

Torres World Trade Center: impacto, incendio, evacuación y colapso

ITSEMAP Servicios Tecnológicos MAPFRE (*)

«Las torres funcionaron eficazmente en su autoprotección. Esto significa no sólo que las vías de evacuación a disposición de los ocupantes y de las cuales se conocen su número y características, se debieron utilizar adecuadamente sino que la formación y respuesta de los ocupantes y del personal de intervención (bomberos, policía, etc.) fue esencial para salvar la vida de muchas otras personas que pudieron haberla perdido en el ya fatídico 11 de septiembre de 2001»

Se puede afirmar sin ningún género de dudas que el atentado contra el World Trade Center de Nueva York ha sido el hecho más impactante desde el punto de vista social y económico de los últimos tiempos, y desde luego en lo que se refiere al seguro y reaseguro internacional. Como consecuencia de su significada importancia, está formando parte de nuestras vidas desde la mañana del 11 de septiembre. Cada

sector analiza y evalúa aún hoy sus consecuencias a corto y largo plazo. Es obligación de los ingenieros que nos dedicamos a la prevención y a la seguridad abstraernos de todas las demás connotaciones que suscita el atentado y analizar los hechos técnicamente, con objeto de contrastar informaciones y extraer conclusiones y experiencias válidas para el futuro. El presente artículo trata de adelantar las primeras

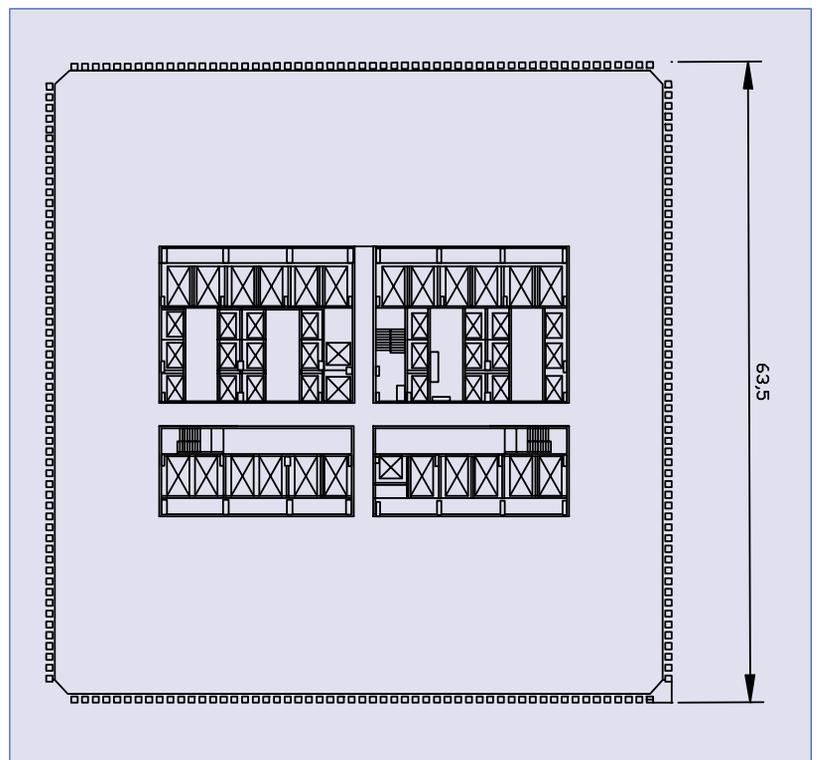


Figura 1: Planta tipo de cada una de las torres

(*) Artículo extracto del Estudio elaborado por la División de Seguridad de ITSEMAP STM.



conclusiones del estudio específico que ITSEMAP Servicios Tecnológicos MAPFRE está realizando a este respecto.

El objetivo fundamental de dicho estudio es el análisis técnico del comportamiento de las Torres Gemelas como EGA (Edificio de Gran Altura) en el ámbito de la *resistencia de los materiales* hasta el colapso de ambas estructuras, la *respuesta de los sistemas de PCI* y el análisis de la *capacidad de evacuación* de las torres.

Es importante tener presente que dado el carácter «emblemático» de las torres se cono-

cen con gran detalle los aspectos constructivos de las mismas: arquitectura, elementos estructurales, vías de evacuación, etc.

Por ello y de manera consciente no se incluyen en este artículo profusión de descripciones y cifras con objeto de no distraer la atención del lector.

ANÁLISIS DEL COLAPSO DE LAS TORRES

El análisis del colapso de las torres puede realizarse en las siguientes fases:

1.-Comportamiento estructural ante el impacto

En este ámbito y como datos de interés, hay que indicar que los valores relevantes para estimar la «energía» puesta en juego en el siniestro son:

Datos de la aeronave B-767

- Peso máximo: 179 T (incluye carga, pasaje y combustible)
- Combustible: keroseno de aviación (calor de combustión: 44,7 MJ/kg)
- Cantidad estimada en el impacto: 85.000 L
- Velocidad estimada en el impacto 300-400 km/h

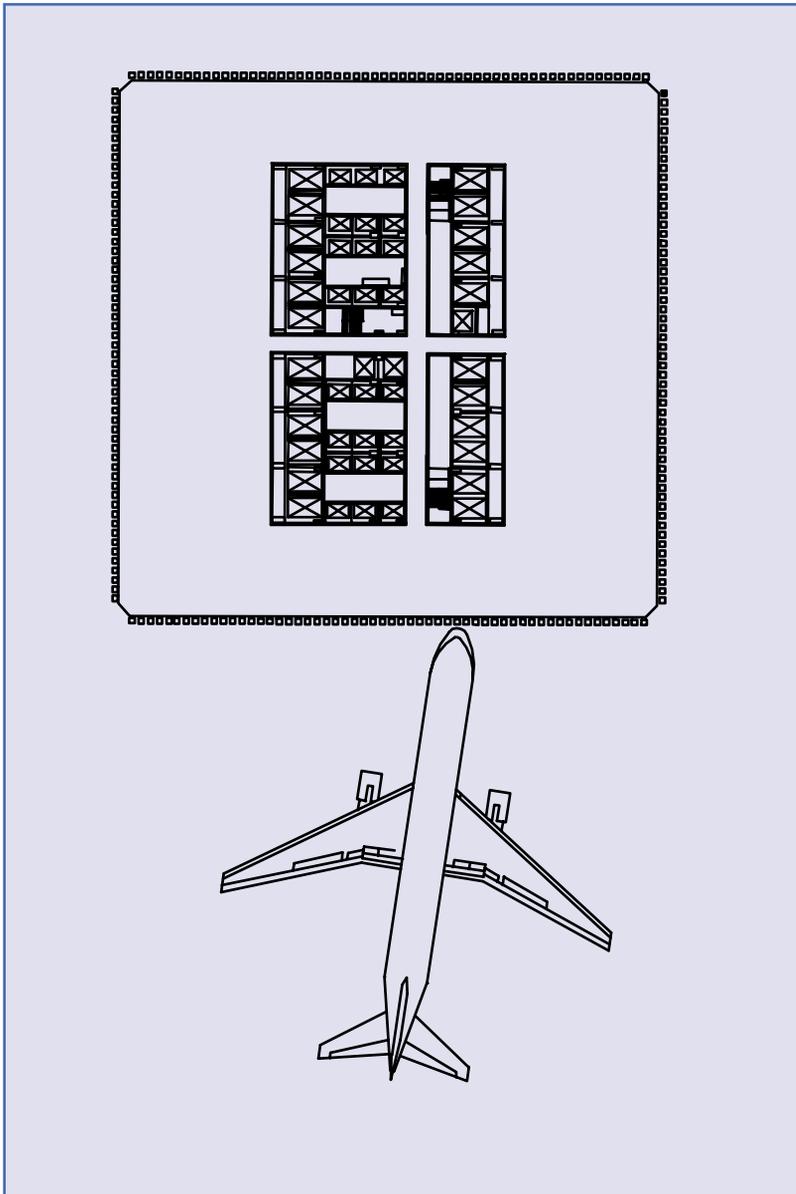


Figura 2. Ilustración comparativa de los tamaños del avión y de la planta de la torre.

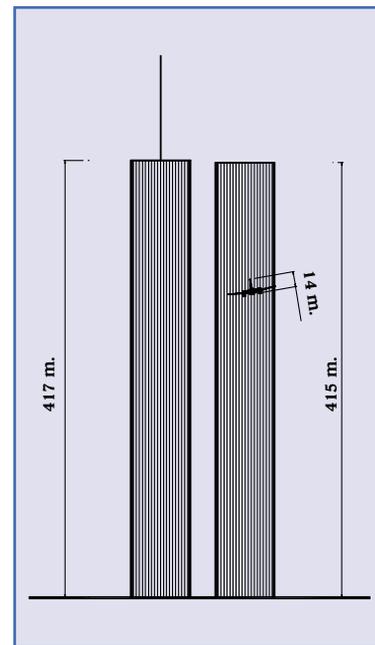


Figura 3. Alzado de la Torre Norte y la Torre Sur. Relación del avión que impactó en la Torre Sur (segundo impacto) respecto a las dimensiones de las torres. Dimensiones a escala.

Con estos valores se pueden calcular la energía cinética ($1/2 m \cdot v^2$) y la cantidad de movimiento ($m \cdot v$) de la aeronave como base para la estimación del esfuerzo cortante sobre una sección horizontal de la torre (F) y el momento flector en la base de la torre (F·h).

Se puede comprobar que estas cargas mecánicas son inferiores a las globales previstas en

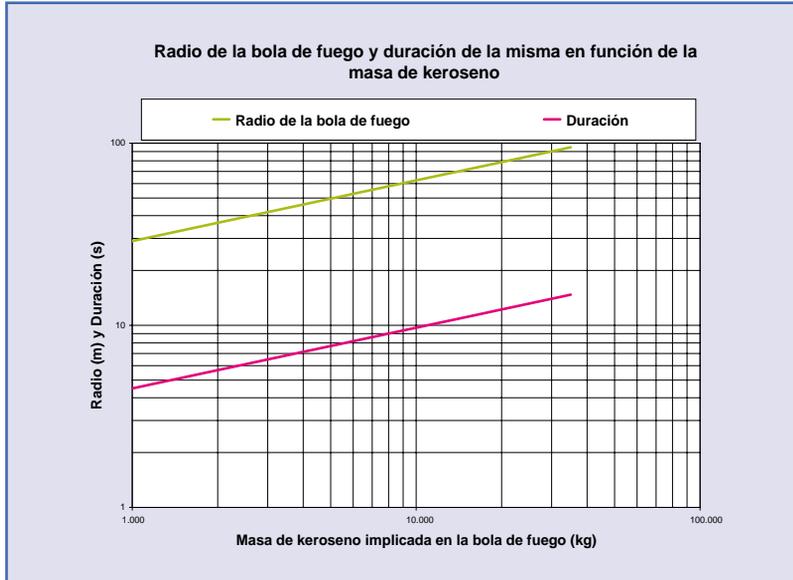


Figura 4: Caracterización de fireball.

el diseño del edificio para la carga de viento (320 km/h).

Puede establecerse pues que la energía mecánica del impacto fue absorbida por la estructura de los edificios a través de su deformación y fractura, lo que sin duda redujo la capacidad portante de la misma, aunque sin provocar su colapso.

Por la envergadura de los aviones (48 m) y las dimensiones de la torre (63 m de lado) puede estimarse que dicha reducción

en carga vertical (peso de las plantas superiores) sea en torno al 20-25%, lo cual, en ausencia de cargas externas significativas y una capacidad portante de la estructura perimetral independiente de la altura, justifica la estabilidad inicial de la estructura después del impacto.

2.-Comportamiento estructural ante el incendio

La estructura de las torres contaba con una protección

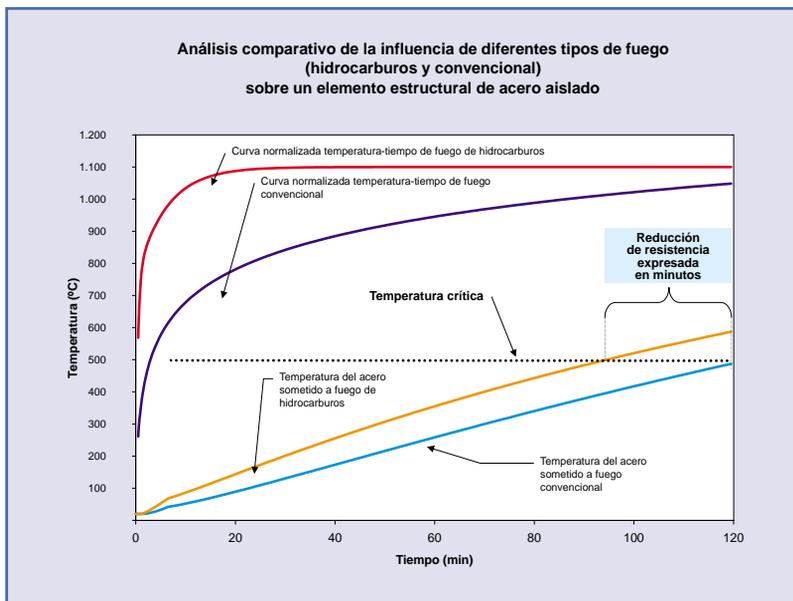


Figura 5: Comparativa de curvas normalizadas de incendios de hidrocarburos frente al incendio «convencional»

contra el fuego de manera que garantizaba el mantenimiento de sus características mecánicas ante un incendio «tipo» durante dos horas (EF-120 min).

La «Estabilidad al Fuego de la Estructura» (EF), se refiere a la capacidad de desempeñar la función portante para caso de incendio «tipo» sobre la hipótesis de una evolución temperatura tiempo «normalizada». Esto significaría que la estructura de las torres hubiera «resistido» más de dos horas en un incendio generalizado de combustibles «tipo».

No obstante, los incendios que afectaron a las torres tuvieron lugar en dos fases:

- *Incendio «cuasi instantáneo»*, materializado en lo que se conoce como *fireball* (bola de fuego), de manera que se produce un incendio de gran intensidad por efecto de la dispersión del combustible del avión provocada por el impacto junto con la expansión de los gases provocada por la propia combustión del hidrocarburo. Este hecho tiene una duración limitada, que se estima, a partir de las conocidas imágenes de vídeo, en unos diez segundos. Como se observa en la Figura 4, intervino en este fenómeno una masa de keroseno de aproximadamente 10.000 kilos en cada impacto.

- *Incendio estacionario* de la masa residual de combustible no consumida en la fase anterior.

Dada su mayor duración, en esta fase se produce el debilitamiento de la estructura que provoca su colapso. Es de reseñar que el incendio de hidrocarburos como el keroseno de aviación supone someter a la estructura a unas condiciones notablemente más severas que el incendio «tipo» para el que se diseñan las protecciones ignífugas.

Un análisis exhaustivo permite predecir la reducción de la capacidad portante de una estructura en función del tiempo para un determinado incendio.

Ello justificaría la diferencia de tiempos hasta el colapso entre ambos edificios, ya que tan-



to los daños estructurales del impacto y la reducción de la capacidad portante residual «en frío», como los efectos de los incendios pueden considerarse análogos. Así, aquella torre cuya estructura dañada tuvo que soportar mayor carga como consecuencia de producirse el impacto a menor altura (Torre Sur) resistió durante menos tiempo (54 minutos frente a una hora y 40 minutos).

3.-Comportamiento estructural ante el fallo de las plantas afectadas por el incendio

El fallo estructural anteriormente justificado supuso la «caída» de la parte de la torre situada por encima del incendio, una altura equivalente a cuatro o cinco plantas (15-17 metros). De esta manera la energía potencial (m·g·h) supondría sobre las plantas inferiores a las afectadas por incendio, una carga del orden de decenas de veces su peso estático, notablemente superiores a las calculadas en el diseño de las torres, lo cual provocó su colapso total.

La energía potencial acumulada del total de las plantas fue finalmente liberada produciendo la onda de presión y polvo que afectó a varias manzanas alrededor del World Trade Center.

CONSIDERACIONES ACERCA DEL FUNCIONAMIENTO Y EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Las torres, como está contemplado en la práctica totalidad de las reglamentaciones y estándares sobre PCI en EGA, disponían de sistemas automáticos de rociadores diseñados para controlar incendios en fases avanzadas, calculados para aplicar una determinada «densidad de descarga» (litros por minuto y por metro cuadrado) de agua en un «área de operación»

para el «tipo de actividad» previsto. Esto significa que estos sistemas convencionales están diseñados para controlar un incendio desde su inicio en un área máxima afectada de aproximadamente 200 m² para este tipo de riesgo, y garantizar su control.

No obstante, tanto las características cualitativas y cuantitativas del combustible aportado como la magnitud de la superficie afectada por los incendios de ambas torres como consecuencia del derrame tras el impacto inicial, excedieron notablemente los supuestos de diseño.

Por otro lado aunque se hubieran sobredimensionado los sistemas para hacer frente a incendios de estas características, aparte de los condicionantes de viabilidad técnico-económica, los daños mecánicos derivados de impacto los habrían inutilizado.

CONSIDERACIONES ACERCA DE LA EVACUACIÓN DE LAS TORRES

Como es perfectamente conocido el primer Boeing impactó en la Torre Norte entre los niveles 103 y 96 a las 8.48 horas y ésta colapsó a las 10.28. Es decir, la Torre Norte permaneció estable una hora y 40 minutos.

El segundo Boeing impactó a las 9.06 horas en la Torre Sur entre el nivel 73 y el 77. La Torre Sur colapsó a las 10.00 horas. Esta torre permaneció estable 54 minutos y, dada la proximidad y magnitud de lo que estaba ocurriendo en la Torre Norte, se puede hipotetizar que el personal responsable de seguridad ya se encontraba «en alerta» en el momento del impacto.

Con todo este análisis, en la Torre Norte parece obvio suponer un 100% de pérdidas de vidas desde la planta 96 hasta la 110. A partir del impacto del avión, los ocupantes de la torre comienzan a reaccionar. Recordemos que esta torre permaneció estable una hora y 40 minutos.

Por el contrario en la Torre Sur se dispuso de 18 minutos de prealerta en la que hay que considerar los tiempos de identificación de la situación (sin duda absolutamente imprevista) y de respuesta a la evacuación. Sin embargo, a diferencia de la Torre Norte, ésta sufrió el impacto entre el nivel 73 y el 77 —es decir, en 37 pisos resultó imposible la evacuación—, 18 minutos después del impacto del primer avión y a partir de ese momento permaneció estable una hora.

Realicemos una primera hipótesis de cálculos de evacuación atendiendo a los datos de estimación de dos tercios del total (22.500 personas por torre aproximadamente) a la hora de los hechos, para las siguientes situaciones por torre:

- Escaleras utilizables: tres (dos de un metro de anchura y otra de 1,2 metros)
- Tipo: «especialmente protegidas»
- Flujo tipo: 1,2 personas por segundo y metro de ancho
- Ascensores «no utilizables» (hipótesis conservadora)

Para estos supuestos el tiempo mínimo de salida del total de ocupantes de edificio sería de 65 minutos.

Sin lugar a dudas y según las últimas cifras oficiales de fallecidos y desaparecidos, y teniendo en cuenta las condiciones de ocupación y tiempos anteriores, se concluye que las Torres funcionaron eficazmente en su autoprotección. Esto significa no sólo que se debieron utilizar adecuadamente las vías de evacuación a disposición de los ocupantes y de las cuales se conocen su número y características, sino que la formación y respuesta de los ocupantes y del personal de intervención (bomberos, policía, etc.) fue esencial para salvar la vida de muchas otras personas que pudieron haberla perdido en el ya fatídico 11 de septiembre de 2001. ■