

Ricardo Aroca Hernández-Ros    Doctor Arquitecto    [www.arocaarquitectos.com](http://www.arocaarquitectos.com)  
C/ Rafael Calvo nº9, 28010 Madrid 914482505    [estudio@arocaarquitectos.com](mailto:estudio@arocaarquitectos.com)

Título **Arde Manhattan. El desplome de las Torres Gemelas: razones estructurales**  
Autores Ricardo Aroca  
Medio Arquitectura Viva. Número 79-80  
Fecha Julio-Octubre 2001

# Arde Manhattan

## El desplome de las Torres Gemelas: razones estructurales

Ricardo Aroca

De la parte superior de la torre 1, a la altura del piso 100, brotaba una densa humareda, y mientras en el telediario contaban que no sabían qué había pasado, un reactor bimotor (la locutora decía que era una avioneta) impactaba en la fachada sur de la torre 2, a la altura del piso 80, y parecía atravesarla limpiamente.

Los edificios permanecían milagrosamente en pie, pero casi una hora después del segundo impacto, la parte superior de la torre 2 se inclinaba ligeramente y luego caía a plomo, desmoronándose el edificio completo. Media hora más tarde, la torre 1 se deshacía a su vez; la gran antena de su cubierta se hundía majestuosamente en vertical, recordando, a la inversa, la imagen del lanzamiento de un satélite. Transcurridas siete horas, el edificio 7, de sólo 40 plantas, el único del complejo no aplastado por las dos torres, corría la misma suerte.

Más de 5.000 desaparecidos, sin supervivientes bajo los escombros, constituyen la parte humana de la tragedia, escenificada en directo por televisión como un gran espectáculo, en cierto modo irreal, no sólo porque los realizadores nos ahorraron las escenas sangrientas, sino porque algunos extremos de lo que sucedía no se ajustaban al guión de las películas de catástrofes que, paradójicamente, son las que han formado nuestras expectativas sobre lo que sucede en estos casos:

Las torres no se caían, ni siquiera aparentaban moverse tras el impacto. Cuando los telespectadores y desgraciadamente también los equipos de rescate pensaban que lo peor había pasado, una hora después del segundo impacto, la torre 2 caía casi en vertical, sin previo aviso. Veinte minutos después la torre 1, afectada sólo en las plantas superiores, se deshacía de forma aún más vertical, como en una 'voladura controlada' (nuestra única experiencia real de cómo se hunden los edificios altos).

Sin más datos que un cierto conocimiento de los edificios y su sistema estructural, y acudiendo a unas nociones de física elemental, es posible encontrar una explicación a lo sucedido (siempre es más fácil explicar lo que ha pasado que predecir lo que va a pasar):

El avión impacta contra la torre 2 produciendo una bola de fuego; y parece atravesarla abriendo una enorme brecha en la fachada. La torre no parece moverse e inmediatamente se produce un incendio en varias plantas (en el caso de la torre 1 debió ser similar).

Para objetivar los hechos pueden ayudar algunos datos:

1. Un avión como los implicados en el atentado tiene una masa de unas 200 toneladas y podía ir, a baja altura, entre 300 y 400 km/h, es decir unos 100 m. por segundo. Llevaban gran cantidad de queroseno (unos 50.000 litros), necesario para llegar a California.

2. La estructura de los aviones comerciales (salvo el Concorde) es de aluminio, cuya densidad, resistencia y rigidez son alrededor de la tercera parte de las del acero.

3. Cada planta de las torres tenía una masa de más de 2.500 toneladas y cada torre unas 300.000 toneladas.

4. La estructura vertical de las torres consistía en un tubo de acero perimetral formado por pilares muy próximos entre sí y vigas cortas, que soportaba la mayor parte del peso y resistía la acción del viento, más un núcleo central de escaleras, ascensores y servicios.

5. Un *deck* de chapa de acero y hormigón apoyado en grandes vigas constituía la estructura horizontal que dejaba, en cada planta, un amplio espacio perimetral sin soportes.

6. Toda la estructura era de acero laminado, adecuadamente protegido contra incendios (la protección estándar de los soportes frente al fuego en la construcción americana es un revestimiento de hormigón).

Los hechos se explican como sigue:

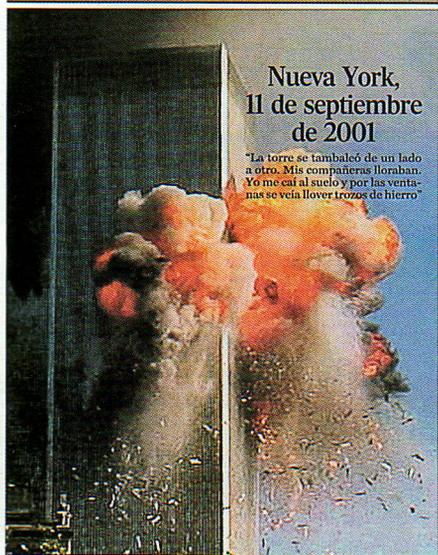
Al chocar con la torre, el avión rompe el revestimiento de aluminio de la fachada pero no los soportes de acero (en todo caso se habrían deformado sólo los afectados por el cuerpo del avión), atraviesa la fachada pero partido a trozos como un huevo duro; esos trozos se detienen contra el núcleo central y algunos salen incluso a través de la fachada opuesta.

La relación de masas entre el avión y la torre es del orden de uno a mil; además, gran parte

EL PAÍS DOMINGO 11 DE SEPTIEMBRE DE 2001

**Domingo**

ACTO DE GUERRA CONTRA ESTADOS UNIDOS



**Una serie de datos relativos tanto a la estructura de los aviones como de las torres permiten reconstruir en una secuencia casi fílmica la serie de hechos que desencadenó la tragedia.**

*Los dibujos y diagramas que explican cómo se comportaron las Torres Gemelas tras el impacto de los aviones y lo inevitable de su derrumbamiento se han tomado de El País.*



Robert Clark-Aurora for Time

de la energía cinética del avión se transforma en deformación de su estructura y deformaciones locales de la estructura de la torre, y esto hace que el movimiento de la torre (cuya estructura resiste enormes empujes laterales de viento) sea relativamente pequeño, hasta resultar imperceptible en la televisión.

El daño estructural, limitado, permite que las torres continúen en pie; el posterior incendio con 50.000 litros de combustible (el aluminio del avión pudo contribuir a elevar más la temperatura) sobre una estructura deformada y con una protección al fuego muy dañada por el impacto, elevó progresivamente la temperatura de la estructura de acero de las plantas afectadas hasta que se inició el colapso.

En este punto caben dos escenarios posibles de ruina, que seguramente se dieron con cierta simultaneidad:

- a) Los soportes sobrecalentados pierden resistencia (500 grados son suficientes) y ceden.
- b) Las vigas de las plantas incendiadas ceden, dejando varios tramos de soporte sin arriostamiento intermedio, lo que acelera su ruina por pandeo.

Una vez iniciado el colapso, incluso de forma asimétrica como en la torre 2, se pone en movimiento la masa de las plantas por encima del incendio, unas 70.000 toneladas en la torre 2 y unas 30.000 en la torre 1. Sobre esa enorme masa actúa constantemente la gravedad; para provocar una caída lateral habría sido preciso aplicar una fuerza horizontal comparable, que desde luego los soportes de la torre no podían proporcionar, por lo que el derrumbamiento es necesariamente vertical.

El enorme impacto de la parte superior del edificio en movimiento a medida que alcanza cada planta no puede ser resistido por los soportes y menos aún por su unión con las vigas. La parte inferior de las torres, no afectada ni por el impacto ni por el fuego, se va plegando como un acordeón, y las 300.000 toneladas de cada torre impactan sobre la estructura del basamento, prácticamente en caída libre, deshaciendo todos los sótanos sin la menor posibilidad de dejar huecos para supervivientes. Al

**Ataque suicida sobre Manhattan de dos aviones comerciales secuestrados**



**Una catástrofe en directo**  
Dieciocho minutos después de que un avión se estrelara contra la torre norte, un segundo avión impacta contra la torre sur mientras las cámaras transmiten en directo el incendio. La trayectoria del avión buscaba el choque directo con el edificio, lo que ocurrió en torno a la planta sesenta y causó, igual que el primero, un gran incendio.

**1 Primer impacto**  
8.45 hora local de Nueva York  
Boeing 767 de American Airlines con 81 pasajeros y 11 tripulantes. Fue secuestrado mientras cubría el vuelo entre Boston y Los Angeles.

**Torre norte**  
Un gran incendio afecta a las últimas 30 plantas. El edificio se derrumba a las 10.28.

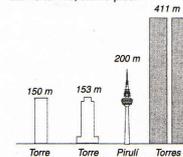
**Torre sur**  
El incendio se propaga desde la planta sesenta hacia la azotea. La torre se hunde a las 10.05.

**2 Segundo impacto**  
9.03 hora local de Nueva York  
Boeing 757 de United Airlines con 56 pasajeros y 9 tripulantes. Cubría el trayecto entre Boston y Los Angeles y fue desviado hacia Nueva York.

**La estructura de las torres**  
Las fachadas constituyen la estructura principal del edificio, reforzada por la del núcleo central.

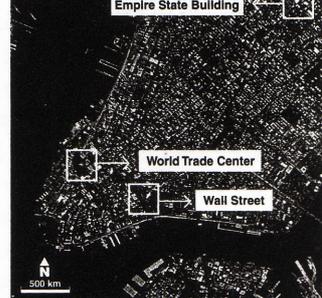
**Un complejo económico y comercial**

El World Trade Center estaba compuesto por siete edificios y ocupaba una superficie de 930.000 metros cuadrados (siete veces el Empire State Building). En el complejo tenían su oficina 430 empresas de 267 países. Su construcción comenzó en agosto de 1966 y concluyó en 1977. Más de 50.000 personas trabajaban en este complejo financiero, visitado diariamente por 150.000 personas. Las dos torres, de 411 metros cada una, tenían 110 pisos. Cada torre estaba dividida en tres zonas: del piso 1 al 43, del 44 al 77 y del 78 al 110, último piso.



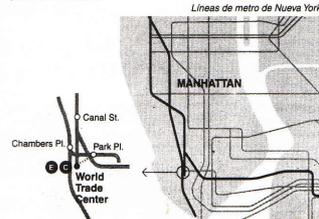
**Manhattan**

En la isla de Manhattan se encuentra una de las concentraciones de edificios comerciales y económicos más importante del mundo, las sedes de las grandes compañías y la Bolsa de Wall Street.



**Un lugar clave de la ciudad**

En la misma manzana de las torres y debajo de ellas, se aglutinan centros comerciales, oficinas, hoteles, más de 2.000 plazas de aparcamientos, dos líneas de metro y una de ferrocarril.



**A** Sesenta pilares de acero, separados un metro, recorrían cada una de las fachadas de las torres de arriba a abajo.

**B** Una malla de 48 pilares, también de acero y separados cinco metros, conformaba el núcleo central del edificio.

El impacto del aparato rompe la estructura de la fachada y, probablemente, parte del núcleo central. La explosión del avión, afecta a la estructura de la fachada opuesta.

El fuego y las altas temperaturas, acaban con la resistencia de la estructura que permanece en pie.

La parte dañada de la estructura no puede soportar el peso de las plantas superiores. El edificio se colapsa como el fuelle de un acordeón.

Fuente: OLL Arquitectura, NASA, AP, CNN y elaboración propia.



**ATAQUE A EE UU** *Reanudación de vuelos*

**Los aviones segaron las Torres Gemelas**

Los Boeing que chocaron contra las torres cortaron la estructura de sustentación del edificio y provocaron un gran incendio. El impacto y el fuego acabaron con los edificios, que se hundieron sobre sí mismos, al no poder soportar la zona afectada por los aviones el peso de las plantas superiores.



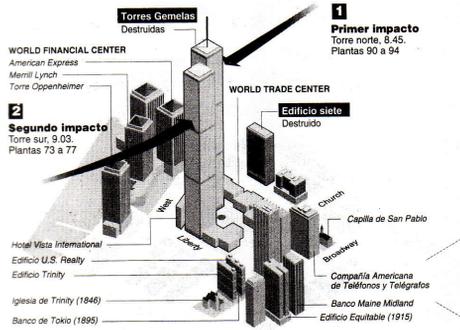
**Boeing 767-300**  
218 pasajeros y 11 tripulantes.  
Más de 90.000 litros de combustible.  
Peso máximo al despegue: 186 toneladas.  
Velocidad máxima: 850 Km/h.  
Alcance: 6.115 Km

**Pilotos expertos**

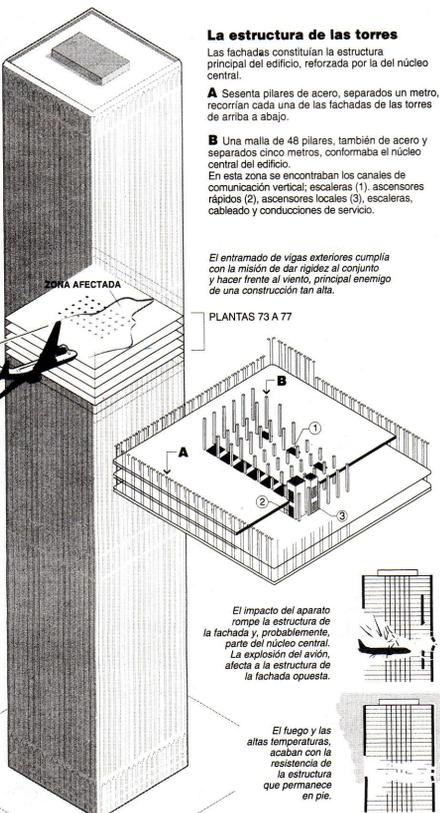
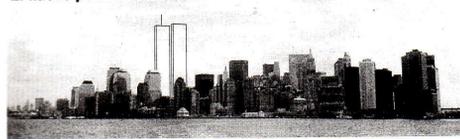
Los aviones empleados en los atentados son modelos modernos, de alta tecnología y largo alcance. La capacitación para volar en estos aparatos se consigue tras miles de horas de vuelo. La maniobra de impactar contra las torres implica una gran dificultad, ya que supone desconectar todas las ayudas informáticas y pilotar el aparato manualmente.



El avión, a 400 metros del impacto, realiza una maniobra de precisión; el aparato vira hacia la izquierda unos 30 grados impactando en diagonal y afectando a un número mayor de plantas.



**El nuevo perfil de Nueva York**



**La estructura de las torres**

Las fachadas constituían la estructura principal del edificio, reforzada por la del núcleo central.

**A** Sesenta pilares de acero, separados un metro, recorren cada una de las fachadas de las torres de arriba a abajo.

**B** Una malla de 48 pilares, también de acero y separados cinco metros, conformaba el núcleo central del edificio. En esta zona se encontraban los canales de comunicación vertical: escaleras (1), ascensores rápidos (2), ascensores locales (3), escaleras, cableado y conducciones de servicio.

El entramado de vigas exteriores cumplía con la misión de dar rigidez al conjunto y hacer frente al viento, principal enemigo de una construcción tan alta.

PLANTAS 73 A 77

El impacto del aparato rompe la estructura de la fachada y, probablemente, parte del núcleo central. La explosión del avión, afecta a la estructura de la fachada opuesta.

El fuego y las altas temperaturas, acaban con la resistencia de la estructura que permanece en pie.

La parte dañada de la estructura no puede soportar el peso de las plantas superiores. El edificio se hunde como el fuelle de un acordeón.

**Datos de los edificios**

Altura	411 metros
Plantas	110 más seis sótanos
Superficie útil	438.000 m <sup>2</sup>
Volumen edificado	3.500.000 m <sup>3</sup>
Acero empleado	156.000 toneladas
Ascensores	228 (8 montacargas)
Plazas de aparcamiento	2.000
Ocupantes habituales	50.000
Visitantes diarios	150.000

G. HERMOSO / C. WEBB / EL PAÍS

**El Gobierno de EE UU autoriza con severos límites los vuelos desviados a Canadá**

Quedan prohibidos los cuchillos en las comidas que se sirven a bordo

AGENCIAS Washington / Santiago Las autoridades estadounidenses concedieron anoche (hora española) permiso para la reanudación de vuelos comerciales sobre territorio de EE UU, eso sí con numerosas limitaciones y estrictas normas relativas a la seguridad en el interior de los aparatos entre los que destaca la prohibición de los cuchillos que se reparten en las comidas y la imposibilidad de realizar la facturación fuera de las terminales aeroportuarias.

En principio sólo los pasajeros de los vuelos que el pasado martes fueron desviados a Canadá fueron autorizados a proseguir hasta su destino. La noticia hizo respirar con alivio a más de 30.000 viajeros atrapados en aeropuertos de Canadá desde la costa atlántica y al Pacífico, y muchos de ellos situados en remotas localidades del país. El Gobierno de EE UU también autorizó que aviones vacíos viajaran a diversos aeropuertos del país a fin de que al reanudarse el servicio todo funcione con normalidad.

Los aviones de carga que fueron desviados también fueron autorizados a llegar hasta su destino. Por otra parte, tres pasajeros musulmanes que viajaban desde Santiago de Chile hacia la capital de Argentina fueron expulsados ayer de un avión de la compañía alemana Lufthansa, después de que el piloto de la aeronave se negara a trasladarlos alegando razones de seguridad. Los pasajeros, dos mujeres y un hombre que vestían a la usanza musulmana, fueron sacados a la fuerza del Boeing que viajaba a Buenos Aires, después de que, según se indicó, el capitán de la nave recibiera órdenes desde Bonn que le impidían llevar a personas de esa religión por motivos de seguridad tras los atentados terroristas ocurridos ayer en Estados Unidos. Después de varias horas de discusiones, y después de que los pasajeros del avión afectado apoyaran al piloto de Lufthansa, los tres musulmanes fueron llevados a Buenos Aires por la línea aérea LanChile

Un avión de pasajeros surcoreano fue escoltado ayer por aviones de combate canadienses y estadounidenses hasta el aeropuerto de Whitehorse, en el norte de Canadá, por temor a que pudiera registrarse un nuevo secuestro. El Boeing 747, que tenía previsto aterrizar en Alaska (EE UU), emitió una señal de radio reservada en caso de secuestro aunque la intención del piloto fue indicar sus bajas reservas de combustible.

**Cazas de Canadá y EE UU vigilan a un Boeing 747 surcoreano**

EEF, Toronto Un avión de pasajeros surcoreano fue escoltado ayer por aviones de combate canadienses y estadounidenses hasta el aeropuerto de Whitehorse, en el norte de Canadá, por temor a que pudiera registrarse un nuevo secuestro. El Boeing 747, que tenía previsto aterrizar en Alaska (EE UU), emitió una señal de radio reservada en caso de secuestro aunque la intención del piloto fue indicar sus bajas reservas de combustible.

compartir basamento con las torres, el edificio 7 debió quedar irremediamente afectado y la onda sísmica de los impactos pudo dañar las estructuras de algunos edificios próximos.

Lo sucedido plantea interrogantes sobre el futuro de los rascacielos, sus problemas de seguridad y el futuro concreto del World Trade Center. En relación a los problemas de evacuación cabe señalar que más del 90% de los ocupantes de las torres pudieron abandonarlas; la mayor parte de las víctimas han debido ser los que estaban en los últimos pisos de la torre 1, por encima del impacto, o los que quedaron en las cercanías de las torres o entraron en ellas después del atentado. Si bomberos y policías hubieran sido conscientes de que las torres podían derrumbarse, el número de pérdidas habría sido considerablemente menor.

En el futuro pueden mejorarse aspectos del diseño de las vías de evacuación o de la protección al fuego de la estructura, pero hacer un edificio, sea o no una torre, a prueba de impacto de aviones es tan poco factible como fabricar automóviles a prueba de choques con conductores suicidas. Parece más razonable, y es técnicamente factible desde hace años, dotar a los aviones de un sistema que permita, en caso de secuestro, tomar el control desde tierra de forma irrevocable. En todo caso no deberíamos hablar sólo de las torres; mañana podrá ser cualquier otro edificio emblemático, ya que la elección del blanco se debió probablemente a su carácter de símbolo.

En cuanto al futuro de la zona, será interesante seguir el debate entre las distintas opciones a tomar, en las que pesarán argumentos emocionales, a favor del memorial a las víctimas o de la reconstrucción literal de lo destruido. La necesidad de la ciudad de Nueva York de reponer el millón de metros cuadrados de oficinas y de aprovechar un lugar con excelente acceso de transporte público (dos líneas de metro y una de tren) pesará a favor de la hipótesis de reconstrucción o nueva edificación, con o sin torres; será sin duda un debate público y abierto el que forme un estado de opinión previo a la decisión definitiva.