



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Edificios en altura

Apellidos, nombre	Basset Salom, Luisa (lbasset@mes.upv.es)
Departamento	Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universitat Politècnica de València



1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se presentan los edificios en altura, partiendo de una breve introducción histórica y de los condicionantes de diseño, clasificándolos en función de las diferentes tipologías y analizando su comportamiento estructural.

2 Introducción

Un edificio en altura no es simplemente un edificio que tiene muchas plantas, sino que se trata de un edificio que reúne las siguientes condiciones: su altura supera los 50 m. (o tiene más de 12 plantas), es esbelto (ya que un edificio alto con mucha base no será esbelto y, por tanto, no se considerará un edificio en altura), predominan las acciones horizontales sobre las verticales en el cálculo y diseño de su estructura y está dotado de tecnologías específicas (transporte vertical, instalaciones, arriostramientos, amortiguadores, mantenimiento, etc.)

Donde puede decirse que la estructura se comporta efectivamente de un modo espacial frente a la acción de las cargas, tanto verticales como horizontales, es en los edificios en altura, en los que se produce una interacción entre axil, flector y cortante.

Los sistemas estructurales que pueden utilizarse en este tipo de edificios son muy variados. Se explicará cada uno de ellos aportando ejemplos, aunque antes se hablará de su evolución y de los condicionantes que influyen en su diseño.

3 Objetivos

EL alumno, tras la lectura de este documento, será capaz de identificar las tipologías de edificios en altura, identificar y comprender su sistema estructural, así como proponer ejemplos reales de edificios con esta tipología estructural.

4 Edificios en altura

4.1 Antecedentes

El desarrollo de los edificios en altura surge, poco a poco, paralelamente al crecimiento de la población. Con el proceso de la industrialización (hacia el s.XIX) se produjo un traslado de la población rural a la ciudad y además una evolución de la tecnología relativa a los sistemas de transporte vertical, instalaciones y nuevos materiales

Los primeros edificios en altura se construyeron de ladrillo, pero se fue comprobando que éste no era el material adecuado ya que, al ir aumentando el número de pisos se tenía que aumentar mucho el espesor de las paredes (el Monadnok Building en Chicago, 1891, tenía paredes de 180 cm para 16 alturas). Por eso, poco a poco, se fueron decantando hacia el acero y el cristal, combinándolos con muros de carga. El primer ascensor es prácticamente



contemporáneo (1851 en New York) y fue evolucionando a medida que iba creciendo la altura de los edificios.

Desde la segunda mitad del s. XIX, el acero fue sucediendo paulatinamente al ladrillo, pasando por distintas etapas en las que ambos formaban parte de la estructura. Posteriormente el muro cumplió sólo funciones de cerramiento (Home Insurance Building de W. Jenney, en Chicago, de 1883), hasta que sólo se utilizó acero (Rand McNally Building de Burnham y Root de 1889, Flatiron Building de Burnham, 1902, imagen 1).

En 1890 el hormigón empieza a utilizarse como material estructural, tomando posiciones poco a poco en la construcción de los edificios en altura. Primero se imitaba a la estructura de acero y, después de la segunda Guerra Mundial, el hormigón empezó a adquirir identidad propia.

En 1891 se desarrolló el concepto de pantalla vertical (Masonic Temple, 1891, de Burnham y Root). Como las fuerzas de viento a esa altura son importantes, para aumentar la rigidez lateral de la estructura de acero se introdujeron arriostramientos diagonales en fachada, creando una estructura triangulada vertical y el concepto de pantalla contra viento.

Los edificios en altura de hoy en día son continuos por naturaleza y eficientes en lo referente a la distribución y composición de su estructura.



Imagen 1. Flatiron Building, New York

4.2 Condicionantes de diseño

Para seleccionar la estructura de un edificio en altura, deben tenerse en cuenta muchos condicionantes además del propio comportamiento estructural. Entre ellos se podría citar:

1. Condicionantes del terreno, mucho más importantes que en el caso de una estructura convencional.
2. Relación altura/anchura, magnitud que influirá en la rigidez del edificio. Cuando este valor esté prefijado se elegirá el sistema estructural que se acomode mejor a las condiciones de carga y tamaño de los vanos.
3. Proceso constructivo y sistema de elevación de los elementos.
4. Condicionantes económicos relativos no sólo al proceso constructivo sino al mantenimiento posterior, fundamental en estos edificios.



5. Instalaciones (transporte vertical, agua, luz, gas, etc.): las instalaciones constituyen más de un tercio del coste de estos edificios y, además, deben planificarse con cuidado.
6. Sistemas de protección contra el fuego. Dado que la mayoría de los pisos están más altos que el alcance de las escaleras de bomberos el rescate debe realizarse desde el interior. Por eso se necesitan sistemas de evacuación y de aislamiento de las zonas incendiadas, sistemas de extinción adecuados y sistemas de ventilación.

4.3 Tipologías

Las tipologías estructurales más usuales en el caso de los edificios en altura son las siguientes:

1. Estructura de muros de carga o pantallas: Los elementos estructurales principales son elementos verticales planos, muros o pantallas, que pueden disponerse longitudinalmente, transversalmente o en ambas direcciones.
2. Estructura de núcleo rígido: Los elementos estructurales principales forman núcleos rígidos rodeando los huecos de los elementos de comunicación vertical (ascensores, escaleras e instalaciones).
3. Estructura de pórticos: Los elementos estructurales constituyen un entramado espacial de nudos rígidos.
4. Combinación de pórticos y pantallas (o núcleos): Consiste en una combinación de elementos planos en forma de pantallas y/o núcleos rígidos con entramado espacial
5. Combinación de pórticos y pantallas (o núcleos) con celosías de atado: La tipología anterior se completa con vigas en forma de celosías de gran canto distribuidas a lo largo de la altura del edificio.
6. Sistemas tubulares: Los elementos estructurales verticales se disponen muy próximos entre sí formando una fachada que parece un tubo perforado.

4.4 Estructura de muros de carga o pantallas

Consiste en una serie de elementos verticales planos (muros o pantallas) que pueden disponerse longitudinalmente (formando parte de la fachada principal), transversalmente (no interfieren en la fachada principal) o en ambas direcciones.

Esta tipología suele utilizarse en el caso de edificios en altura intermedios, de 10 a 20 plantas (hasta 50 plantas en el caso de pantallas de hormigón), siendo adecuada cuando se necesite una gran subdivisión del espacio (viviendas, hoteles).

Las luces de los vanos suelen oscilar entre 3,6 y 7,5 m, en función de la capacidad portante y de la rigidez del muro.

La respuesta estructural depende de los materiales y del tipo de interacción entre el plano horizontal del forjado y el plano vertical de los muros o pantallas. Las cargas verticales se transmiten por flexión del forjado, generando en los muros o pantallas unas tensiones de compresión que dependen del ancho del vano, de la altura y tipo de edificio y de las dimensiones y disposición de los muros o pantallas.

Las cargas horizontales se distribuyen a lo largo de los forjados que actúan como un diafragma, hasta llegar a las pantallas paralelas a la acción de la fuerza. Estas



pantallas responden, debido a su rigidez, como viga de gran canto, reaccionando a cortante y flexión contra el vuelco.

Un ejemplo de esta tipología es la Torre Lugano (Benidorm, 2008, arq: Adolfo Rodríguez López, ing: Florentino Regalado y as. S.L.), formada por pantallas de hormigón armado paralelas y forjados de losa maciza.

4.5 Estructura de núcleo rígido

Cuando los edificios se destinan a locales comerciales se necesitará mayor flexibilidad en planta y espacios diáfanos, por lo que no será adecuada la tipología anterior. En estos casos pueden reunirse los sistemas de transporte vertical y los sistemas de distribución de energía y servicios (ascensores, escaleras, aseos, instalaciones,...) formando uno o más núcleos rígidos, dependiendo del tamaño y función del edificio.

Esos núcleos se utilizan como pantallas para conferir la estabilidad lateral necesaria al edificio y pueden ser de hormigón, acero o combinación de ambos.

Frente a las cargas horizontales, los núcleos actúan como grandes vigas en voladizo sobre el terreno, por lo que las tensiones de flexión y cortante que se generan son similares a las de una viga en cajón. Como el núcleo también soporta cargas gravitatorias, las fuerzas inducidas de compresión contrarrestan las tracciones que produce el momento debido a las cargas laterales aumentando también la capacidad de resistir cortantes.

A partir del núcleo central se pueden volar las losas del forjado permitiendo un espacio libre de pilares o bien se pueden colgar los forjados de unas celosías planas de altura igual a la de una planta, por medio de cables situados en el perímetro. Esta solución mejora la rigidez del edificio, ya que las celosías son las encargadas de transportar la carga al núcleo central.

Ejemplos de esta tipología son el Edificio Pirelli (Milán, 1956-58, arq: G.Ponti, A.Fornaroli, A.Rosselli, ing: P.L. Nervi), el Banco de Bilbao (Madrid, 1978-81, Francisco Javier Saenz de Oiza), imagen 2, o las Torres de Colón (Madrid, 1970-76, Antonio Lamela Martínez).



Imagen 2. Banco de Bilbao, Madrid

4.6 Estructura de pórticos

En general, están formados por un entramado reticular de vigas y pilares, conectados entre sí mediante nudos rígidos. Este sistema parece ser económico hasta 30 pisos, en el caso de estructuras de acero, y hasta 20 pisos, en el caso de estructuras de hormigón.



Debido a su continuidad, responde a las cargas horizontales principalmente por flexión de las vigas y soportes, por lo que su capacidad de carga está estrechamente relacionada con la resistencia de estos elementos, disminuyendo al aumentar la altura de los pisos y la separación entre pilares. Para aumentar la rigidez del conjunto se debe aumentar la sección de vigas y pilares o disminuir la longitud de las vigas.

Esta tipología de edificio en altura es, entre todas las demás, la que con mayor intensidad hace interactuar entre sí a las diferentes sollicitaciones: flexiones, cortantes, axiles y torsiones. No se pueden despreciar en ningún caso los efectos de segundo orden, es decir, los momentos "parásitos" producidos por la excentricidad de los esfuerzos axiles tanto en vigas como en pilares.

Un ejemplo de esta tipología es el Seagram Building (New York, 1954-58, Mies van der Rohe, Phillip Johnson).

4.7 Combinación de pórticos y pantallas (o núcleos)

Los sistemas de pórticos rígidos no son adecuados para más de 30 plantas, por lo que deben combinarse con pantallas o núcleos rígidos para resistir los esfuerzos laterales. Pueden ser pantallas de hormigón en el interior del edificio, núcleos centrales alrededor de ascensores o escaleras, o bien, celosías de acero dispuestas verticalmente en la fachada.

Esta tipología permite que las plantas sean diáfanas.

Frente a cargas horizontales trabajan conjuntamente pórtico y pantallas. En los pisos inferiores el pórtico deforma mucho y el muro muy poco. Éste absorbe la mayor parte del esfuerzo cortante de las cargas externas en esos pisos, apoyándose el pórtico sobre el muro. En los pisos superiores, la deformación relativa del pórtico es pequeña y la del muro, grande. En este caso el esfuerzo cortante externo es soportado por el pórtico y el muro se "cuelga" de él.



Imagen 3. Chrysler Building y Empire State Building, New York

Ejemplos de esta tipología son el Chrysler Building (New York, 1928-1930, William Van Allen) y el Empire State Building (New York, 1930-31, Shreve, William Lamb and Harmon), imagen 3.



4.8 Combinación de pórticos y pantallas (o núcleos) con celosías de atado

La eficacia de la estructura mejora disponiendo unas celosías de atado horizontal entre pórtico y núcleo central (de hormigón o a base de celosías de acero), extendidas a plantas completas, que suelen ser plantas técnicas.

Las celosías están unidas rígidamente al núcleo pero pueden apoyarse simplemente en los soportes exteriores. Cuando el núcleo tiende a flexionar las celosías actúan como brazos de palanca que trasladan las tensiones axiales a las columnas perimetrales, disminuyendo el momento en la base del núcleo.

A su vez las columnas colaboran en la contención de la flecha del núcleo. Este desarrolla el cortante horizontal y las celosías transfieren el vertical desde el núcleo al pórtico de fachada. Cuantas más celosías haya, mayor integración existirá entre pórtico y núcleo

Los factores que influyen en el comportamiento del sistema son la rigidez y posición de las celosías, la altura entre plantas y la geometría, forma y rigidez del núcleo.



Imagen 4. Cheung Kong Centre, Hong Kong

Un ejemplo de esta tipología es el Cheung Kong Centre (HongKong, 1999, César Pelli), imagen 4.

4.9 Sistemas tubulares

El diseño tubular asume que la estructura de la fachada responde frente a las cargas horizontales como una viga cajón cerrada y hueca en voladizo desde el terreno. Como las paredes exteriores resisten toda o la mayoría de la carga de viento, las diagonales de arriostramiento y las pantallas pueden suprimirse.

Las paredes del tubo son pilares muy próximos que rodean el edificio, atados por vigas de gran canto entre ellos, creando una fachada que parece un muro perforado. Si el tubo exterior no puede resistir él sólo toda la carga exterior se puede arriostrar con celosías (tubo con celosía) o bien disponer otro tubo interior (tubo en tubo).

Con un ensamblaje de tubos individuales se puede formar un tubo multicelular llamado macrotubo o haz de tubos. Este aumento de rigidez permite, evidentemente, aumentar la altura y la superficie en planta.

Ejemplos de esta tipología son el World Trade Centre (New York, 1966-72 y 73, Minoru Yamasaki, Emery Roth), el One shell Plaza Building (Houston, 1971, SOM), las



Torres Petronas (Kuala Lumpur, Malasia, 1994-98, Cesar Pelli), el John Hancock Centre (Chicago, 1966-69, SOM) y la Torre Sears (Chicago, 1974-76, SOM), imagen 5.



Imagen 5. Torres Petronas (Kuala Lumpur), John Hancock Center (Chicago)

5 Cierre

A lo largo de este tema hemos estudiado los edificios en altura, sus condicionantes de diseño y las tipologías en función del sistema estructural, de las que se han aportado ejemplos.

Se proponen las siguientes cuestiones:

1. Buscar ejemplos de edificios correspondientes a los diferentes tipos descritos en el texto, identificando los elementos que constituyen la estructura.

Algunos ejemplos: Harmony & Concord Blocks en Hong Kong (estructura de pantallas), BMW Headquarters en Munich (estructura de núcleo rígido), Crown Zellerbach Headquarters en San Francisco (estructura de pórticos), las Torres Marina en Chicago (combinación de pórticos y pantallas), el CBS Building en New York (tubo de hormigón) o el Banco de China en HongKong (tubo con celosía),

6 Bibliografía

6.1 Libros:

- [1] Basset, L.; Abdilla E. "Modelos estructurales y diseño estructural", Servicio de Publicaciones SPUPV-98.268, 1998.
- [2] Schueller W. "The Vertical Building Structure", Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [3] Schueller W. "High Rise Building Structures", Krieger, 1986

6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

- [1] <http://www.wikipedia.org>



6.3 Figuras e imàgenes:

Imagen 1. Flatiron Building. Autora: Luisa Basset.

Imagen 2. Banco de Bilbao. Depositada en Wikimedia commons para uso de dominio público. Disponible en:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torre_del_Banco_de_Bilbao_08.jpg

Imagen 3. Chrysler Building y Empire State Building, Autora: Luisa Basset

Imagen 4. Cheung Kong Centre. Depositada en Wikimedia commons para uso de dominio público. Disponible en:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cheung_Kong_center.jpg

Imagen 5. Torres Petronas y John Hancock Center. Depositadas en Wikimedia commons para uso de dominio público. Disponibles en:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:KLCC_twin_towers3.JPG

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Hancock_Center.jpg

Autor fotografía John Hancock Center: E.Kvelland