BECA DE INVESTIGACIÓN EN NUEVA YORK

FUNDACIÓN ARQUIA



PUENTES HACIA EL CIELO. LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA PLANTA, LA FACHADA Y LA ESTRUCTURA DE LOS RASCACIELOS

Dr. IZIS SALVADOR PINTO

ÍNDICE

1. Introducción 3

2. Objeto y ámbito del estudio 5

3. Marco teórico y conceptual 9

4. Objetivos 15

5. Metodología 16

6. Bibliografía 17

1. INTRODUCCIÓN

Nueva York es la ciudad de los primeros rascacielos, la ciudad víctima de esta tipología edificatoria con los ataques terroristas de las torres gemelas, y la ciudad ideal para estudiar y proponer el avance innovador de este tipo de edificio estructural. Por todo ello, pienso que el mejor modo de aprovechar una beca de investigación arquitectónica en Nueva York es proponiendo el estudio de la tipología edificatoria principal de la arquitectura americana, sus rascacielos.

Existen varios libros y publicaciones que tratan el tema de los rascacielos, sin embargo mi intención es estudiar los rascacielos desde un enfoque diferente, que pueda ayudar al progreso innovador de esta tipología arquitectónica. La planta y la fachada de los rascacielos están totalmente influenciadas por las diversas soluciones estructurales utilizadas en este tipo de edificio. Los avances tecnológicos y de materiales de nuestro tiempo deberían ser aplicados en los rascacielos modernos, al igual que los avances tecnológicos y de materiales de tiempo pasados fueron aplicados en los rascacielos del pasado. Sin embargo, el vidrio, el acero y el hormigón, siguen siendo los materiales dominantes en los rascacielos actuales, aun cuando existen nuevos materiales y sistemas estructurales que deberían aplicarse en los rascacielos de nuestro tiempo. Por ejemplo, el etileno-tetrafluoroetileno (ETFE) podría ser utilizado en las fachadas de futuros rascacielos.

Para llevar a cabo una investigación de este tipo, es importante tener experiencia en arquitectura, en ingeniería estructural y en ingeniería de fachadas, además de experiencia investigadora. Afortunadamente, mi ámbito de experiencia en estas áreas es amplio. Actualmente, me encuentro en Londres trabajando como *Senior Architect* en *Zaha Hadid Architects*. Previamente, he trabajado de ingeniera de fachadas en la

oficina en Londres de Buro Happold. He realizado un Máster de ingeniería en el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Valencia. Recientemente, gracias a la beca de Caja Madrid, he finalizado mi doctorado en estructuras plegables y móviles con cojines de ETFE en la Universidad de Westminster que está en proceso de publicación. Todo ello, me ayuda a proponer la presente investigación.

Mi intención es realizar esta investigación post-doctoral en Nueva York y publicar los resultados en revistas de impacto internacional, además de utilizar los conocimientos adquiridos para desarrollar mis propios diseños innovadores de rascacielos.

2. OBJETO Y ÁMBITO DEL ESTUDIO

Los rascacielos han sido extensamente estudiados en diversas investigaciones desde su aparición en el siglo XIX. Sin embargo, estamos sólo al principio de las posibilidades de este tipo estructural-arquitectónico. Nuevos avances hacen posibles nuevas configuraciones, diseños y mayores alturas.

Según Taranath (1997), un edificio alto es aquel cuyo diseño, construcción y uso presenta condiciones singulares como consecuencia de su altura. Según este criterio, tiene sentido que el primer edificio considerado como rascacielos, el *Home Insurance Building* diseñado por William Le Baron Jenney en Chicago, constara sólo de diez plantas ya que su construcción finalizó en 1885 y en aquella época esa altura se consideraba extraordinaria.

Hoy en día, el rascacielos más alto del mundo es el Burj Khalifa, diseñado por el arquitecto Adrian Smith y calculado por el ingeniero Bill Baker, ambos de Skidmore, Owings and Merrill (SOM).

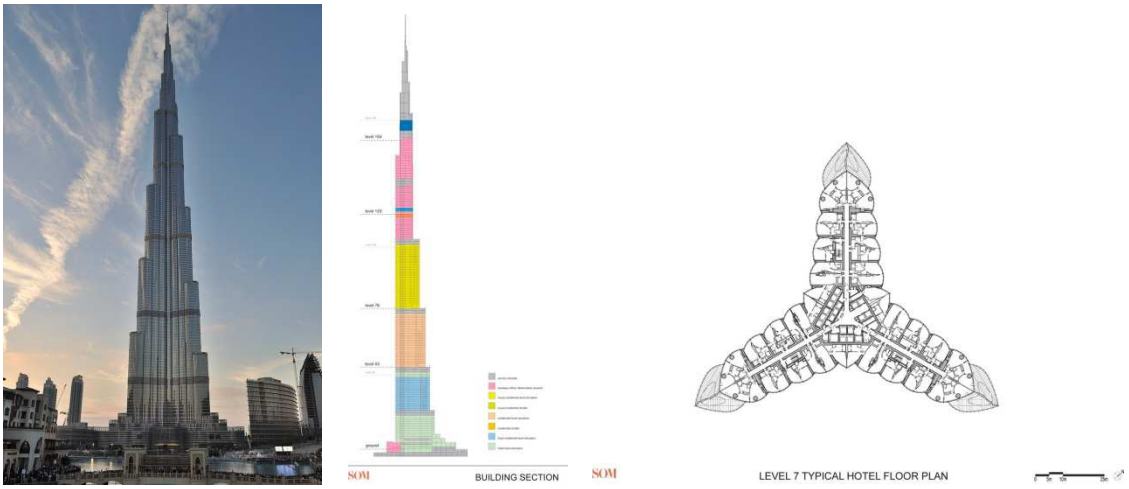

Fig.1 Burj Khalifa. SOM. Dubái, Los Emiratos Árabes Unidos. 2010.

El Burj Khalifa de Dubái, cuya construcción finalizo en el 2010, tiene una altura de 828 metros y consta de 163 plantas. El número de plantas se ha incrementado en 153 si realizamos una comparación con el primer rascacielos. En 125 años ha habido un gran progreso en el incremento de altura de los rascacielos, pero su diseño no parece haber evolucionado en la misma proporción. Las limitaciones técnicas en la construcción de edificios altos tienen una clara repercusión en las limitaciones observadas en su diseño. El desafío de nuestro tiempo no es sólo la altura de estos edificios, sino también su evolución en el diseño. Para ello, nuevos materiales pueden utilizarse en sus fachadas y nuevas distribuciones de plantas pueden sugerirse en función de nuevas soluciones estructurales.

The National Space Centre construido por *Grimshaw Architects* en el 2001 fue la primera torre con fachada de ETFE.

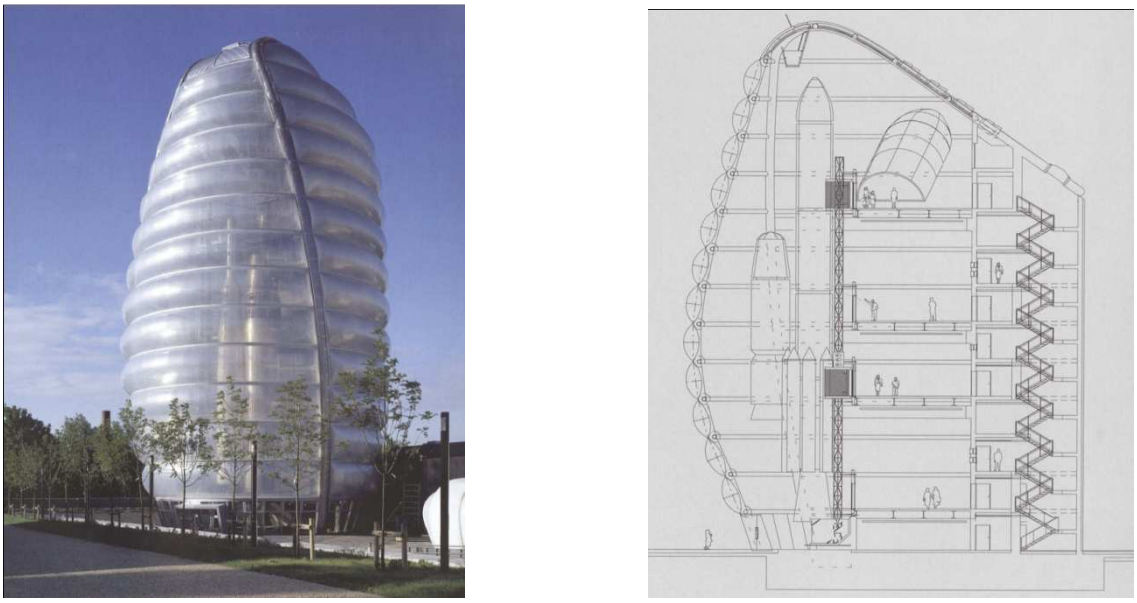

Fig.2 *El National Space Centre*. Nicholas Grimshaw. Leicester, Reino Unido. 2001

La torre consta de 42 metros de altura, exactamente la misma altura que el que es considerado el primer rascacielos, la torre de la *Home Insurance Company*.

Otro ejemplo de torre realizada con cojines de ETFE es el Centro de entretenimiento de Khan Shatyry, diseñado por Foster and Partners y construido en el 2008. El centro consta de 150 m de altura y 45 plantas.



Fig.3 Centro de entretenimiento de Khan Shatyry. Foster and partners. Astana, Kazakhstan. 2008.

Hoy en día no existen rascacielos con fachadas en ETFE. Según los criterios de altura, para considerar un edificio rascacielos, este tendría que tener un mínimo de 150 metros de altura. En el futuro, es muy probable que este material forme parte de las fachadas de los nuevos rascacielos. Como en tiempos pasados, es necesario investigación previa antes de realizar los grandes avances de nuestro tiempo. Mi intención es utilizar esta beca, para desarrollar las bases necesarias para el avance de este tipo de edificio.

Por otro lado, como investigadora interdisciplinar, pienso que sería interesante tener en cuenta principios de la biomimética que podrían ayudar al avance de los rascacielos. Como ejemplo, me gustaría mencionar el bambú. El estudio de la sección transversal de un tubo de bambú muestra que sus fibras están más condensadas en la parte exterior. Esto podría ser aplicado en el diseño y construcción de los rascacielos.



Fig.4 Bambú.

La beca de investigación de la Fundación Arquia a Nueva York es de 6 meses. Es un límite de tiempo que hay que tener en cuenta para decidir el objeto y ámbito del estudio. Mi intención es limitar la investigación a un cierto número de rascacielos del pasado, presente y futuro de Nueva York, haciendo referencia a rascacielos relevantes de otras ciudades sólo cuando esto sea estrictamente necesario. Esto es debido a que el corto plazo para completar la investigación no permite tener un espectro más amplio. Sin embargo, en futuras investigaciones se podría extender la investigación a nivel mundial. Tengo la intención de contactar personas relevantes en el tema que vivan en Nueva York ya que la beca es para dicha ciudad. Me gustaría contactar arquitectos, ingenieros estructurales, ingenieros de fachadas, profesores de universidades y expertos en biomimética, para tener una visión general de las posibilidades de innovación en este tipo de edificio estructural.

3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

La Universidad de Columbia, *Graduate School of Architecture, Planning and Preservation* (GSAPP) tiene un centro de investigación para el estudio de la arquitectura Americana (*Columbia University's Temple Hoyne Buell Center for the Study of American Architecture*). El objetivo de este centro es avanzar el estudio interdisciplinario de la arquitectura, el urbanismo y el paisajismo Americano. El catedrático director de este centro es Reinhold Martin, con el que me gustaría llevar a cabo mi investigación ´Puentes hacia el cielo. La relación existente entre la planta, la fachada y la estructura de los rascacielos´.

Es común la admiración que la altura de los rascacielos produce, aun cuando pocas veces somos conscientes de cómo es su distribución en planta. La planta de los rascacielos, depende de sus diversas soluciones estructurales. Podemos decir que existe una clara relación entre la fachada, la planta y la estructura de estos tipos de edificios.

Por ejemplo en el Burj Khalifa (ver figura 1), la estructura del edificio está compuesta por hormigón armado hasta la planta 156, 586 m de altura, y por acero desde la planta 156. Esto hace la estructura más ligera. La planta del edificio tiene un núcleo central y tres alas que sobresalen de este. Estas alas ascienden a distintas alturas, creando una reducción de la planta del edificio según se aproxima a su cúspide. Este diseño de las plantas del edificio, crea una escalera en caracol alrededor del rascacielos que contrarresta los fuertes vientos y las numerosas tormentas de arena de Dubái. La relación entre la planta, la fachada y la estructura del edificio crean un diseño efectivo demostrado en diversos estudios con túneles de viento.

Las alas terminan a una altura de más de 500 metros, exactamente donde se encuentra el último piso con instalaciones mecánicas del Burj Khalifa. A partir de esta zona, solo queda el núcleo del edificio que se subdivide hasta terminar en una antena.

De acuerdo a Stephen Bayley del *Daily Telegraph*, el Burj Khalifa de Dubái (actualmente el rascacielos más alto del mundo), está basado en el diseño de tubos inventado por Fazlur Rahman Khan.

´Khan invented a new way of building tall. [...] So Fazlur Khan created the unconventional skyscraper. Reversing the logic of the steel frame, he decided that the building's external envelope could – given enough trussing, framing and bracing – be the structure itself. This made buildings even lighter. The "bundled tube" meant buildings no longer need be boxlike in appearance: they could become sculpture. Khan's amazing insight – he was name-checked by Obama in his Cairo University speech last year – changed both the economics and the morphology of supertall buildings. And it made Burj Khalifa possible: proportionately, Burj employs perhaps half the steel that conservatively supports the Empire State Building. [...] Burj Khalifa is the ultimate expression of his audacious, lightweight design philosophy´ (Bayley, 2010).

´Khan inventó una nueva forma de construir alto. [...] En consecuencia, Fazlur Khan creó el rascacielos no convencional. Invirtiendo la lógica de las estructuras de acero, decidió que la fachada de los edificios podría - teniendo suficiente celosías, pórticos y arriostramiento - ser su propia estructura. Esto hizo que los edificios fueran aún más ligeros. Los "haces de tubos" significaron que los edificios ya no necesitaban tener forma de caja: podrían convertirse en esculturas. La increíble visión de Khan - que fue nombrado por Obama en su discurso de la Universidad de El Cairo el año pasado - ha cambiado tanto la economía como la morfología de los edificios extremadamente altos. Esto hizo posible el Burj Khalifa: proporcionalmente, el Burj emplea tal vez la mitad del acero que en un modo conservador utiliza el Empire State Building. [...] El Burj Khalifa es la máxima expresión de su audaz filosofía de diseño ligero´ (Bayley, 2010).

Fazlur Rahman Khan (1929-1982), fue un inventor de nuevos sistemas estructurales para rascacielos como por ejemplo los tubos, los haces de tubos y los tubos en celosía, un trabajador y posteriormente socio de Skidmore, Owings & Merryl (SOM), un pionero en la aplicación de nuevos materiales y un docente en la Escuela de Arquitectura del Illinois Institute of Technology. Los rascacielos actuales pueden ser construidos gracias a las investigaciones sobre rascacielos, los métodos de diseño y conceptos para el uso eficiente de los materiales en arquitectura que Khan inventó en el pasado. Hoy en día, es necesario continuar esa investigación para avanzar e innovar en la creación de rascacielos.

La figura 5 muestra dos gráficas que resumen parte de las conclusiones de las investigaciones que Khan realizó en 1974. Las tablas muestran los sistemas de rigidización en función de la altura del edificio para estructuras en acero y para estructuras en hormigón.

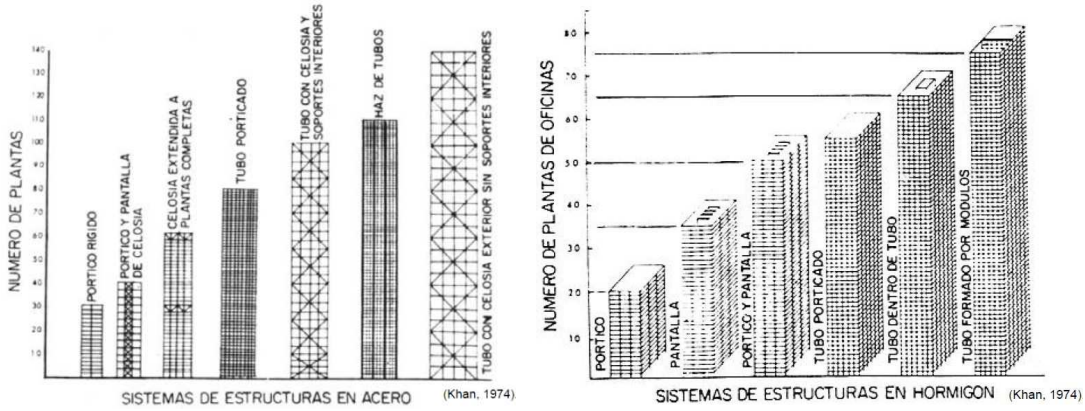

Fig.5 Sistemas de rigidización en función de la altura del edificio.

Khan explicaba su innovador sistema estructural para edificios altos sugiriendo que se podría optimizar la estructura de los rascacielos si se combinara el mínimo número de diagonales junto con vigas y pilares situados en la fachada del edificio. Según él, así se podrían construir un edificio de 100 plantas con un coste equivalente al de una estructura aporticada de 40 alturas.

Un ejemplo de la aplicación del sistema estructural innovador para rascacielos, basado en tubos en celosía, que el ingeniero estructural Khan hizo en colaboración con el arquitecto Bruce Graham, es el *John Hancock Center*. Este rascacielos es la primera torre de uso mixto del mundo.



Fig.6 *John Hancock Center*. SOM. Chicago, USA. 1969. 344 m.

A Khan le gustaba imaginar el recorrido de las fuerzas en los edificios que diseñaba para poder optimizar su estructura. El mismo explicaba su proceso de diseño del modo siguiente:

´When thinking design, I put myself in the place of a whole building, feeling every part. In my mind I visualize the stresses and twisting a building undergoes´ (Engineering News-Record, 1972).

'Cuando diseño, me pongo en el lugar de un edificio entero, sintiendo cada parte. En mi mente visualizo las tensiones y la torsión que un edificio soporta´ (Engineering News-Record, 1972).

Khan era un ingeniero preocupado por el avance constructivo, pero al mismo tiempo era un hombre polifacético y humano al que le gustaba disfrutar y aprender de lo que

le rodeaba. Su filosofía de vida sugería que los ingenieros necesitan una perspectiva más amplia de la vida que sólo la preocupación por aspectos técnicos. Los ingenieros necesitan un entendimiento más general de todo lo que les rodea. Khan expresaba este sentimiento del modo siguiente:

´The technical man must not be lost in his own technology; he must be able to appreciate life, and life is art, drama, music, and most importantly, people´ (Weingardt, 2011).

´El hombre técnico no debe perderse en su propia tecnología; Él debe ser capaz de apreciar la vida, y la vida es el arte, el teatro, la música, y lo más importante, la gente´ (Weingardt, 2011).

Otro ingeniero estructural conocido por su aportación al diseño de los rascacielos fue Leslie Earl Robertson (1928), hoy en día jubilado. Él fue el ingeniero estructural de las Torres Gemelas en el *World Trade Center* de Nueva York, inauguradas el 4 de abril de 1973. Las Torres Gemelas tenían 110 plantas y 412 metros de altura cada una.

Las Torres Gemelas fueron destruidas en los atentados terroristas del 11 de septiembre del 2001. Actualmente, el sitio está siendo reconstruido con seis nuevos rascacielos (WTC1, WTC2, WTC3, WTC4, WTC5, WTC7), un memorial a las víctimas de los ataques y una terminal de transporte.



Fig.7 Nuevo World Trade Center. Nueva York, USA.

El *One World Trade Center* (WTC 1) es el edificio principal del nuevo complejo, con un total de 104 plantas y 541 metros de altura. Es un rascacielos diseñado por David Childs (Skidmore, Owings and Merrill) y Daniel Libeskind. Este rascacielos fue inaugurado el 3 de noviembre del 2014. El World Trade Center 2 (WTC 2) diseñado por el arquitecto Bjarke Ingels, no será totalmente construido hasta que se realicen las licitaciones suficientes para hacer al edificio financieramente viable. El *World Trade Center 3* (WTC 3) diseñado por el arquitecto Richard Rogers, está en construcción y se espera su inauguración para el 2018. El *World Trade Center 4* (WTC 4) fue inaugurado el 13 de noviembre de 2013. El *World Trade Center 5* (WTC 5), será desarrollado por la Autoridad Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey. El *World Trade Center 7* (WTC 7), se inauguró en mayo de 2006.

Este es el marco teórico y conceptual de mi investigación. Mi intención es avanzar la investigación de los rascacielos teniendo en cuenta la influencia que su estructura tiene sobre su fachada y su planta. Pretendo estudiar los edificios construidos, en proceso de construcción y que serán construidos en el *World Trade Center* de Nueva York. También me gustaría proponer o analizar posibles sistemas constructivos para futuros rascacielos inspirándome en la metodología investigadora usada por Khan para optimizar la estructura de los rascacielos y conseguir nuevos diseños.

4. OBJETIVOS

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

- Análisis de la relación entre la estructura, la fachada y la planta de los rascacielos.

- Estudio y análisis de los rascacielos del *World Trade Center* de Nueva York.

- Propuesta de nuevos sistemas, principios constructivos o de diseño que pueden ser utilizados para crear los rascacielos del futuro.

5. METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación es cíclica y está basada en seis etapas. La primera es la recopilación e interpretación de la información existente relacionada con el tema de estudio. La segunda etapa es la selección de los casos de estudio. La intención es estudiar rascacielos relevantes de la ciudad de Nueva York. El tercer paso es la selección de personas a contactar. Esto está relacionado con los rascacielos elegidos para los casos de estudio. Lo más probable es que contacte gente en la firma SOM, Daniel Libeskind, Bjarke Ingels, Richard Rogers etc. ya que son los arquitectos e ingenieros de las nuevas torres en el Nuevo *World Trade Center* de Nueva York. También me gustaría contactar algún experto en biomimética que pueda ayudarme a sugerir principios biomiméticos que puedan usarse en los rascacielos del futuro. La etapa cuatro es la recolección de los datos que serán analizados en la etapa cinco. La última etapa son las conclusiones. Mi intención es publicar mi investigación en revistas científicas de impacto.

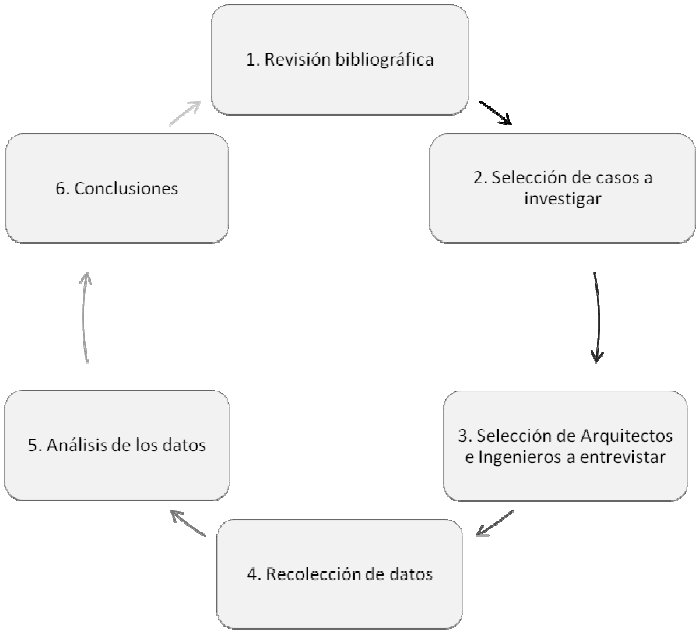

Fig.8 Diagrama mostrando las etapas de la investigación.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ali, M. (2001). “Art of the skycraper. The genius of Fazlur Kahn”. Ed. Rizzoli International Publications.

Baker, William F. (2001). "Structural Innovation". Tall Buildings and Urban Habitat: Cities in the Third Millennium. New York: Spon Press. pp. 481–493. ISBN 0-415-23241-4.

Bayley, Stephen (2010). "Burj Dubai: The new pinnacle of vanity". Telegraph (London).

Billington, D. P., (1983). "The tower and the bridge: the new art of structural engineering". New York: Princeton University Press.

Bussell, M., (2006). "The use of structural models in design. The Structural Engineer". Report on IStructE History Study Group meeting of 19 April.

Calavera, J. (1999). “Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón”. J. Calavera. Ed. Intemac.

Comisión Permanente del Hormigón (2003). “Guía de aplicación de la Instrucción de Hormigón Estructural en Edificacion”. Ed. Ministerio de Fomento.

Engel, H. (2001). “Sistemas de estructuras”. Ed. Gustavo Gili S.A. Barcelona.

Engineering News-Record, (1972). “Construction’s Man of the Year: Avant garde high-rise designer Fazlur R. Khan”, pp. 20-21.

Gruber, P., (2011). “Biomimetics. Materials, structures and processes : examples, ideas and case studies”. Heidelberg. Springer.

Gunel, M; Ilgin, E. (2007). “A proposal for the classification of structural systems of tall buildings”. Building and Environment, 42: 2667-2675.

LeCuyer, A., (2008). “ETFE: Technology and Design”. Birkhäuser.

Luebkeman, Chris H. (1996). "Special Studies in Building Structure: Pencil Towers and the History and Development of the High-Rise". University of Oregon. Archived from the original on 2012-06-26.

Macdonald, A.J., (2001). “Structure and Architecture”. Architectural Press. Second Edition.

Manterola,Armisén, J. (1985). “La estructura resistente de los edificios altos”. Informes de la Construcción, Vol. 37(371),

Martorano, L.; Aguirre, F. (1977). “Sistemas de rigidización de edificios de altura frente a acciones de viento y sismo”. Ed. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento.

Pinto, I.S., (2012). “Using a mixed methodology with a matrix iterative system for creating new structures”. Academic Journal of Science, vol. 1, number 03.

Regalado, F. (1999). “Breve introducción a las estructuras y sus mecanismos resistentes”. Ed. Cype Ingenieros S.A.

Tanno, S., (1997). “ETFE foil cushions as an alternative to glass for atriums and roof lights”. Bath, UK.

Taranath, B. (1997). “Steel, concrete and composite design of tall buidings”. Ed. MacGraw Hill Book Company.

Thompson, D., (1961). “On growth and form”. Cambridge University Press.

Torroja, E., (1991). “Razón y ser de los tipos estructurales”. Consejo Superior de Inverstigaciones Científicas. Instituto de Ciencias de la Construcción. Madrid.

Vincent, J., (2009). “Biomimetic Patterns in Architectural Design”. Architectural Design, 79(6), pp. 74.

Weingardt, Richard G. (2011). "Fazlur Rahman Khan". Structure Magazine: 44–46.