
- Thornton, M. (2015, febrero 24). Where is the Skyscraper Curse Today? Consultado el 10 de mayo, 2015, de <https://mises.org/library/where-skyscraper-curse-today>

Figura 4. Línea de tiempo: crisis económicas y construcción de edificios Fuente: Economist.com



A lo largo de la historia, varias veces la construcción de un edificio que establecía un nuevo récord de altura ha coincidido con el inicio de una crisis económica, ya sea local o internacional, en el último siglo. Este fenómeno ha sido denominado "skyscraper curse".