

GERDAU
CORSA
El futuro se moldea

TORRES DE GRAN ALTURA
EN LA ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA

M.I. Nina Casas Guzik

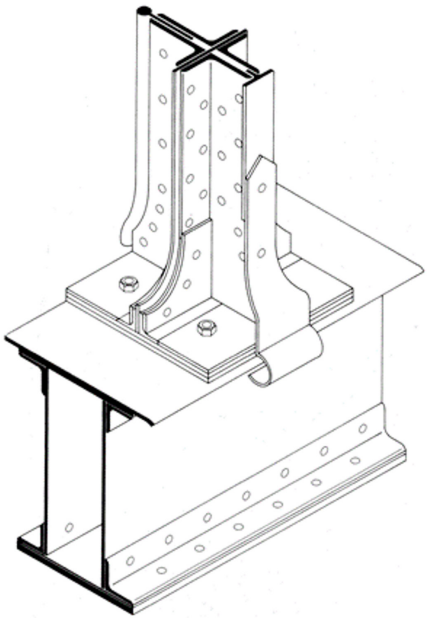
Gerdau Corsa. El futuro se moldea.

TORRES DE GRAN ALTURA EN LA ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA



ANTECEDENTES

Una de las primeras construcciones realizadas completamente con un esqueleto de hierro es la fábrica de chocolates en Noisiel de Jules Saulnier de 1872, que puede ser considerada una interpretación de un entramado de madera en hierro. La estructura de los muros exteriores descansa sobre un sistema de vigas de sección en cajón perimetrales que transmiten todas las solicitaciones a las cuatro pilas en la planta baja. Este edificio anticipa algunos de los elementos estructurales de la moderna construcción con esqueletos de acero como las vigas en cajón, los arriostramientos en la fachada o el marco rígido, todos elementos que permitirán el desarrollo de los futuros edificios de altura. El hierro fundido se inició y desarrolló como material de construcción en Europa, sin embargo, las posibilidades del acero se hicieron realidad en Estados Unidos.



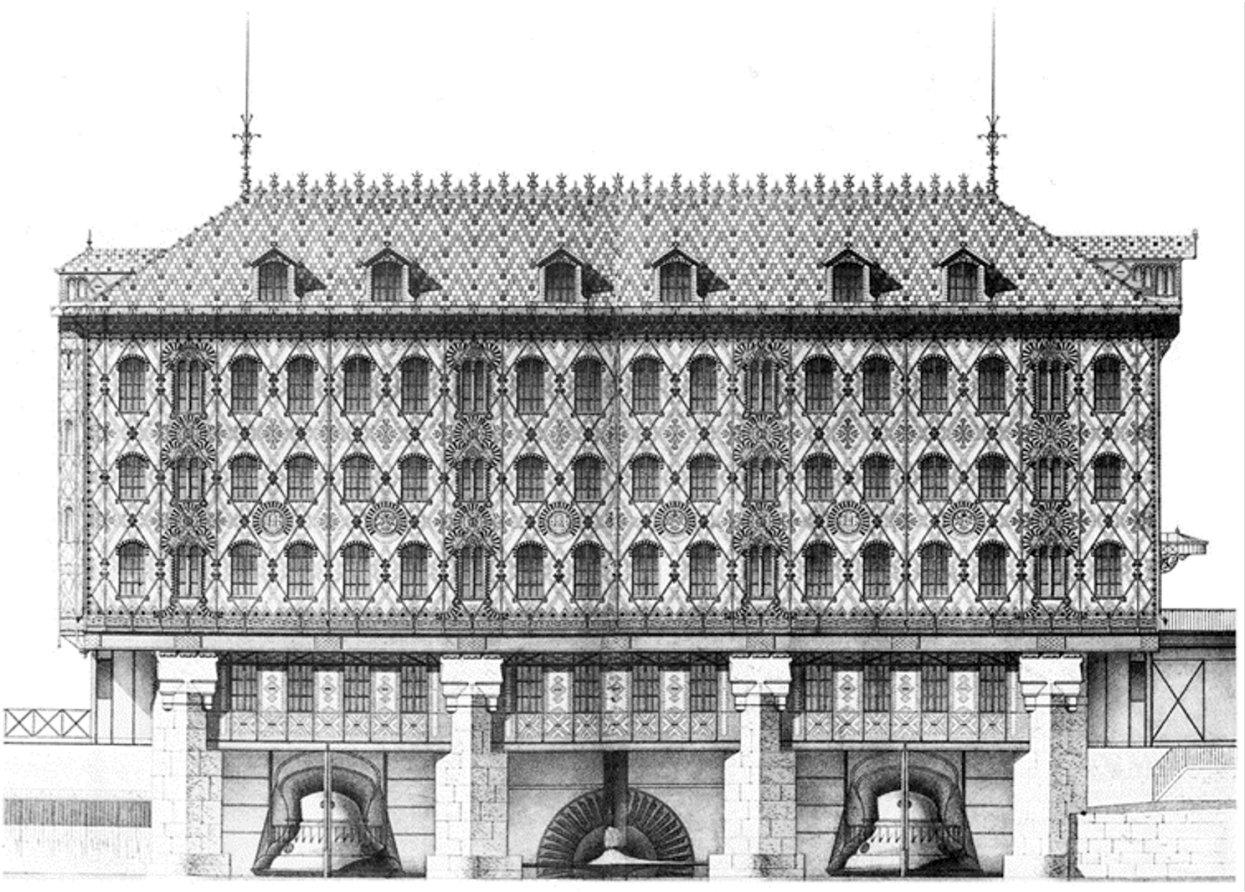


Figura 1. Fábrica de chocolates Menier, Jules Saulnier, Noisel Francia (1872)

ESCUELA DE CHICAGO

Durante gran parte del siglo XIX Chicago fue la ciudad con más crecimiento del mundo. Su posición geográfica tanto a medio camino entre la costa este y oeste, así como entre los Grandes Lagos y el Río Mississippi, la convirtieron rápidamente en el nodo ferroviario de Norteamérica. Más de 20 compañías ferrocarrileras tenían estaciones en Chicago. Grandes acereras nacieron alrededor de Chicago para proveer de materiales para los ferrocarriles.

El incendio de 1871 arrasó con las construcciones de madera, pero los patios de maniobras y las estaciones de ferrocarril sobrevivieron. De ellas nació la nueva ciudad hecha con acero y concreto sustituyendo a la madera. La rápida reconstrucción exigió la instalación de plantas de laminación que producían grandes cantidades de perfiles normalizados. El desarrollo de la industria del acero con nuevos y más perfeccionados sistemas de producción permitió un considerable aumento en la resistencia del material, dando como resultado estructuras con claros mayores y que podían soportar mayores cargas.

El marco rígido es un sistema estructural conformado por elementos que se unen entre sí por medio de conexiones rígidas, son capaces de resistir solicitaciones gravitacionales y horizontales. La unión fija de la columna y la viga hace que ambos elementos trabajen en conjunto con una mayor resistencia, pero sobre todo con más rigidez, que en este caso se mide como la capacidad de contrarrestar los desplazamientos horizontales. El sistema de marcos rígidos tiene como base la rigidez a flexión de los elementos



Figura 2. Chicago (dentro del círculo rojo en la imagen) fue el centro nodal de la enorme red ferroviaria a principios del siglo XX.

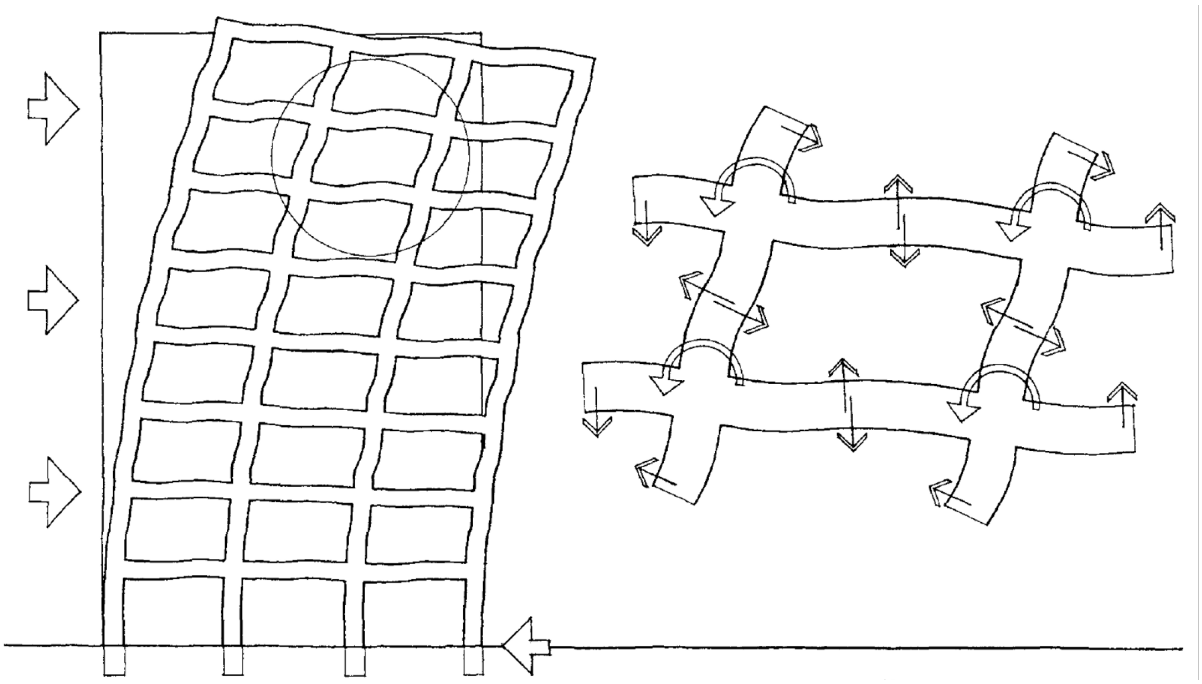


Figura 3. Mecanismo resistente del sistema de marcos rígidos (Heino Engel, 2003)

del marco (vigas y columnas) y la rigidez a flexión de los nodos. Cuando se deforman ante la acción de cargas laterales, se originan fuerzas cortantes en las columnas y momentos de giro en los nodos que se oponen a la deformación.

Sólo con la construcción en acero fue posible satisfacer las exigencias de un máximo aprovechamiento de los terrenos y de las superficies de los entrepisos en un ritmo de construcción acelerado. Treinta años después del incendio, Chicago era la quinta ciudad más grande del mundo.

Este rápido y revolucionario boom inmobiliario posibilitó la construcción del primer rascacielos por el ingeniero-arquitecto William Le Baron Jenney, quien terminó sus estudios en la Escuela Politécnica de París y construyó en 1885 el Home Insurance Building, con una estructura genuina compuesta por un esqueleto metálico con 12 plantas. Pese a estar recubierto con detalles clásicos, pone de manifiesto su forma de caja y retícula estructural de acero. Los revestimientos antincendios de la estructura fueron prefabricados en terracota. Tres años después, este edificio fue superado en altura por el Tacoma Building de Holabird y Roche.



Figura 4. Home Insurance, William Le Baron Jenney, Chicago EU (1884)

Los primeros edificios característicos de esta época fueron los destinados a firmas industriales, compañías de seguros, grandes hoteles y edificios donde se encontraban reunidas oficinas, teatro y hotel. Los edificios presentaron en su estructura tres partes principales: basamento utilizado como área pública, desarrollo, donde se realizaban actividades para las que estaba destinado el edificio y remate como elemento de cerramiento. El inicio de la construcción de rascacielos no hubiera sido factible sin el advenimiento del ascensor (1852), en particular del ascensor eléctrico (1880) y sin las innovaciones estructurales de la construcción con hierro y las nuevas instalaciones de teléfono y telegrama.

El movimiento de la Escuela de Chicago aportó, entre otros aspectos, la innovación en el diseño de esqueletos de hierro, la utilización de cimientos flotantes (debido a la baja compresibilidad del suelo en Chicago), la ventana extendida horizontalmente y la fusión entre arquitectura e ingeniería generando una expresión única. La Feria Mundial de Chicago (1893) marcó el final de una intensa actividad en la ciudad, así como la prohibición de edificios mayores de 46 metros en 1892.

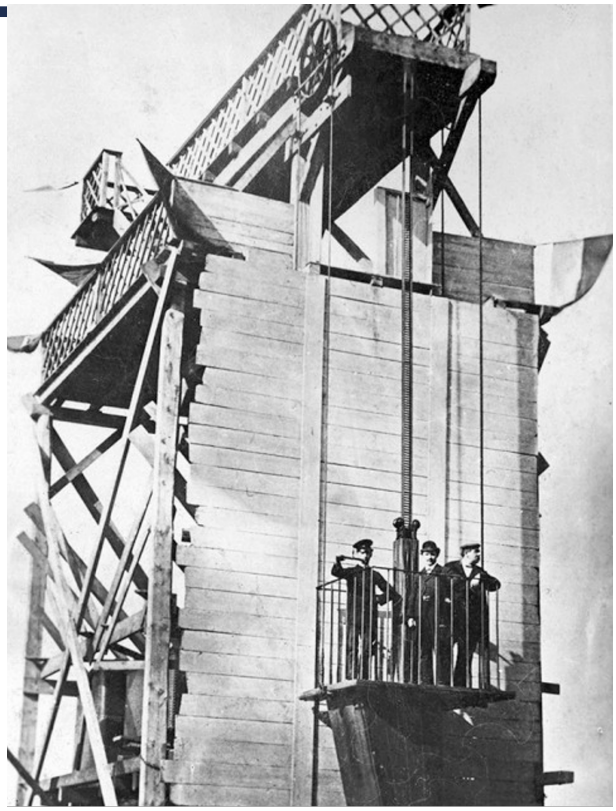


Figura 5. Primer elevador eléctrico desarrollado por Siemens en 1880.

SIGLO XX

Una segunda época de los rascacielos, con posterioridad al periodo ecléctico historicista se inició en los años 20 caracterizados por edificios como el Chrysler (313 metros) y el Empire State (383 metros) en los cuales cada vez se fortalecía más la expresión de la estructura en detrimento de la decoración que tendía a desaparecer.

Hasta principios de los 60's el sistema estructural que dominaba para los edificios de altura era el de marcos rígidos superpuestos, con sucesivas pruebas del mismo sistema y sin cambios significativos en la forma de la estructura. Pero durante la década de los sesenta se produjeron notables mejoras en los sistemas estructurales de los edificios de altura.

Otro novedoso grupo de la época está formado por los sistemas estructurales tubulares que permiten las mayores alturas hasta ahora construidas. La mayor eficiencia, en lo que se refiere a la repartición de las cargas debido a viento y terremotos en edificios de altura se obtiene realizando una estructura con forma de caja, con un amplio diámetro, en la cual son introducidos posteriormente rigidizaciones horizontales. Este sistema fue desarrollado por el arquitecto bangladeshí Fazlur Rahman Khan mientras trabajaba en la oficina de Chicago de la firma Skidmore, Owings & Merrill (SOM). El primer ejemplo construido fue la torre de 43 pisos DeWitt - Chestnut Apartment Building terminada en 1966. Este sistema, con los que le siguen, son los únicos económicamente sostenibles para la construcción de edificios en altura con más de 200 metros.

El principio fundamental del sistema estructural



Figura 6. Empire State, Schreve, Lamb y Harmon, New York EU (1931)

de tubos radica en que toda la caja actúe como una viga en voladizo resistente a esfuerzos cortantes, de compresión y de tensión. Todas las paredes exteriores se unen entre sí para formar una única carcaza vertical portante. El sistema tubular puede estar formado por marcos de tubos, placas de tubos y celosías de tubos.

Este sistema cuenta también con una variación en el sistema "tubo en tubo", en el cual se puede incrementar la eficiencia del sistema completo utilizando el núcleo como elemento portante. La estructura resultante es la de un tubo interior que aloja al núcleo y un tubo externo como fachada. En estos casos las losas unen ambos tubos permitiéndolos actuar como un sistema conjunto ante cargas laterales. Un buen ejemplo de este sistema fueron las desaparecidas torres gemelas del World Trade Center de Nueva York.

Otra posibilidad es el sistema de conjunto de tubos yuxtapuestos. Con sus 442 metros de altura, la Willis Tower de Chicago (108 plantas), construida en 1974, fue por un largo tiempo el edificio más alto del mundo. El tubo aparece aquí multiplicado, yuxtaponiéndose en 3 por 3 en cuadrados de 22.5 metros por lado, cada uno.

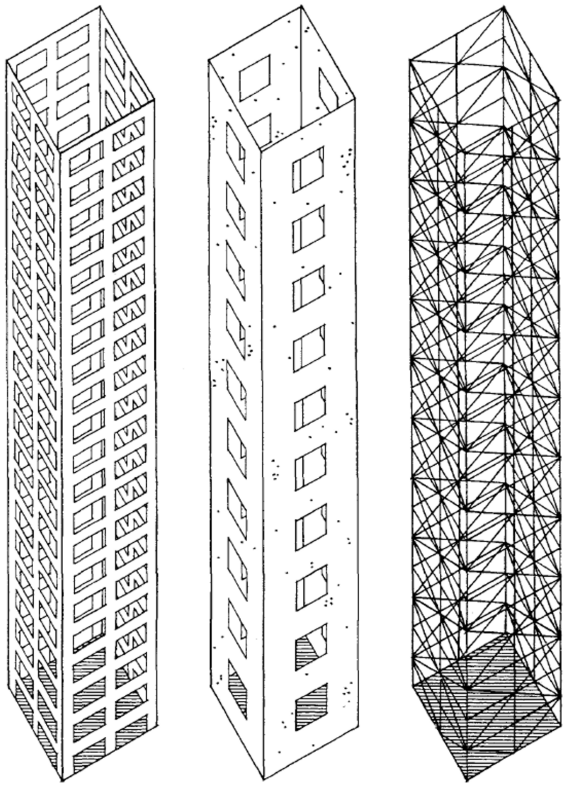
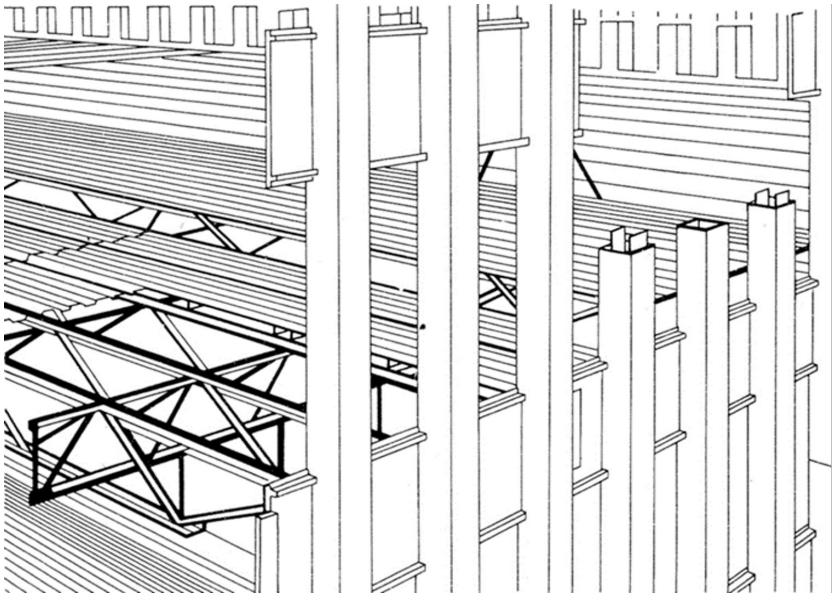


Figura 7. Estructuras típicas de tubos (Heino Engel, 2003)



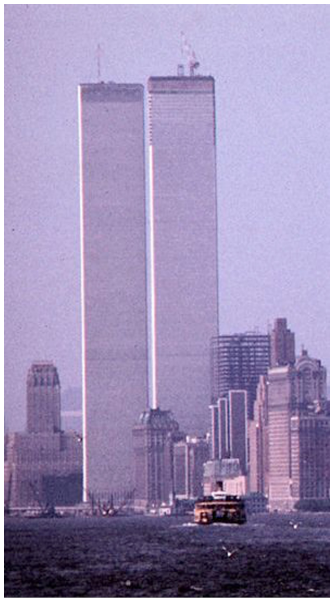
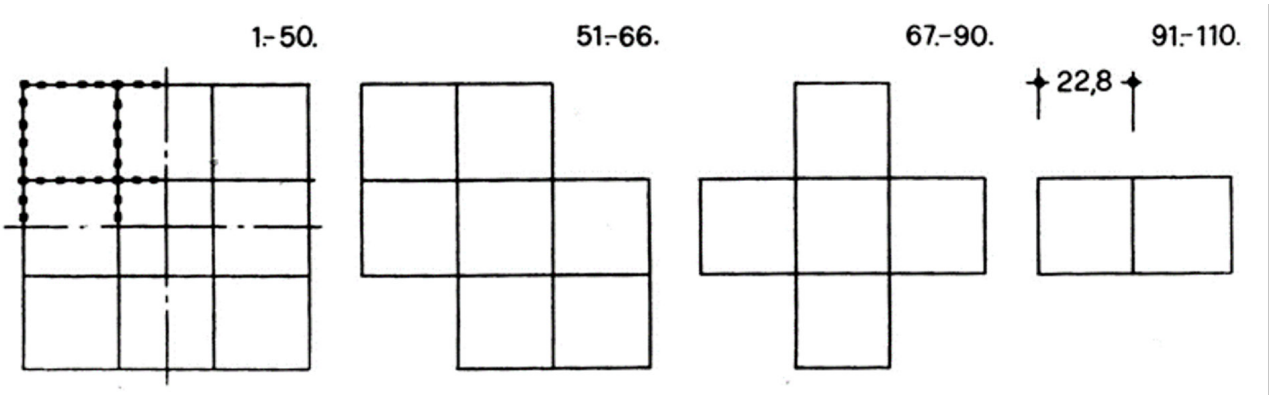


Figura 8. World Trade Center, Minoru Yamasaki, New York EU (1973)



Otra posibilidad es el sistema de conjunto de tubos yuxtapuestos. Con sus 442 metros de altura, la Willis Tower de Chicago (108 plantas), construida en 1974, fue por un largo tiempo el edificio más alto del mundo. El tubo aparece aquí multiplicado, yuxtaponiéndose en 3 por 3 en cuadrados de 22.5 metros por lado, cada uno.

La transmisión de cargas verticales también se puede lograr de forma indirecta con los rascacielos tipo puente. El objetivo de este sistema es tener plantas bajas libres, de tal forma que todas las cargas de los entrepisos se transmitan a columnas centrales o perimetrales que conduzcan las solicitaciones a la cimentación. Por lo general para lograr esto, se requiere un sistema adicional de mayor escala que se encargue de recoger las cargas totales a partir de una estructura básica independiente, que las reconduce (a manera de puente) para lograr grandes claros en la planta baja.

En 1972 Fazlur Kahn, ingeniero de las torres John Hancock y Willis, propuso una tabla, que se puede ver en la siguiente figura, en la que relacionaba la altura de los edificios con los sistemas estructurales en acero adecuados a utilizar.



Figura 9. Willis Tower, Skidmore, Owings & Merrill, Chicago EU (1974)

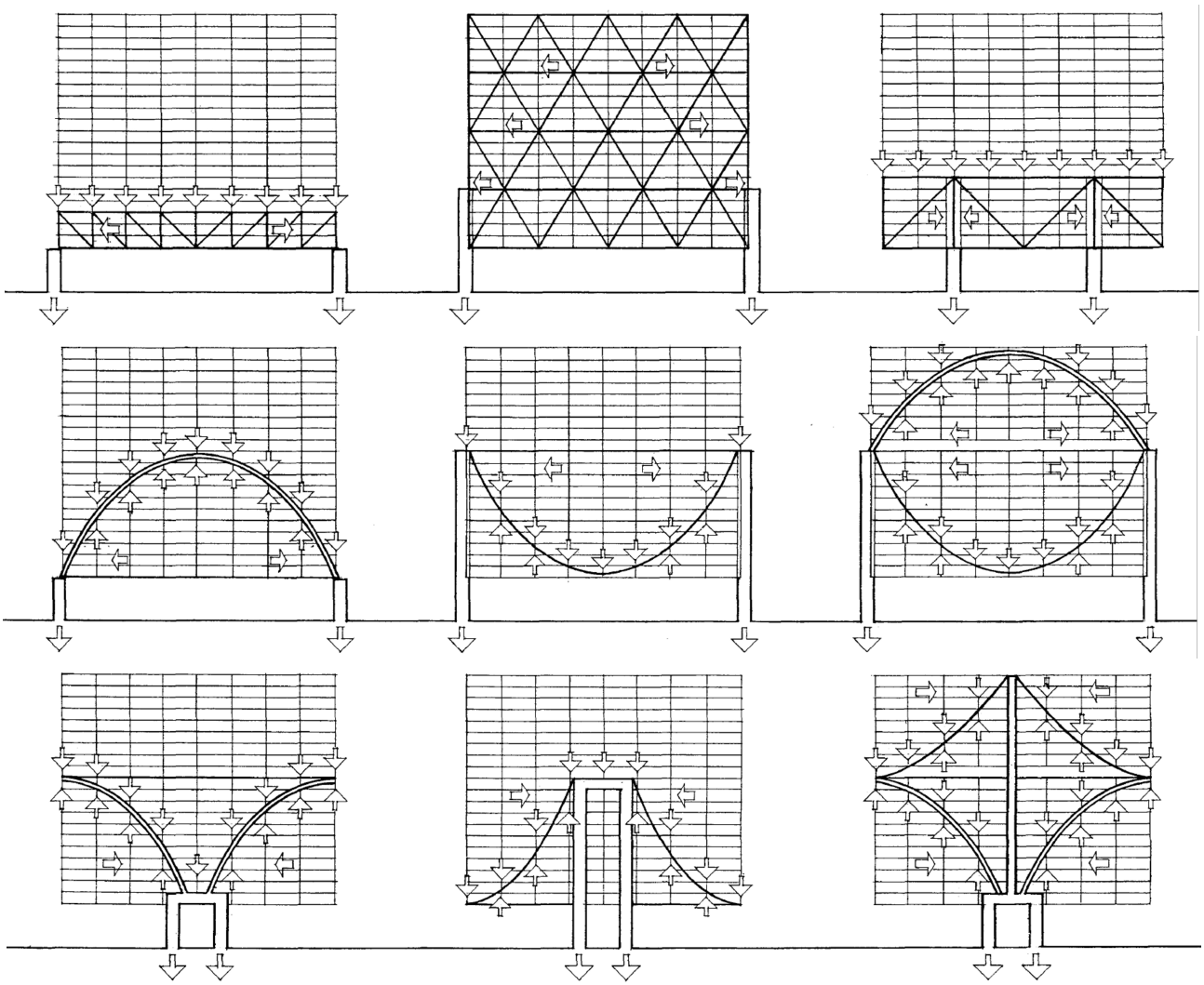


Figura 10. Estructuras típicas de rascacielos puente (Heino Engel, 2003).

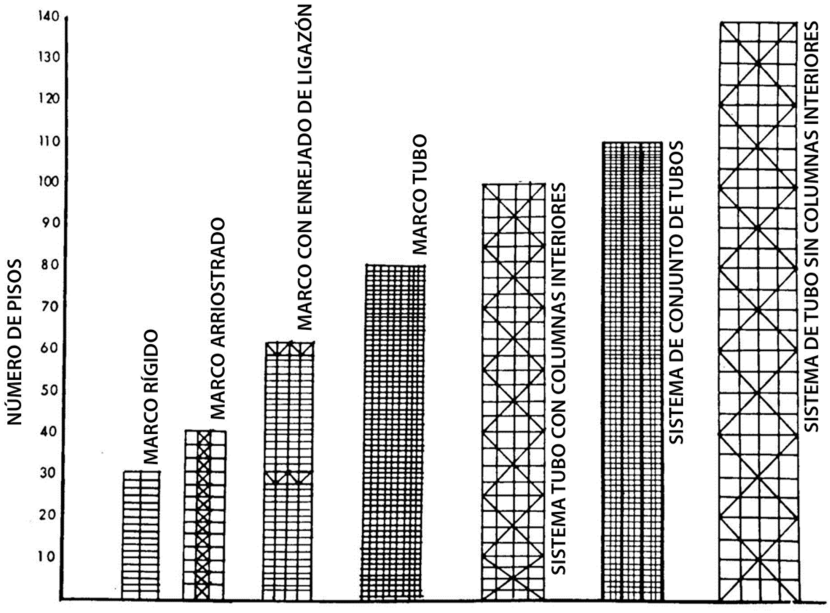


Figura 11. Altura de los edificios con los sistemas estructurales en acero (Fazlur Kahn)

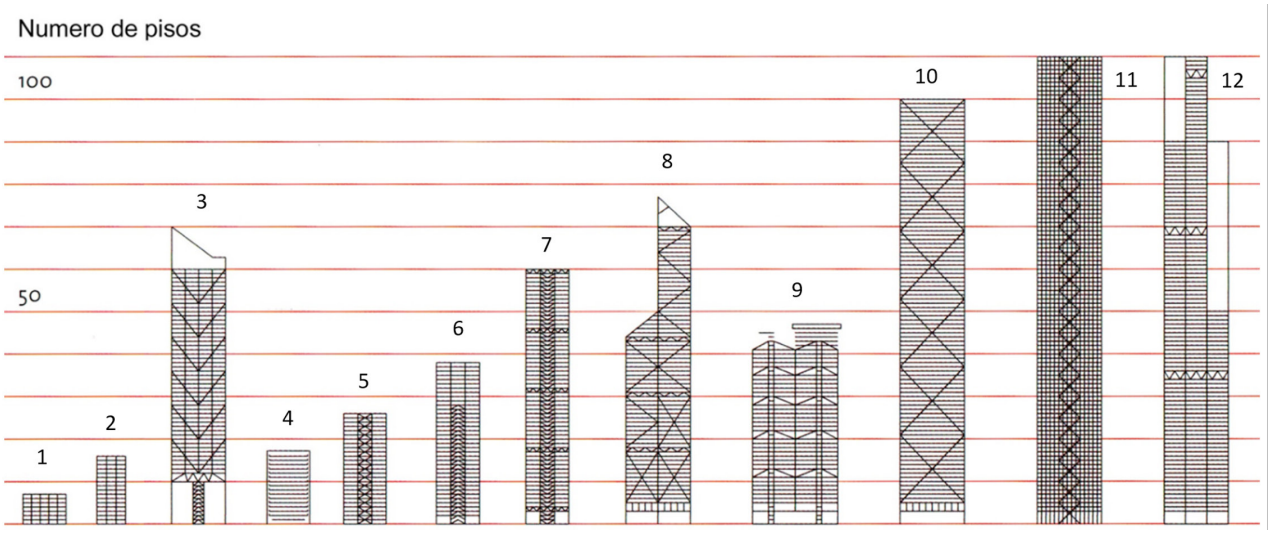


Figura 12. Línea de tiempo de los edificios de altura y sus sistemas estructurales:

1. Edificio First Leiter, William Le Baron (1879) marcos semirrígidos.
2. Edificio Reliance, Burnham y Root (1894) marcos rígidos.
3. Edificio Citycorp, Stubbins y asociados (1977) columnas y núcleo con arriostramientos diagonales en la fachada.
4. Edificio Schweizer National, marcos rígidos.
5. Edificio Lake Shore, Mies van der Rohe (1951), estructura de marcos con núcleo arriostrado.
6. Edificio Seagram, Mies van der Rohe (1958), estructura de marcos apuntalados.
7. Edificio del Chase Manhattan, núcleo con enrejado de ligazón a la fachada
8. Banco de China, Ieoh Ming Pei (1990) megaestructura.
9. Hong Kong and Shangai Bank, Norman Foster and Partners (1985) sistema suspendido
10. Torre John Hancock, SOM (1970) sistema tubular con arriostramientos diagonales.
11. World Trade Center, Minoru Yamasaki (1970) sistema tubular con núcleo.
12. Torre Willis (ex Sears), SOM (1974) sistema de conjunto de tubos.

SIGLO XXI

El sistema tubular con diagonales, también conocido como *diagrid* es una novedosa propuesta estructural de ingeniería y arquitectura para construir grandes edificios con armazones de acero basados en vigas y soportes ensamblados en diagonal. El concepto estructural es equivalente al sistema tubular, pero con la incorporación de grandes arriostramientos diagonales exteriores que vinculan las columnas exteriores, convirtiendo al sistema completo en una caja rígida.

Esta tridimensionalidad creada por la continuidad de diagonales contrasta con los sistemas de marcos bidimensionales dispuestos en dos direcciones en el cuerpo del edificio, utilizados desde los inicios de los edificios de altura, a fines del siglo XIX hasta finales de los años sesenta. El sistema tubular con diagonales es el elemento que confiere la resistencia ante las cargas laterales y el sistema de columnas interiores soporta las cargas gravitacionales. La ausencia de arriostramientos interiores o de otros elementos resistentes hace posible el uso flexible de cada una de las plantas con diferentes funciones (planta libre).



Figura 13. Hearts Tower, Foster + Partners, New York EU (2003)

Esta forma estructural requiere de menos material de soporte, por lo cual se ahorran costos monetarios, energéticos y de tiempo; e incluso se posibilitan mayores espacios cubiertos que en las edificaciones convencionales del siglo XX o épocas anteriores, ya que el sistema estructural es un exoesqueleto. Un ejemplo de ello fue la construcción de la Hearst Tower en Nueva York, que permitió, según los informes, un ahorro del 21% en acero.

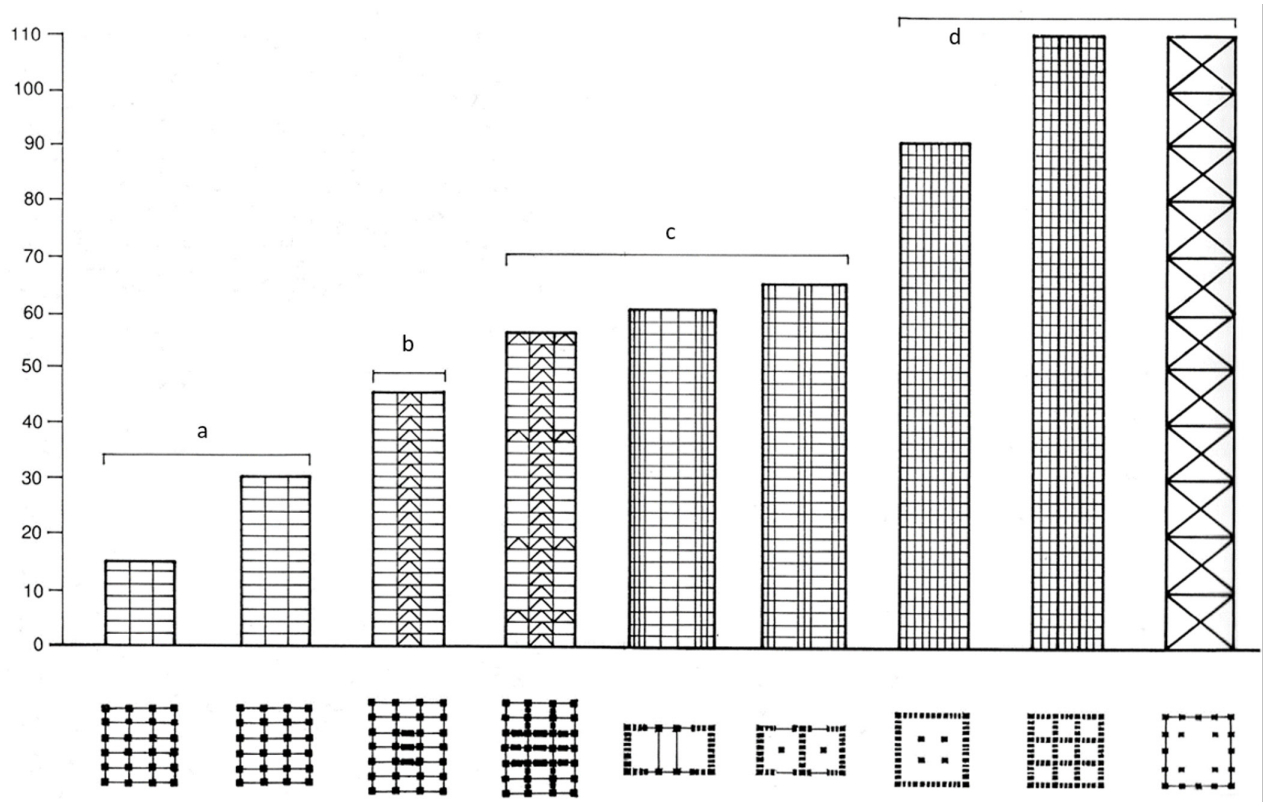
La tipología de las megaestructuras apunta a la concepción de un edificio con pocos elementos estructurales, columnas, vigas y diagonales, pero de gran dimensión, con lo cual se reduce el peso de la estructura de acero perimetral. Además, traspasa del núcleo a la estructura perimetral, mediante los enrejados de ligazón, un mayor porcentaje de las solicitaciones de corte y momento flexionante debido al viento y los sismos, reduciendo las exigencias del núcleo y por ende, su estructura y su peso.

A esta estructura primaria se le cuelgan y apoyan estructuras secundarias que dan cabida a los usos del edificio. Un ejemplo de este tipo de sistema estructural existe en el Shanghai World Financial Center con 492 m. de altura y terminado en 2008.



Figura 14. Shanghai World Financial Center, Kohn Pedersen Fox Associates, Shanghai China (2008)

Si observamos a lo largo de los últimos 100 años, los sistemas estructurales de los edificios de altura han evolucionado como se muestra en la siguiente imagen.



a. Estructuras de marcos rígidos
b. Estructuras mixtas de marcos con arriostramiento vertical y horizontal
c. Sistemas tubulares parciales y enrejado de ligazón
d. Sistemas tubulares



Figura 15. Shanghai World Financial Center, Kohn Pedersen Fox Associates, Shanghai China (2008)

REFERENCIAS

- David Bennett, Simon & Schuster (1995), *Skyscrapers: Form and Function.*
- Alan Blanc, Michael McEvoy y Roger Plank (1992), *Architecture and Construction in Steel, E & FN Spon.*
- Judith Dupré (2013), *Skyscrapers: A History of the World's Most Extraordinary Buildings-Revised and Updated. Hachette/Black Dog & Leventhal.* 2013 ed.: ISBN 978-1-57912-942-2.
- Johann Eisle, Ellen Kloft, ed. (2003), *High-Rise Manual. Typology and Design, Construction and Technology, Birkäuser.*
- Hart, Henn y Sontag (1976), *El Atlas de la construcción metálica. Casas de pisos,* Editorial Gustavo Gili.
- Landau, Sarah; Condit, Carl W. (1996), *Rise of the New York Skyscraper,* 1865–1913. Yale University Press.
- Adam, Robert (2014), *"How to Build Skyscrapers".* City Journal.
- Schulitz, Sobek, Habermann (1999), *Atlante deĺ 'Acciaio,* UTET.
- Van Leeuwen, Thomas A P (1988), *The Skyward Trend of Thought: The Metaphysics of the American Skyscraper,* Cambridge: MIT Press.
- Willis, Carol (1995), *Form Follows Finance: Skyscrapers and Skylines in New York and Chicago.* Princeton Architectural Press.

GERDAU
CORSA
El futuro se moldea

DIRECTORIO

OFICINAS CORPORATIVAS

T. +52 55 5262 7300 / Av. Ejército Nacional 216 P.2, Anzures, Miguel Hidalgo, CDMX, 11590

PLANTAS

CD. SAHAGÚN
T. +52 791 913 8105 / Km. 3 Ctra. Mex – Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco,Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

TULTITLÁN
T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

LA PRESA
T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. De México, 54187

DISTRIBUCIÓN

CDMX
T. +52 55 5089 8930 / Año 1857 8, Ticomán, Gustavo A. Madero, CDMX, 07330

MONTERREY
T. +52 81 8748 7610 / Blvd. Carlos Salinas de Gortari 404, Centro Apodaca, Nuevo León, 66600

PLANTAS RECICLADORAS SOSTENIBLES

CD. SAHAGÚN
T. +52 791 9138 105 / Km. 3 Ctra. Mex – Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

LA PRESA
T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. de México, 54187

LOS REYES
T. +52 55 5856 1651 / Tepozanes Los Reyes, Acaquilpan, México, 56428

GUADALAJARA
T. +52 33 3668 0285 / 36702769 / Av. 18 de Marzo 531, La Nogalera, Guadalajara, Jalisco, 44470

SAN JUAN
T. +52 55 2603 3275 / 5262 7359 / San Juan 675, Granjas Modernas, CDMX, 07460

TULTITLÁN
T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

VERACRUZ
T. +52 229 923 1359 / Ctra. Fed. Aluminio L. 7 o Camino Puente Roto Km. 1.5, Nuevo Veracruz, Veracruz, 91726

GERDAU CORSA

El futuro se moldea

gerdaucorsa.com.mx

Gerdau Corsa. El futuro se moldea