

Texto de la Charla dada el 19 de Mayo de 2010 con motivo de la incorporación a la Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires. En el texto se encuentran intercalados unos rectángulos rojos que indican el cambio manual de diapositivas del PowerPoint. Algunas diapositivas cambian solas después de algunos segundos así que sólo es necesario el pasaje manual cuando se vea el rectángulo rojo.

## LAS ESTRUCTURAS COMO ESPECTÁCULO ■

Victorio Hernández Balat

### INTRODUCCIÓN

El Hombre ha venido organizando y asistiendo a espectáculos desde tiempos remotos. El espectáculo involucra la existencia de algo que es observado y de un observador que toma un rol más o menos activo frente al mismo.

■ No todas las personas perciben la espectacularidad de igual forma. De hecho la vida expone permanentemente al Hombre a paisajes, objetos y situaciones que, según la experiencia de vida y sensibilidad de cada uno, serán calificados como espectaculares o no.

Es muy difícil que las clasificaciones no presenten algún grado de arbitrariedad. Hecha esta salvedad se propone aquí, con bastante arbitrariedad, dividir a las construcciones en tres categorías:

- ■ Las Naturalmente espectaculares que son aquellas en las que la espectacularidad es consecuencia de una acertada solución a problemas reales.
- ■ Las Deliberadamente espectaculares que son aquellas que han sido intencionalmente concebidas para ser espectaculares o bien en las que se ha forzado la solución para lograr espectacularidad y, finalmente las
- ■ Absurdamente espectaculares: que no necesitan comentarios especiales y demuestran que la espectacularidad tiene rasgos en común con la celebridad. Se puede ser tristemente célebre y se puede construir algo absurdamente espectacular. Estas construcciones demuestran además que la espectacularidad no necesariamente está asociada a logros estéticos.

En esta charla casi no incluiremos obras pertenecientes a esta última categoría.

■ En las construcciones la espectacularidad tiene varios componentes entre los que se destacan la escala y la ostentación. La escala tiene que ver con lo inesperado, con la novedad de construir y mostrar algo más grande que lo conocido o sostenido de una manera que, en su contexto histórico, sorprende y hasta alarma al espectador. Obviamente hay cosas que sorprendían hace algunos años y hoy ya no lo hacen.

■ Daremos aquí un sentido bastante amplio al término ostentación haciéndolo ir desde una exhibición de puro lujo a la inclusión de obras de arte de real valor estético o bien al empleo de nuevas tecnologías ■ o a un uso novedoso de las ya existentes. Todo ha valido y todo se ha utilizado en el afán de sorprender, mostrar algún tipo de poder, dar envidia y, más recientemente, ■ atraer turistas, es decir, dinero.

■ La búsqueda de la espectacularidad en las obras ejecutadas por el hombre no es nueva. Las Siete Maravillas del mundo antiguo fueron seleccionadas por Antípatro de Sidón, hacia el año 125 a. C. En esa época Grecia constituía -para los griegos- buena parte del mundo conocido y por lo tanto no es de extrañar que cuatro de las siete maravillas fueran obras griegas seleccionadas por su escala y/o por su ostentación.

■ Durante siglos los nobles compitieron por tener los palacios más lujosos y espectaculares hasta que alguna revolución decapitaba o fusilaba a varios y, por lo menos esa competencia, se daba por terminada.

■ Pueblos y ciudades de Europa disputaron durante mucho tiempo sobre cual tenía la iglesia más alta, más ancha, más grande o con el campanario más alto. Con la construcción de la Basílica de San Pedro la Iglesia Católica frenó en parte estas carreras dado que discreta y amablemente hizo saber que no quería competencias en cuanto a largo y superficie.

## **LOS EVENTOS MUNDIALES**

■ A partir de mediados del siglo XIX se producen cambios tecnológicos, económicos y sociales que expanden la escala de las competencias por espectacularidad y la importancia que las estructuras tienen en dichas competencias. La escala es ahora a nivel mundial o, en palabras de aquella época, universal.

La Exposición Universal celebrada en Londres en 1851 marca el comienzo de una serie de exposiciones internacionales en las que los países intentan mostrar al resto del mundo su poderío económico y tecnológico, generar admiración y envidia y si es posible, humillar a sus competidores. Es por eso que estas exposiciones se han caracterizado por la espectacularidad de sus construcciones las que se vieron liberadas de las limitaciones económicas aplicables a las edificaciones ordinarias. Se trataba de competir y ganar costara lo que costara. El gasto pasó a ser políticamente correcto. A escala planetaria fue el equivalente a lo que ocurre aquí cuando para las fiestas de quince o para el viaje a Disney las familias empeñan hasta las joyas de la abuela.

■ En la exposición de 1851 los ingleses mostraron al mundo el Palacio de Cristal.

■ Se discutió tanto sobre cómo debía ser el edificio principal que llegó a peligrar la realización de la exposición por falta de tiempo para construirlo. Hay que recordar que en esa época los medios de construcción disponibles eran bastante precarios.

■ Para pesar de arquitectos e ingenieros se le encargó el proyecto a un experimentado jardinero y constructor de invernaderos llamado Joseph Paxton. El edificio construido en fundición de hierro, hierro forjado y vidrio tenía 564 metros de largo y 33 de altura y fue el proyecto de prefabricación más audaz que se hubiera encarado hasta ese momento. ■ En sus paredes y techos se utilizaron 84.000 m<sup>2</sup> de vidrio, el equivalente a la superficie de ocho manzanas.

■ Si bien en los años siguientes se organizaron otras exposiciones mundiales con edificios cada vez más impresionantes el gran golpe de efecto lo dieron los franceses en la Exposición Universal de 1889 celebrada en París en coincidencia con los festejos por el centenario de la Revolución Francesa.

■ En ese entonces se comentaba que los ingleses o los norteamericanos estaban por construir de un momento a otro un monumento de 1000 pies de altura, unos 300 metros. Francia, históricamente enfrentada con Inglaterra, no quiso darles esa posibilidad y lanzó un concurso público de ideas para un monumento de esa altura a ser construido en el predio de la exposición. ■ La compañía de Gustavo Eiffel resultó ganadora del concurso con el proyecto de una torre de hierro.

■ A pesar de lo que muchos creen, Eiffel no proyectó la torre. Si bien siempre le gustó la ingeniería civil no aprobó el examen de ingreso a la École Polytechnique por lo que se graduó en la École Central de Paris pero de ingeniero químico. Los artífices técnicos de la Torre fueron los ingenieros Maurice Koechlin y Emile Nouguier. Los franceses no son muy afectos a mencionar este hecho dado que Koechlin, proyectista de las más famosas obras de Eiffel, era suizo y, para peor, con apellido alemán.

Los entretelones del concurso y del proyecto podrían constituir el argumento de una novela de enredos pero dejaremos este tema para otra oportunidad.

■ Los desafíos técnicos fueron muchos partiendo de la estimación de cual podía ser la acción del viento a 300 metros de altura y terminando con la construcción de una estructura gigantesca en tiempo récord y que, además, fuera fácilmente desmontable dado que este era un requisito del concurso.

La Torre fue construida íntegramente en hierro forjado resultando no solamente una gran atracción en su momento ■ sino que en el presente es el monumento más visitado del mundo y es tal vez el ejemplo más rotundo de una estructura construida para ser espectacular. Y para ganar dinero.

■ Como dato anecdótico cabe comentar que en esa misma exposición de 1889 la Argentina presentó un pabellón desmontable de grandes dimensiones. En él se expuso a la ciudad de La Plata obteniendo la presentación dos medallas doradas en las categorías “Ciudad del Futuro” y “Mejor realización construida”.

■ En 1893 le toca el turno a Chicago. ■ Para los norteamericanos no tenía sentido intentar hacer un edificio más impresionante que el Palacio de Cristal o un monumento más alto que la Torre Eiffel dado que sería tomado como una falta de originalidad. Los organizadores de la exposición retaron a los

ingenieros norteamericanos a proponer algo “original, desafiante y único”. La propuesta ganadora fue la George Washington Ferris, un ingeniero civil especializado en ingeniería ferroviaria y puentes, y consistió en lo que hoy denominamos ■ una rueda de la fortuna. La idea era realmente original porque incorporaba el movimiento y el vértigo de la altura.

Cabe acotar que Ferris tuvo que luchar mucho para que su idea fuera aceptada dado que inicialmente fue catalogada como irrealizable. La rueda tenía 76 metros de diámetro y soportaba 36 vagones con capacidad para 60 pasajeros cada uno, es decir, 2160 personas podían utilizarla al mismo tiempo. Una vez construida tuvo un impacto tan grande que aún hoy, casi 120 años después, los angloparlantes denominan “ruedas Ferris” a este tipo de atracciones.

■ El desafío estructural fue enorme. La rueda estaba montada sobre dos torres de 43 metros de altura unidas entre sí mediante un eje de casi 14 metros de largo y 40 toneladas de peso que constituyó la pieza de hierro forjado de mayor dimensión ejecutada hasta ese momento. ■ En su momento la rueda de Ferris fue casi tan alta como el más alto de los rascacielos de Chicago lo cual era mucho decir dado que se trataba de la ciudad cuna de este tipo de edificios.

■ Esta gigantesca rueda dio origen a una de las tantas carreras internacionales por obtener récords. En la actualidad la rueda más grande es el Singapur Flyer de 165 metros de diámetro que será superada en 2012 por la Gran Rueda de Beijing. Cabe destacar que ninguna de ellas ha igualado a la rueda de Ferris en cuanto al número de ocupantes.

■ Con el correr de los años las exposiciones fueron mezclando obras espectaculares con algún interés estético con construcciones peculiares y espectaculares que permitían hacer ostentación de alguna tecnología. ■ En el segundo grupo puede incluirse la “carreta del lejano oeste inflable” creada para el pabellón de Fuji en la Expo Osaka de 1970.

Una forma de carreta no es lo peor que le puede ocurrir a un proyectista de estructuras. Las construcciones biomórficas y antropomórficas son aún peores.

■ Una prueba de ello lo constituye el Pabellón-Puente sobre el Ebro proyectado para la Expo 2008 realizada en Valencia. El ingreso a la exposición se planteó con un Pabellón-Puente con forma de ramo de gladiolos. Si si, gladiolos. Se trató de una obra prácticamente artesanal, puesto que en su estructura no existió una sola pieza igual a otra impidiendo cualquier intento de sistematización en su proyecto o construcción. Por supuesto, del costo ni hablar.

Aunque a vuelo de pájaro, en lo que hace a las exposiciones mundiales hemos llegado hasta la actualidad. Las siguientes diapositivas son adelantos de lo que se espera para la Expo Shanghai 2010. ■ Como puede apreciarse, las estructuras siguen teniendo un rol protagónico en la espectacularidad de las construcciones.

■ Pasemos ahora a otro tipo de eventos de carácter universal que también han dado lugar a la construcción de obras espectaculares en las que las estructuras, particularmente sus cubiertas, han tenido un rol protagónico en la espectacularidad. Nos estamos refiriendo a las Olimpiadas. ■ Los Juegos Olímpicos se desarrollaron originalmente en Grecia entre los años 776 antes de Cristo y 393 después de Cristo y ■ reaparecieron, ahora con carácter de competencias regulares mundiales, a partir del año 1896. Al principio los estadios fueron solamente eso, estadios. El abaratamiento de los viajes, las transmisiones internacionales de radio y televisión y la propaganda fueron permitiendo que los estadios olímpicos se transformaran ellos mismos en una atracción y en una manifestación del poderío del país anfitrión. Mencionaremos algunos ejemplos en los que puede verse la participación que han tenido las estructuras en la resolución y espectacularidad de los techos de estas edificaciones.

■ Para los Juegos Olímpicos de 1960 que tendrían lugar en Roma se le encarga a Pier Luigi Nervi el proyecto de un estadio cubierto con capacidad para 5000 personas denominado “Palazzetto dello Sport”. ■ Su cubierta de hormigón armado de algo menos de 60 metros de diámetro es todavía citada como ejemplo de eficacia, belleza y economía. ■ Nervi también proyecta para esa oportunidad una estructura mayor, de 100 metros de diámetro, el “Palazzo dello Sport” con capacidad para 16000 espectadores. ■ Su aspecto interior es también espectacular aunque ■ exteriormente es bastante menos atractivo que el primero.

■ Los Juegos Olímpicos de 1964 tuvieron lugar en Tokio. Para esa oportunidad el famoso arquitecto japonés Kenzo Tange proyecta un estadio con una cubierta sostenida por cables. De allí en adelante los cables estarán presentes en la solución estructural de muchas de las cubiertas de los Estadios Olímpicos.

■ El ejemplo más contundente lo representan las cubiertas utilizadas para los Juegos Olímpicos de Munich en 1972 donde Frei Otto incorpora a la sensación de liviandad que dan los cables una fuente más de espectacularidad: la transparencia. Para ser justos habría que decir reincorpora dado que Paxton ya la había utilizado en su Palacio de Cristal de 1851.

■ Con la intención de innovar, para los Juegos Olímpicos de 1976 en Montreal se intenta un equivalente a lo hecho por Ferris con su rueda: incorporar el movimiento pero esta vez a una cubierta. El resultado fue catastrófico. El proyecto consistió en una estructura compuesta por una membrana replegable sobre una torre mediante el uso de cables. La construcción no estuvo lista para los Juegos Olímpicos dado que demoró diez años en estar terminada ■ y su costo final fue casi doce veces mayor que el estimado. Por si esto fuera poco la estructura no resultó estanca frente a la lluvia y tuvo que ser reemplazada en poco tiempo por un techo fijo.

■ Con el correr de los años las ceremonias de apertura televisadas a todo el mundo comenzaron a tener cada vez más importancia y los estadios pasaron a formar parte de la escenografía de fondo de esas ceremonias.

Para los Juegos de 2004 en Atenas se le encargó al Arquitecto Santiago Calatrava que cubriera parcialmente un estadio existente. La solución, que estructuralmente es bastante poco eficiente, tiene un aspecto impactante, es decir, cumplió con uno de sus cometidos. Posiblemente el más importante.

■ El estadio principal para los Juegos de 2008 en Beijing recibió el apodo de “el nido” por el aspecto intrincado de su estructura. Es evidente que lo que se persiguió en el proyecto fue un efecto visual aún a costa de una enorme complejidad constructiva. Nuevamente la estructura fue protagonista.

■ Para las Olimpiadas de Londres en 2012 hay enorme controversia sobre si debe o no gastarse dinero más allá del necesario para cumplir con las funciones básicas de las obras. En otras palabras se está cuestionando la corrección política de pagar un costo por la estética y/o por la espectacularidad de las obras. Independientemente de esta discusión se ha aprobado la construcción de una escultura de 115 metros de altura denominada “ArcelorMittal Orbit” que será el símbolo de estas olimpiadas. La obra tiene un mirador en la parte superior y el protagonismo de la estructura resulta evidente.

Cabe comentar aquí que los miradores son un gran negocio y que están presentes en casi todas las estructuras altas.

■ Por su bajo peso y escasa demanda de rigidez son las cubiertas las estructuras en las que más frecuentemente se buscan y logran grandes efectos de espectacularidad.

## LOS PUENTES

■ Hasta principios del siglo XIX los puentes experimentaron una evolución muy lenta. Básicamente se buscó disminuir las obstrucciones que las anchas pilas imponían a los cursos de agua y aligerar poco a poco el peso de las superestructuras para ahorrar materiales y aliviar las fundaciones. La piedra fue el material más utilizado en los puentes importantes y no permitía grandes osadías estructurales.

■ Casi a principios del siglo XIX se incorpora a la construcción de puentes la fundición de acero como nuevo material estructural y en los años siguientes se van sumando ■ el hierro forjado, ■ los cables metálicos, ■ el acero, ■ el hormigón armado, ■ el hormigón pretensado y, ■ actualmente y en forma incipiente, los materiales compuestos.

■ A medida que el conocimiento de las estructuras fue avanzando y que los materiales fueron ganando en resistencia y confiabilidad se fueron proyectando puentes carreteros cada vez más audaces y llamativos. Esto dio lugar a la construcción de una cantidad de puentes que podríamos clasificar como naturalmente espectaculares. Algunos ejemplos podrían ser ■ el Puente de Menai, ■ el Puente de Brooklyn, ■ el Puente de Salginatobel, ■ el Golden



Gate, ■ un puente sobre el Rin proyectado por Christian Menn y ■ el Viaducto de Millau.

■ El siglo XIX marca también la aparición de los puentes ferroviarios. ■ Las locomotoras y los vagones presentaron desde un principio cargas muy superiores a las de los puentes viales y en menos de cincuenta años los pesos de las locomotoras se multiplicaron por cuatro llegando, a principios del siglo XX, a un peso del orden de las 100 toneladas. ■ Eso ha hecho que, con pocas excepciones, los puentes ferroviarios siempre tuvieran un aspecto más robusto y menos elegante que los puentes carreteros. De todas formas se han realizado obras extraordinarias que impresionan por las dificultades geográficas que han logrado salvar. Citemos ■ el Royal Albert Bridge, ■ el legendario puente del Firth of Forth, ■ el viaducto de Garabil construido por la compañía Eiffel, ■ el viaducto de Eglisau, ■ el espectacular viaducto de Landwasser construido en piedra, ■ el viaducto La Polvorilla, ■ Zárate-Brazo Largo, ■ los viaductos para el tren de alta velocidad en Avignon, ■ el puente Tsing Ma en Hong Kong y ■ el puente Oresund en Suecia.

■ Dado que los puentes son básicamente una estructura. Hacer un puente deliberadamente espectacular implica, en general, encarecer la obra. Cuanto mayores son las cargas a resistir mayor es el costo adicional de la espectacularidad. Hacia fines del siglo XX comienzan a aparecer pasarelas peatonales deliberadamente espectaculares. Son los puentes en los que las cargas a resistir son menores. ■ Veremos algunos ejemplos comenzando por uno realizado en nuestro país por el Ing. Dante Seta quien, lamentablemente, ha fallecido hace un par de días.

Varios de los ejemplos internacionales de pasarelas deliberadamente espectaculares presentaron serios problemas de funcionamiento.

■ Aunque más no sea por intuición, todos hemos tenido algo que ver con la resonancia o hemos hecho entrar algo en resonancia.

■ La consecuencia a nivel estructural de la resonancia es la amplificación descontrolada de una deformación. En el caso del puente de Tacoma, un viento pulsante no muy fuerte lo llevó a colapsar debido a fenómenos de resonancia.

■ Algo no tan dramático le ocurrió al Millenium Bridge de Londres en el día de su inauguración el 10 de Junio de 2000. En su búsqueda de espectacularidad el puente resultó lábil frente a la excitación lateral producida por el paso del público. Las deformaciones transversales se hicieron tan perceptibles que hicieron incómodo el caminar por el puente. Para facilitar su andar la gente comenzó a acompasar su marcha con el ritmo de las deformaciones laterales lo que produjo un efecto muy parecido al que obtiene un chico al amarse. El puente fue cerrado a los dos días de su inauguración para encarar tareas de estudio de lo ocurrido y rehabilitación. El problema fue resuelto casi sin alterar el aspecto del puente disponiendo alrededor de noventa amortiguadores en la estructura. Nueve meses y siete millones de dólares más tarde el puente fue reabierto y su comportamiento actual es totalmente satisfactorio.

■ En menor medida existen puentes carreteros deliberadamente espectaculares. Al ser aquí las cargas bastante mayores el costo que se paga por la espectacularidad es también mayor. ■ Un icono de los puentes intencionalmente espectaculares y costosos es El Alamillo, proyectado por Santiago Calatrava para ■ la Expo de Sevilla de 1992.

■ En el caso de los puentes ferroviarios sólo se están viendo atisbos modestos de espectacularidad ■ deliberada. Eso se debe a que las grandes cargas potencian los costos adicionales por espectacularidad.

## **ESTACIONES DE FERROCARRIL**

■ Ya se ha comentado que en los estadios las cubiertas han sido la principal fuente de espectacularidad. Lo mismo ha ocurrido recientemente con las estaciones ferroviarias. ■ En un principio las grandes estaciones ■ presentaron una diferencia clara entre dos sectores: el edificio principal con el hall de entrada, las boleterías y las oficinas administrativas y los andenes. ■ La estación de La Plata es un claro ejemplo de este esquema. ■ Los edificios principales tuvieron ostentosas fachadas y grandes alturas interiores mientras que los andenes fueron funcionales y, muchas veces, recordaban naves industriales con resultados estéticos muy dispares. Hacia fines del siglo XX comienzan a construirse estaciones ■ en las que los sectores de andenes tuvieron un alto grado de espectacularidad. Posiblemente el ejemplo más contundente sea la estación de Lieja proyectada por Santiago Calatrava donde la economía de construcción y mantenimiento de la estructura pasa, claramente, a un segundo plano. La estructura de la cubierta es la gran protagonista.

## **¿QUÉ PASÓ CON LAS IGLESIAS?**

■ Como ya se comentó, la construcción de San Pedro puso, por mucho tiempo, un límite al tamaño de las iglesias católicas.

■ Como hecho curioso mencionaremos que, a pesar de que menos del 30% de la población de Costa de Marfil es católica, un ex presidente, que si lo era, designó a su ciudad natal Yamusukro como capital del país e hizo construir una basílica ■ inspirada en San Pedro pero más grande. Salvando este ejemplo no se han construido iglesias católicas más grandes que San Pedro. Sin embargo, se han construido y se construyen iglesias católicas y no católicas muy espectaculares. Nos limitaremos a mostrar algunos ejemplos construidos a partir de la segunda mitad del siglo XX donde el rol de las estructuras en la espectacularidad ha sido dominante. ■ En realidad esto es algo que viene sucediendo desde hace siglos pero en aquellas épocas a las estructuras no se le llamaba estructuras y a los ingenieros no se los llamaba ingenieros porque los ingenieros todavía no habían sido inventados.



■ Veamos entonces como ejemplos de templos con estructuras espectaculares a la Catedral de Brasilia, la Catedral de Cristal en Orange (EEUU) y la Iglesia del Padre Pio en San Giovanni Rotondo, Italia en donde la presencia de la estructura es dominante. Tan dominante que tapa bastante la visión del altar.

## **ESTRUCTURAS “AERONÁUTICAS”**

■ Está de más decir que las principales estructuras aeronáuticas son las aeronaves. La necesidad de contar con estructuras livianas y seguras fue un gran incentivo para el perfeccionamiento de métodos de cálculo, nuevos materiales y control de calidad. La ingeniería civil heredó muchos de los logros alcanzados por la ingeniería aeronáutica. Pero eso sería motivo de otra charla. Nos concentraremos aquí en las construcciones civiles asociadas a la actividad aeronáutica.

■ Se presentan básicamente dos tipos bien diferenciados de edificaciones aeronáuticas: los hangares y los aeropuertos. Los hangares han ido creciendo en dimensiones con el aumento del tamaño de las aeronaves y muchos de ellos se podrían catalogar dentro de lo que hemos denominado estructuras naturalmente espectaculares. Las superficies cubiertas de una planta más grandes del mundo son hangares destinados al montaje de aviones y naves espaciales.

Un reciclado curioso para un hangar en desuso lo constituye el Aerium, en Alemania, ■ dado que en su interior se construyó el parque acuático cubierto más grande del mundo (66.000 m<sup>2</sup>). Aerium es el tercer espacio de una planta más grande del mundo. Los dos que lo preceden también son hangares.

■ Los aeropuertos de las grandes ciudades fueron siempre edificios importantes pero a partir de mediados del siglo XX la búsqueda de espectacularidad se fue haciendo cada vez más evidente en muchos de ellos. Nuevamente las estructuras, y en particular las cubiertas, resultaron protagonistas. Mencionaremos algunos ejemplos. ■ El primero de ellos es a la vez ejemplo de una estructura visualmente espectacular, sobre todo para su época, y de una pésima solución estructural. Cada vez que una estructura debe parecerse a algo, los ingenieros tiemblan. En este caso el techo debía parecerse a un ave con las alas desplegadas. Estamos hablando de la terminal de la línea TWA en el aeropuerto JFK de Nueva York. La obra fue proyectada a fines de la década de 1950 por el famoso arquitecto Eero Saarinen generador de numerosos proyectos con estructuras extremadamente costosas.

■ Más de veinte años después se construye en Arabia Saudita un aeropuerto para recibir peregrinos viajando hacia La Meca. Se trata del aeropuerto Hajj Terminal con capacidad para 50.000 pasajeros diarios.

■ La estructura, visualmente impactante, genera una circulación natural de aire y actúa como un inmenso parasol.

■ Es difícil clasificarla dado que la espectacularidad proviene en gran parte de solucionar una necesidad real pero por otra parte se ha recurrido a una

tecnología extremadamente costosa para hacerlo. Lo que no está en dudas es que la espectacularidad proviene de la estructura de la cubierta y que el edificio es básicamente una estructura.

## EDIFICIOS

■ La idea de ver a los peces desde dentro del agua sin necesidad de mojarse ha llevado a la construcción de estructuras que son absolutas protagonistas del espectáculo. Estas obras incluyen acuarios, peceras gigantes y hasta restaurantes submarinos con vista al mar. En todas estas obras lo que impacta al espectador es el hecho de que un material transparente al que asocia con la fragilidad del vidrio pueda resistir altas presiones de agua.

■ Los edificios de alturas medias muestran ejemplos de pura espectacularidad valiéndose de estructuras muchas veces audaces y casi siempre extremadamente costosas. Veremos solamente tres ejemplos: ■ los Edificios inclinados denominados Puerta de Europa en Madrid, ■ el edificio Turning Torso en Malmo (Suecia) inspirado en un torso humano girado y el edificio de la televisión estatal en Beijing.

Los libros y los profesores universitarios dicen que, en zonas sísmicas como Beijing, los edificios deben ser compactos, simétricos y que deben evitarse grandes masas en las zonas superiores de los mismos.

■ El edificio de la televisión estatal china es un ejemplo minucioso de todo lo que no debería hacerse. Al momento de proyectarlo violaba todos los reglamentos de construcción chinos.

■ Durante 3800 años la obra de mayor altura construida por el hombre fue la Pirámide de Keops. Sus 146 metros de altura no fueron superados hasta 1311 cuando el campanario de la Catedral de Lincoln alcanzó los 160 metros.

■ De allí en adelante otros campanarios fueron superando estas marcas pero varios de los más altos fueron destruidos por rayos.

■ En 1844 el Monumento a Washigton, con 169 metros se transformó en la estructura más alta hasta que en 1889 ■ fue destronado por la Torre Eiffel con sus 312 metros. Pasarían 41 años hasta que ■ el Edificio Chrysler, con 319 metros de altura, se transformara en el más alto del mundo. Esta vez sólo por 11 meses hasta que fue superado ■ por el Empire State Building.

La carrera por la altura de los edificios ha dado lugar a infinidad de situaciones casi infantiles. Existen categorías para todo: el edificio con el restaurante más alto, el edificio con la habitación de hotel más alta, el edificio con la punta de la antena más alta y así siguiendo.

■ Los constructores del edificio más alto del mundo en la actualidad, Burj Khalifa de 818 metros, ocultaron durante años cual sería su verdadera altura hasta asegurarse de que ningún nuevo edificio tuviera tiempo de alcanzar su

récord antes de que su obra estuviera inaugurada. De hecho siempre dejaron trascender alturas menores para cubrirse de este riesgo.

Ahora bien, cual era el riesgo y cual era el mérito que se buscaba. La carrera por la altura está siempre perdida, siempre se construirá un edificio que será más alto. Entonces cual es el mérito? Haberlo sido. Si, aunque parezca raro el mérito es haber sido aunque más no sea por muy poco tiempo el edificio más alto del mundo como es el caso del edificio Chrysler que acabamos de mencionar.

■ Debido a las consecuencias de la Gran Depresión, a los cambios en el mercado inmobiliario y a los altos costos de las estructuras el Empire State con 381 metros de altura fue el edificio que más mantuvo su récord dado que duró 41 años ■ hasta que las Torres Gemelas lo superaron en 1972.

■ Esto fue posible merced a una novedosa concepción estructural que llevó la estructura resistente contra viento al perímetro exterior haciéndola mucho más eficiente y económica. De allí en adelante la carrera se desató nuevamente con furor.

Aunque ya hay proyectos concretos para hacer edificios de más de mil metros de altura, hay que reconocer que ningún record duró ni durará tanto como el de Keops.

## **EDIFICIOS PARA LA CULTURA**

■ Históricamente los principales teatros del mundo fueron alojados en edificios de importantes dimensiones pero exteriormente no demasiado llamativos. De hecho, la mayoría de los clásicos teatros de ópera fueron concebidos con exteriores bastante discretos e interiores bastante lujosos. Algo parecido ocurrió con los más importantes museos del mundo a menos que originariamente sus edificios hubieran sido palacios. En cierta medida, se trataba de edificios usualmente elegantes y solemnes. Podría decirse que el continente no competía deliberadamente con el contenido, lo alojaba con el respeto del caso.

En la segunda mitad del siglo XX comienzan a aparecer museos cuyos edificios se vuelven tan conocidos como su contenido. A veces más conocidos que su contenido.

■ Un exponente de edificios de este tipo lo constituye el Museo Guggenheim de Nueva York, proyectado por Frank Lloyd Wright. ■ La estructura es clara protagonista de la espectacularidad del edificio.

■ En esta recorrida de nuevos museos con rasgos espectaculares, lindos y feos, no puede omitirse el Centro Pompidou de Paris. ■ En esta obra la estructura tiene un grado de exposición tal que, sumado al hecho ■ de tener todas sus tuberías a la vista le ha valido el apodo nada grato de “la destilería”.

■ Vale la pena acotar que la estructura planteó desafíos tecnológicos novedosos tales como el uso de grandes elementos no de fundición de hierro sino de fundición de acero.

■ Anteriormente había comentado que las estructuras tienden a cobrar protagonismo y a complicarse bastante cuando el arquitecto quiere asemejar el edificio a la forma de algo.

En 1997 se inaugura en Bilbao un museo con forma de barco ■ que tiene un esqueleto de acero cubierto con láminas de titanio ruso. ■ El proyecto es de Frank Gehry autor de muchos edificios con formas extremadamente complejas. ■ El esquema de un sector de la estructura muestra lo complicada y tortuosa que resulta para poder seguir las formas curvas y los quiebres. Gehry tiene un estilo muy reconocible. ■ Volveremos sobre este arquitecto y sus obras hacia el final de la charla.

■ El Museo de Arte de Milwaukee, proyectado por Santiago Calatrava, ■ maneja la iluminación natural de uno de sus pabellones a través de dos “alas” móviles que lo asemejan a un ave. La estructura se encuentra tan exigida que algunos sectores han tenido que ser resueltos utilizando fibra de carbono por su alta resistencia y bajo peso. ■ Bajo peso sí, bajo precio no. También las obras de Calatrava son fácilmente reconocibles. ■

■ Siguiendo con los museos que se parecen a algo podemos mencionar al Museo Jurásico de Asturias cuya planta representa el negativo de la forma de una huella tridáctila de dinosaurio. ■ La estructura fue íntegramente construida en madera laminada simulando, a su vez, ■ el costillar de un dinosaurio.

■ En lo que hace a la incorporación de elementos espectaculares los viejos museos no se han quedado atrás. Veremos aquí ejemplos en los que la espectacularidad se logra con dos recursos: uso de estructuras metálicas visualmente muy livianas y vidrio. Lo mismo que hizo Paxton en 1851 en el Palacio de Cristal.

■ La polémica pirámide proyectada por Pei se construyó sobre el nuevo ingreso al Museo del Louvre. Luego se techaron los patios interiores con estructuras transparentes. En todos los casos las estructuras resultaron protagonistas.

■ Si de techar patios estamos hablando, el Museo Británico no se quedó atrás. En el año 2003 se inauguró el techo del patio central con proyecto de Norman Foster y una estructura que impresiona por su liviandad, transparencia y por la complicada geometría resultante de unir el rectángulo exterior con la circunferencia interior.

■ También se han utilizado llamativas estructuras para dar un toque de modernidad a viejas construcciones que fueron adaptadas para funcionar como museos. Es el caso del Teatro Museo Dalí, ■ donde la cúpula geodésica construida encima de un escenario ■ de un teatro quemado es un buen ejemplo de ello.

■ Dejaremos ahora los museos para hacer una muy corta recorrida por lo que ha ocurrido con los teatros de ópera. En realidad mencionaremos solamente a dos de ellos.

■ En primer lugar haremos referencia a la Ópera de Sydney por tratarse de una obra emblemática desde muchos puntos de vista. Este edificio es a Sydney lo que la Torre Eiffel es a París. La construcción de la Torre despertó un gran revuelo en su momento. Lo mismo ocurrió con la Ópera de Sydney y la protagonista fue en gran medida su estructura. ■ La concepción estructural del techo de este edificio fue en su origen tan mala que las horas de ingeniería necesarias para resolver su cálculo y procedimientos de construcción fueron tantas que costaron más que lo se había previsto gastar originariamente para construir todo el techo. ■ Sin embargo hoy casi nadie recuerda estas cuestiones desagradables y la Ópera es un símbolo de la ciudad que atrae millones de turistas al año. ■ El edificio, y muy especialmente su techo, son escenario ■ no solamente de espectáculos musicales.

■ El Auditorio de Tenerife es un ejemplo claro de la intención escultórica que tiene el arquitecto en la concepción general del edificio. En Internet resulta muy fácil encontrar fotos del exterior del mismo y son muy escasas las de su interior lo que resulta algo muy sugestivo.

Hasta qué punto se considerará importante el exterior del edificio que, como la botella de Coca Cola y las encíclicas del Papa, la imagen del Auditorio de Tenerife tiene copyright desde el año 2003 y está protegida por una patente de modelo de utilidad. O lo que es lo mismo, este edificio no puede aparecer en fotografía o vídeo alguno si antes no se ha abonado la cantidad correspondiente. Por motivos que sabrán comprender, se solicita la mayor discreción al auditorio dado que hemos omitido un pequeño trámite al respecto.

■ Ambos salas de espectáculos, la de Sydney y la de Tenerife, se encuentran junto al agua y los techos intentan recordar velas de antiguos barcos. Como ya comentamos, cuando un edificio intenta parecerse a algo termina dando dolores de cabeza a los proyectistas de estructuras. Eso sí, pueden llegar a ser muy espectaculares.

■ Para finalizar con las obras asociadas con la cultura mencionaremos un complejo que combina una serie de edificios destinados a las Artes y a las Ciencias. Se trata de la Ciudad de las Artes y de las Ciencias de Valencia proyectada por Santiago Calatrava. Sin entrar en detalles veremos unas pocas fotografías de sus construcciones. El complejo está constituido por cuatro edificios, ■ el Hemisferic, que contiene un planetario, ■ el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, ■ el Palau de las Arts y ■ el Oceanographic y ■ un paseo denominado l'Umbracle. Sobra hacer comentarios sobre el rol que tienen las estructuras en la espectacularidad de estas construcciones.

## ¿ POR QUÉ SE HACE LO QUE SE HACE ?

■ Durante mucho tiempo los constructores edificaban lo que los arquitectos dibujaban y los arquitectos dibujaban lo que se podía construir y, especialmente, lo que podían dibujar. Al aproximarnos al siglo XX se agregó un requisito: se construían estructuras cuya seguridad debía garantizarse en forma más o menos razonable a través de cálculos o ensayos.

■ La complejidad de los cálculos estructurales estuvo limitada durante mucho tiempo ■ por las herramientas auxiliares disponibles y ■ los ensayos fueron un recurso costoso y no siempre aplicable en forma práctica.

■ Las estructuras que han permitido soportar la libertad formal de las construcciones actuales se deben en gran medida a:

- ■ La disponibilidad de materiales más resistentes y confiables
- ■ El desarrollo y uso generalizado de las computadoras para:
  - ■ Dibujo en dos y tres dimensiones
  - ■ Cálculo y dimensionamiento de estructuras complejas
  - ■ Control numérico de máquinas herramientas

Las computadoras se han transformado en vehículos que permiten llegar más rápido a lugares conocidos y facilitan la exploración de lugares desconocidos. Vistas como vehículos permiten una gran cantidad de arribos felices pero también son susceptibles de fallas técnicas y de todo tipo de accidentes, la mayoría de ellos, por culpa del piloto. Más allá de la informática las construcciones y las estructuras que las soportan son siempre el producto de una idea previa. Como ya se sabe, hay ideas buenas e ideas malas.

■ Finalmente no hay que perder de vista un factor muy importante que es el económico. Siempre ha habido gente dispuesta a pagar por el arte, por la estética e incluso, por la espectacularidad en si misma.

## IMPORTANCIA DEL TEMA

■ Después de todo lo dicho cabría hacerse una pregunta. ¿Hemos estado hablando de temas importantes?

Hasta hace no hace muchos años algo podía considerarse importante ■ si aparecía en la tapa de los diarios o si era publicado en una revista científica de renombre internacional. En la actualidad, y a escala mundial, por fenómenos sociológicos que no intento entender, muchos jóvenes y no tan jóvenes tienden a reconocer que algo es importante sólo si aparece en un capítulo de los ■ Simpson. En este nuevo marco de referencia intentaremos probar fehacientemente que los temas que hemos estado comentando en esta última hora son realmente importantes y para eso recurriremos a las fuentes, es decir, al episodio 14 de la temporada 16 de los Simpson.



■ El episodio comienza con la familia Simpson visitando el pueblo vecino de Shelbyville donde los vecinos califican a los habitantes de Springfield como estúpidos e incultos. ■ Como presidente del Comité Cultural de Springfield, Marge propone que se construya una Sala de Conciertos y que el proyecto de la misma le sea encargado al arquitecto canadiense Frank Gehry. ■ Gehry recibe el encargo y encuentra ■ inspiración para el nuevo edificio en una pila de papeles arrugados. ■ La maqueta de la obra es presentada en sociedad ■ ante la mirada atónita de los habitantes de Springfield. Hasta aquí lo referente a la arquitectura pero esta es una charla sobre estructuras. Vayamos a lo específico entonces. Los libretistas concibieron la construcción de la estructura en dos etapas. ■ La primera de ellas consiste en el montaje de un entramado convencional de acero y la segunda, ■ en abollarlo a golpes hasta lograr la ■ geometría deseada. ■ Evidentemente este no es el procedimiento constructivo empleado en la realidad aunque si puede parecerse bastante a lo que ocurre en la cabeza del ingeniero encargado de proyectar la estructura. El final del episodio no lo voy a contar porque es un poco deprimente.

Dejando de lado el abordaje humorístico y la exageración, el capítulo pone de manifiesto algunas de las reacciones y controversias entre aceptaciones y rechazos que las sociedades plantean frente a construcciones de este tipo y a su costo. Aún las sociedades más ricas.

Ya he hablado mucho y el riesgo de aburrir aumenta por lo que haré unos ■ comentarios finales.

■ No tengo una visión crítica sobre todas las obras espectaculares que hemos visto. Sobre algunas sí. Observo que existe una carrera por la espectacularidad y que el umbral de asombro de las sociedades es cada vez más alto obligando a construcciones cada vez más audaces y costosas donde buena parte de esa audacia y espectacularidad la aportan las estructuras que las sostienen. Si bien se han generado y se generan debates sobre este tipo de obras los particulares y las sociedades han venido aceptando o tal vez tolerando sus altos costos de construcción y, los generalmente pobremente evaluados, costos futuros de mantenimiento.

En este tiempo que hemos compartido he intentado transmitirles una visión muy personal y seguramente tendenciosa sobre el rol protagónico que creo les ha tocado desempeñar a las estructuras en la espectacularidad de muchas de las obras más famosas construidas en los últimos 150 años. Finalizando esta charla sólo me resta agradecer nuevamente a la Academia por la distinción recibida y a ustedes por su presencia y atención. ■ Buenas noches a todos.