

# LA ESTRUCTURA RESISTENTE EN LA ARQUITECTURA ACTUAL\* (CONTINUACIÓN)

(RESISTANT STRUCTURE IN PRESENT ARCHITECTURE), CONTINUATION

Javier Manterola Armisen, Dr. Ingeniero de Caminos

Fecha de recepción: 15-XII-05

ESPAÑA

405-4

## RESUMEN

*En el artículo se plantea la relación entre la estructura resistente de un edificio y el edificio mismo según las últimas tendencias arquitectónicas.*

*Actualmente la ingeniería civil ha desarrollado de tal forma las posibilidades resistentes, en cuanto a materiales, disposiciones estructurales y procesos constructivos que cualquier planteamiento arquitectónico, por novedoso -o disparatado- que sea, tiene solución estructural. Esto nos puede llevar a que la concepción espacial del edificio se separe de la estructural. Arquitecto e ingeniero deben trabajar en común, más intensamente cuanto más novedosa sea la propuesta.*

*La estructura no es algo que todo edificio debe tener, como el aire acondicionado, pero que no importa demasiado. Los caminos de la arquitectura actual: minimal, deconstrucción, high-tech son esencialmente estructurales. El arquitecto politécnico debe distinguirse de un formalizador de bellas artes, que acabará formalizando mejor y más libremente. A la luz de estas ideas se revisan múltiples ejemplos recientes de edificios agrupados según distintos apartados: deconstrucción; edificios en altura; poliedros, cubos, etc.; Shigeru Ban y la ortodoxia resistente; y, finalmente, formas blandas.*

## SUMMARY

*The article addresses the relationship between a building's support structure and the building itself in the context of the latest architectural tendencies.*

*Today's civil engineering has developed strength capabilities in terms of materials, structural layouts and construction processes so highly that there is a structural solution for any architectural approach, no matter how novel – or preposterous. The outcome may be the disconnection between the spatial and the structural conceptions of a building. The more novel a proposal, the more intensely architect and engineer must work together.*

*Structure is not just something that any building should have, such as air conditioning, but in the larger picture is unessential. Most of today's architecture: minimalist, deconstructionist, or high-tech, is fundamentally structural. Polytechnic architects should be distinguished from fine arts formalizers, who ultimately formalize better and more freely. A number of recent examples of buildings are reviewed in this light, grouped under the following headings: de-construction; high-rises; polyhedrons, cubes and so forth; Shigeru Ban and orthodox theories of strength; and finally, soft forms.*

Hablar de estructuras resistentes en arquitectura resulta interesante para los ingenieros, aunque la influencia de la estructura en la configuración del edificio haya perdido gran importancia. La ingeniería civil ha desarrollado hasta tal extremo las posibilidades resistentes, en cuanto se refiere a materiales, disposiciones estructurales y procesos de construcción, que se puede decir que por primera vez a lo largo de toda la historia de la construcción, las posibilidades resistentes sobrepasan las necesidades que cualquier planteamiento arquitectónico pueda plantear por grande, novedoso y también por disparatado que sea.

Y esto tiene sus inconvenientes y sus ventajas. Dentro de estas últimas está la ya nombrada, que no hay nada imposible y precisamente éste es también su inconveniente. En el diseño de cualquier cosa, las dificultades no son sino apoyos donde fijar nuestros conceptos para configurar el objeto y me es igual que hablemos de diseño industrial, puentes o palacios de deportes. Son los datos del proble-

ma, los que conducen nuestro razonamiento y propuestas por caminos seguros.

Pues bien, la arquitectura, mejor dicho, los arquitectos pueden ignorar el problema resistente de un edificio que siempre habrá un ingeniero que lo resuelva, sin un coste excesivo. A veces las dificultades que encuentra el ingeniero para reconducir el edificio a la realidad sólo se puede hacer transformando el sentido que el arquitecto ha querido dar a su obra o, lo que es peor, fastidiándolo, o estropeándolo. Oímos quejas en este sentido. Pero el problema es que la concepción espacial de un edificio depende también de su concepción resistente y cuando ambos conceptos están muy distantes es inevitable que esto suceda. El arquitecto y el ingeniero deben trabajar en común y tanto más intensamente cuanto la propuesta arquitectónica sea menos frecuente.

Porque lo cierto es que el arquitecto sabe suficiente de estructuras mientras el edificio pertenezca a una de las configuraciones habituales a las que está acostumbrado o lo está el medio en que se mueve. Pero si por el contrario, se pone a pensar en configuraciones diferentes, configura-

\* En 1998 y en esta misma revista, escribí "La estructura resistente en la arquitectura actual". En la actualidad, acometo la continuación de aquel artículo con las novedades que se han podido producir desde entonces.

ciones conceptuales y espaciales que se están produciendo, como puede ser la deconstrucción, la high tech, o los modos especiales que se mueven entre el minimal y la deconstrucción, la memoria visual de las configuraciones resistentes no existe o es imprecisa o equivocada y entonces se produce un desajuste importante.

Y es que además el camino que ha tomado la arquitectura en esta época es eminentemente estructural. El minimal tan querido y bien realizado por los arquitectos españoles también tiene una estructura resistente muy presente, que se manifiesta, que está y que hay que hacer bien y no es tan sencillo (Fig. 1.01). Una losa de techo, una pantalla soporte o un pilar tienen una doble misión, configurar el edificio y resistir, su relación es delicada y o el arquitecto sabe mucho o el ingeniero que le ayuda es bueno, o se podrá llegar a hacer desastres, un pilar que está ahí sólo para resistir tal o cual efecto que la concepción espacial no está pidiendo y que aparece como ajeno al edificio. Generalmente estos errores no se presentan con frecuencia porque el minimal se centra en estructuras más bien pequeñas y en éstas todo vale.

Pero, aun siendo ésta la configuración volumétrica más fácil, ¿qué pasa cuando nos adentramos en el mundo de la high tech donde ya hay que saber más, pues lo resistente está ahí para expresar que la técnica está en la esencia de ese edificio? Y si nos introducimos en la deconstrucción, no digamos. Ese movimiento trata la estructura resistente con una enorme exigencia y presencia, todo ello dentro de una configuración espacial diferente.

Pero es que además, aunque no vayamos a configuraciones espaciales nuevas, pensemos en la arquitectura clásica buena, digamos la paralelepípedica, la estructura resistente siempre se ha hecho presente, se manifiesta y está. Pensemos en Mies van der Rohe, en toda su obra, en Gropius, en Le Corbusier, -dónde estaría Runchamp sin esa libertad de pensamiento en que suelo, paredes y techo son lo que son pero de otra manera. Y Luis Kahn, se podía decir que cualquiera de sus edificios nos enseña qué es una estructura, qué es soportar y configurar el espacio. El Research Laboratories de la Universidad de Pensylvania de 1957-65, aún sigue sorprendiéndonos. Si seguimos con K. Tange o F. Maki o Hito o Shigeru Ban, o el formidable minimalista que es Tadao Ando- ¿Se imagina alguien con un pilar descolocado en uno de sus edificios?

No sé si la arquitectura y los arquitectos han pasado otra etapa como ésta, en que sea tan importante saber estructuras si quieren hacer algo que añada algo a lo que está. La enorme y fecundísima presencia de la deconstrucción en el mundo de la arquitectura más progresista, necesita dominar la estructura.

Es que Gehry, o Libeskind, o Zaha Hadid o Coop-Himemblau o Rem Koolhaas saben de estructuras. Yo he



Figura 1.01.- Casa en Pozuelo (Arq. J. Torres-Acero).

trabajado alguna vez con muy buenos arquitectos, Sáenz de Oiza, Moneo, etc., que sin duda no saben armar una simple viga o calcular un emparrillado, pero sí sé que saben estructuras. Trabajando con ellos se nota la presencia del concepto de resistir y de cómo este concepto forma parte de su concepción de la ordenación del mismo.

A mí me han preguntado, a veces, cómo dar un curso de estructuras a los que no saben cálculo. No sé si esto es posible pero sí sé que mi comprensión del comportamiento y uso de lo resistente ha pasado para mí a través del cálculo, Fig. 1.02. ¿Es posible dar nociones que sean operativas en algunos casos sin fundamentarlas más que en la respuesta ante un caso particular? No lo sé.

Qué empujaba a Gehry a hacer las paredes, techos y suelos que hizo en el Guggenheim, ¿Es simplemente el trabajo de un formalizador de espacios liberado de las configuraciones habituales? Sin duda su trayectoria le puede haber ayudado. Desde sus primeras casas de Danzinger o Ron Davis empieza a cambiar y, a lo largo del tiempo, con la Universidad Loyola o la casa Schnabel o el museo Vitra va urdiendo un universo formal propio.

¿Es un formalismo ajeno a lo arquitectónico lo que genera la deconstrucción? No, creo que no. Es una formalización diferente del espacio generado por diseñadores que están incómodos en la ortodoxia de lo horizontal y vertical.



Figura 1.02.- El desarrollo de la tecnología permite realizar una lámina cilíndrica abierta de 140 m de luz como soporte de una pasarela. Una de las grúas que desmontaron el edificio Windsor; una máquina gigantesca y maravillosa.

¿Será que Gehry es además escultor y amigo de escultores? Sí pero no, lo arquitectónico se separa de lo escultórico en la escala y en la intención interior de generar un espacio habitable. En la arquitectura se vive, con la escultura se está.

No tengo respuesta segura en cómo se genera el espacio deconstruido en las cabezas de sus principales autores, pero empiezan a notarse soluciones espaciales semejantes, resueltas también de una manera semejante.

No sé si es una opinión voluntarista establecer que en los buenos arquitectos actuales, minimalistas, high tech o deconstructivistas, se enfrentan con la estructura de alguna manera, no sé cuál, pero la tienen en cuenta. Pero a lo mejor no, sus no-saberes no los coartan al diseñar y se conforman con “si algo no resiste ya lo arreglarán los ingenieros”.

Pero la estructura resistente no es algo como el aire acondicionado o los ascensores, algo que todo edificio tiene que tener, pero que no importa demasiado. Puede ser que la arquitectura tome este camino, lo que parece está ocurriendo en esta época tan formalista, pero me parece que está dejando en el camino algo fundamental, algo que con el resto de la tecnología de los edificios distingue o debe distinguir a todo arquitecto de una politécnica de cualquier formalizador de bellas artes que, además, acabará formalizando mejor y más libremente que ellos. Hasta qué punto la sólida formación académica clásica actual, en España, está impidiendo la aparición de buenos “high tech”, de buenos “deconstructivistas”

La arquitectura tiene una enorme cantidad de tecnología, necesita empezar a medir, cuantificar, acotar. Tiene problemas con la piel más allá de las soluciones sofisticadas de Herzog y De Meuron o la tecnología incompleta de la High Tech. No sé por qué, pero tengo la impresión que la enorme ambición que tenía este movimiento, de enfrentar tecnológicamente hablando lo necesario en paredes, estructuras internas, servicios, etc., se han diluido en una inexorable necesidad de gustar.

¿Pero lo tecnológico en la arquitectura es sólo la piel, la estructura resistente, la de comunicaciones verticales, de acondicionamiento? Y la función del edificio es algo que se es capaz de medir y acotar? Es algo susceptible de atrapar suficientemente por un enfrentamiento científico o, por el contrario, pertenece también a lo no objetivable, algo que se debe enfrentar con el sentido común, con la información próxima de algún ejemplo próximo o de alguna revista especializada además del propio talento del arquitecto. ¿Existen modelos de hospitales, auditorios, de rascacielos, en cuanto a cómo moverse y distribuir los espacios?

El ingeniero inventa, crea con un fin buscado y, como consecuencia de sucesivas invenciones, ha creado un universo formal, tan nuevo, tan original, tan trascendente, al cual, a la arquitectura, le ha costado adaptarse más de 100 años. En la creación estética el fin buscado no existe. ¿Y el arquitecto es un creador o un inventor? Si mide, acota, configura la función dentro de unos determinados parámetros y ha obtenido resultados objetivos, podríamos decir que inventa. Pero también crea al tratar con lo no definido. A



Figura 1.03.- El Escorial. Muro macizo, soporte, protección. Teatro del Canal N. Baldeberg. Separación entre soporte u protección y aislamiento. Muros y soportes curvos en Ronchamp. Muros alabeados que se apoyan libremente. Guggenheim.

primera vista parece que la función tiene poco trato con lo no definido, parece más objeto de invención, de descubrimiento, un gran almacén en la sociedad occidental debe tener tal y tal y tal condición dejando muy poco a la imaginación. Y así se podría hablar de muchas otras funciones. Pero al arquitecto le gusta mezclar lo no definido con lo objetivable y, en este hecho, ¿no se resiente fuertemente lo objetivable?

Me extraña que en las escuelas de arquitectura no se dedique una gran cantidad de tiempo a analizar la función, a aprender, si es posible, acotarla conceptualmente. Y me extraña también que la estructura resistente, en una época de cambio tan rápido como el actual, en el que lo resistente aparece como evidente y con indudable poder configurador, no aparezca, ni citada, en la multitud de revistas de arquitectura que se editan hoy en día. ¿Por qué interesa tan poco? A esto tendrán que contestar los arquitectos. Los ingenieros interesados en lo estructural saben que encuentran la estructura de los edificios importantes en las revistas de ingeniería.

## 1. DECONSTRUCCIÓN

Creo que no se puede inferir de los escritos de Derrida el fundamento de la llamada deconstrucción arquitectónica, pero sí puede entenderse la presencia, en esta última, del

pensamiento filosófico. “La deconstrucción no es, pues, mera destrucción, sino más bien descomposición, desmantelamiento, subversión de los sistemas. Nada tiene, pues, de extraño que Derrida haya conferido notable importancia a cuestionar las propias estructuras institucionales y sus procesos de legitimación, validación y jerarquización”.

Este párrafo, tomado de un diccionario de filosofía, es perfectamente aplicable a los parámetros básicos en que se ha fundamentado la arquitectura de todos los tiempos, como es la de establecerse su lenguaje formal en que lo resistente se configura a partir de lo vertical, lo horizontal, la simetría, el plano, la bóveda, la cúpula, el pilar vertical, etc., etc.

Una pared en la arquitectura clásica era soporte estructural, además de cierre, aislamiento visual, acústico y de las agresiones del medio ambiente en cuanto a variaciones de temperatura y humedad que se quiera controlar. Estas misiones múltiples de un solo elemento eran poco prácticas y ya el siglo XIX vio que convenía separar, distinguir entre aquello que sirve para resistir de lo que protege, de lo que aísla. Pero en lo resistente, el pilar o pantalla en que se convierte la pared seguía siendo vertical, presencia ancestral de que el hecho de resistir la carga estaba asociado a lo vertical. Una pared alabeada era impensable, era im-

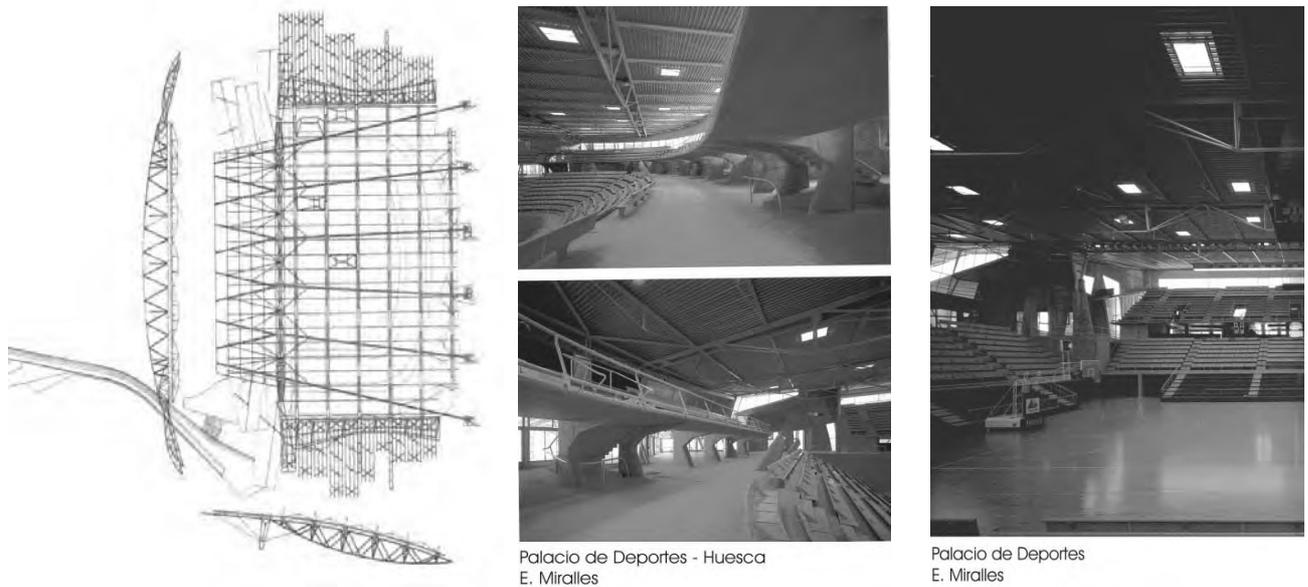


Figura 1.04.- Palacio de lo Deportes de Huesca. E. Miralles. Una formidable contribución a la deconstrucción.

posible hace tiempo, pero ahora no, no hay sino que introducir rigidez a flexión fuera de la superficie alabeada y rigidez en el plano de dicha superficie, lo cual es bastante fácil y el sempiterno problema de lo vertical asociado a lo que sostiene desaparece. La pared se puede inclinar, alabear, convertirse en techo. Suelo, techo y pared ya no tienen que ser elementos diferentes. Que sea una decisión del que configura el espacio, utilizar el plano vertical o inclinarlo o alabearlo. El conocimiento resistente da posibilidades, no fija configuraciones, Fig. 1.03.

Pero no sólo se refiere a la configuración de muros, paredes, techos. Todos los movimientos hechos por Eissenman a lo largo de su vida son diferentes a los de Lebeskind o los de Coop-Himemblau o Gehry, hay múltiples manifestaciones, todos ellos dirigidos a subvertir el orden arquitectónico imperante de una u otra manera.

E. Miralles, ya fallecido, se presenta aquí con cinco obras significativas, los pabellones de deportes de Huesca y Alicante, el mercado de Barcelona, el parlamento escocés y la nueva sede de Enagas en Barcelona.

En los cinco casos, lo primero que se advierte es la justa utilización de lo resistente manifestada en su presencia exterior e interior. Y digo justa utilización de lo resistente y no buena, porque la apreciación del valor es subjetiva en este caso. Si el mínimo a utilizar es objeto de consideración, diríamos que estas estructuras no son excesivas pero tampoco mínimas, podrían aprovecharse mejor.

A toda la deconstrucción le gustan mucho las cerchas y con razón, pues la geometría ordenada de una celosía, algo

constituido por unión de triángulos, puede muy fácilmente desordenarse, introduciendo quiebras, pues mientras la deconstrucción no llegue a eliminar algún triángulo para convertirlo en un trapecio, la cercha funciona muy bien. Véanse las celosías del parlamento de Escocia, estructuras completas y buenas que se ajustan a movimientos de la cubierta diferentes, Fig. 1.07.

De los Palacios de Deportes de Huesca, Fig. 1.04 y Alicante, Fig. 1.05, podemos destacar dos cosas, ampliamente utilizadas después, por el mismo E. Miralles y por otros. Me refiero a la descomposición del pilar único en un haz de tubos con un papel resistente seguro pero también oscuro y poco claro. Las buenas estructuras, ingenierilmente hablando, han de ser claras y distintas como las ideas de Descartes. Pero este hecho sólo puede conducir a obtener estructuras mínimas objeto de fundamental importancia para el ingeniero que siempre tiene que ir más allá de lo que ha ido hasta ahora, pero no para el arquitecto, la realidad de la "high tech" y la deconstrucción es un valor ajeno a lo puramente ingenieril.

El segundo punto de sorpresa en las estructuras de estos dos palacios de deportes es el hecho de disponer en espacios diferentes, invisibles entre sí, la estructura principal y la secundaria, Fig. 1.04c y 1.05b. Las cerchas transversales van a apoyarse a unas cerchas principales y más importantes, no visibles desde el interior. Las apoyan en una línea absolutamente insuficiente para resistir esta carga, que no es sino el cordón inferior de una gran cercha colocada en el exterior, oculta por el techo del palacio. Esto produce una sensación de insuficiencia, de inseguridad, sensación supongo que buscada por el arquitecto.



Figura 1.05.- Palacio de los deportes de Alicante. Columnas descompuestas, grandes cerchas ocultas al interior, clasicismo resistente realizado de una manera no clásica.



Figura 1.07.- Parlamento de Edimburgo. E. Miralles. Cerchas especiales en la sala principal. Las decisiones que se tomen en este parlamento seguro que son más avanzadas. Espacios nuevos.

En cuanto al mercado de Barcelona, Fig. 1.06, me parece que tiene una idea formidable para la cubierta, idea formidable, pero algo estropeada, debido a la presencia de los tres arcos transversales con sus tirantes correspondien-

tes, que introducen un orden ajeno al presente en todos los plegamientos de la cubierta y que deberían haber bastado para su soporte, Fig. 1.06a. El pliegue es una estructura querida también por Zaha Hadid (ver nuevo pabellón-puen-



Figura 1.06.- Mercado de Barcelona. El orden impuesto por los tres arcos clásicos perturban un hermoso interior.



Figura 1.08.- Gas de Barcelona. E. Miralles, B. Tagliatue. Un hermoso edificio, costoso y bien resuelto.

te en la Expo de Zaragoza), que Miralles la utiliza formidablemente en Edimburgo en conexión con unas cerchas heterodoxas pero suficientes.

El conjunto soporte-pliegue -cerchas de Edimburgo-, Fig. 1.07, es mucho mejor, a mi entender, que el mercado de Barcelona.

El edificio del Gas de Barcelona, Fig. 1.08, es espectacular, está cuidadosamente realizado y tiene una estructura buena y muy eficaz, que permite el enorme voladizo del cuerpo horizontal. Es posible poner horizontal un bloque que debería ser vertical, sin más que disponer una celosía de toda la altura del elemento volado y que ésta esté anclada al cuerpo central. También puede romperse formal-

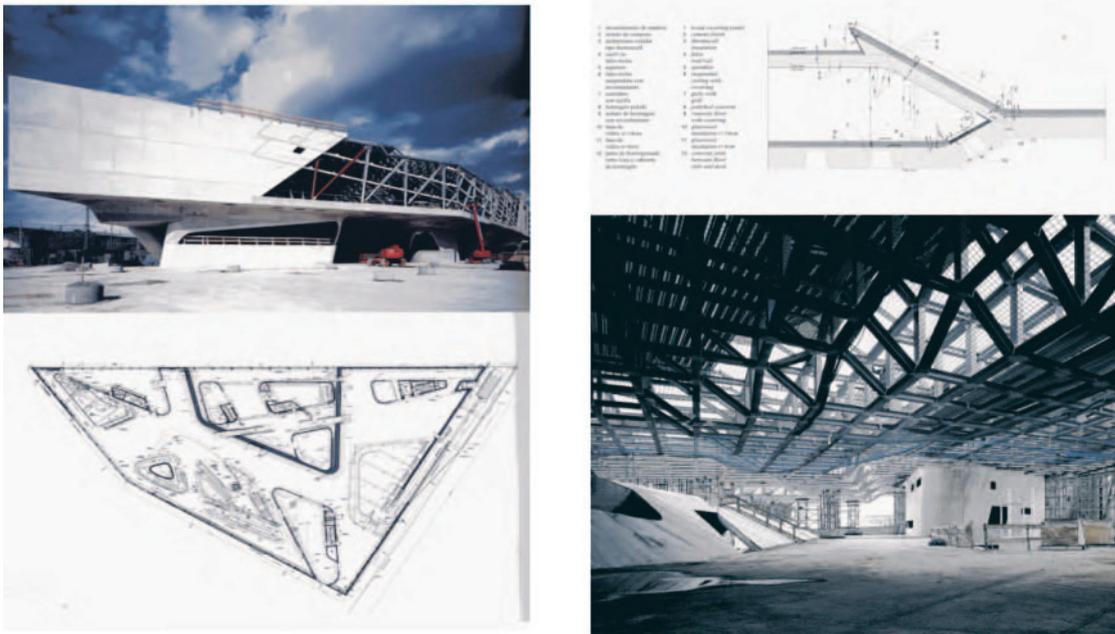


Figura 1.09.- Centro de Ciencia de Wolfsburg. Zaha Hadid. Interior y exteriormente fantástico.

mente uno de los cuerpos aunque su fachada rota debía presentar una terminación menos rica y costosa, algo que se vea deconstruido y aquí corre el peligro de aparecer como caprichoso, Fig. 1.08b.

De Zaha Hadid presentó el Centro de Ciencia de Wolfsburg, Fig. 1.09. La configuración de las grandes ménsulas y la deconstrucción de los techos, Fig. 1.09b y c, resulta nueva

y atractiva. De los formidables techos de L. Kahn en la galería de Arte de la Universidad de Yale de 1951 se pasa a estos otros, mucho más sugestivos e interesantes para el tiempo actual.

No podemos dejar de citar a Frank Gehry en dos planteamientos diferentes. Las paredes del Guggenheim, son alabeadas, curvas y ni siquiera se apoyan en las esquinas,

Fig. 1.10a, lo cual no es necesario, pues, de una manera elemental son paredes formadas con elementos triangulares, los cuales tienen además una consistente rigidez en los elementos fuera del plano, y, por tanto, son capaces de tener cualquier forma y soporte. Estuvo bien hecho el desear la primera idea de realizar láminas de hormigón para este menester, igualmente válidas, por su gran rigidez, en el plano y fuera del plano. Con acero la adaptabilidad es igual de fácil y la formalización mucho más práctica, con lo que se consiguen espacios tan nuevos y tan buenos como los que aparecen en la Fig. 10b. Aquí hay tres elementos que se superponen, las chapas exteriores de titanio, la estructura intermedia y el recubrimiento interior de cristal o escayola.



En cambio en las bodegas de M. de Riscal, Fig. 1.11 o en el edificio PB Lewis, Ohio, Fig. 1.12, cambia el procedimiento. En lugar de ser una superficie alabeada en la que se introduce rigidez en su plano y fuera del plano, hace como hizo Eiffel en la estatua de la Libertad de Nueva York. Tres sistemas también, la superficie exterior de metal, a la cual se acoplan dos familias de barras lineales,



Figura 1.10.- Guggenheim Bilbao. Heterodoxia en la estructura y espacios diferentes.

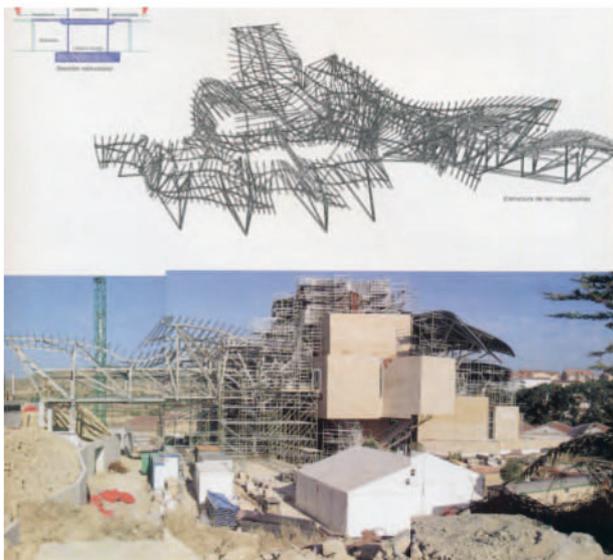


Figura 1.11.- Bodegas en la Rioja. M. de Riscal. F. Gehry. Dos estructuras independientes y diferentes. Clásica y normal de H.A. la residencial y metálica y espacial como soporte de la piel, que se plegará perfectamente bien a la configuración buscada, a la forma deseada. Un problema bien resuelto, a la manera en que Eiffel hizo la estatua de la libertad de Nueva York.



Edificio PB. Lewis - Ohio  
F. Gehry

Figura 1.12.- Edificio P.B Lewis-Ohio. F. Gehry. Otro ejemplo de perfecta estructuración de las cubiertas curvas de formas alabeadas.

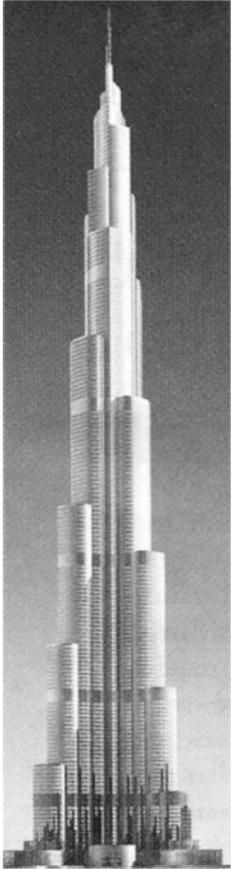


Figura 2.01.- Ordenación clásica, eficaz y carente de interés del que será el mayor edificio del mundo.



Torre del Milenio  
Foster 1989  
170 p / 840 m

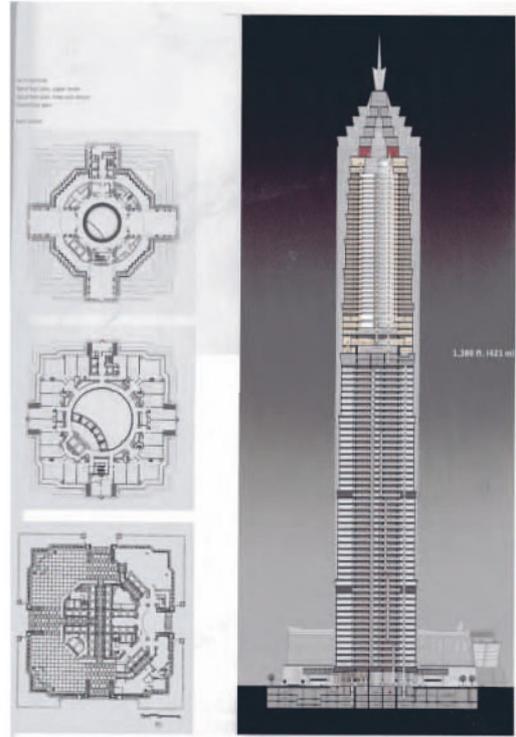


Figura 2.02.- Una estructura de piel para el proyecto más ambicioso de Foster y el edificio Jim Mao Tower en Shanghai. Ortodoxia resistente y formal sin ningún interés.

rectas o curvas y ortogonales que se acoplan perfectamente a la superficie exterior y una tercera estructura portante exterior, puntales y grandes triangulaciones que resuelven cualquier problema resistente, Fig. 1.11 y 1.12.

## 2. EDIFICIOS EN ALTURA

Hoy en día hay más de 140 rascacielos en construcción de más de 200 m de altura, 25 mayores que 300 m y 7 mayores de 400 m, siendo el mayor de todos ellos el Burj Dubai, de 700 m de altura y que se espera esté terminado en 2008. Fig. 2.01.

La estructura resistente de estos edificios está ya bien resuelta y acotada desde 1970-1980. El núcleo central, necesario para alojar los ascensores, constituye el cuerpo resistente de la gran ménsula que es el edificio. Obligatoriamente este núcleo se une a los soportes de fachada a través de las losas de pisos, aporticándose con ellos y obteniendo en esta disposición un mecanismo complementario de resistencia ante el viento, cuya eficacia se puede aumentar a voluntad si establecemos ménsulas de gran rigidez que unen entre sí el tubo exterior, formado por los pilares de la periferia, y el tubo interior, constituido por el núcleo de los ascensores.

Finalmente, para los edificios muy altos se va a la piel exterior, triangulándola, para obtener la máxima ménsula posible. También en este caso se puede activar o no el mecanismo resistente dándole más rigidez a la triangulación, haciéndola más tupida o más gruesa, o las dos cosas a la vez.

La mayor propuesta en esta dirección la constituye la torre del Milenio de Foster, de 840 m de altura, Fig. 2.02.

A su vez se puede conectar la estructura de piel con el núcleo central a través de las losas de los pisos para obtener una rigidez complementaria.

Este último esquema resistente, que se inaugura con el John Hancock de Chicago (1958-1970) de 336 m de altura, sólo se cambia en el Sears Building, de 443 m de altura, también de Fazlur Kahn y también en Chicago, con la disposición de un aporticamiento espacial total, interior y exterior en una disposición poco interesante que no se ha vuelto a repetir.

En los últimos treinta años no ha pasado casi nada mirado desde un punto de vista resistente básico, se han podido asociar triangulaciones externas con núcleos centrales y con atirantamientos o apuntalamientos complementarios.



*Figura 2.03.- Se le quita una laja del edificio como a un pastel al que se le quita un trozo, para señalar la puerta. Forma.*

Los materiales resistentes son los mismos, hormigón y acero, y sólo han evolucionado en su capacidad resistente, que es mucho más alta. Aún no se les ha encontrado utilización en los elementos sustentantes a los materiales compuestos de resina y fibras de vidrio o de carbono. Sin embargo sí han aparecido materiales nuevos para la piel, de escasa utilización, como materiales que aíslan con el mismo principio que los termos, o cristales fosforescentes que absorben la luz del día y sueltan por la noche, o el Litracon que se parece al cristal y aísla mejor que la lana mineral, etc., etc.

En cuanto a los problemas funcionales asociados a la comunicación vertical están suficientemente bien resueltos, en lo que se refiere en el número y ubicación de los ascensores, la alta velocidad de estos últimos para su uso en edificios muy altos. Asimismo está bien estudiada cuál debe ser la relación entre la superficie útil de las plantas con la necesaria para los ascensores y demás conducciones verticales, así cómo dónde y cuándo perder ascensores y poder convertir su sitio en útil.

Con los problemas resistentes y funcionales suficientemente resueltos al edificio en altura no le queda sino experimentar con la forma exterior.

La Jin Mao Tower en Shanghai, de 421 m de altura (1993-99) busca aparentar una inmensa pagoda, con su aspecto telescópico. Su estructura resistente está constituida por un gran núcleo central que se une a ocho columnas de la periferia con la ayuda de 8 grandes pantallas en celosía de 2 plantas de altura en tres niveles diferentes, entre los niveles 36 y 38, 51 y 53 y 85 y 87, Fig. 2.02a.

En el Cuartel general de la Electricidad de Francia, Fig. 2.03, de 148 m de altura, se adopta una sección lenticular de cristal a la cual se le da un corte en la parte inferior para acentuar la puerta de entrada. Su estructura está constituida por un núcleo central, donde se alojan los ascensores, y 18 columnas perimetrales.

Un formalismo extremo lo vemos en una serie de torres que no interesa comentar. La gran torre de C.Y. Lee de 222 m de altura en Taiwán, Fig. 2.04a. Las Petronas, de 450 m de altura, Fig. 2.04.b. El Oub Center en Singapur de Kenzo Tange, con una altura de 280 m, es mejor, a mi entender, Fig. 2.04c. Y en esta acumulación de formalismo tenemos el Ayuntamiento de Tokio de Kenzo Tange también, Fig. 2.04d. Y actualmente el edificio más alto del mundo el Típei Financial Center, de 508 m de altura y que tiende a semejarse a una inmensa pagoda, tan querida



Grand Tower C. Y. Lee 1992  
50 p / 222 M

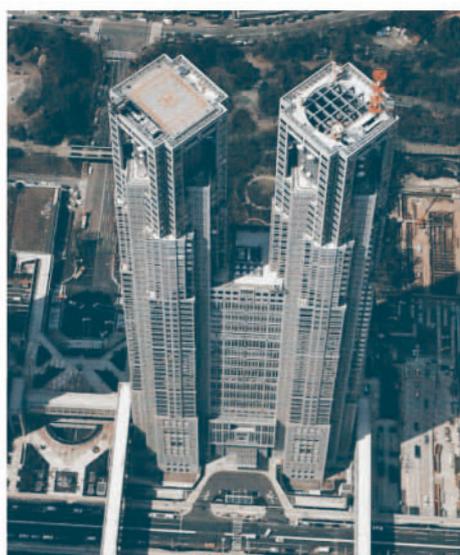


Figura 2.04.- Cinco ejemplos de edificios muy altos, formalmente caprichosos. La forma no responde sino al gusto de la propiedad-arquitecto en un momento que no se innova nada en los rascacielos.

en la cultura china. Sin embargo este edificio cuenta con alguna particularidad técnica como es un gran péndulo, que cuelga de la planta 92 y actúa como un amortiguador de masa, que contrarresta la oscilación que produciría el viento y los movimientos sísmicos. Fig. 2.04e. Y así podríamos poner una gran cantidad de ejemplos con un único interés formal para el que sepa apreciar estas formas y maneras de hacer.

Dos torres especiales acaban de aparecer en el panorama internacional, La Swiss Re de Foster y la torre Agbar de Nouvel, la primera, en Londres, con 180 m de altura, la segunda, en Barcelona, más baja, 135 m de altura y las

dos con una forma muy característica, un “obus”, tan idéntico que parece demasiada casualidad. Teóricamente la forma circular es pseudo-aerodinámica, reduciéndose el coeficiente de arrastre del viento. Como se observa, ninguna de las dos torres tiene mucha altura y ambas han acudido a una estructura resistente en la piel exterior. La Swiss Re tiene una preciosa estructura triangulada de tubos metálicos que se acopla perfectamente bien a la superficie exterior, Fig. 2.05. Gusta ver en esta estructura que el nudo de la celosía, que se complica bastante cuando se produce entre tubos, se simplifica con la interposición de chapas planas. Foster utiliza las franjas oblicuas que se pueden dibujar en la triangulación exterior para establecer una



Figura 2.05.- Swiss Re. N. Foster Londres. Una buena estructura para un buen edificio.



Figura 2.06.- ¿Quién ha copiado a quién? Interesante ejercicio de color en la fachada. J. Nouvel.



Figura 2.07.- Torres Kio. Una inclinación considerable con una estructura bien resuelta. La Torre de Piano y la de Isozaki necesitan una explicación de su porqué?

penetración de ventilación pseudo-vertical. Esta torre no tiene núcleo central alrededor de los ascensores.

La Torre Agbar, Fig. 2.06, tiene un núcleo central excéntrico donde se instalan los ascensores y una segunda piel exterior perforada por criterios no resistentes pero con suficiente rigidez para resistir el viento y la carga vertical. Se puede decir que a esta torre le sobra una de las dos estructuras en ménsula vertical, siendo además bastante pequeña en altura.

Si hablamos de torres inclinadas, el primer ejemplo lo tenemos en las Torres Kio de Madrid, 114 m de altura, Fig. 2.07.a. Se trata de dos torres inclinadas de 26 plantas. El núcleo central es vertical, lo que ocasiona que su posición se desplace de uno a otro lado de las plantas. Las cargas verticales de cada una de las plantas se transmiten a los pilares de borde inclinados, lo que produce, para su equilibrio, una componente horizontal que se transmite al núcleo vertical por los forjados. Debido a todas estas cargas horizontales, el núcleo sería inestable y volcaría, lo

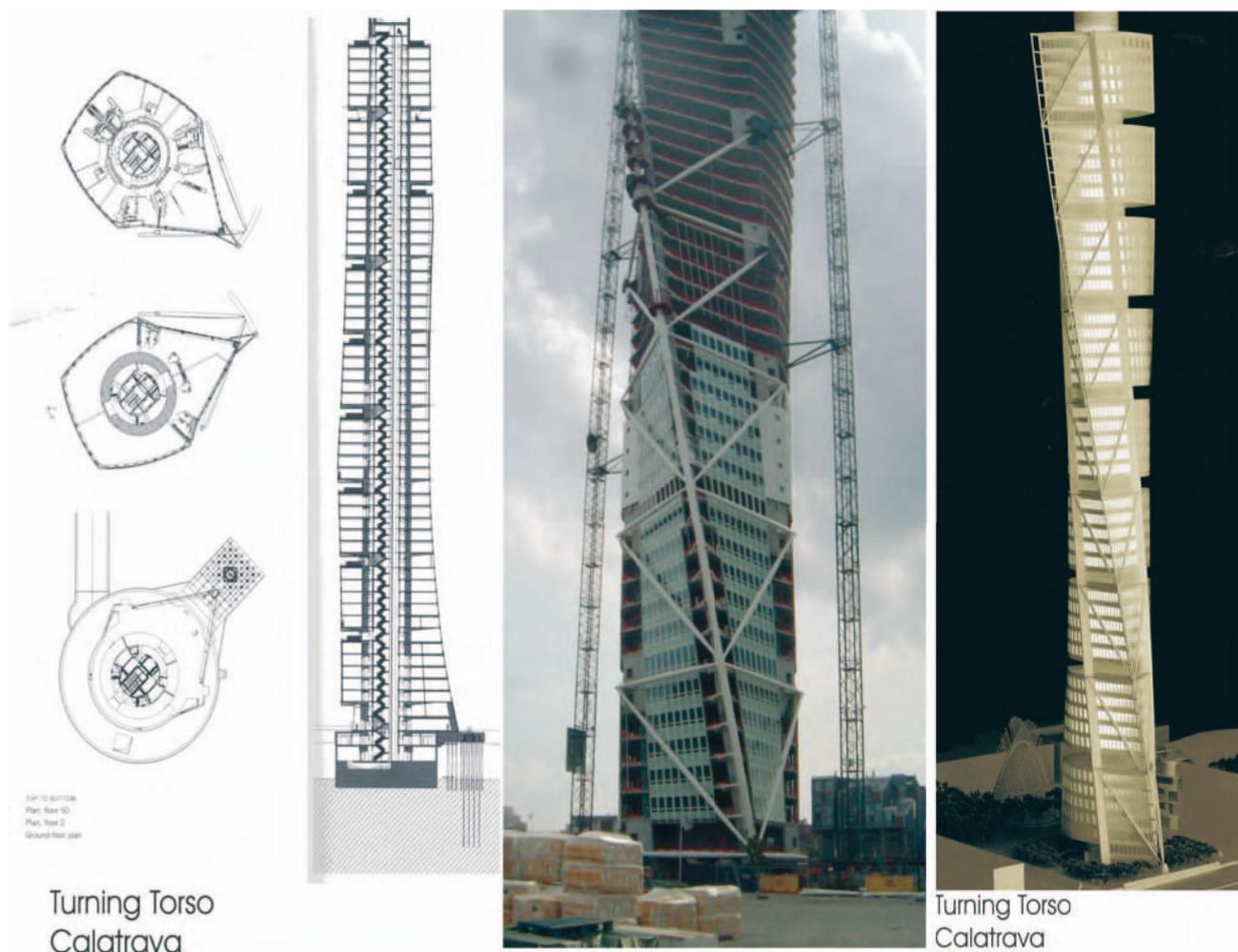


Figura 2.08.- Calatrava en Malmoe.

que se evita introduciendo una componente contraria por un pretensado que, cogiendo el núcleo en coronación, se dispone en la cara inclinada opuesta a la dirección en que vuelca, pretensado que se ancla en la cimentación.

Es un mecanismo correcto que permite la inclinación de la torre sin ninguna ayuda exterior. No ocurre lo mismo en la torre que R. Piano ha realizado en Róterdam, Fig. 2.07b. La disposición de un puntal inclinado exterior que se apoya en la torre en una planta rigidizada, hace el mismo papel que el pretensado de las torres Kio, pero introduciendo una compresión -a la vista- en lugar de tracción oculta.

Esta es una solución no tan inusual. Ya Stirling en Oxford apuntala una residencia de estudiantes de configuración clásica pero inclinada, puntales que a mi entender son absolutamente ajenos a la configuración del edificio. También ha utilizado puntales Isozaki para su propuesta de UR Ueno Railway Station, Fig. 2.07c.

La torre Turning Torso de Calatrava, Fig. 2.08, tiene 190 m de altura y se ha terminado recientemente en Malmoe.

Las primeras doce plantas son de oficinas y las 38 restantes de apartamentos. En la planta 43 se instala un hotel y un gimnasio. Su estructura resistente principal es el núcleo central vertical donde se alojan los ascensores y que discurre a lo largo de toda la altura. Alrededor del cual giran los nueve cuerpos de 6 plantas, con un giro total de 90 grados.

Además del núcleo central dispone dos vigas en “V” en celosía “exoesqueleto”, que desde luego tiene capacidad resistente y ayudará algo al núcleo en su resistencia al viento cuando éste actúa en una determinada dirección. Por lo demás se asemeja más a un adorno tecnológico de la torre.

Si nos empezamos a introducir con las torres en el mundo de la deconstrucción, lo primero que nos encontramos es con la Torre para la Central China de Televisión, de 234 m de altura, diseñada por Rem Koolhaas y su equipo de OMA, Fig. 2.09. La forma particular que adopta está constituida por dos “L” giradas 180°, una en la base y otra en la parte superior y unidas entre sí por dos cuerpos ligeramente inclinados. La estructura elegida es perfecta para resolver

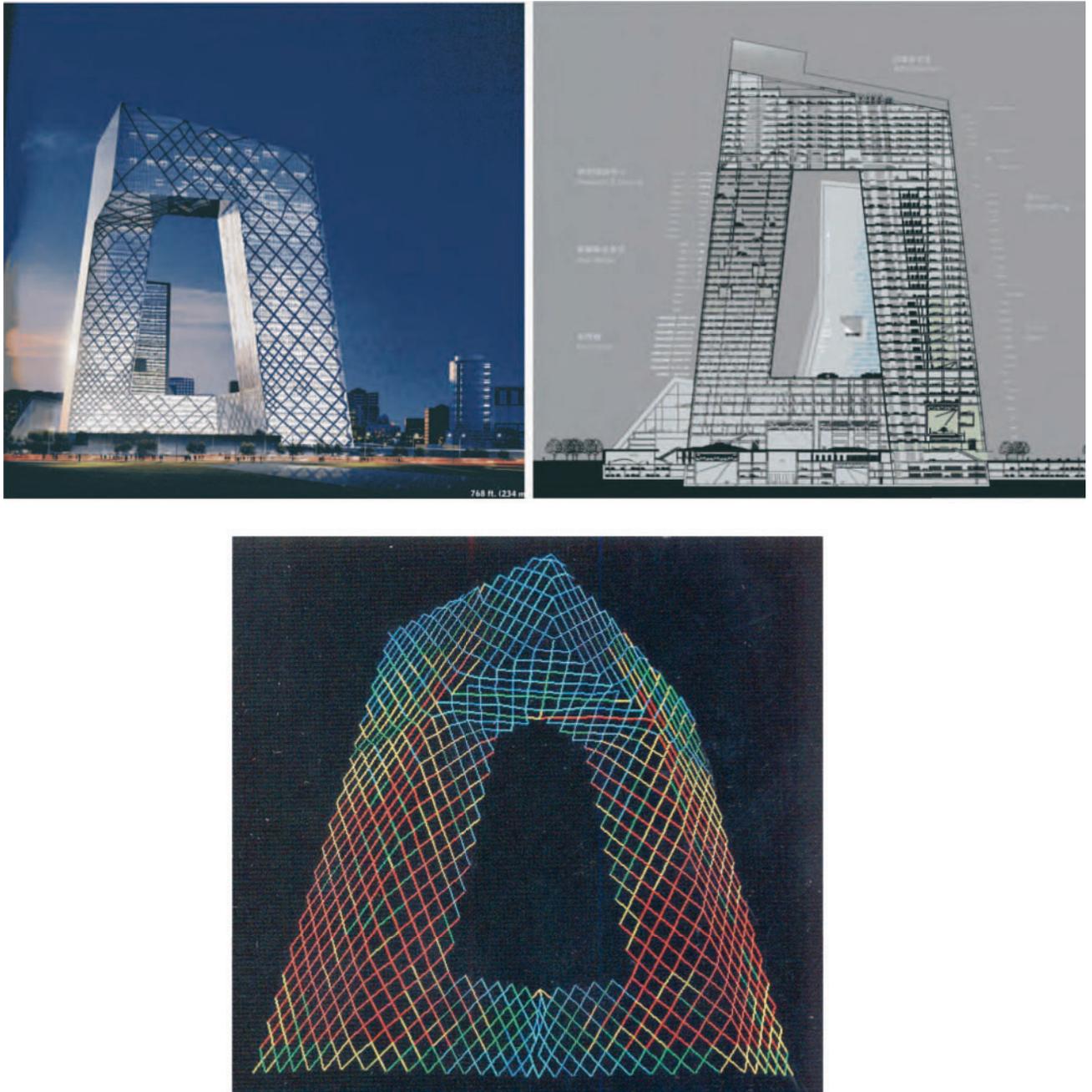


Figura 2.09 .- Torres para la Central China de Telecomunicación, Rem Koolhaas y OMA. Un buen ejemplo de lo que la tecnología permite hacer hoy en día.

las enormes ménsulas que se producen en altura y en planta. Es una viga cajón formada por una estructura en celosía de piel, distribuida de una forma heterodoxa pero eficaz. Se concentran las triangulaciones allí donde están más solicitadas.

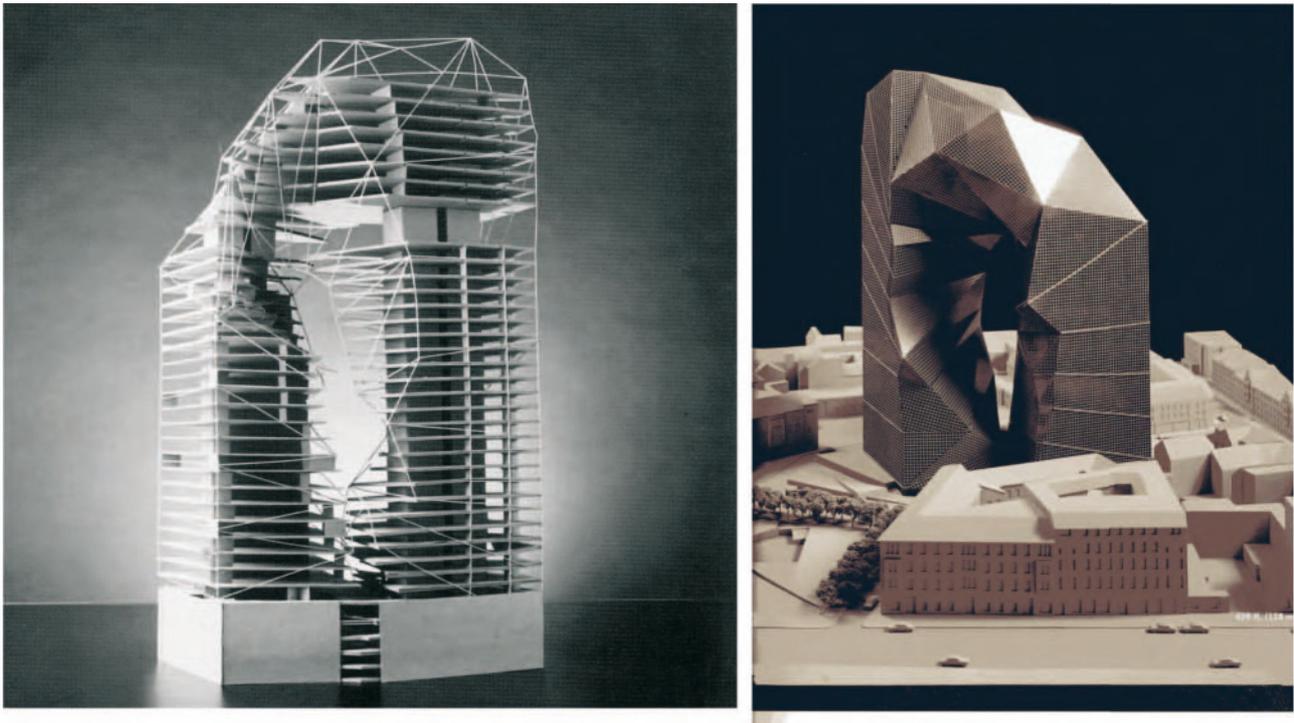
A la parte superior volada hay que añadirle dos vigas triangulares de dos pisos de canto que transfieren la carga a la piel.

Otra vez la celosía triangulada, tan útil para resolver grandes problemas resistentes determinados por la voluntad de establecer grandes edificios en voladizo que ya vimos

en E. Miralles en el edificio del Gas de Barcelona. La deconstrucción y la celosía van bastante unidas, aunque no necesariamente.

Un edificio hermosísimo y ya antiguo, proyecto 1992-93, que no acaba de construirse en Berlín es el Max Reinhardt Haus de P. Eisenman, Fig. 2.10, está constituido por un sólido poliédrico configurado en función de una banda de Moebius con el fin de configurar una superficie que no tenga fin.

Según mi conocimiento, este proyecto no está lo bastante desarrollado como para saber cómo es su estructura. Sé

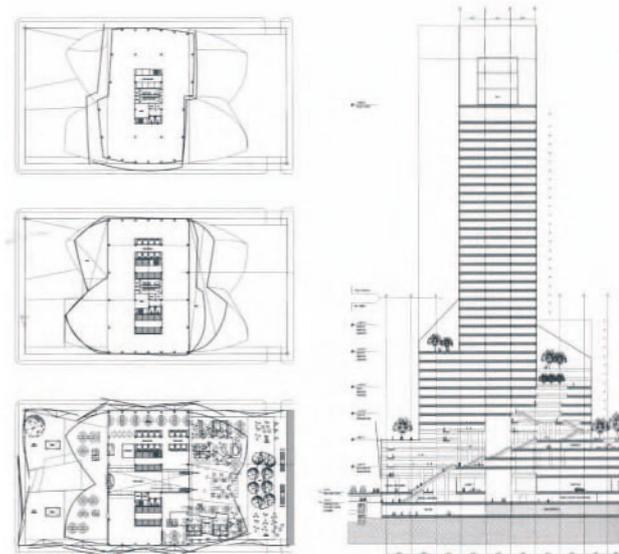


Max Reinhardt House  
P. Eisenman

Figura 2.10.- Max Reinhardt House de P. Eisenman. Edificio deseado. Que salga una vez de los papeles y se construya. Una idea formidable y ya antigua.



New York Times Headquarters  
F. Gehry



New York Times Headquarters  
F. Gehry

Figura 2.11.- Gehry entrando en los rascacielos, ¿por qué no?

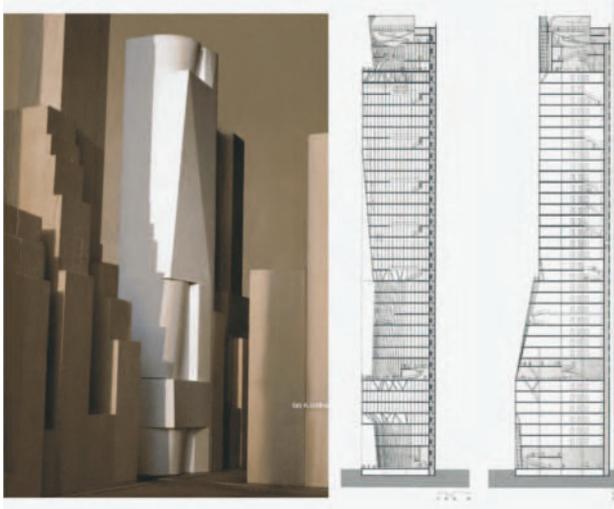


Figura 2.12.- Steven Hall en Nueva York. Proyecto interesante arquitectónica y estructuralmente hablando.

que tiene 31 plantas y 128 m de altura. Por la maqueta parece que tiene dos grandes núcleos centrales en los cuerpos verticales del edificio y no se acaba de saber si el puente-arco-edificio superior que cierra la cinta Moebius está soportado por una gran plataforma horizontal de dos plantas de altura o, lo que sería más lógico, y ésta es sólo una opinión, que, siguiendo la buena costumbre estructuradora de la deconstrucción, se desarrollase a lo largo de sus caras y sus aristas una gran celosía espacial que fuese el primer soporte general básico del edificio horizontal.

De cualquier manera, a mi entender, éste es el edificio más hermoso de los últimos tiempos.

Instalados ya en los edificios en altura deconstruidos, la propuesta de F. Gehry, Fig. 2.11a, para el edificio central del New York Times (año 2000), dispone de una estructura resistente totalmente tradicional para un edificio no muy alto, 185 m, Fig. 2.11b. Es una sección rectangular con un núcleo central de ascensores y pilares de borde, lo que configura resistientemente el edificio y del cual se extienden las plantas hasta alcanzar la piel exterior, cuyo diseño sigue exclusivamente planteamientos plásticos.

Esto pasa, a veces, con algunos diseños de Gehry, realiza una estructura tradicional a la cual añade el tipo de tejido metálico ya descrito cuando tratábamos de las bodegas del Marques de Riscal, Fig. 1.11. Qué lejos de la formidable estructura del Guggenheim y que estaría pidiendo un desarrollo que siguiese la famosa estructura de Office Tower de Louis I. Kahn de Filadelfia o un acoplamiento más fácil a su configuración como es la de la triangulación, rígida fuera del plano, de las superficies de Guggenheim. Finalmente y siguiendo este campo de la deconstrucción tenemos la propuesta de Steven Holl para una torre de 178 m de altura y 40 plantas a situar en la esquina entre la quinta avenida y la calle 42, Fig. 2.12.

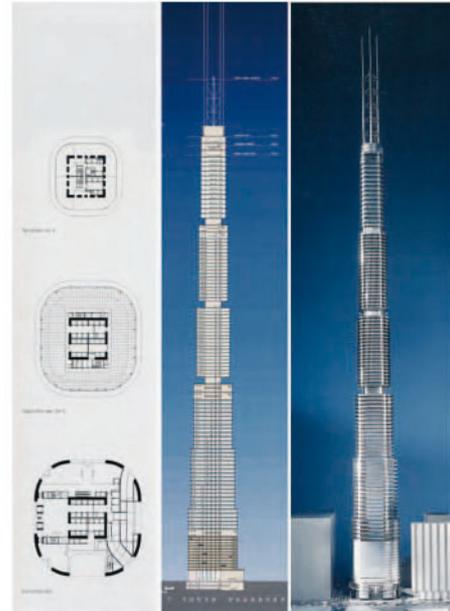


Figura 2.13.- Un edificio formalmente algo diferente y bien resuelto estructuralmente hablando.

La estructura de este edificio, no muy grande, en planta tiene aproximadamente 25x35 m en la parte inferior, está constituida por una "L" de hormigón rígida que constituye los dos lados no vistos de la torre, que es el soporte básico del viento y donde se instalan los ascensores. Además dispone de un conjunto de hasta 6 pilares intermedios que pueden reducirse según sea la forma de la planta. En el borde tiene un tejido suave de soportes. La estructura está bien, funciona muy bien. Una propuesta formidable y clara propia del magnífico arquitecto que es Steven Holl, a mi entender uno de los más interesantes que funcionan hoy en día.

Si abandonamos la deconstrucción y volvemos ahora a edificios con una tecnología resistente más depurada, nos encontramos con el 7 South Dearborn propuesta realizada para Chicago en un edificio de 610 m de altura que introduce algunas novedades resistentes, Fig. 2.13.

Desde el punto de vista del viento, reduce el desprendimiento de remolinos, principal fuente de oscilación de las torres, con la separación de la parte superior en tres bloques de 20 plantas y la utilización de bordes redondeados. Para reducir las vibraciones, introduce en la parte superior del edificio un amortiguador de columna líquida sintonizada. Su estructura resistente está constituida por un gran núcleo central que se desarrolla de arriba abajo y ocho mega-columnas en el borde que se disponen en las cuarenta y ocho plantas inferiores, las cuales se activan al viento por tres plataformas metálicas rigidamente unidas al núcleo de hormigón.

Las cuarenta y ocho plantas inferiores se dedican a aparcamientos (las 12 inferiores) y oficinas. Los dos blo-



Figura 2.14.- Calatrava y Valencia.

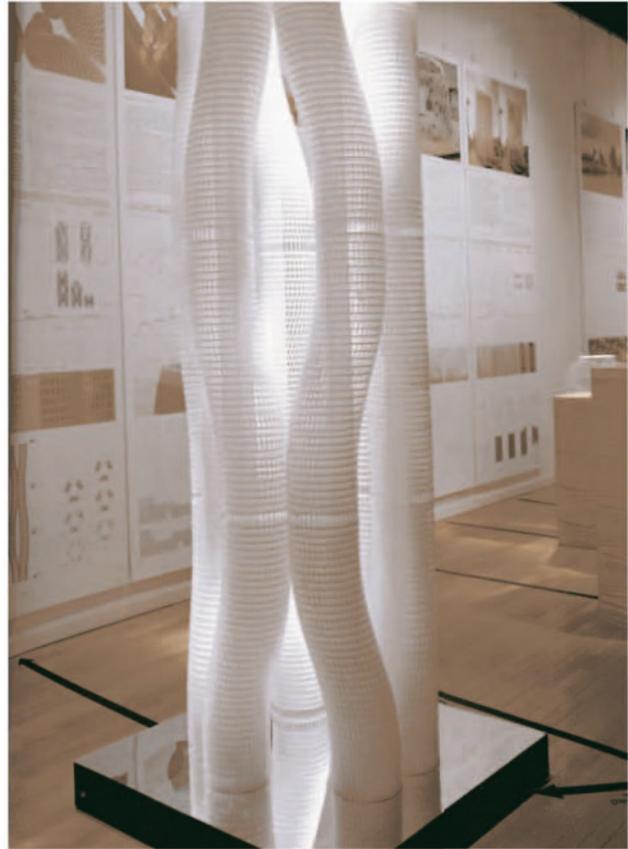


Figura 2.16.- Maqueta en la Bienal de Arquitectura de Venecia. La propuesta de Foster para sustituir el World Trade Center utilizaría la estructura de núcleo central, a la cual, cada planta, se separa y acerca, como ocurriría en estas propuestas.

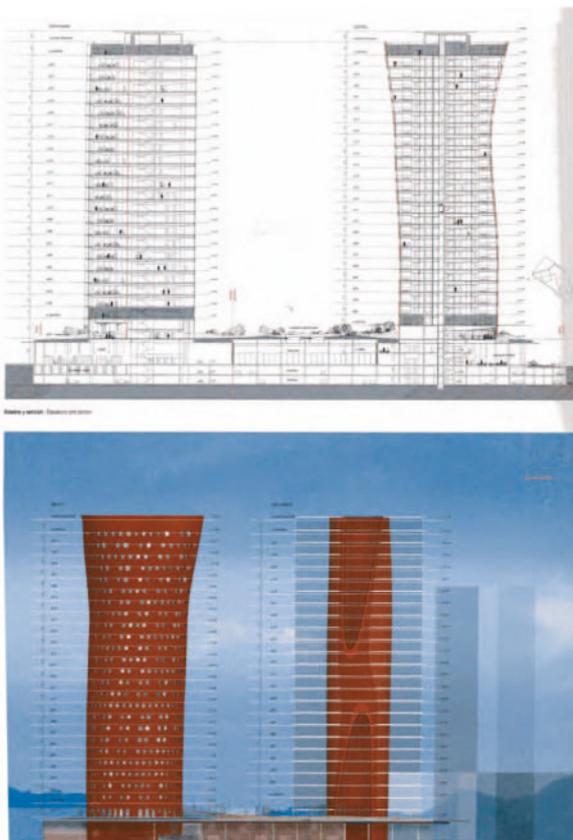


Figura 2.15.- Toyo Hito, las torres se mueven algo en altura con imitación en España.

ques superiores de 20 plantas a apartamentos y el último bloque a telecomunicaciones. Ascensores de alta velocidad y normales se disponen dentro del núcleo central, de 20 m de lado.

Junto a estos diseños y ya cambiando de registro, tenemos la propuesta última de Calatrava para las tres torres en Valencia, Fig. 2.14, un simple ejercicio formal en las fachadas o las propuestas de Hito para Barcelona, Fig. 2.15 para terminar con los cilindros sinuosos de la última Bienal de Arquitectura de Venecia, Fig. 2.16. Las enormes posibilidades de dar estructura y capacidad resistente a los edificios en altura, permite todo tipo de configuraciones cuyo sentido no pasa de la imagen que presentan.

Podríamos seguir comentando así docenas de nuevos rascacielos, pero añadiríamos poco al propósito que me guía de describir las estructuras resistentes.

### 3. POLIEDROS, CUBOS, ETC.

La potencia formal de las piedras de Oteiza, Fig. 3.01 y su contundencia expresiva, ha podido excitar la mente de algunos arquitectos para manifestarse en construcciones de volúmenes simples, poliédricos, regulares o irregulares,



Figura 3.01.- Jorge Oteiza en Barcelona, junto al MACBA.

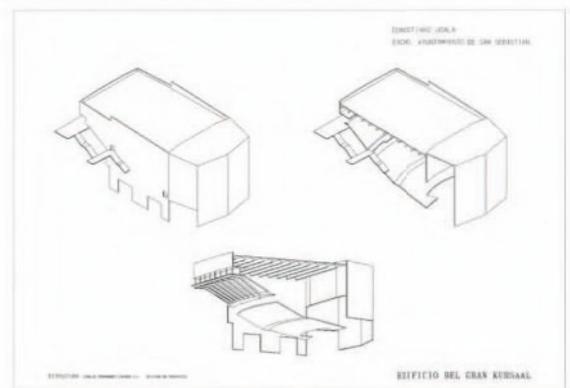
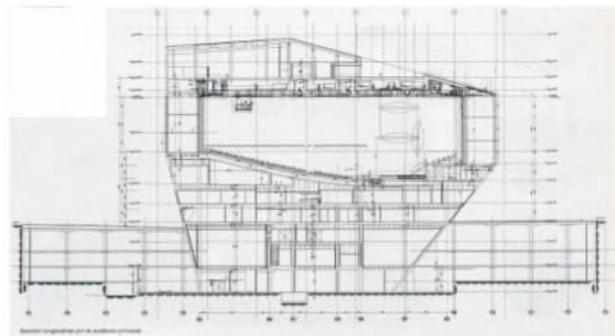
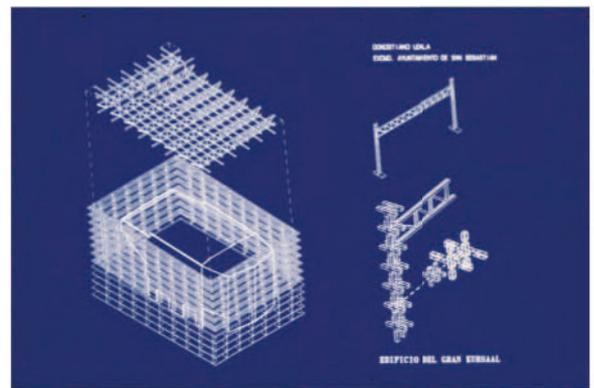


Figura 3.03.- Kursaal. Moneo.

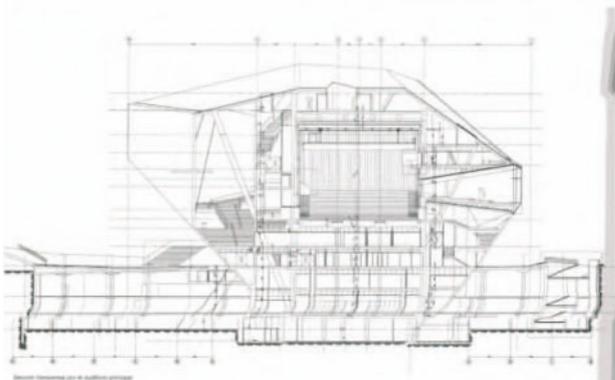


Figura 3.02.- Casa de Música de Oporto. Rem Koolhaas.

que configuran edificios de uso variado pero siempre destacando su corporeidad facetada.

En primer lugar vamos a comentar dos edificios, con el mismo uso y similares concepciones realizados con unos años de desfase. La Casa de Música de Oporto de Rem Koolhaas, Fig. 3.02. y el Kursaal de San Sebastián, de Moneo, Fig. 3.03. Ambos edificios están formados por dos estructuras separadas, una, exterior, de hormigón, en Oporto y de cristal y acero, en San Sebastián, de gran luz superior, Fig. 3.03b.

La segunda estructura constituye claramente el auditorio y está separada totalmente de la exterior. En este caso el material cambia en ambos edificios, la de Moneo es de hormigón y la de Koolhaas, metálica y aislada.



Figura 3.04.- En el Serpentine Gallery Pavilion 2002, Londres. Toyo Hito quiere huir de la materialización del cubo que hace Mies Van der Rohe y con Cecil Balmon utiliza un cuadrado que lo gira en múltiples direcciones.

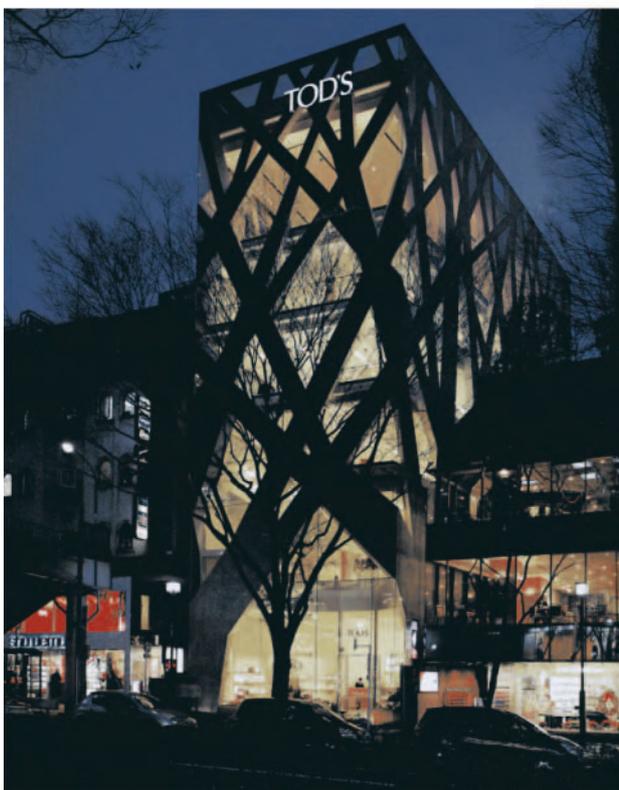


Figura 3.05.- TODS, Japón. Toyo Hito.

Esta estructura interior en San Sebastián es una auténtica lámina plegada polidrica que encuentra, en su forma, la capacidad resistente para soportar sin otra ayuda los grandes graderíos, inferior y superior del anfiteatro central.

Toda lámina polidrica de hormigón, como en Oporto, encuentra en sus aristas un apoyo, fijo o elástico, muy eficaz o poco eficaz en función de su geometría y situación. De todas maneras como este auditorio es bastante grande,

necesita de pilares intermedios auxiliares. La estructura de Oporto está penalizada por el hecho de que el centro de gravedad de todo el poliedro se sale fuera del contacto del mismo con la cimentación. Lo que obliga a disponer dos grandes puntales inclinados que estabilizan la obra, como ocurre en los edificios comentados de Piano en Róterdam y de Stirling en Oxford. En mi opinión, se podrían distribuir mejor los volúmenes poliédricos para que no hicieran falta estas muletas, que, de todas maneras, están dispuestas de manera que impide que se vean desde el exterior.

Dentro de esta misma familia paso ahora a comentar dos obras de Toyo Hito y una de Herzog y de Meuron. Toyo Hito con Cecil Balmond conciben el pabellón provisional de exposiciones, Fig. 3.04, con una estructura que rompe el concepto de cuadrícula ortogonal y paralela a los lados, sustituyéndola por emparrillados oblicuos, cruzados, discordantes con las aristas del pabellón paralelepédico, que, a su vez, se prolongan en las caras verticales. Deconstruye la estructura, de la misma manera que el edificio Tods, Fig. 3.05, en la cual la estructura arborescente que se desarrolla hacia arriba está, otra vez, al margen de la configuración paralelepédica del pequeño objeto que es ese edificio. Y hablando de poliedros pequeños, objetos casi, el realizado por Herzog y de Meuron para Prada en Tokio, Fig. 3.06.

El cubo de Cristal formado por celosías espaciales mínimas de cables y puntales, Fig. 3.07 es el contrapunto a las construcciones anteriores. Este cubo de 15 m de lado proyectado por Richard Holden para un casi "espacio al aire libre" con el fin de aislar del clima de Londres a aquéllos que quieren tomar un café, es una estructura extraordinariamente ligera, utilizando los mínimos elementos de compresión, tubos de 50 mm de diámetro, atirantados en celosía por cables finísimos dispuestos a ambos lados de la cara acristalada. Holden proponía esta idea para encerrar dentro edificios de gran entidad en el South Bank de Londres. Las estructuras estaban calculadas por Ove Arup.

#### 4. SHIGERU BAN Y LA ORTODOXIA RESISTENTE

La obra de Shigeru Ban sorprendió con su pabellón de Japón de la feria de Hannover 2000. La estructura portante son tubos de papel de 12 cm de diámetro y 22 mm de espesor. Se fabrica enrollando en espiral, sobre un tubo metálico que sirve de molde, capas de papel de desecho saturadas de cola. La resistencia a compresión simple llega hasta los 100 kg/cm<sup>2</sup>. Los tubos se pueden fabricar de cualquier diámetro, longitud y espesor.

Ban consulta con Frei Otto respecto al procedimiento de fabricación de un pabellón de 75x25x16 m y éste les recomienda al Buro Happold que ya habían realizado con Otto, por el mismo proceso constructivo, el formidable pabellón de Manheim en 1971.



Figura 3.06.- Edificio de cristal para Prada de 32 m de altura, de Herzog y de Meuron.

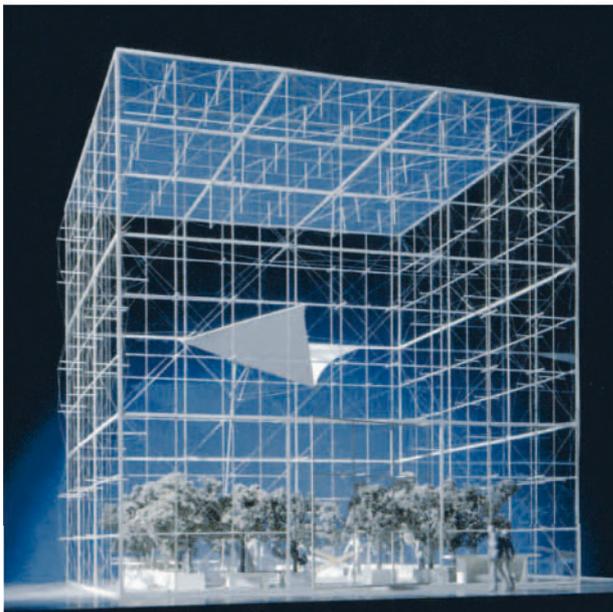


Figura 3.07.-Esta suma ligereza se puede conseguir con cables tensados.

La estructura se realiza disponiendo en un plano las dos familias de tubos de papel cruzados a  $90^\circ$  y dispuestos ambos a  $45^\circ$  con el eje del pabellón. Las juntas entre tubos son libres de girar entre sí. Con un encofrado móvil se va deformando el plano de tubos hasta que adquiere la forma definitiva, lo que se produce con giros diferentes en los nudos de los diferentes tubos de papel. Una vez adquirida su forma definitiva se dispone una familia transversal de arcos de madera que fijan la forma, arcos que están rigidizados por cruce de tirantes metálicos a la manera del pabellón de Exhibición ruso de 1896, realizado por V.G. Suchov y que tanto éxito ha tenido en la construcción de celosías metálicas espaciales, véase, Schlaich, Piano, etc.

El conjunto de las dos familias de tubos de papel y los arcos de madera atirantados se apoya sobre un zócalo, Fig. 4.01. Todo ello se cubre con una capa de impermeabilización. Una vez concluida la feria el material se retira todo el material y se desecha o se vuelve a reciclar.

En la misma dirección y también con tubos de papel Ban realiza bóvedas de 25 m de luz y 8 m de flecha. Los tubos

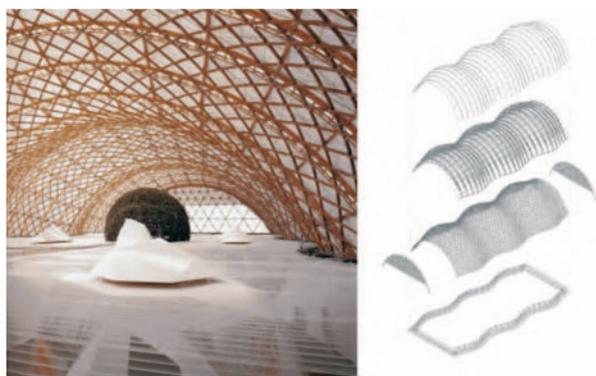


Figura 4.01.- Shigeru Ban. Pabellón de Japón en la feria de Hannover 2000. El papel como material resistente.



Figura 4.02.- Bóveda de papel. Shigeru Ban.

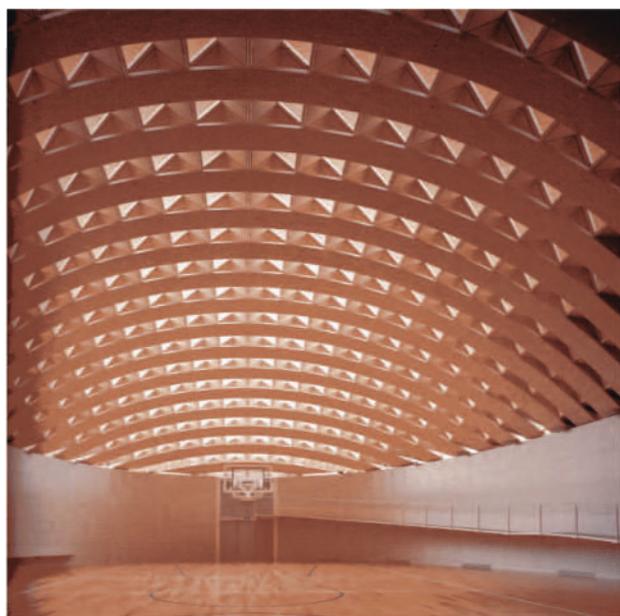


Figura 4.03.- Ingeniosos procedimientos de configurar espacialmente una bóveda. La triangulación de madera entre el cordón superior y el inferior en lugar de estar circunscrito a cada arco, sirve para unirlos a todos ellos. Shigeru Ban.

de 29 cm de diámetro son rectos y de 1,8 m de longitud y, por tanto, la bóveda es poligonal. Los nudos se realizan con madera sobre la que se atornillan los tubos. Los arcos se rigidizan, como siempre por tirantes metálicos y puntales inferiores, también de papel, Fig. 4.02.

En madera, realiza la preciosa bóveda elíptica (20x28 m) del Atsushi Imai Memorial Gymnasium, Fig. 4.03, arcos de madera en celosía, pero en la cual la triangulación intermedia es continua entre arcos, lo que, a la vez de determinar el arriostamiento longitudinal de la bóveda, configura el espacio.

En el Neumnoki Children's Art Museum realiza un formidable emparrillado plano para sostener el techo. El emparrillado está realizado con vigas de papel con nudos de aluminio y contrachapado de madera, Fig. 4.04.

La obra de Shigeru Ban está llena de talento arquitectónico, inventiva y originalidad, dentro de la más estricta ortodoxia resistente.

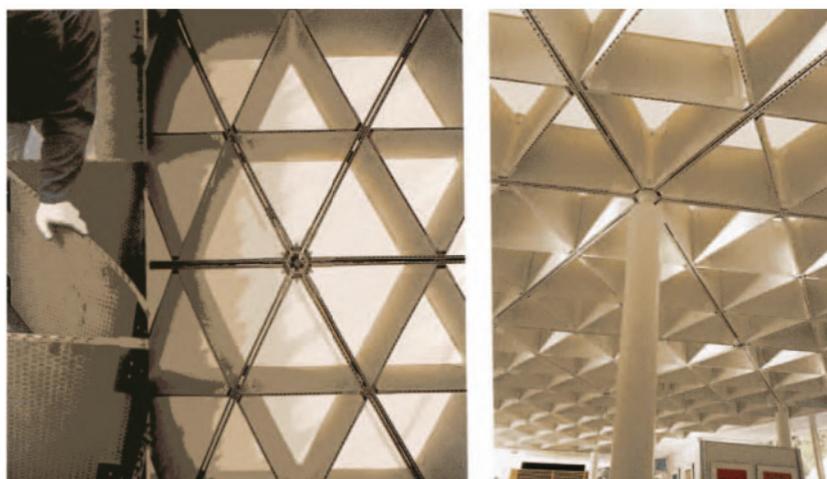


Figura 4.04.- Un artesonado de papel, aluminio y madera, formidable.

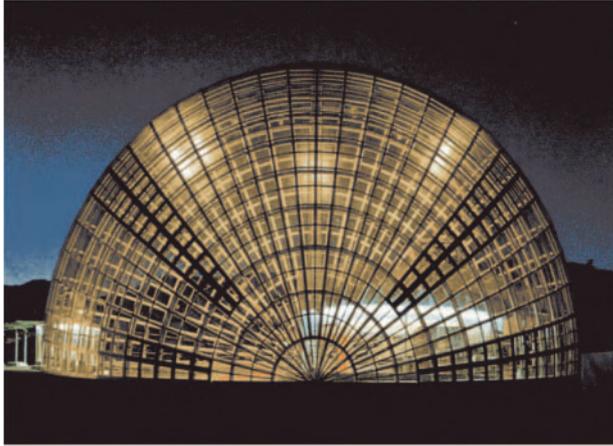


Figura 4.05.- En el mercado de Fruta de Yamanashi los meridianos desembocan en el suelo y las paralelas en lugar de ser horizontales son verticales. Una nueva forma de ver la cúpula clásica.

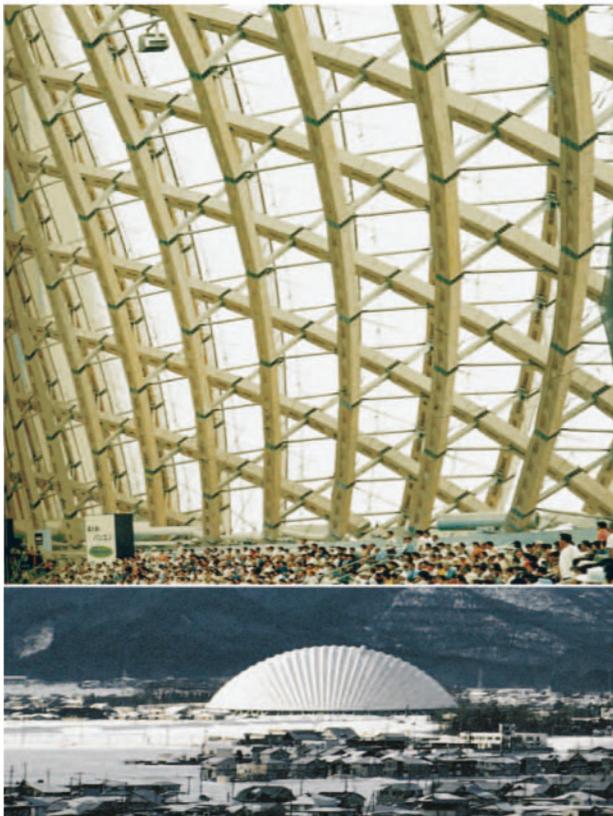
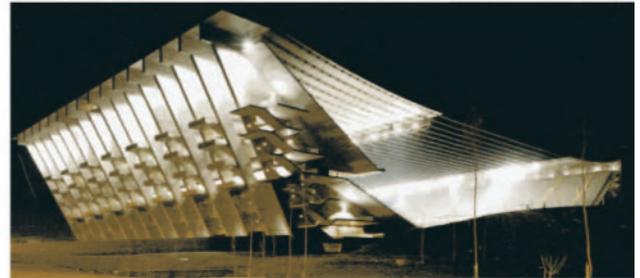
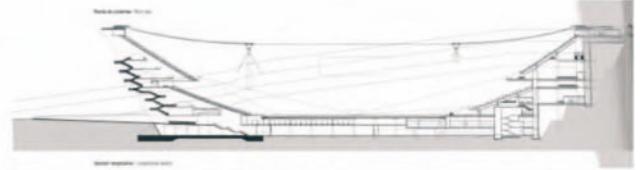


Figura 4.06.- Toyo Hito hace lo mismo que la cúpula anterior; los arcos de madera principales tienen un doble cordón y entre medias se disponen los transversales. Preciosa bóveda de madera algo elíptica, girada 90° respecto a lo usual, en Odate Japón 1995-1997.

Y ya metidos dentro de la arquitectura japonesa conviene detenerse en las nuevas cúpulas en las que la configuración de arcos y meridianos metálicos está girada 90° respecto de lo habitual, como en el mercado de la Fruta de



Estadio Municipal de Braga  
Arq. Souto de Moura

Figura 4.07.- Souto de Moura. Estadio Municipal de Braga.

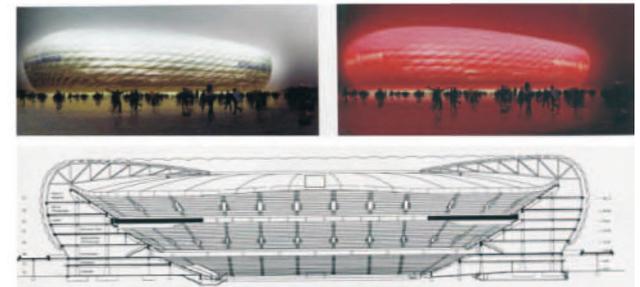


Figura 4.08.- Alianz Arena, Munich, Herzog y de Meuron.

Yamanashi, Japón, Fig. 4.05 y que Toyo Hito ha realizado tan magistralmente en la cúpula elíptica del pabellón deportivo de Odate, Jukai dome Park, Fig. 4.06, estructura de madera de cedro con doble juego de arcos entrecruzados, unos portantes de doble capa y otro de arriostramiento simple. Todo se recubre con fibra de vidrio y resina de fluoretileno.

Y ya dentro de la ortodoxia resistente más pura, el Estadio municipal de Braga, de Souto de Moura, Fig. 4.07, una estructura colgada, tan evidente que extraña que no haya sido utilizada ni antes ni después. Si añadimos a esto la gran belleza plástica de unos graderíos y escaleras totalmente ortodoxas, tenemos un edificio magistral, continuación de la formidable cubierta de A. Siza para el pabellón de Portugal.

Siguiendo con la ortodoxia estructural la Alianz Arena de Munich, proyecto de Herzog y de Meuron, Fig. 4.08. Es una estructura clásica en todos los sentidos, graderío y cubierta, con la brillantísima terminación exterior muy propia de la maestría de estos arquitectos.

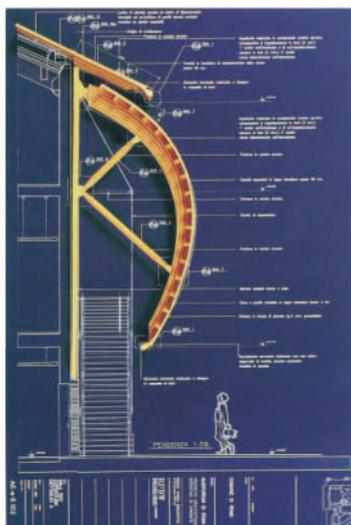
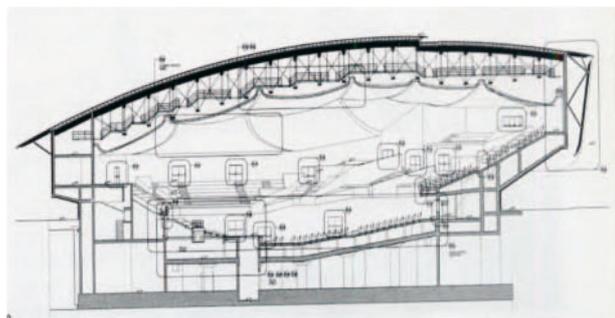
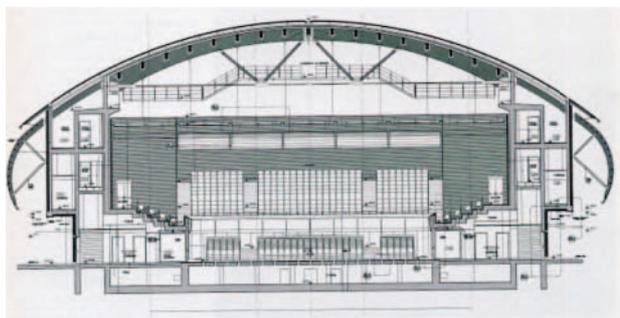
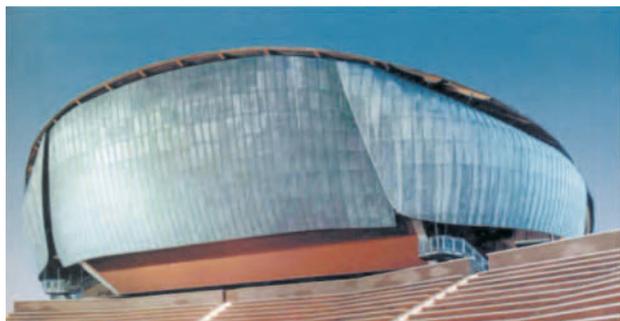


Figura 4.09.- Tres caparazones poderosos, de animal prehistórico. La pregunta debe ser: ¿Puede una configuración exterior tan poderosa no tener correspondencia con la estructura que los soporta?

Renzo Piano en el Auditorio Capitale de Roma, Fig. 4.09, va también a una estructura muy tradicional, cerchas de madera con triangulación y tirantes metálicos, Fig. 4.09c, apoyadas sobre columnas verticales. Para conseguir la forma lateral del caparazón a que se asemeja la cubierta y la volumetría de las tres salas, Piano acude a su clásica estructura metálica de tubos atirantados que ha utilizado en múltiples ocasiones, Fig. 4.09d. Piano suele evitar las configuraciones resistentes que tienden a la antifuncionalidad para controlar la forma a su gusto y no al de la eficacia resistente. Sus espectaculares y expresivas formas exteriores no encuentran correspondencia, muchas veces, con el desarrollo estructural interior.

## 5. FORMAS BLANDAS

No es tan reciente la configuración de espacios estructurales con formas “blandas”, carentes de aristas y que configuran formas nuevas, atractivas, con evidente futuro en múltiples aplicaciones.

Zaha Hadid, en el Centro Acuático de Londres, propuesto para la Olimpiada, Fig. 5.01, realiza una cubierta que se convierte en apoyo utilizando formas muy sugestivas configuradas por una celosía interna espacial, Fig. 5.01b, que se acopla bien a la voluntad e intención del arquitecto. Hemos visto cómo la celosía espacial, muy utilizada en la

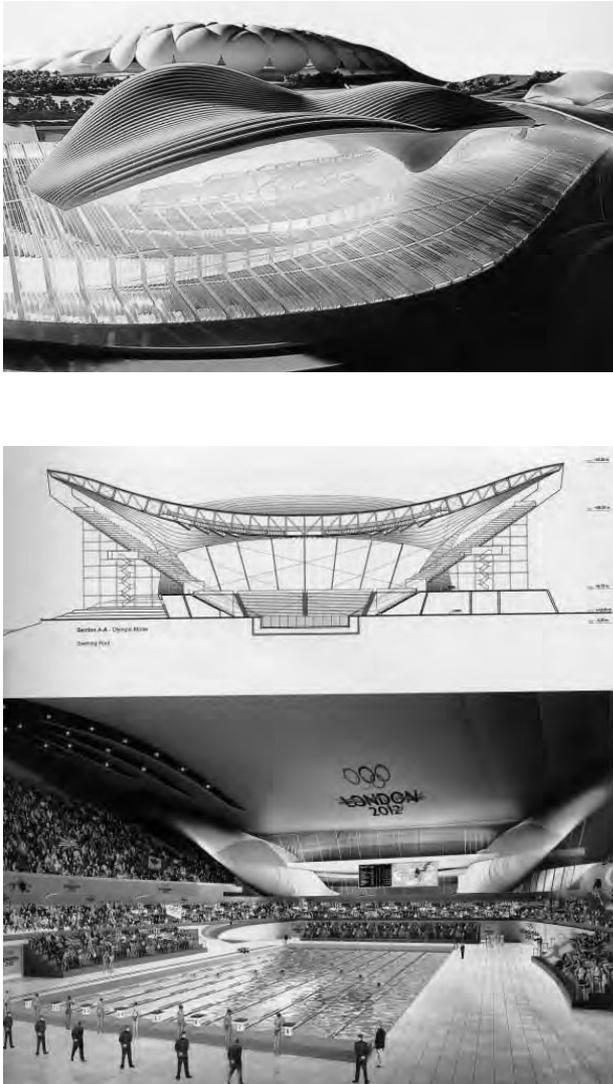


Figura 5.01.- Zaha Hadid propuesta para la olimpiada Londres.

deconstrucción, es una tipología estructural que al desarrollar capacidad de resistencia por forma (limitada) cuando no es antifunicular, necesita de rigidez a flexión para resistir los esfuerzos producidos al adoptar cualquier forma exterior. Por tanto, resulta ideal para todas las estructuras libres, tiene una respuesta estructural perfectamente definida y utilísima, que los modernos métodos computacionales abordan sin ningún problema.

En esta misma configuración formal tenemos la propuesta ganadora para el Learning Center de Sejima y Nishizawa, Fig. 5.02, que no sé cómo responderá funcionalmente, pero resulta extraordinariamente atractiva y no presenta problema estructural aparente que fácilmente se resolverá con vigas curvas o la ya clásica celosía espacial.

Es digno de atención la diversidad de buenas soluciones arquitectónicas y estructurales de las diversas propuestas realizadas para este concurso.

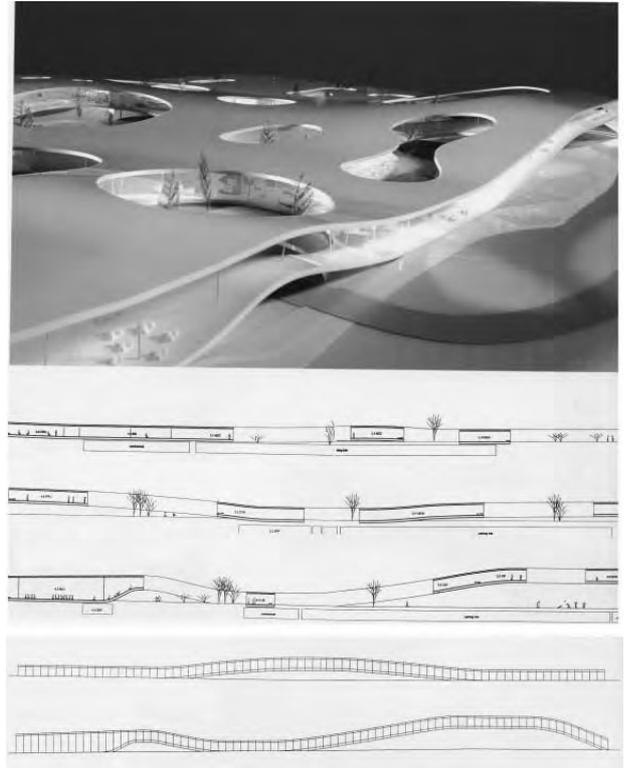


Figura 5.02.- Learning Center, Sejima y Nishizawa.

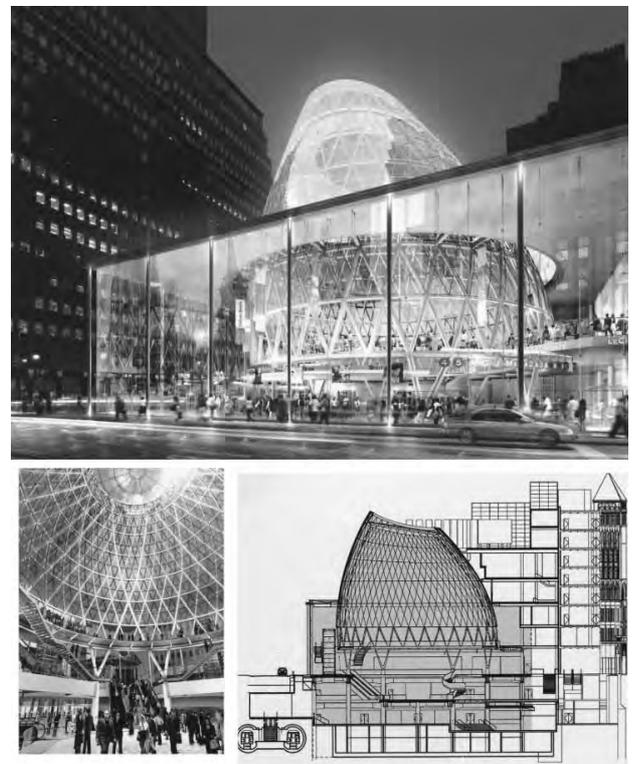


Figura 5.03.- Nicholas Grimshaw. Cúpula deformada.

Esta distorsión de la forma resistente eficaz ha alcanzado hasta arquitectos tan clásicos como N. Grimshaw, Fig. 5.03, que deforma la cúpula troncocónica, fácilmente resoluble añadiendo una pequeña rigidez a flexión a los perfiles que configuran la celosía triangular que la configura.

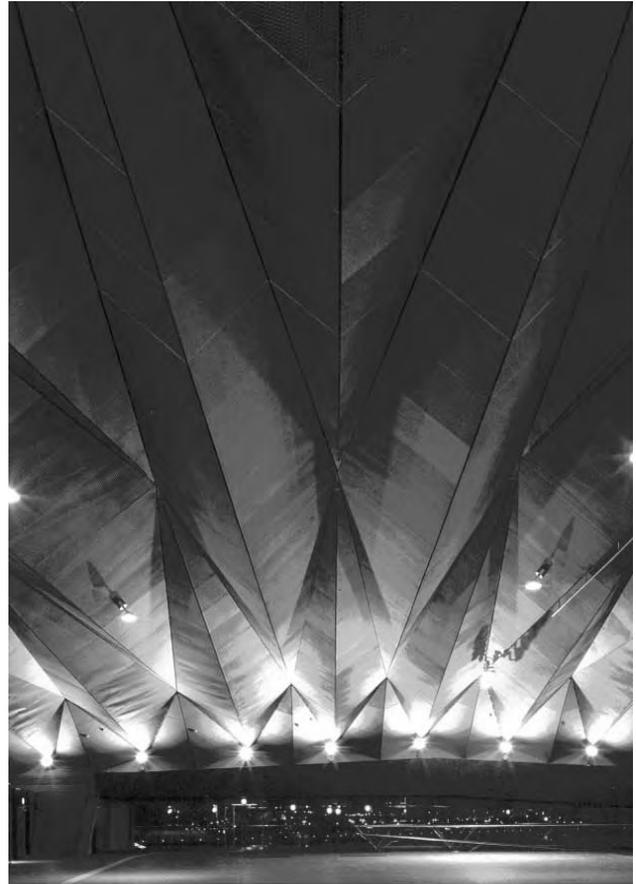


Figura 5.04.- Terminal de Yokohama. Alejandro Zaera, FOA.

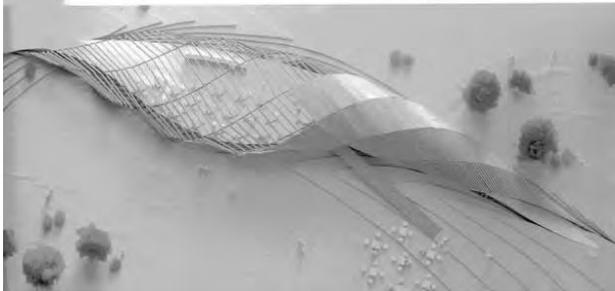
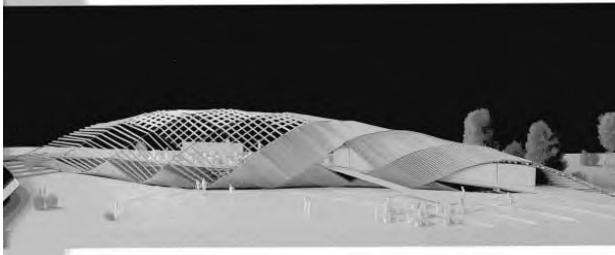
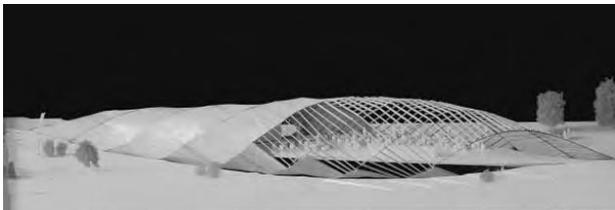


Figura 5.05.- Toyo Hito. Torrevieja.

No podemos dejar de hablar de lo que a mí me parece una de las obras de arquitectura más interesante del momento, la terminal Internacional de Yokohama de Alejandro Zaera, Fig. 5.04. Aunque propiamente no sea una forma blanda, tiene una estructura funcional nueva en la cual suelo y techo se pliegan, abaten, suben y bajan en una perfecta configuración, provista, además, de una estructura resistente, no por clásica, menos interesante.

Si avanzamos en las formas curvas debemos referirnos a dos obras especialmente sugestivas que, por su tamaño, casi se parecen más a objetos habitables que a edificios.



Figura 5.06.- Pabellón del Agua. Holanda.

En primer lugar presento a Toyo Hito en su parque de la delegación de Torrevieja, Fig. 5.05, auténticas conchas de moluscos marinos conseguidas con tubos delgados que en lugar de cerrarse en perfiles transversales clásicos se enrollan en espiral produciendo un espacio nuevo y sensacional. Su escaso tamaño no produce esfuerzos significativos y la estructura se resuelve con una simplicidad asombrosa.

Finalmente, presentamos una obra antigua, el Pabellón del Agua situado en los diques que cierran Holanda al mar del Norte, Fig. 5.06, forma libre que configura espacios diferentes y atractivos. Se puede predecir respecto a esta obra lo dicho para el parque de la delegación de Hito, su pequeño tamaño convierte la estructura resistente en algo secundario, aunque necesario.

El Centro acuático de Londres resulta un ejemplo perfecto de una cubierta en celosía espacial, recubierta, que se pliega en un movimiento formidable pasando de techo a soporte sin transición de continuidad.

Este mismo movimiento se encuentra en la propuesta de Sejima y Nishizawa, para el concurso del Learning Center que resultó ganador, aunque, en este caso, el movimiento se extiende a todo el edificio.

No sé si estas dos últimas propuestas se pueden incluir en el movimiento de la deconstrucción, pero lo que sí es cierto es que después de estar instalado en él es mucho más fácil configurar edificios como los descritos, pensamiento que ya está presente, a mi entender, en el edificio de Yokohama de Zaera.