

JAVIER

Innovación en la construcción

Innovation in building

MANTEROLA ARMISÉN

Resumen

Vivimos momentos de decadencia y las críticas sobre las maneras de diseñar y construir son cada vez más intensas. No es la primera vez que pasa esto. A principios del siglo XIX, la presencia de nuevos materiales como el hierro produjeron tal cataclismo que toda la manera de entender la construcción cambió. No fue una innovación, fue un cambio radical.

Como siempre será la utilización de nuevos materiales, fibras de carbono, fibras de vidrio, configurando materiales compuestos que introducirán las innovaciones pertinentes para salir de esta confusión. Las estructuras inteligentes completarán esta transformación..

Abstract

We live a period of decay and criticisms about ways of designing and building are more and more intense. It is not the first time that this happens. At the beginning of XIX century, the appearance of new materials such as iron produced such a seismic shift that all building understanding changed. It was not an innovation, but a revolution.

As always, it will be the use of new materials, carbon fiber, fiberglass, composite materials that will introduce relevant innovations to get out of this confusion. Intelligent structures will complete this transformation..

Palabras clave

Nuevos materiales, estructuras inteligentes, hierro, decadencia, renovación, revolución, diseñar, construir.

Keywords

New materials, intelligent structures, iron, decadence, renovation, revolution, design, build.

Hoy en día se están oyendo voces de protesta por el rumbo que está llevando la construcción en el tema de puentes y edificios (más en este último que el primero). Se acude a conceptos como la honradez, la verdad, el orden y la medida, características todas ellas de la buena construcción, que hemos perdido y debemos recuperar. Algo así como cuando se predica la pérdida de valores a que ha llegado la sociedad actual.

A mí me importa mucho lo que va a ser el mañana de la construcción, los caminos iniciados por muchos arquitectos e ingenieros, caminos criticados duramente, la obra de Ghery, Herzog y de Meuron, Rem Koolhaas, Libensky, Steven Hall, etc., arquitectos formidables, en mi opinión, que han sabido utilizar las posibilidades formales que les ofrece la tecnología para hacer propuestas diferentes, a la de la caja paralelepípedica o la utilización de bóvedas, cúpulas, etc. y demás elementos que provienen de la arquitectura clásica, generada de la unión biunívoca existente entre el material (la piedra) y la forma resistente (comprimida). No quiero decir con esto que este camino vaya a ser el definitivo del cambio a futuro, no, más bien es un desarrollo de lo actual que tendrá, en cuanto tal, una vida limitada (figura 1).

Pero volviendo a la actualidad es evidente que la obra de muchos de estos arquitectos va acompañada de fastuosos recubrimientos interiores y exteriores muy costosos pero ello no es intrínseco a su forma de trabajar y a sus logros espaciales evidentes. Conozco mucha buena arquitectura, situada dentro de los cánones admisibles, que también es carísima. Qué valen cubiertas tan estrictas y hermosas como la cubrición del British Museum del Bureau Hepold o la del patio de Ayuntamiento de Madrid de Schlaich, pues una barbaridad.

Los tiempos nos conducen, o nos han conducido a tirar la casa por la ventana en diversas actuaciones necesarias, lo que no es lo mismo que experimentar espacialmente con las posibilidades que nos proporciona la tecnología actual, el abandono del espacio clásico por la forma, configuración de los espacios posibles. No es imprescindible hacerlo y se sigue haciendo una formidable arquitectura «clásica» pero esto no puede significar la condena de otros espacios nuevos.

Hay un precedente clásico en la actitud de casi toda la arquitectura a lo largo del siglo XIX. Durante este siglo la arquitectura quería seguir la conjunción piedra-arquitectura que se había ido desarrollando con enorme esfuerzo y talento a lo largo de más de veinte siglos.

A la arquitectura le costó 100 años darse cuenta de que las cosas habían cambiado y las cambia el hierro primero, el hormigón después y en el fondo la tecnología que resolvía una cosa, entre otras, tan fundamental e imprescindible como es una viga, una simple viga, que lo cambia todo. El concepto de estructuras portante que propone el ingeniero-arquitecto William Le Barón Jenney en sus rascacielos de Chicago (figura 2), y que previamente ya se había puesto en marcha por los ingenieros en la arquitectura inglesa de la primera revolución industrial, para cualquier edificio que no fuese monumental, demuele todo el edificio conceptual elaborado por la obra de fábrica, ladrillo

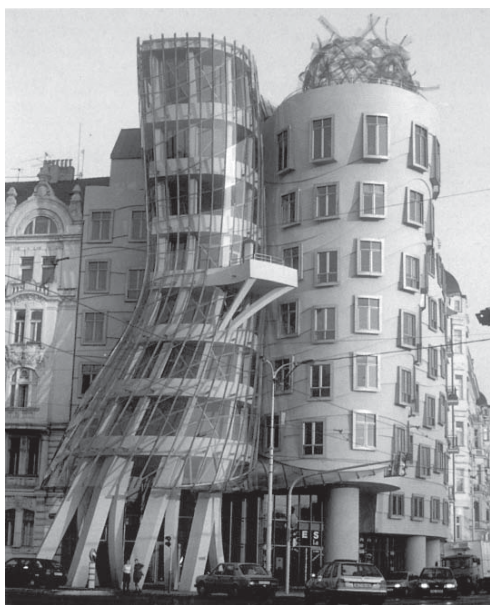


FIGURA 1



FIGURA 2

o piedra que comunica los ambientes perforando lo macizo. De la perforación se pasa al pilar y la viga. Y esto tan simple lo cambió todo.

La viga algo que en la arquitectura clásica no había sabido resolver más allá de lo que la madera encontrada le proporcionaba, lo hace el hierro y el acero. La invención de la viga en celosía que después de más de 40 años de intentos, los 40 primeros del siglo XIX, lo consigue Culmann proporciona tal cantidad de posibilidades para la construcción solo similares a las que para la antigüedad supuso el arco. Por primera vez se resuelve bien el enlace resistente de piezas lineales, lo que la madera había resuelto solo a medias y esto permite la extensión de la viga a tamaños mayores que los de sus elementos básicos. Porque no debemos olvidar que la arquitectura se produce después de que la técnica resuelva

sus problemas. Sin el arco, es decir, la bóveda o la cúpula, no existiría la arquitectura en piedra. Si el acero, el hormigón armado después, no resuelven la viga, la común y querida arquitectura adintelada no existiría. No olvidemos que el Partenón, no resolvió nada del espacio habitable.

Siempre está primero la técnica y después viene la arquitectura y ahora la opinión está golpeando fuertemente una arquitectura que hace lo que debe hacer, utilizar las posibilidades nuevas que la técnica le ofrece. Volver a lo antiguo no es la solución. Recuperar las esencias es lo mismo que volver atrás, porque las esencias, las famosas esencias imprescindibles, no son sino el destilado de antiguas concepciones.

Si miramos ahora a la ingeniería vemos que el fenómeno se reproduce con menos virulencia que en Arquitectura, pero también, la ingeniería siempre ha sido más comedida, ha tenido que enfrentarse demasiadas veces a lo que sobrepasa sus posibilidades. El motor de su proceso también introduce la necesaria contención si queremos que lo que parece imposible se haga posible. La forma que se configura por el querer ir mas allá siempre es estricta o no es. Pero cuando la dimensión del problema resistente no aprieta tanto y las posibilidades de ejecución sobrepasan al problema que se enfrenta, aparece la voluntad de hacer algo que ya no está conducido exclusivamente por lo resistente. La forma resistente empieza a manifestarse como voluntaria y entonces empiezan los problemas de la ingeniería moderna. La forma necesaria está ahora conducida por la voluntad personal y por tanto trasciende su primer cometido. Ya no hay una guía segura, hay que plantearse la formalización de lo resistente desde una interpretación personal y entonces es susceptible de ser juzgada como buena, mala o regular.

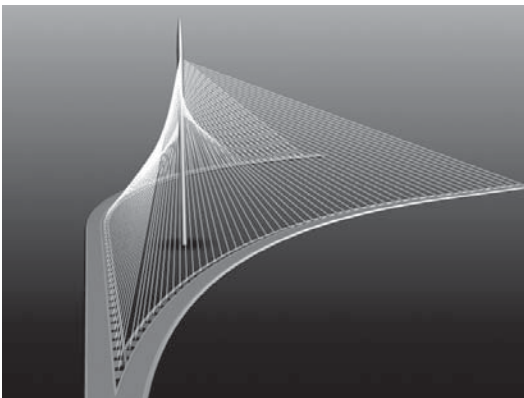


FIGURA 3
P. en Padua.



P. de Gorostiza 2009.

Cuando lo imprescindible ya no está, empiezan los problemas que hacen de la ingeniería otra cosa. Y es bueno que esto sea así y hay que aprender a mirarla de otra manera (figura 3).

Se equivocan los muchos artistas que reclaman, que la ingeniería vuelva a ser lo que ellos ya han asimilado de su universo formal obtenido en otros tiempos, en los años 50 del siglo xx. Cuantas veces he visto alabar en la actualidad puentes de Maillart y si comparamos su puente de *Salgina Tobel*, su máxima realización, con el de *Contreras*, no hay duda de que los años no han pasado en balde, El de Contreras es consecuencia del *Salgina*, pues tampoco. Maillart tenía una concepción poco desarrollada de lo que es un arco, los arcos triarticulados no son imitables, no así los arcos antifuniculares. Pero la relación puente-entorno en *Salgina* es tan formidable y tan nueva que parece que todo lo demás lo es. Y no (figura 4).

En esta situación parecería que es la dimensión artística lo que debe completar lo que no exige su dimensión resistente. ¿Está bien esto? Yo creo que no, algo importante se nos queda fuera. Si volvemos a principios del siglo xix, cuando se produce la 1.ª revolución industrial, la más grande revolución habida en la Tierra desde el Neolítico y se empieza con algo totalmente nuevo, como es construir con hierro en lugar de con piedra, nos ocurre que no hay punto donde mirar, desde lo que evolucionar. No hay nada, es el desierto. Y la estética no es algo que



FIGURA 4
P. de Salgina Tobel.



P. sobre el embalse de Contreras.

está ahí y que se puede o no tener en cuenta, la estética de los puentes, de la escultura y de cualquier manifestación artística es algo producido por los propios puentes, esculturas, etc., al ir constituyendo su propio mundo.

Conforme se van haciendo puentes, se van diseñando, construyendo, se va configurando un mundo propio por agregaciones sucesivas y dentro de este mundo se van perfilando líneas con sentido que van señalando caminos por donde seguir, y el destino del pensar. Esta línea difusa pero presente y viva para los que están en la cosa y distinguen, empieza a configurar el ser de los puentes, el mejor ser de los puentes en cada época y por tanto su estética.

Esto es así en los puentes, en la arquitectura, en la pintura, etc., etc. No hay nada dado, únicamente se revela, no hay más que saber mirar, preferir y distinguir. Heidegger diría: «el desocultamiento del ser». También dice «el arte es llevar a obra la verdad». Esto es romanticismo, el significado último de lo estético es la apertura a la verdad. Para un romántico el arte empieza a sustituir a la religión.

Cuando analizamos la historia de los puentes a lo largo de más de 2.000 años, hasta el siglo XIX, vemos dos cosas básicas, los puentes son de piedra y utilizan la morfología de la compresión para configurarse; y, en segundo, lugar todos son puentes arco, con estructura fundamental del arco que por medio de tímpanos contienen el relleno que da lugar a la calzada de paso. Desde el antiquísimo puente griego, en el que la bóveda de piedra se reproduce claramente aunque también de una



FIGURA 5
Primitivo puente arco griego.



P. de Logroño.

manera torpe, hasta los últimos puentes arco de piedra de principios del siglo XX como el puente de la *Infanta Carlota* en Luxemburgo, obra de un formidable ingeniero, formidable pero anacrónico, es decir, no tan formidable, llamado Seyourné, el puente es el mismo en su esencia, los tímpanos en ese puente se han sustituido por la arcada longitudinal, pero la esencia del diseño es la misma. Y así se continúa entre muchos puentes y edificios romanos, románicos, góticos, renacentistas, chinos, barrocos, principio del siglo XX, otra vez Seyourné, otra obra del siglo XX, el puente de piedra de Logroño. Esta evolución solo varía en los adornos, rasantes e impostas, en lo demás es lo mismo, la configuración del puente es la de su versión en piedra (figura 5).

Y cuando se tiene detrás toda esta aplastante historia de los puentes de piedra, ¿qué es lo que hay que hacer?, cuando el material se cambia y se quiere cambiar al hierro, en su modalidad de fundición en el caso del puente de *Coalbrookdale* de 1779. Qué hacen Abraham Darby III, fundidor, Thomas F. Pritchard y John Wilkinson, pues intentan copiar un puente de piedra, hemos elegido para la comparación el puente de *Monstar*. Se copia mal, pues con elementos lineales no se pueden hacer formas deducidas para la piedra, pero sí se hace algo importante, se resuelve la fundición de piezas de gran tamaño (la luz del puente son 30,6 m) se empieza a saber cómo se unen, como se arriestran, como se montan. Podríamos decir que este puente es un primitivo, el principio indeciso e inexacto de lo que va a ser la construcción moderna, la construcción de hoy en día (figura 6).

Se realiza a principio del Romanticismo y si pensamos que esta obra, tan moderna, fue realizada cuando Mozart componía *La flauta mágica*, y pocos años después de que Balthasar Newman hiciese la iglesia rococó de *Neresheim*. No es posible entender la rotura radical con el antiguo arte de hacer puentes si no es por un verdadero espíritu rebelde, romántico, que constituía la referencia personal primera de todos ellos.

Pero ahora no estamos a principios del siglo XIX, sino a principios del siglo XXI y el cambio no está maduro, nos queda una etapa dudosa, ¿Caerá la arquitectura en un eclecticismo inútil como le ocurrió a lo largo de todo el siglo XIX?

¿Y la ingeniería? ¿Y los puentes? Experimentarán un desarrollo en el cual a las manifestaciones ya clásicas del final del siglo XX, se le quiera añadir «estética» para llenar el vacío que la necesidad ha dejado libre, aunque si digo la verdad no sé qué es eso de añadir estética a algo.



FIGURA 6
P. de Coalbrookdale y P. de Monstar.

Qué hace la escultura en su desarrollo, intentar encontrarse con ella misma al manifestarse en los distintos artistas. Chillida dio su versión, no demasiado nueva ni rompedora pero ahí está y no está mal. Henry Moore fue más profundo y Richard Serra lo es ahora pero no sé, no hay reglas, pero cada una de estas manifestaciones corresponde a qué es eso de hacer escultura.

Por ahí va o debe ir la ingeniería. Se está dando cuenta de que ese estar instalado en el mundo es algo más que servir a un problema de transporte de salvar los obstáculos que se le presentan.

Cuando se mira la figura 7, no solo se ve una autopista en el fondo de un valle, se ve una geometría instalada en lo heterogéneo de la naturaleza

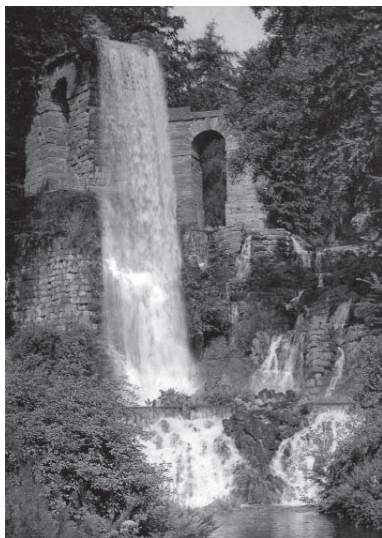


FIGURA 7

y el resultado es bellissimo. Su relación forzada con el paisaje determina una configuración que estremece y nos descubre que es instalarse en la naturaleza desde un punto de vista artístico.

Todo lo que hacemos tiene una misión complementaria a la meramente utilitaria que tenemos que descubrir y fomentar.

Qué pasa cuando vemos juntos una cascada artificial de un palacio alemán del siglo XVIII, una de las obras de Brooklin de Olafur Eliason o el aliviadero de una presa bóveda (figura 8). Y si miramos por otro lado el conjunto de las gradas del teatro de Epidauró, la huella de excavación de una mina a cielo abierto, o el aliviadero central de una presa (figura 9). Se ve que entre sí se pertenecen y dejo al arbitrio de cada cual si la excavación de la mina produce más impacto estético que las gradas de *Epidauró* o si el aliviadero de la presa bóveda es mejor que la obra de Olafur Eliason, estéticamente hablando.



Esta es sin duda la influencia de la ingeniería en el arte más actual, tal es la potencia de su presencia.

La interpretación de los arquitectos de los puentes suele ser normalmente muy incorrecta y sin la menor influencia en el mundo de los puentes, tal es el caso del fallido, aunque bien intencionado del pabellón puente de Saha Hadid en Zaragoza o la pasarela sobre el *Mondego* de Cecid Balmond (figura 10). El mundo de los puentes existe y hay que estar en él y los arquitectos no pertenecen a este mundo y por tanto, generalmente, hacen obras que significan poco.

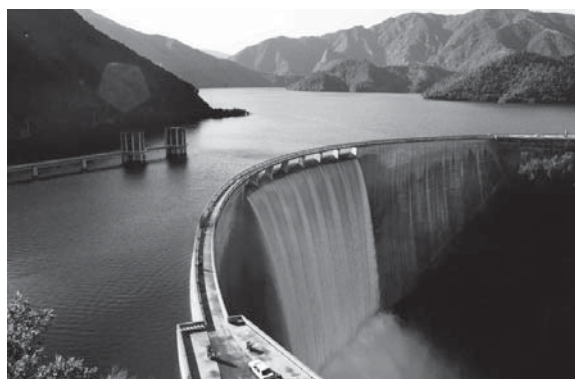


FIGURA 8



FIGURA 9

Hay aciertos como el puente de *Millau* de M. Virlogeux y Norman Foster, aunque este último no tiene el conocimiento del mundo de los puentes para poder diseñarlo. Desconozco cuál ha sido realmente la contribución de cada uno en la concepción de este muy hermoso puente.

Pues lo ingenieril tiene una presencia especial en sus obras. Me gusta la obra que salió después de un muy complejo procedimiento de construcción del enlace sobre el *Cadagua* (figura 11).

Su geometría y configuración son especiales, corresponden a un enlace entre autopistas a sesenta metros de altura y con vanos de 100 m y 130 m de luz. La complejidad estructural y constructiva era muy grande y se realizó muy satisfactoriamente. La geometría de los enlaces entre autopistas resulta extraordinariamente hermosa. Es necesario hacer las

estructuras resistentes de los puentes lo más limpias posibles, cintas que se deforman para intercambiarse.

Es muy frecuente criticar claramente los grandes enlaces de autopistas y el que representamos en la figura 12 se superpone sobre un pobre pero denso tejido urbano de los suburbios, que casi es un jaspeado que soporta la máxima complejidad. Tienen razón los que allí viven y critican el ruido producido por tanto tráfico, pero probablemente los que sobran allí son ellos. Y en el fondo yo aquí no estoy hablando de los efectos sociales de la superposición de unas estructuras tan incompatibles que de sobrar algo yo cambiaría a la población. El nudo es un símbolo de nuestro tiempo, de lo que es comunicarse en la actualidad y además es muy hermoso.

Dos diseños similares, la relación de las pilas y el dintel, éste en celosía, en ambos casos (figura 13). El primero es de Eiffel, en el macizo central para un puente de ferrocarril, el otro, mío, para el tren de acceso a Montserrat en Barcelona.

Hay casi 100 años de diferencia entre ellos. En las pilas de Eiffel ya está presente lo que después será la Torre Eiffel pero sobre todo el concepto de dintel recto, conquista de los ingenieros de la 1.ª revolución industrial y que resulta una de sus aportaciones más



FIGURA 10



FIGURA 11
Enlace sobre el río Cadagua.

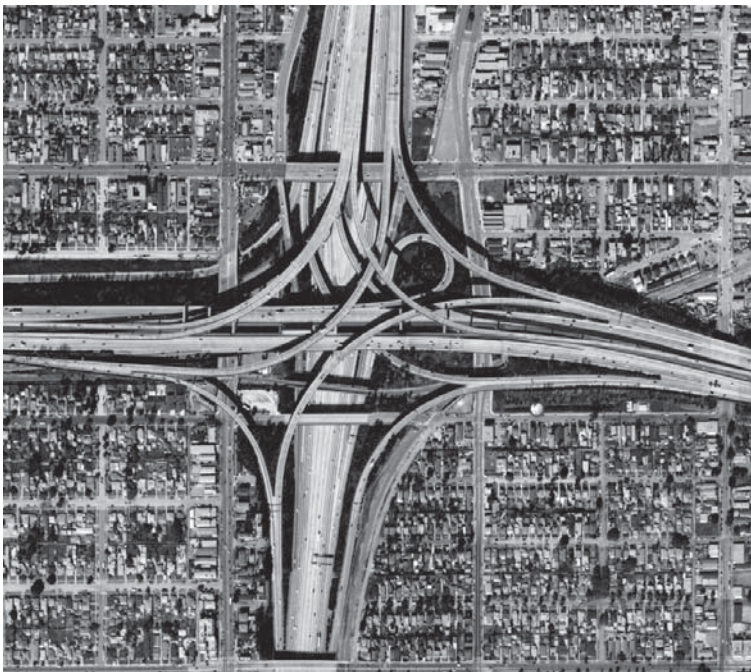


FIGURA 12



FIGURA 13
P. Eiffel.



Puente de Montserrat.

importantes. Nunca en la historia de la construcción se había conseguido un dintel recto de esta perfección y belleza, tanto en sí misma como por su organización del espacio, cruzado por una línea recta.

En el puente de *Montserrat* hay una intención de actualización del concepto de viga en celosía, con sección triangular realizada con elementos tubulares. Hay que amar las vigas en celosía, tan poco apreciadas por todo el siglo XIX y que aún se asimila a algo industrial y sucio. Ahora hay que reivindicar el que posiblemente es, con el arco, la aportación más importante al mundo de la construcción.

El tubo, el gran tubo que aloja, en este caso, una doble línea de ferrocarril en una propuesta de dintel de 300 m de luz es una estructura novedosa y muy nueva, perfectamente resuelto su diseño y construcción y sin embargo está a la espera (figura 14). Y esto le ocurre muchas

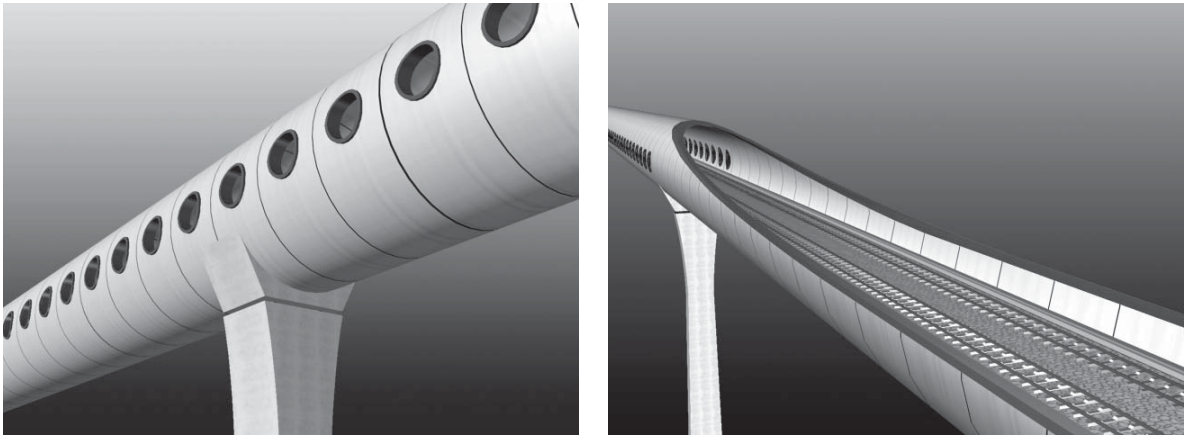


FIGURA 14
Tubo de hormigón para paso del ferrocarril L = 300 m.

veces a las propuestas nuevas. Lo que si es cierto para que una obra de este tipo se lleve a cabo es necesaria la colaboración de mucha gente, no solo que lo proyecta, sino de la Administración, sobre todo la Administración que debe confiar y apoyar. A lo largo de la historia de la construcción se ve la presencia del impulso de las administraciones. En general, en España, que hay una buena ingeniería, la Administración ha sido buena, se ha atrevido bastante pero a veces falla.

La transición a los vanos más pequeños de este puente es fácil, hay que dar un corte como el de la figura y se obtiene una transición variable muy adecuada.

Otra cosa significativa, la curva es algo que todos los puentes agradecen, se consigue una dimensión espacial siempre bella, en el paso inferior de Zizur (figura 15) de la rotonda se aprovecha el perímetro circular para crear un espacio inferior que revalorice el tantas veces realizado y fallado enlace circular sobre autopista. El cumplimiento de una necesidad de tráfico se convierte aquí en un espacio nuevo.



FIGURA 15
Zizur. Rotonda superior.



FIGURA 16
Puente Príncipe de Viana. Mérida.

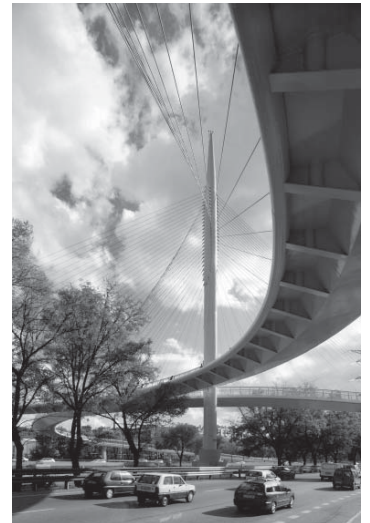


FIGURA 17
Puente de Waterford. Irlanda.

En el puente *Príncipe de Viana* de Lérida (figura 16), se transforma la pila, abriéndola, para configurar un espacio en el que se penetra. En una invención que no añade nada a la concepción resistente del puente atirantado pero si configura un espacio abierto diferente y complementario al cerrado del puente de *Waterford* (figura 17) que hicimos en Irlanda hace tres años.



FIGURA 18
Pasarela en la Expo 2008.



Pasarela en Madrid.

Y en la figura 18 representamos dos pasarelas que hicimos en Zaragoza, 2008, y en Madrid 2005, en la que se conjuga los dinteles curvos con el atirantamiento a un solo borde. En ambas se explota claramente un recurso técnico, la curva resuelve el problema de la flexión al estar acoplada a la torsión (no he sabido decirlo más fácil). Es un desarrollo de las grandes construcciones resistentes que hicieron nuestros mayores y cuyas posibilidades formales estaban por desarrollar.

Lo curvo siempre ayuda resistente y formalmente al puente.

Saltar limpiamente un río con curvatura positiva o negativa (figura 19) es intención, innovación. La *pasarela de Valladolid* y el *puente de Gorostiza*, 130 m de luz cumplen el deseo de todo proyectista, saltar libremente, sin apoyarse en el río, es como vencer a la gravedad sin alardes.



FIGURA 19
Pasarela en Valladolid.



P. de Gorostiza.

Finalmente entrar en un puente, que te cobije a la vez que te sostiene ha dado lugar a una serie de secciones abiertas, que separan claramente el tráfico viario del de peatones, que son novedosas en el sentido que realizan un paso cubierto de los peatones, no de los automóviles, constituyendo una configuración unitaria y eficaz (figura 20) y muy resistente. De una visión superior del puente en que se configura simétricamente, a la vista de un lateral, desde el paso de peatones, a la visión del paso de peatones cubiertos en el diseño de otro puente. Estos espacios para peatones, abiertos, curvos, largos son formidables.

Conclusión

Los edificios y los puentes que hemos visto son innovadores, en cuanto cambian claramente la configuración a que estamos acostumbrados. Dentro de esta innovación debemos distinguir aquellos casos en los

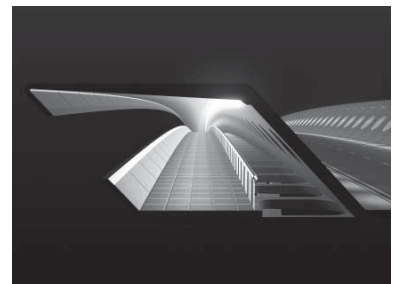


FIGURA 20
Propuestas de puentes.

cuales se han introducido ciertos cambios ligeros, ligeros no en la cuantía del cambio sino en la trascendencia de lo cambiado, que puede ser insustancial. Pero encontramos también innovaciones que van a quedar, que aportan determinadas configuraciones nuevas que van a servir para que otros trabajen con ellas y las desarrollen. Que las innovaciones sean copiadas, seguidas, variadas, transmitidas, es importante para cuantificar el grado de innovación que se puede medir de esta manera. Dentro de éstas es necesario distinguir aquellas que se repiten y copian con profusión durante una época, de las que no, que permanecen, aportan, añaden algo a lo construido.

Hemos visto que el cambio de material de construcción, el cambio de la piedra al hierro, al principio del siglo XIX, supuso un cambio total en el mundo de las formas construidas, una revolución que trasciende de lejos la innovación. La arquitectura del siglo XX y XXI es consecuencia directa de la aportación, nuevas maneras de ver y de entender que proporciona la ingeniería desde finales del siglo XVIII.

Ahora estamos a las puertas de una revolución mucho más profunda y, como siempre, viene de un cambio de material pero, en este caso, acompañado de un cambio también en la actitud ante la respuesta.

Se está produciendo una revolución en los materiales tradicionales, en ingeniería se trabaja con hormigones de 800 kg/cm² a 1.000 kg/cm² de manera habitual en obra, frente a los 200 o 300 kg/cm² de hace pocos años. Esto ha conducido a que los últimos más grandes rascacielos se hagan de hormigones de altas prestaciones.

Pero si este cambio cuantitativo es significativo, el cambio verdadero se producirá con la utilización de nuevos materiales, compuestos de fibra de vidrio, fibra de carbono, de aramidas, que configuran materiales de muy poco peso, gran resistencia y buena flexibilidad, si entendemos por buena flexibilidad y no materiales muy rígidos como los que ahora utilizamos sino materiales que se flexibilizan o rigidizan a nuestra voluntad, según las circunstancias. Materiales que se autoreparan en planteamientos similares a los músculos del cuerpo humano y que también se aflojan o rigidizan a voluntad, todo depende de mayor o menor bombeo de sangre.

Pero hay otro camino de la modernidad que se empieza a aplicar actualmente, con los materiales tradicionales que será fundamental para los materiales nuevos. Me refiero a lo que se denomina estructuras inteligentes.

Hasta ahora, a lo largo de toda la historia de la construcción, el efecto de las cargas variables sobre las estructuras se resolvía a base de inercia, más área, más canto a los elementos constitutivos, lo que permitía mantener el estado tensional controlado, es decir la permanencia de la estructura en buen estado cualquiera que fuese la carga que recibía dentro de unos límites controlados. Si te equivocabas en los límites técnicos tenías problemas muy serios en el tiempo.

El cambio que se produjo en el siglo XIX, sustituyendo los muros perforados, bóvedas y forjados de madera por la estructura de pilas, vigas y forjados, como disposición que da máxima libertad para la ordenación funcional de la arquitectura, fue trascendental. La fachada era algo que había que añadir en este su nuevo proceso, especializándola, eliminando su papel portante para conseguir elementos adecuados para el aislamiento de los agentes atmosféricos exteriores. Se empiezan a especializar los problemas y los materiales y se gana en eficacia. La estética obtenida es distinta y cambia la obtenida de los edificios de piedra.

Un paso posterior fue introducir la acción, el pretensado, realizado de varias maneras, interno, externo, total o parcial no tiene otro fin que adelantarnos a la actuación de cargas variables, en sentido contrario para reducir su efecto. Pero este pretensado es fijo y aunque ha permitido reducir la inercia de vigas y pilares sustancialmente, aún necesita de la inercia para enfrentar la carga variable. La esbeltez de una estructura, metálica o de hormigón, es de orden del doble de otra sin pretensar.

Pero esta acción beneficiosa, que se va a enfrentar a la exterior variable, se puede activar a nuestra voluntad. La esbeltez entonces puede aumentar al máximo hasta ser el objeto de nuestros deseos, cintas que se desarrollan en el espacio.

Esto ya está hecho, en los grandes puentes colgantes, el contrarresto a los fenómenos aeroelásticos, que hasta ahora estaban regularmente resueltos a base de inercia, peso y masa, ahora, con un ordenador interno en la estructura puede medir la oscilación que el viento introduce en el puente y sacar y dirigir alerones, como los de los aviones que detengan la oscilación bajo los grandes y peligrosos vientos exteriores para estructuras tan flexibles como los puentes.

Pero esta actuación instantánea contra la sollicitación variables que la sollicitan reduce extraordinariamente la inercia, masa y peso de las estructuras con una eliminación de la sensación de flexibilidad. Uno va pasando por una estructura rigidísima y delgadísima. También se están

haciendo grandes adelantos con este control y los edificios y puentes que se construirán transformarán radicalmente lo que conocemos hasta límites inimaginables.

Transformación del mundo de los materiales en coordinación con estructuras inteligentes producirán un nuevo mundo no conocido.

Esto es lo más previsible en cuanto a un futuro próximo y, si esto es innovación, es innovación trascendental.

Madrid, 4 de enero de 2012