

A 12 AÑOS DE LOS SUCESOS DEL 11/9

Crónica de un atentado a la ingeniería (Parte I)

Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: evidaud@mail.imcyc.com

Ingrid N. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Doctorado en Ciencias.

Su correo electrónico es: ingrid@fco.uo.edu.cu

El WTC era un complejo de siete edificios que ocupaban una superficie de 930 mil m² en el Bajo Manhattan; uno de los distritos de la ciudad de Nueva York, considerado como uno de los centros más importantes del comercio mundial. Sobresalían en este complejo las imponentes Torres Gemelas (Foto 1); dos de los edificios rascacielos, hasta ese momento entre los más altos del mundo (se consideraban además, los más altos y con mayor cantidad de niveles de la ciudad de New York), destruidos este trágico día del año 2001.

En este artículo se revisarán en apretada síntesis los elementos más generales en torno a los antecedentes de este proyecto de ingeniería, su diseño arquitectónico y estructural, detalles del proceso de construcción del complejo y de las torres en particular, así como una referencia a los detalles ingenieriles, que de alguna manera, pudieron estar involucrados en el desarrollo del colapso.

La idea original del WTC surgió hacia 1946, cuando el entonces gobernador de Nueva York Thomas E. Dewey fue autorizado para comenzar el desarrollo de planes para el proyecto que fomentaría el desarrollo económico del bajo Manhattan, a la altura del centro de la ciudad.

EL PASADO 11 DE SEPTIEMBRE SE CUMPLIERON DOCE AÑOS DE LOS VIOLENTOS ATENTADOS AL WORLD TRADE CENTER (WTC, EN ESPAÑOL CENTRO MUNDIAL DE COMERCIO), EN LA CIUDAD NORTEAMERICANA DE NUEVA YORK.



Figura 1

Figura 2



Al fondo el World Trade Center con las Torres Gemelas antes del atentado terrorista del 11 de septiembre de 2001.



Fuente: <http://s185.photobucket.com/user/ScotRanger/media/NewYork-TwinTowers.jpg.html>

Leslie Robertson; uno de los baluartes del diseño estructural de las Torres Gemelas.



Fuente: www.njit.edu/academics/convocation/2007/index.php

Diseñado por el arquitecto estadounidense de origen japonés Minouru Yamasaki (1912-1986), el complejo del World Trade Center fue considerado durante décadas el símbolo del mundo financiero en Estados Unidos y Occidente. El diseño estructural estuvo bajo el liderazgo de los ingenieros estructuristas John Skilling y Leslie Robertson (Foto 2) de Worthington, Skilling, Helle & Jackson, y patrocinado por David Rockefeller; quien tuvo la idea original de construir el complejo, con el respaldo del entonces gobernador de Nueva York, su hermano Nelson Rockefeller.

El proyecto original vio la luz a principios de los años 1960, usando para el diseño estructural de las Torres Gemelas un sistema novedoso en el que gran parte de las columnas interiores se trasladaban al perímetro de la estructura conformando una armazón exterior; la que junto al núcleo y las vigas de suspensión soportaban las cargas de todo el edificio. Cada torre exhibía 110 plantas y unos 64 m de ancho; la primera en ser completada fue la torre norte en 1972 que tenía 526 m de altura, considerando la torre de telecomunicaciones, y luego, poco más de un año después, se terminó la torre sur en 1973, que contenía un mirador y que se edificó con 415 m de altura.

El WTC estaba compuesto además por otros edificios (Fig. 3): el Hotel Marriott (WTC 3) de 22 pisos, cuya construcción culminó en 1981; el WTC 4, el WTC 5, y el WTC 6; que se finalizaron entre 1972 y 1977, y por último el WTC 7 que fue construido en 1987. Todos estos edificios fueron construidos entre 1975 y 1985, con un costo cercano a los 400 millones de dólares. El complejo original contaba con un espacio total para oficinas de 1.24 millones de metros cuadrados.

Construidas para oficinas y comercios en el pleno "corazón" del distrito financiero de la ciudad de Nueva York (Fig. 4), las Torres Gemelas utilizaban la altura como principal atractivo, siendo considerados los edificios más altos del mundo entre los años 1972 y 1973; hasta la construcción del Willis Tower de Chicago. Ambas torres cubrían una superficie total en altura de 800 mil m². El proyecto tuvo un costo de 90 millones de dólares.

Los reportes de la época afirman que el 20 de septiembre de 1962 fue anunciada por la Autoridad Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey (sociedad de alcaldes que comandaba la construcción del WTC), la elección de Yamasaki como arquitecto principal, y Emery Roth & Sons como arquitectos asociados.

Yamasaki combinaba en sus proyectos la preocupación por la estética con la funcionalidad, e inicialmente ideó un proyecto que incorporaba al complejo las dos torres

Figura 3



Plano del complejo WTC original.

Fuente: Adaptado de: McAllister et al. http://es.wikipedia.org/wiki/World_Trade_Center

Figura 4

Vista panorámica de la isla de Manhattan, Nueva York, con las desaparecidas Torres Gemelas al fondo.



Fuente: Microsoft Encarta 2009.

gemelas con 80 plantas cada una. A fin de aumentar el área disponible para oficinas se fueron introduciendo una serie de modificaciones, hasta quedar el proyecto definitivo, el cual constituía un complejo financiero que albergaría las dos torres gemelas con 110 pisos cada una y algo más de 400 m de altura.

Dada la altura de las torres y el flujo de clientes en los edificios, debía crearse un sistema de elevadores que fueran lo suficientemente veloces para desplazar gran cantidad de personas en poco tiempo. Es con esta idea que Yamasaki concibe en el diseño una serie de vestíbulos entre los pisos 44 y 78 de cada torre. Estos vestíbulos permitían a los usuarios abordar ascensores expresos más veloces y que solo se detenían en determinados pisos; para aumentar así la eficiencia de los elevadores y disminuir considerablemente el tiempo de trayecto. En total se concibieron 99 elevadores en cada torre, y se considera que los más veloces realizaban el trayecto en tan solo 60 segundos, a una velocidad aproximada de 40 Km/h (cerca de 11 m/s).

El proyecto definitivo se revela al público el 18 de enero de 1964, cuyo proyecto arquitectónico concebía estrechas ventanas con un ancho de 45 cm en las oficinas; lo que para muchos era indicio de la intención de Yamasaki de ofrecer seguridad a los inquilinos dentro del edificio, al reducir la sensación de vértigo. Afirman quienes con él trabajaron que el propósito de estas ventanas era dar a los inquilinos una sensación de seguridad mientras miraban desde lo alto.

Al decir del propio Leslie Robertson, la lista de las innovaciones incorporadas al proyecto del World Trade Center sería muy extensa. Bastaría con describir a continuación lo que para este especialista fueron tan solo las ideas más innovadoras, concebidas y desarrolladas por su equipo.

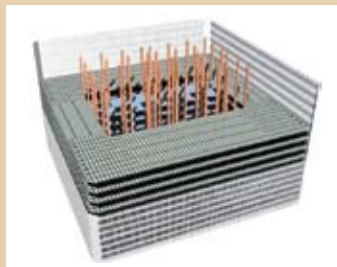
Las Torres Gemelas fueron los primeros edificios altos diseñados sin mampostería. El diseño de cada torre respondió al estilo moderno y contaba con fachadas revestidas con aleación de aluminio, las cuales se ensamblaban una a una a medida que las torres ganaban altura. Esta armazón de aluminio superpuesta a la estructura permitía la estanqueidad del edificio sin renunciar a la ventilación natural.

Diversas alternativas estructurales y arquitectónicas fueron estudiadas desde el principio. En la búsqueda y elección de un sistema estructural adecuado, se consideraron varios factores como la seguridad, el tiempo de ejecución, el desempeño y la economía. La solución final resultó entonces en una combinación de materiales como el concreto reforzado y el acero estructural, cada uno utilizado estratégicamente para optimizar sus ventajas.



Figura 5

Isométrico que ilustra la estructuración principal del sistema estructural de la superestructura de las Torres Gemelas. Tal y como se aprecia el sistema estructural vertical resistente se concentra hacia el centro, bordeando la zona de escaleras y de elevadores y hacia las fachadas de las construcciones.



Fuente: www.tms.org/pubs/journals/jom/0112/eagar/eagar-0112.html



Figura 6

Disposición de las columnas perimetrales y la estructura de piso de las Torres Gemelas.

Fuente:
http://911encyclopedia.com/wiki/index.php/World_Trade_Center_Floor_Structure



Para implementar el diseño de Yamasaki, se contrató a la compañía de ingeniería estructural Worthington, Skilling, Helle & Jackson; quienes de conjunto, desarrollaron para ambas torres la novedosa solución que implicaba el sistema de estructura tubular que se utilizó. Este sistema había sido introducido por el ingeniero y arquitecto Fazlur Raman Khan de Bangladesh (considerado el padre de los diseños tubulares para edificios altos), y suponía un nuevo enfoque del diseño estructural, que permitía plantas más abiertas y espaciosas; frente a los diseños tradicionales, que distribuían columnas por todo el espacio interior para soportar el peso del edificio.

Con este sistema, las fachadas constituían la estructura principal del edificio torre (Fig.5), reforzada por la estructura del núcleo central, en donde se ubicaron los elevadores, escaleras, espacios de aseos y otras instalaciones. Recorrían de arriba abajo cada una de las fachadas de las torres 59 columnas de acero en cada cara del edificio y separadas a un metro de distancia; asimismo, una malla de 48 pilares también de acero, separados entre sí a cinco metros, constituían el núcleo central del edificio.

Esta disposición estructural es la que permite conseguir locales para oficinas más abiertos, así como la rigidez que necesitaban las estructuras de las torres para absorber el impacto del viento, aspecto de notable importancia en el diseño estructural de un edificio rascacielos; afirman los especialistas que esta carga dinámica provocaba una oscilación del orden de los 20 cm, en lo alto de los edificios.

En el proyecto estructural de las torres del World Trade Center se utilizaron entonces resistentes columnas de acero perimetrales, formando el conocido entramado Vierendeel⁽¹⁾; a través del cual se distribuía la carga total del edificio utilizando uniones muy rígidas. Al encontrarse las columnas separadas unas de otras a muy poca distancia, formaban una estructura "de pared" resistente y al mismo tiempo rígida; capaz de soportar prácticamente todas las cargas laterales (como las del viento) y compartiendo la carga gravitatoria con las columnas centrales.

Esta estructura perimetral con las 59 columnas por cada lado de las torres, fue construida a base de piezas modulares prefabricadas de acero (Fig. 6); cada una compuesta de tres columnas y con tres pisos de altura, conectada por placas soldadas también de acero. Los módulos adyacentes se atornillaban entre sí mediante empalmes ubicados en los vanos de las columnas y en placas que fueron ubicadas al nivel de cada piso, transmitiendo el esfuerzo cortante entre columnas, y permitiendo a las mismas que trabajasen en conjunto para resistir las cargas laterales.

Las uniones entre módulos se dispusieron de forma escalonada en la dirección vertical; de modo que los empalmes de columnas entre módulos adyacentes no se encontraran en un mismo nivel.

Con un sistema estructural como este; en que la estructura de apoyo queda desplazada hacia los extremos y el centro del edificio, no hay necesidad alguna de utilizar paredes, ni columnas espaciales voluminosas dispuestas por toda la planta de cada piso; era entonces el sistema ideal para que en estos edificios torres, los clientes pudieran configurar a su gusto.

El centro de cada torre, también conocido como núcleo, quedaba entonces limitado a un área rectangular de 27 por 41 metros con una estructura mixta de acero y concreto. El espacio entre el perímetro y el núcleo, libre de columnas, fue segmentado verticalmente por vigas de piso también prefabricadas.

Los pisos soportaban su propio peso, al igual que las cargas vivas; ofreciendo suficiente estabilidad lateral a las paredes exteriores, y distribuyendo las cargas del viento entre los elementos del sistema vertical resistente del perímetro y del centro.

En la segunda parte de este escrito se describirá el sistema estructural usado en la construcción de las Torres Gemelas, y se comentará el desempeño de éstas ante el atentado. **C**

⁽¹⁾ La Viga Vierendeel es una viga con forma de celosía ortogonal inventada y patentada el 29 de mayo de 1897 por el ingeniero belga, Jules Arthur Vierendeel. Es una estructura de entramado denominada como de transición, pues permite salvar grandes claros. Se emplea en la construcción de puentes y en el de vigas especiales que deben cruzar grandes vanos en edificios.

La viga está formada por una serie de elementos horizontales y verticales rígidos, a modo de celosía ortogonal, que conecta los elementos superiores con los inferiores sin diagonales. Es pues una viga con estructura interna de celosía en forma de rectángulo. La viga Vierendeel se diferencia de las vigas de alma llena y de la viga reticulada, por la forma de absorber los esfuerzos de cortante.

Adaptado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Viga_Vierendeel

REFERENCIAS:

- http://911encyclopedia.com/wiki/index.php/World_Trade_Center_Floor_Structure, "World Trade Center Floor Structure", vista Septiembre, 2013.
- http://es.wikipedia.org/wiki/World_Trade_Center, "World Trade Center" vista Septiembre, 2013.
- <http://news.stanford.edu/news/2001/december5/wtc-125.html>, "Structural engineer describes collapse of the World Trade Center towers", Stanford Report, December 5, 2001.
- Microsoft Corporation, Microsoft Encarta 2009, 1993-2008.
- Robertson L. E., Entrevista en Punto de Encuentro, UPADI, Boletín mensual Agosto - Septiembre 2011, Año 3, No. 25.
- Robertson L. E., "Reflections on the World Trade Center". The Bridge, Vol. 32, No. 1. National Academic of Engineering, Spring 2002.
- Mc Allister, T.; Barnett, J.; Gross, J.; Hamburger, R y Magnusson, J., "9-11 Research". <http://911research.wtc7.net/mirrors/guardian2/wtc>