

# ARQUITECTOS-INGENIEROS. EL FUTURO DE LOS PUENTES

Javier Manterola Armisén.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

## RESUMEN

*El enorme desarrollo producido en la tecnología de los puentes los ha hecho muy vulnerables. La presencia de lo resistente en la forma, la relación entre puente y lugar donde se ubica y los problemas de escala han perdido su carácter de obligatoriedad. El puente se convierte en un objeto y en el peor de los casos en "puente-objeto". Esta situación ha permitido la incursión de otros profesionales en el mundo de los puentes, profesionales mucho más entrenados en los problemas formales y los resultados de su presencia han sido diversos. Lo que podía entenderse como la manera ingenieril de enfrentarse al puente ha perdido la seguridad que poseía hace unos años y su espíritu creativo se ha retirado a los "cuarteles de invierno" esperando su tercer apoteosis en las nuevas e incipientes tecnologías.*

## ABSTRACT

*The enormous advances in the technology of bridges have made them very vulnerable. The presence of resistance in the configuration, compatibility between the bridge and its surroundings, and problems of scale, are no longer mandatory. The bridge has been converted into an object, and even into a "bridge-object". This situation has allowed the influx into the sector of bridges of other professionals, much better prepared as regards formal problems, and their presence has had varying results. What might be called the engineering manner of tackling a bridge has lost ground in recent years: its creative spirit is in hibernation awaiting its third apotheosis in the technologies of the future.*

**E**n estos últimos años no existe congreso, simposium, o reunión técnica de ingeniería de cierta entidad, que no dedique una sesión mas o menos larga a hablar sobre la estética del ingeniero, la versión que los ingenieros que nos dedicamos al diseño de estructuras y puentes tenemos sobre nuestro propio arte. Y esto que sería inimaginable en un congreso de los años 60, resulta hoy en día necesario ante el desconcierto producido por la invasión de nuestro campo por otro tipo de profesionales. Estos son los arquitectos, escultores, diseñadores, y en general los que

se pueden denominar formalizadores, personas con una gran educación visual, capaces de traducir en formas, consideradas como artísticas, la versión ingenieril de las formas construidas.

La presencia de arquitectos como Calatrava, Foster, Piano, Rogers, Grimshaw, etc, y, en general, todos aquellos que podrían clasificarse dentro del movimiento "High Tech", han agitado el tranquilo mundo de los puentes con sus propuestas y realizaciones. A su vez han incitado al conjunto de los arquitectos a considerar que los puentes no puede ser algo que quede fuera de su punto de

Redacción de la ROP  
antes del 30 de  
septiembre de 1997.

Recibido en ROP:  
mayo de 1997

vista. Sus propuestas han puesto en guardia a una parte de nuestra profesión que se manifiesta de una manera crítica ante su heterodoxia resistente, no exenta, muchas veces, de cierta admiración por los logros formales obtenidos.

Pensamos "son superficiales, brillantes, caros e innecesarios. No buscan el ser de las cosas sino sólo su apariencia. Quieren seducir en lugar de convencer". Pero esto sólo lo decimos veladamente, con cierto temor e inseguridad. La crítica de verdad la realizamos cuando hacemos énfasis en la ortodoxia que gobierna la dimensión resistente de las formas construidas y la particularidad del diseño de los ingenieros. Exaltamos a nuestros mayores, a Telford, Stephenson, Eiffel y todos los grandes constructores metálicos del siglo XIX y dentro de los del XX, los maestros del hormigón como Freyssinet, Nervi, Maillart, etc. Criticamos la mixtificación que los arquitectos hacen de los logros de la ingeniería y nos molesta que la apreciación general de lo que es un puente bello coincida más con sus realizaciones que con lo que podrían ser consideradas como las "nuestras".

Para analizar esta situación parece oportuno establecer, en primer lugar, algunas consideraciones sobre la manera de hacer de los ingenieros para pasar a continuación a realizar algunas otras sobre el tema en cuestión.

## **LO "ESENCIAL" DE LO INGENIERIL**

El origen de una bóveda, una viga, una cúpula, se remonta a tiempos muy antiguos, y lo mismo podríamos decir de un puente. Pero nuestro conocimiento de lo que es una cúpula, por poner un ejemplo, proviene de ver cúpulas. Cualquiera, sea profesional o no, experimenta una serie de sensaciones de equilibrio, orden, estabilidad y seguridad cuando se encuentra bajo ellas. Diría aún más, nuestro sentimiento de lo que es equilibrio, estabilidad y orden, sentimiento absolutamente general en las personas, se ha formado, en gran parte, viendo cúpulas, vigas y tantas otras construcciones.

Este primer y fundamental conocimiento de lo que es una cúpula, se empieza a complementar, a nivel ya profesional, con su construcción. Nuestros mayores sabían muchas más cosas de lo que a primera vista parece, aunque su conocimiento era bastante incompleto. Poseían claramente la intuición resistente del arco, pero eran incapaces de controlar la deformación circunferencial de la cúpula que producía sistemáticamente la fisuración de la parte inferior. El método de prueba y error es muy lento y atenazó el desarrollo de la construcción de tal manera que, por ejemplo, la cúpula de San Pablo de Londres (1706) no es mejor que la de Santa Sofía (506) o la del Panteón de Roma realizada 1600 años antes.

Nosotros conocemos con bastante precisión cuál es el comportamiento resistente de una cúpula y más aún, sabemos aislar la dimensión resistente de la cúpula del conjunto de la

cúpula, lo que nos permite actuar con más facilidad. Y esto que nos pasa con la cúpula, nos pasa con los puentes y con cualquier estructura que proyectemos. Cualquier decisión que se toma en un acto de proyecto, viene acompañada de un juicio crítico que establece si es o no adecuado resistientemente y además si la cantidad de material que disponemos es escasa o excesiva. La tipología estructural es un catálogo de buenas disposiciones resistentes. Las conocemos, las enseñamos, las aplicamos y también las ampliamos.

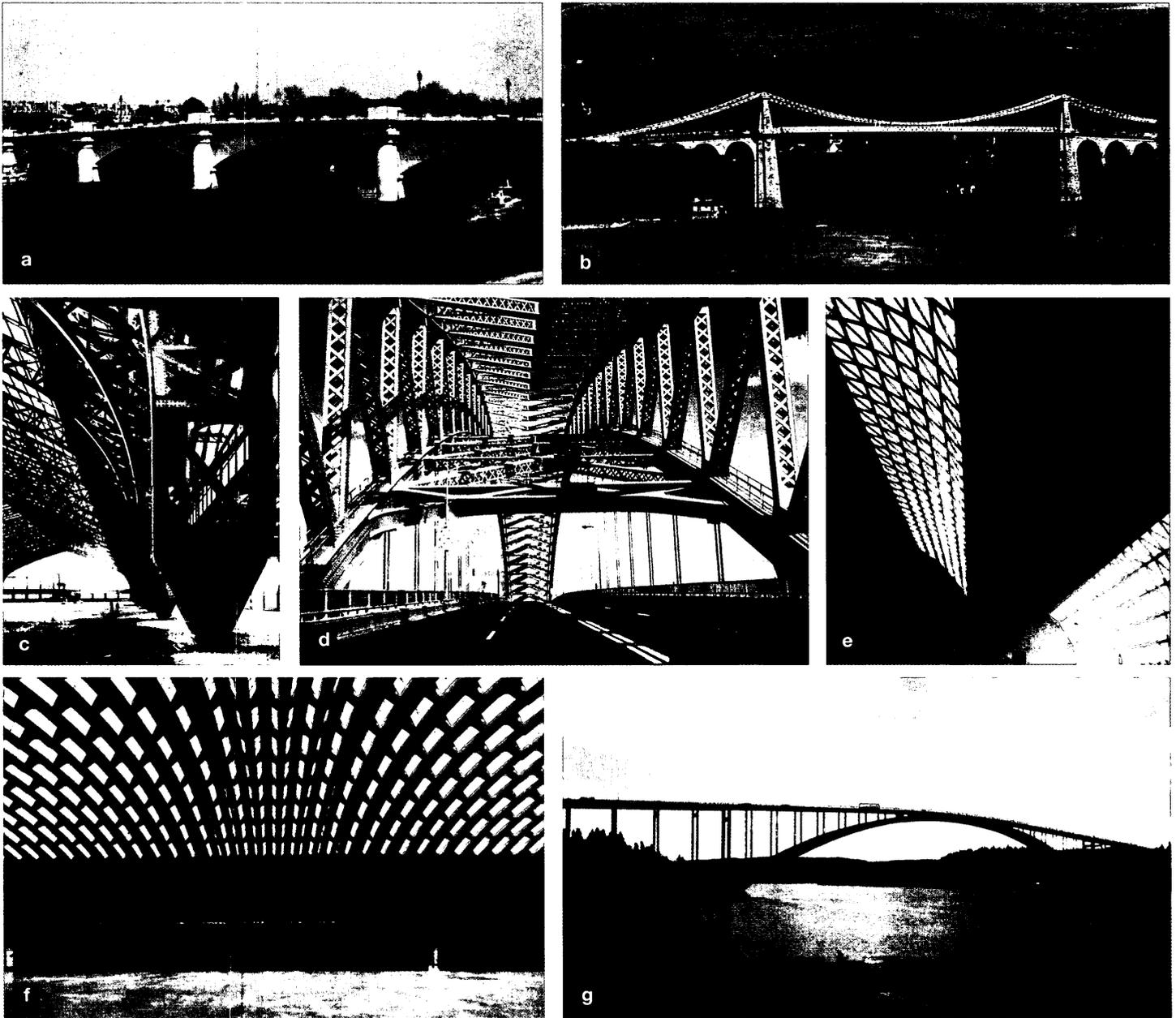
La dimensión constructiva de la obra constituye el segundo "leiv motiv" del trabajo del ingeniero. Tan importante es saber cómo se construye una estructura, como conocer de que manera resiste mientras se construye y qué influencia tiene esto en la forma final. Cuando se ha conseguido un procedimiento adecuado para construir, se archiva y cataloga.

Se ha creado así todo un catálogo de procedimientos constructivos y formas finales tan estrechamente relacionadas entre sí que no es difícil saber como es un puente aunque solo se explique cómo se construye. Todos sabemos a qué nos referimos cuando hablamos de un puente de vigas prefabricadas y un puente construido en avance en voladizo. El ingeniero ha aislado de las construcciones su dimensión resistente y su dimensión constructiva y las ha enfocado bajo un punto de vista científico.

Tan espectacular ha sido el avance de las estructuras obtenido aplicando el procedimiento científico que ha llegado a producir un cambio fundamental en el universo de las formas construidas. Las estaciones de ferrocarril, las exposiciones universales, los puentes metálicos eran aceptados a regañadientes por el mundo de la cultura en general y de los arquitectos en particular, a lo largo de todo el siglo XIX. Todos recordamos el manifiesto de los intelectuales contra la torre Eiffel y con menos virulencia ante la Sala de Máquinas de Contamin de la cual decían que estaba bien como construcción provisional, pero que pronto sería demolida y que de cualquier manera como se iba a comparar a Santa Sofía de Constantinopla o a San Pedro de Roma. Fig. 1.

El concepto de modernidad, de progreso y de cambio, que trajo la primera revolución industrial, produjo un nuevo entendimiento de la realidad. Los ingenieros y su trabajo fueron el primer reflejo de esta nueva realidad que cambió el mundo y la cultura en general. El Constructivismo ruso, de Stijl, Bauhaus, etc son la manifestación de que lo racional, lo industrial se imponía sobre la tradición cultural anterior.

Y estos resultados tan espectaculares, estos cambios tan sustanciales en lo construido, transformaron los conceptos. No es casualidad que este espíritu condujo a escribir el "Razón y Ser de los tipos estructurales" de Torroja, el "Structurform" de Curt Siegel, el "Developments in structural form" de R.J. Mainstone, etc, etc, y tantos libros que tendían a trascender la lógica de determinadas disposiciones estructurales, para convertirse en el descubrimiento de su realidad más esencial, de su verdad.



**Figura 1.**

La manera científica de entender la construcción produjo resultados formidables, inimaginables pocos años antes. No olvidemos que el puente de la Concordia de Perronet (a) (1790) está conceptualmente mucho más cerca del puente de Alcántara construido 1700 años antes que del puente sobre el Estrecho de Menai de T. Telford (b) que con 176 m de luz se construyó solamente 30 años después, en 1826. La

de estructuras fue colosal. La Sala de Máquinas de Contamin (c) construida para la exposición de París de 1889 tenía 120 m de luz por 430 m de largo y 45 m de altura. El primitivo frontón Recoletos de Torroja (e) (1935) o la Sala Agnelli (f) para el Palacio de exposiciones de Turín de Nervi, (1948) son estructuras asombrosas que nos descubren posibilidades fantásticas de las formas construidas por los

ingenieros. Finalmente el puente de Sando (g) de 280 m de luz es de 1942 y tiene tal modernidad que los puentes que se construyen hoy en día, de este tipo, son simples repeticiones.

- (a) Puente de la Concordia,
- (b) Puente de Menai,
- (c) Sala de Máquinas de Contamin,
- (d) Puente de Bayonne,
- (e) Recoletos,
- (f) Sala Agnelli,
- (g) Puente de Sando.

Para los ingenieros la austeridad de las formas, la economía de medios, el "menos es más" configuraba una ética a la que atenerse. Nuestros diseños, nuestros buenos diseños, argumentábamos, no son el resultado de una interpretación formal del hecho resistente sino que deben ser el descubrimiento de su esencia. En el fondo lo resistente tiene la exigencia de ser desvelado formalmente. No es algo interpretable, es algo por descubrir, que está ahí y que debemos tener el talento de traducir en formas. Lo resistente, lo constructivo, tienen un ser en sí y hacia él debemos encaminar nuestra sensibilidad, nuestra constancia, nuestro rigor y nuestro talento. Establecimos toda una metafísica como soporte del trabajo ingenieril.

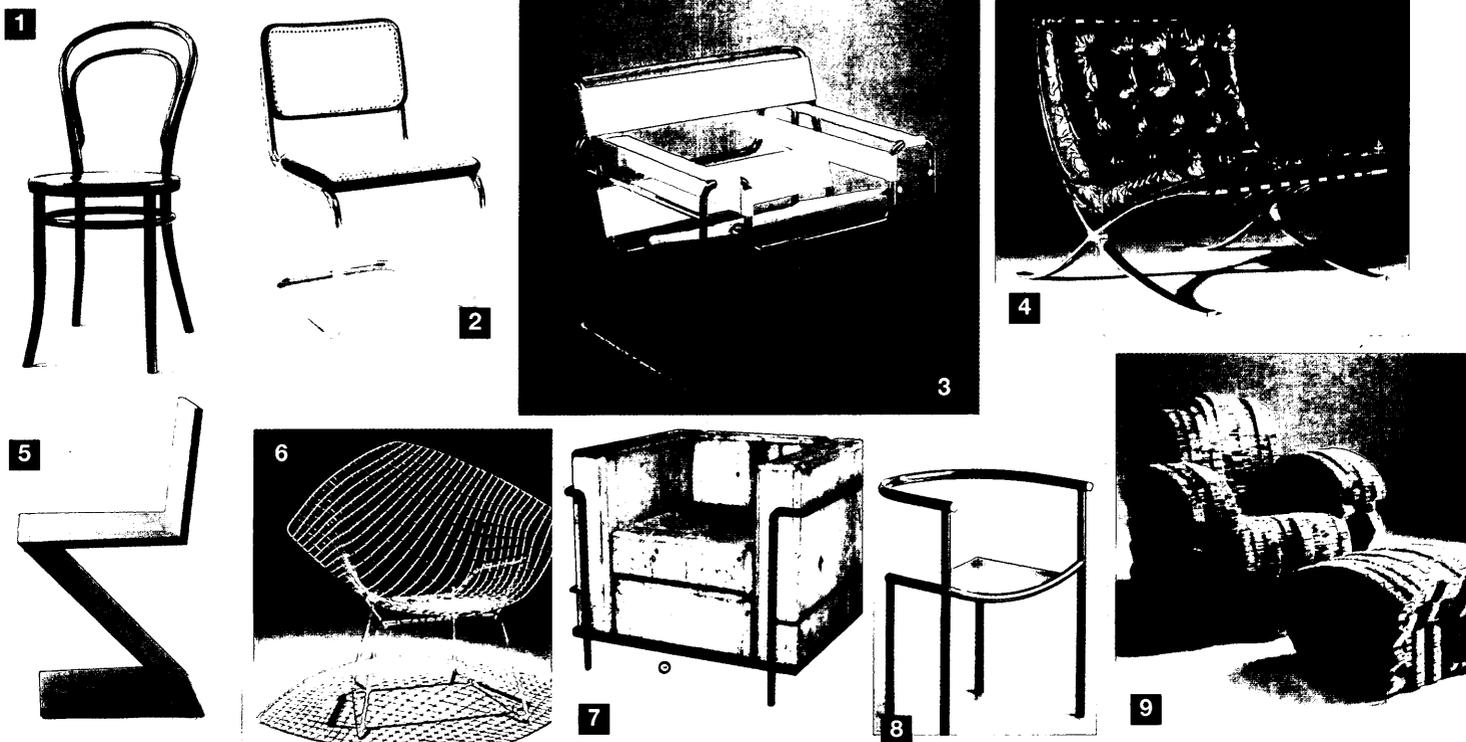
Y no somos nosotros los únicos que tendimos a trascendentalizar una determinada situación. Este mismo espíritu coincidió con el planteamiento cultural que sostenía el racionalismo arquitectónico y toda la modernidad en general, y que caracterizaba a todos los movimientos artísticos que se producían entonces. "La consecuencia lógica de esta búsqueda fue que la arquitectura tuvo que librarse de todo ornato y diseño superfluo, depurándose hasta llegar a la estricta rigidez de la pared y el orificio, cristal, ladrillo y acero; la música se debía consagrar al examen del tono y el tiempo y la pintura debía volverse forma y color en un lienzo plano". Todo arte, creía Greenberg, iba al compás, hacia ese encuentro ya previsto con el destino, cuando "la esencia artística pura se destilaría de una vez por todas". Y se llega a Ad Reinhardt que cuando

pinta el cuadro negro sobre negro dice "simplemente estoy haciendo los últimos cuadros que puede hacer alguien". (1)

## LO RELATIVO DE LO RESISTENTE EN CUANTO TAL

Pero ciertamente ni el planteamiento de Greenberg, ni la metafísica de nuestros mayores, era la única verdad. La Postmodernidad, movimiento ecléctico por antonomasia, se define en contraposición con lo moderno y después de muchas simplificaciones, por la sustitución de lo que es por lo que parece. Incluso cree, como fuera de sentido, preguntarse por el ser de las cosas. La imagen se impone y sus creadores pasan a primer plano. Gardner dirá "si muchos modernos parecieron servir la carne cruda, sin salsa ni condimento, el postmodernismo proporcionará las salsas y los condimentos, muchas veces excluyendo la carne". Esta situación que transforma todo el mundo de la arquitectura, ha acabado invadiendo nuestro mundo, el de los puentes y estructuras en general.

¿Y de qué manera se ha producido este hecho? He puesto en varias ocasiones el ejemplo de la silla. Una silla tiene un comportamiento resistente complejísimo. Bajo sollicitaciones estáticas y dinámicas debe tener una deformabilidad apreciable pero controlada, con un problema de nudos e intersecciones formidable. Debe ser barata, ligera, manejable, apilable, etc, etc ... Y sin embargo no requiere la presencia de los inge-



nieros con sus modelos y ordenadores para poder diseñarlas y construirlas. Y la razón para ello es que la optimización de su estructura resistente tiene una repercusión mínima en su coste. Es decir las posibilidades que hoy ofrece la tecnología de materiales, medios y procedimientos es superabundante para las exigencias de una silla. Fig. 2

Pues bien esto mismo les pasó a los edificios y les está pasando a los puentes. Aún recuerdo cuando estábamos diseñando la estructura de Torres Blancas de Saenz de Oiza. Queríamos hacer el desideratum de la estructura de una torre (20 plantas eran muchas plantas en 1962). Se eligió la pantalla portante contra viento como el elemento configurador de las habitaciones y funciones diversas de un edificio de pisos y apartamentos. Resultó que todas estas pantallas contra viento, cuando llegaban al suelo impedían las exigencias funcionales que requería el portal de acceso. Hubo que cortar la mitad de ellas en la primera planta para resolver el problema. Las pantallas podían desaparecer allí donde eran más necesarias. La estructura era superabundante.

Recuerdo también el entusiasmo que nos producían las estructuras laminadas en mis años de estudiante. Eran la quintaesencia de la forma resistente. Y sin embargo han desaparecido. El coste de su ejecución es tan considerable que no interesa economizar en espesores mínimos si su cimbra es muy costosa. Las circunstancias han relativizado un pensamiento trascendental y el más acabado logro del trabajo ingenieril de

aquella época dejó de tener sentido. Es decir, lo resistente y lo constructivo es una dimensión relativa, no absoluta.

## EL PUENTE COMO OBJETO - EL PUENTE "OBJETO"

Salvo en casos extraordinarios, cruce de grandes estuarios, situaciones geográficas difíciles, la ingeniería ha vencido a la naturaleza de tal manera que ya no se siente condicionada por ella. El puente en lugar de acoplarse al lugar, de interpretarlo y de configurar con él un nuevo espacio, se desentiende de él y se instala a la manera de los objetos fabricados en serie, que no tienen sitio ni posición determinada y que se distribuyen libremente. Esta circunstancia unida a la cada vez menor presencia de lo resistente en la forma del puente, ha convertido al puente en un objeto. Y esto, nos guste o nos disguste, ha sido buscado por el mundo de la ingeniería.

En situación próxima al mundo de los objetos se encuentra el de la escultura, con diferencias de intención ciertamente, pero iguales en lo que aquí nos atañe. Y el puente toma entonces un carácter escultórico, al que muchas veces hay que poner un pedestal, un río, por ejemplo. Mirado como objeto, un puente se instala sobre un río al margen de sus características morfológicas, hidráulicas, ambientales, históricas, etc. Si después el río no responde al objeto, se cambia, se embalsa, se transforma, para conseguir una relación aceptable. Lo mismo

### Figura 2. Sillas.

*El diseño moderno ha utilizado las sillas como ejercicio permanente para manifestar todas las tendencias imaginables. Su tipología es variadísima, sillas acolchadas o no, elásticas o rígidas, anatómicas o no anatómicas, de acero, de hormigón, de poliéster, de cables, etc., y de madera. De entre toda la enorme variedad que existe, he elegido exclusivamente aquellas en que su dimensión resistente se hace presente. En unos casos los diseñadores pensaban predominantemente en la industrialización y creían que la dimensión técnica de la silla constituía su esencia (1 a 4). En otros es el "minimal" o en cualquier otro planteamiento estético el que gobierna su diseño. Casi siempre los aciertos resistentes que encontramos en ellas, la relación entre flexibilidad y simplicidad es impresionante. Son objetos montados, no obras construidas, diferencia fundamental pero cada vez más difusa en los puentes.*

1.- Silla Thonet - (1860). Thonet consiguió curvar la madera y con ella crear una estructura simple, flexible, duradera y económica. Es un clásico de gran vigencia actual.

2 y 3.- Marcel Breuer. Silla flexible (1929), butaca Wasily (1925). Breuer fue el maestro del tubo curvado, flexible e industrializable. Decía: "en esa línea ondulada, brillante, no solo veía un símbolo de la técnica sino la técnica misma".

4.- Silla Barcelona - (1929). Diseñada por Mies Van der Rohe para el pabellón alemán de la exposición mundial de Barcelona, constituye la culminación de la simplicidad formal, la elegancia de la línea y la flexibilidad de la ménsula.

5.- Silla Zig-Zag - (1934) de Gerrit Rietveld. Formada por cuatro elementos unidos ingeniosamente, Rietveld, uno de los principales representantes de Stijl realiza un incómodo prodigio de simplicidad con un resultado formal fantástico que debíamos contemplar

todos los días un poco.

6.- Silla diamante - (1952) Harry Bertoia. "En lo concerniente a sillas muchos problemas funcionales deben ser resueltos en primer lugar... pero cuando se va al fondo de las cosas, se da uno cuenta que una silla es un estudio del espacio, de la forma y del metal. El espacio circula a su través". Alguno de los más conocidos diseñadores de puentes actuales convierte los puentes en objetos y entonces su diseño se aproxima al de las esculturas, como nos cuenta Bertoia.

7.- Butaca escultura. S. Zwicky - (1980). Versión en hormigón del sillón "gran confort, gran modelo" de 1928 de Le Corbusier.

8.- Silla, Von Vogelsang de Philippe Starck (1985). Postmoderna, elegante e ingeniosa. Starck realiza el estudio "volver visible lo presente".

9.- Sillon little Beaver. Frank O. Gehry - (1987). Gehry tiene una formidable experiencia como diseñador con materiales "pobres". Es de cartón.

se podría decir de cualquier otra situación. Estamos en condiciones de poder remodelar casi cualquier zona a base de movimientos de tierra sin excesivo coste.

En el puente objeto, otro problema que se elude es el de la escala. La escala es la unidad de medida que determina el ámbito donde se instala el puente. Y hay que saber descubrirla. Solo hace muy poco tiempo, los problemas de escala que determinaban la dimensión resistente del puente y del lugar donde estaba ubicado, estaban más presentes. El acoplamiento al lugar, el encaje del puente, determinaba esa unidad voluntaria, buscada, que debía producirse entre el puente que se construía y el lugar donde se ubicaba. Una relación necesaria y fantástica que tanto ha ayudado a dirigir al puente por caminos seguros. Ahora todo esto ha desaparecido, mejor dicho ha desaparecido su carácter de obligatoriedad y queda reducida a un problema de voluntad personal, de decisión de proyecto.

## EL ARQUITECTO Y LOS PUENTES

No nos debe sorprender entonces, que en esta situación, sin problemas resistentes determinantes, los arquitectos, con un oficio próximo al nuestro, se vayan acercando al mundo de los puentes. Otros formalizadores más poderosos como son los escultores relacionados con el "land art" y que tienen experiencia en la relación de la obra con el paisaje, empiezan a aparecer. Y lo mismo se podría decir de los grandes diseñadores

de objetos como son los diseñadores industriales o los creadores de ilusiones como los escenógrafos.

A mi modo de ver se establecen tres tipos de relación:

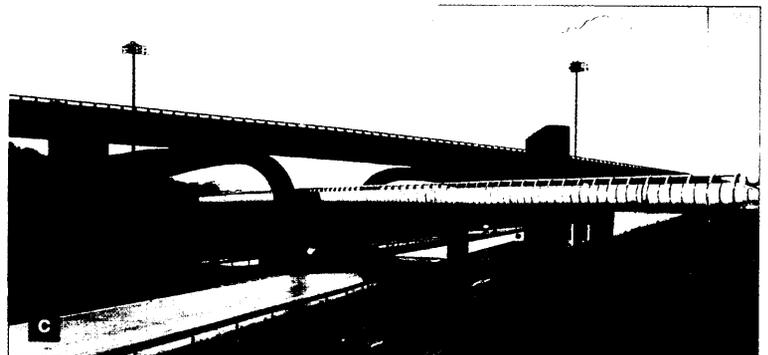
1.- Sería el caso de colaboración entre arquitectos e ingenieros, en la cual el ingeniero tiene el papel predominante. Este último marca las líneas generales del diseño y el arquitecto embellece un planteamiento poco preocupado por el diseño formal. En unos casos este último dibuja una imposta, una barandilla, o interviene en el diseño de una pila, elementos especialmente vulnerables ya que desde un punto de vista resistente están muy poco condicionados. En otros, el arquitecto interviene en problemas de más profundidad como son la relación del puente con el paisaje, su encaje y la distribución de luces. Interpreta, en resumidas cuentas, la relación entre la obra y el entorno.

Es un caso bastante frecuente y normalmente aceptado e incluso buscado por algunos ingenieros. Sus resultados son diversos y como siempre depende de la cualidad de ambos profesionales. Hay ejemplos de colaboración muy positiva como era la presencia de G. Lohmer en los grandes puentes alemanes de F. Leonhardt, Dyckerhoff und Widman, etc. El formidable puente Severin (1960) en Colonia sale de esta colaboración. Otros ejemplos de este tipo son menos afortunados y están muy presentes en países que se han tomado muy en serio la necesaria ayuda de la estética de los arquitectos al "funcional" trabajo de los ingenieros. Fig. 3.



**Figura 3.**

(a) Puente de Severin en Colonia (1962) de F. Leonhardt y G. Lohmer, tiene 301 m de luz. El primer puente asimétrico de la historia en río simétrico, propuesta planteada para no interceptar la vista de la catedral de Colonia y que constituye un ejemplo de rigor y calidad pocas veces igualado. La asimetría forzada la vuelven a utilizar los mismos autores con Luis Viñuela en el excelente puente de la Cartuja de Sevilla al que se le ha hecho menos caso del debido. (b) y (c) Dos puentes franceses de autopista. Sin comentarios.





**Figura 4.**

*Puentes monumento. El gusto por los puentes "triumfales", "monumentales", coincide en Europa a mediados del siglo XVIII con la desaparición de los puentes habitados. (El puente de Bath, el puente Vecchio de Florencia, el puente de Rialto de Venecia constituyen los restos de una costumbre habitual en los grandes puentes de París y Londres de utilizarlos, además de para pasar, para vivir y comerciar). De ejercicios para estudiantes de Bellas Artes, la fascinación por los puentes monumentales se extiende por toda Europa, pero raras veces llegaban a realizarse, salvo en el caso del Königsbrücke de Berlín de 1762.*

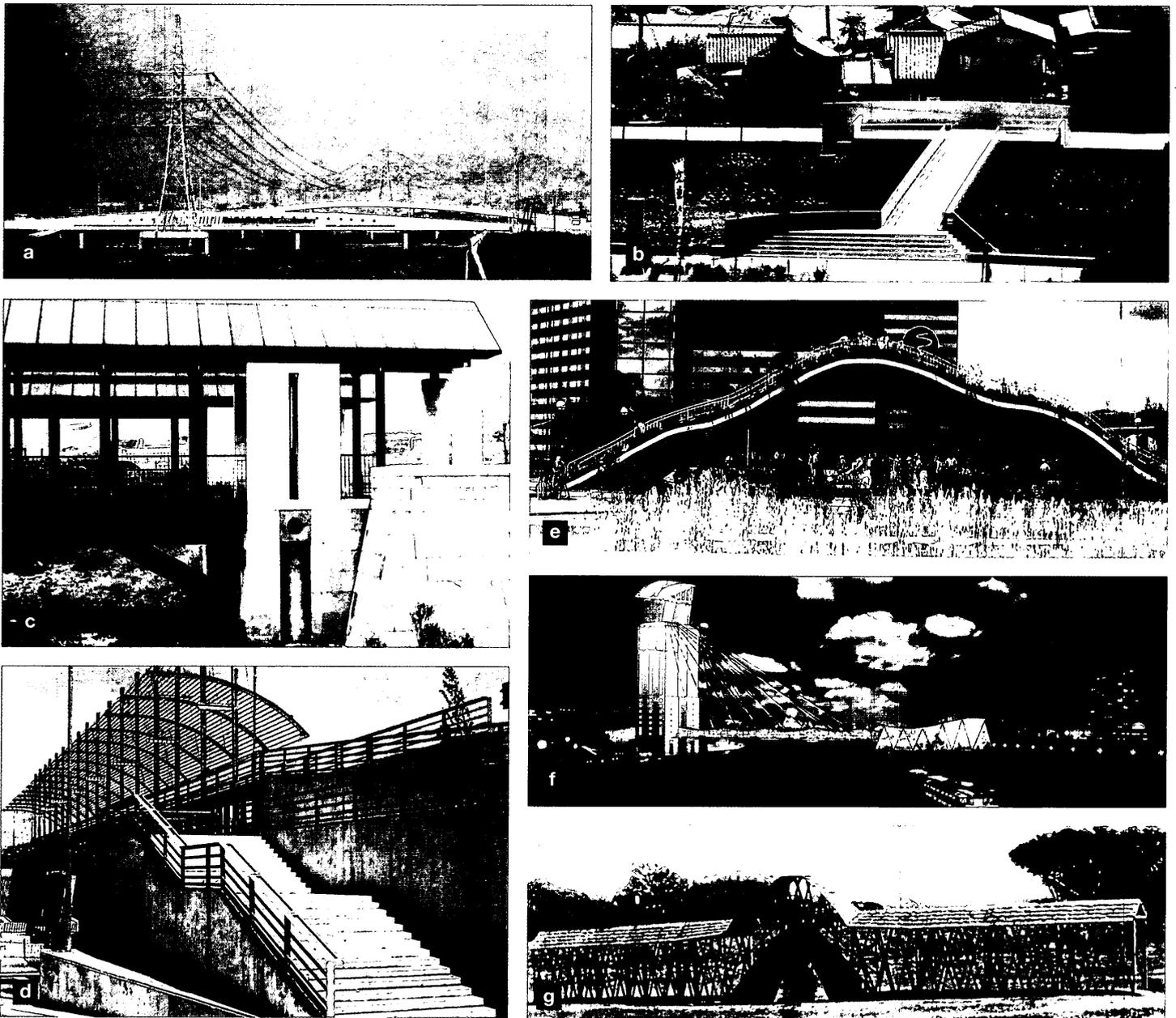
*En la figura (a) representamos la propuesta de John Soane para un puente triunfal de 365 m de longitud. Realizó dos versiones, una en estilo corintio y otra en estilo dórico. Puente futurista. En 1995 el equipo de arquitectos Future Systems plantea un puente sobre el Támesis en Londres con dos niveles de circulación además de tiendas, bares y vistas panorámicas. La estructura está formada por una doble piel de chapas de acero unidas con tecnología de los aviones.*

2.- El segundo grupo se caracteriza porque el papel fundamental lo tiene el arquitecto, y el ingeniero se convierte en un colaborador que asesora sobre lo planteado y lo calcula.

Este grupo se puede dividir a su vez en dos subgrupos. El primero está formado por aquellos arquitectos que enfrentan el proyecto de un puente como si se tratase de una casa o un edificio cualquiera, adoptando los mismos planteamientos formales y paisajísticos. Las pilas se convierten en paredes, el tablero en un dintel con sus transiciones para crear efectos de luz y sombras, impostas y barandillas. El encuentro con el suelo y su configuración es objeto de un cuidado particular. La estructura resistente no tiene más importancia que la que tiene en un edificio tradicional, es decir con nulo o escaso poder de configurar el puente. Es, por así decirlo, la presencia de la arquitectura normal, la que se suele hacer, en el mundo de los puentes. Empieza a haber

realizaciones de este tipo y generalmente son bastante discretas pero que no inquietan demasiado porque no son más "estéticas" que las de un diseño ingenieril correcto. Fig. 5. Nos recuerdan, eso sí, que los problemas de encuentro del puente con sus accesos deben ser más trabajados.

Esta manera de enfrentar el problema se parece a la de tantos arquitectos que a lo largo de la historia han proyectado puentes como una construcción más de su quehacer. Todos los puentes antiguos que tienen autor, cuyo nombre se conoce, pertenecen a este grupo. Sus ideas sobre arquitectura se vertían en la construcción de los puentes. Herrera, Ribera entre nosotros, Palladio, Scamozzi y A. da Ponte en Venecia, Robert Adam en el Pulteney bridge de Bath, etc, etc son ejemplos de los mejores entre ellos. Fig. 6. En otras ocasiones las exageraciones del proyecto, la falta de contención producía propuestas "monumentales" claramente inadecuadas además de muy costosas. Fig. 4.



**Figura 5.**

Presentamos una serie de obras y propuestas que no responden a un planteamiento unitario de la visión arquitectónica de los puentes.

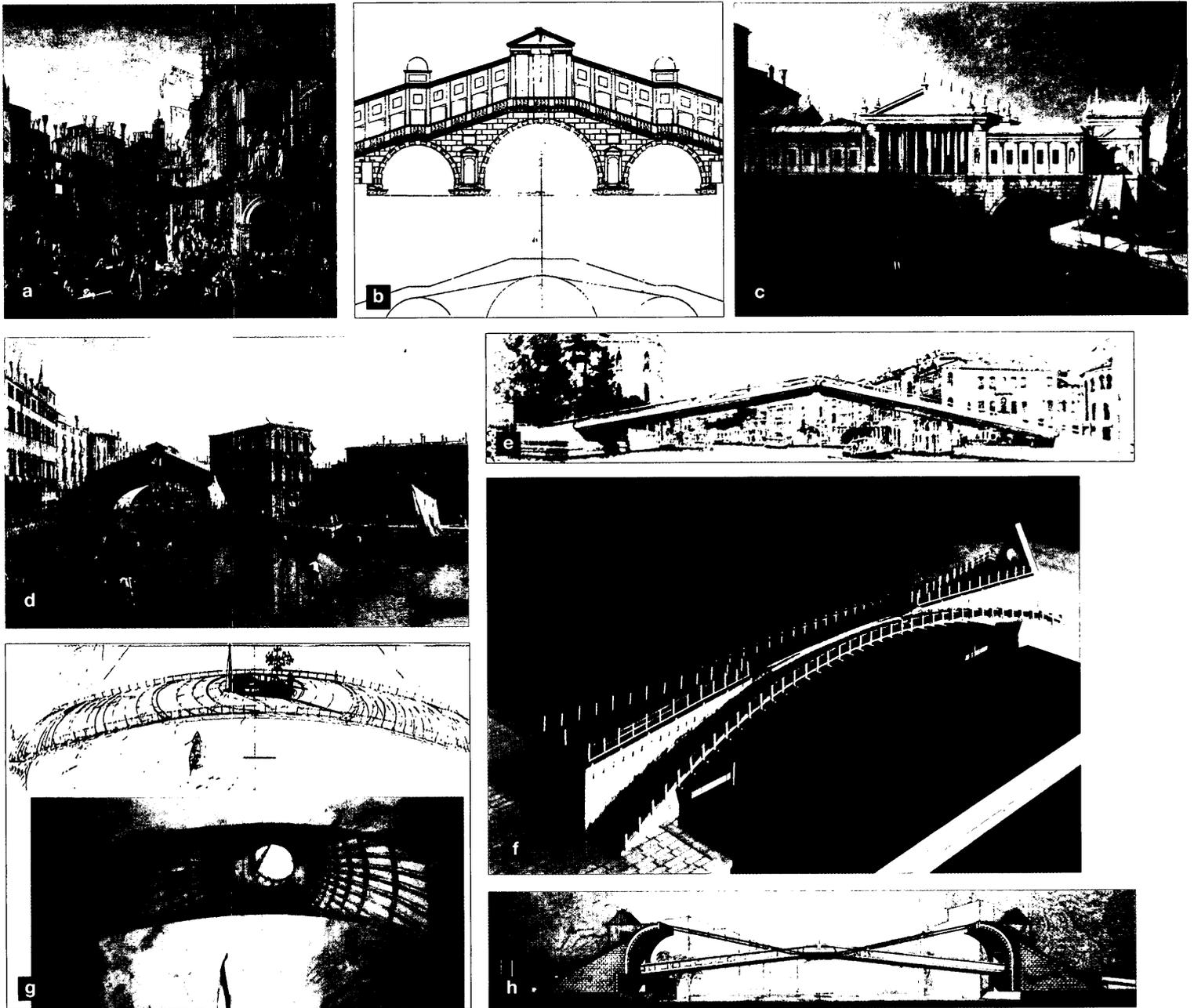
Lo que podríamos entender por arquitectura clásica se acerca a los puentes con unos planteamientos muy diferentes a los ingenieriles.

Su sensibilidad para las relaciones altura-luz de los vanos es muy diferente de la ingenieril y a veces se podría decir que inexistente. Le preocupa especialmente el

tratamiento de los accesos, marcando con claridad su presencia, interponiendo escaleras, rampas, muros y bordillos, etc. El "leiv motiv" de su diseño puede ser una cubierta, unas escaleras o una composición ondulante como el puente sobre el río Besós con una clara intención escultórica. Fig. 5, a, b, c y d.

En otras ocasiones las propuestas de puente son claramente fantásticas como la pasarela de Site architects, la propuesta de Antoine Grumbach (arquitecto) para un puente-jardín en el Támesis o la escultura "Puente sobre un

árbol" de Siah Armajani que utiliza el puente para acentuar el árbol. (a) Puente sobre el río Besós (1988). Enric Batlle y Joan Roig, arquitectos. (b) Puente Yunokabashi (1991). Waro Kishi & K. Associates (c) Puente sobre el río Sil (1983). Andrés Lozano, arquitecto. (d) Pasarela sobre la Ronda de Dalt (1992). J. Llorens y A. Soldevila, arquitectos. (e) Puente en Ross's Landing (1991) U.S.A. Site Arq. (f) Puente-Jardín sobre el Támesis. Propuesta (1995). Antoine Grumbach, arquitecto. (g) Puente sobre un árbol (1970). Escultura.



**Figura 6. Puentes en el gran canal de Venecia.**

Cuatro propuestas para el puente del Rialto en Venecia (Siglo XVI). (a) Puente de madera que cruzaba el gran canal desde 1250.

Tenía un tramo móvil en el centro para permitir el paso de barcos altos y separar si era requerido las dos islas. Era muy vulnerable por el fuego y se decidió en 1503 reemplazarlo por uno de piedra. Hubo un siglo de discusión con

propuestas de puente de Samsovino, Vignola, Scamozzi (b), Guglielmo di Grande, Morastoni y Palladio (c), el cual produjo los primeros dibujos en 1550 y finalmente el Senado Veneciano aceptó en 1588 el actual puente de Antonio del Ponte (d). Scamozzi escribió un duro alegato contra la propuesta de A. de Ponte de utilizar un solo arco. Cuatro propuestas para el puente de la Academia sobre el gran canal en Venecia (1985) (e) a (h). Soluciones

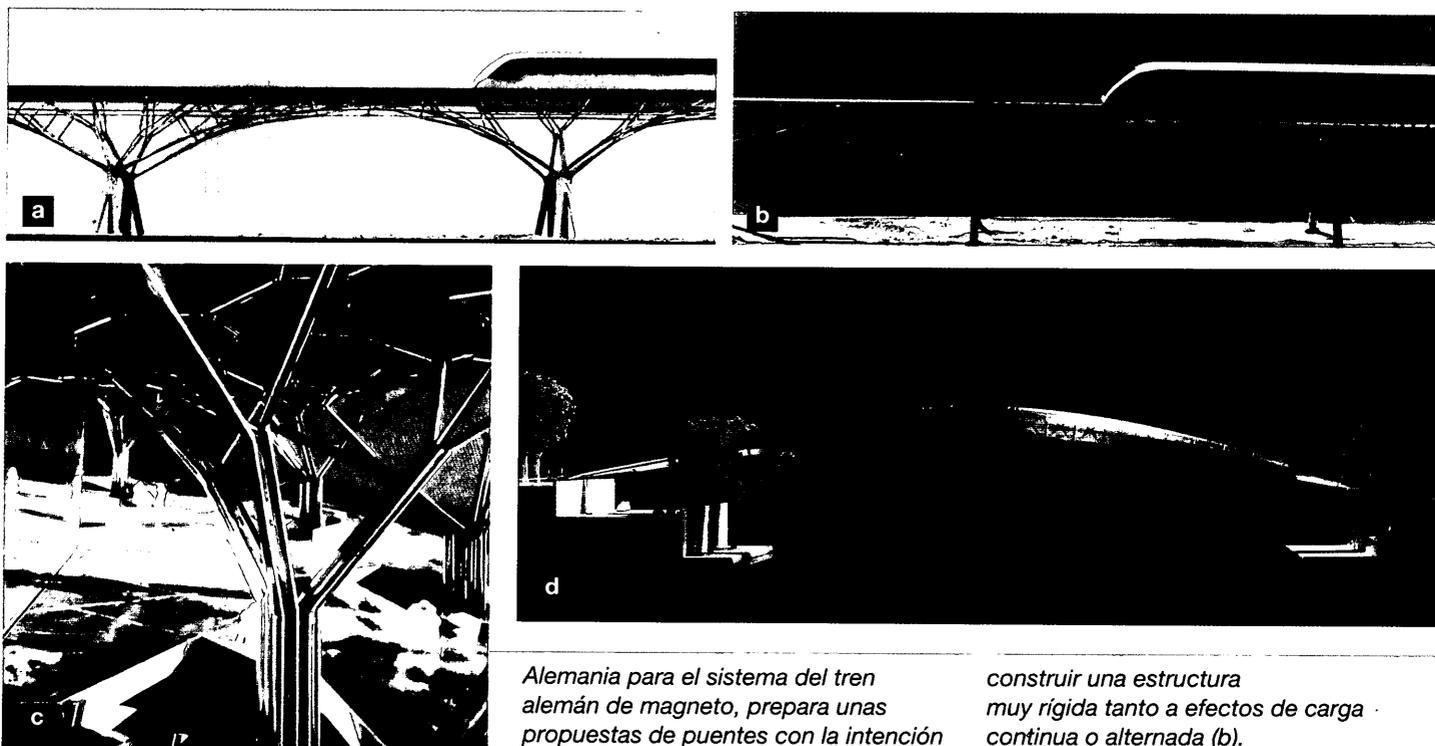
arquitectónicas a un problema funcional simple, situado en un espacio de enorme valor histórico. La presencia de lo clásico está perfectamente referenciada en estas propuestas. Lo resistente e ingenieril no son tenidos en cuenta ni siquiera en la solución atirantada. Lo resistente, formal y funcional están presentes en la obra del siglo XVI, lo que no ocurre en las propuestas de finales del siglo XX. (e) A. Branzi, (f) Nicolin, Marinoni, (g) Cellini y Morabito, (h) F. Purini y otros.

El segundo subgrupo es el que corresponde a los arquitectos encuadrados dentro del movimiento "High Tech", aunque todos ellos reniegan de esta pertenencia. Herederos (los ingleses) del movimiento metabolista japonés y del Archigram, así como fuertemente influidos al principio por Buckminster Fuller, la primera manifestación de gran impacto fué el Centro Georges Pompidou de París (1971-1977) de Richard Rogers y Renzo Piano. Norman Foster con realizaciones considerables, irrumpe con fuerza con el Banco de Hong-Kong y Shanghai (1979-1985) y así sucesivamente este movimiento se va ampliando y desarrollando con otros creadores como Calatrava, N. Grimshaw, M. Hopkins, etc, etc.

Este movimiento, en mayor o menor medida, pretende realizar una revolución en la construcción. Para ello decide la utilización de materiales y métodos modernos, ligeros e industriales, haciendo una valoración especial de la tecnología. Pronto descubre la estructura resistente y se centra en

ella como uno de sus pilares. Sin embargo en lugar de procurar encontrar disposiciones resistentes nuevas y más eficaces, lo que le preocupa es obtener las configuraciones más expresivas e impresionantes. No importa que la estructura sea mejor o peor. Una viga de alma llena es menos "estructural" que una celosía o un tubo atirantado. El carenado y la fundición de nudos aparece con gran frecuencia y, en general todo lo que haga que la estructura parezca más estructura. En este sentido este movimiento pertenece a la postmodernidad con todo lo que ello supone.

Esta situación inicial se ha ido atemperando con el tiempo. Sus principales creadores no tienen tanta necesidad de ser brillantes y van moderando sus propuestas. La tendencia a la apariencia y la escenografía, en unos más que en otros, empieza a contenerse. No dejamos de estar en una fase esteticista, pero por lo menos la gran calidad de creadores de imágenes que todos ellos tienen empieza a ser aceptable e incluso imitable en alguno de sus logros. Figs. 7, 8, 9 y 10.

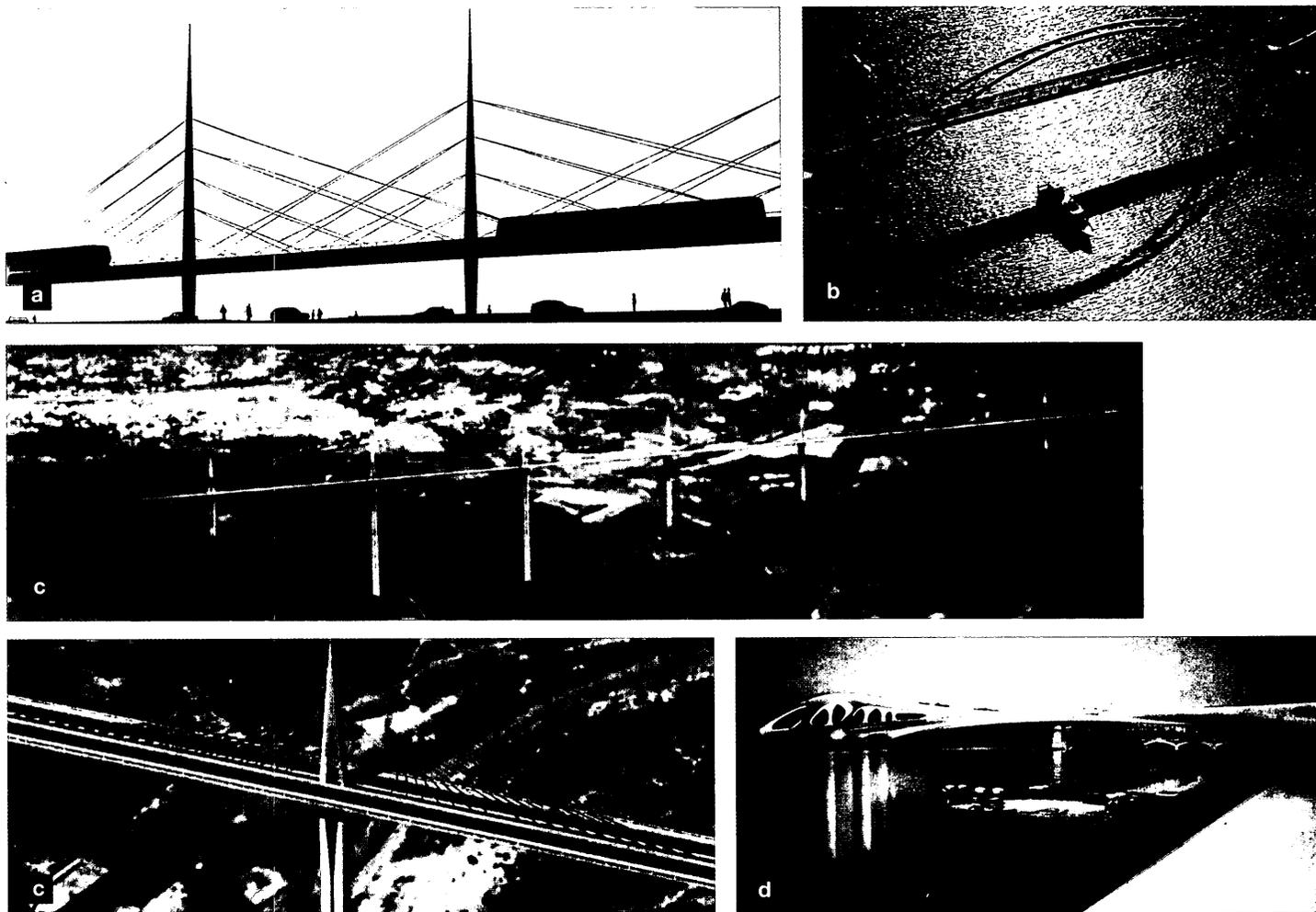


**Figura 7.**

La aportación de Frei Otto al mundo de las estructuras laminares, colgadas, neumáticas desde su estudio y desde el Instituto para estructuras ligeras de la Universidad de Stuttgart que él dirige, es formidable. Por encargo del Ministerio de investigación y tecnología de

Alemania para el sistema del tren alemán de magneto, prepara unas propuestas de puentes con la intención de ser ecológicos y estéticos. Adopta una estructura arborescente (a) y (c), la cual desde un tronco común, recto, inclinado o poligonal salen ramas que apoyan el dintel con intención antifunicular. Un planteamiento similar es el utilizado en el aeropuerto de Stuttgart. Otro sistema planteado es el del atirantamiento múltiple que se cruza en el centro del vano para

construir una estructura muy rígida tanto a efectos de carga continua o alternada (b). (d) Propuesta para puente peatonal en París 1987, entre las Tullerías y el museo D'orsey realizado por Kaplick y Levet. Esta disposición estructural es un arco atirantado donde curiosamente, los peatones utilizan el arco inclinado como plataforma de paso. Calatrava ha utilizado recientemente una disposición similar para una propuesta de pasarela en Venecia.



**Figura 8.**

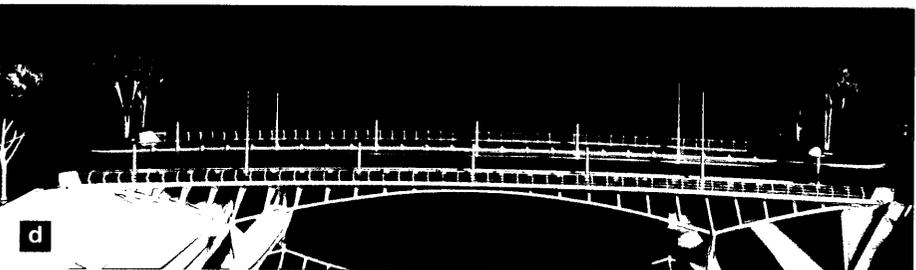
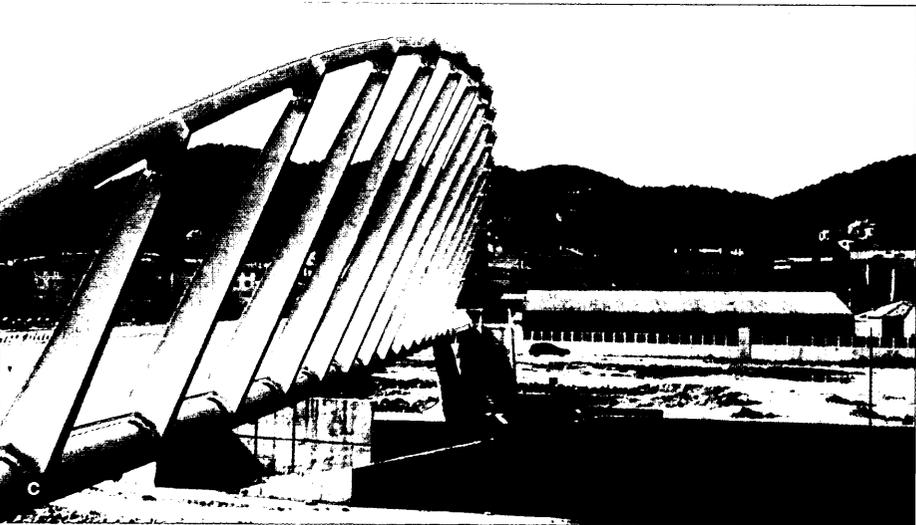
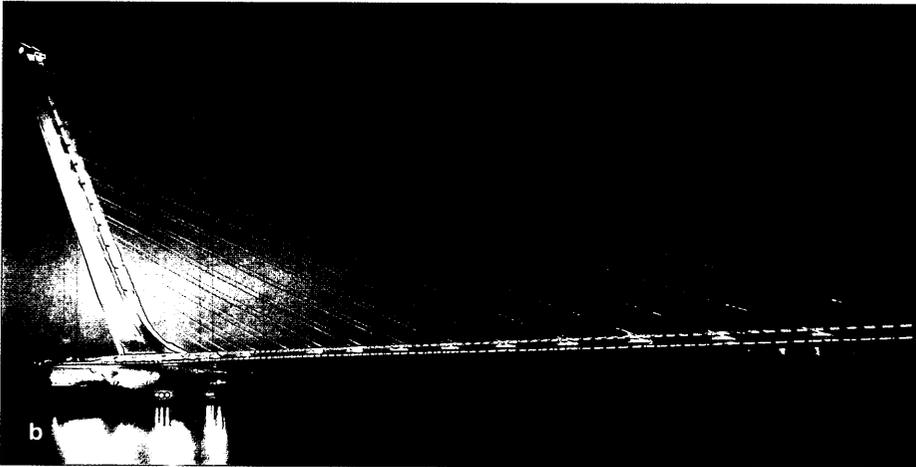
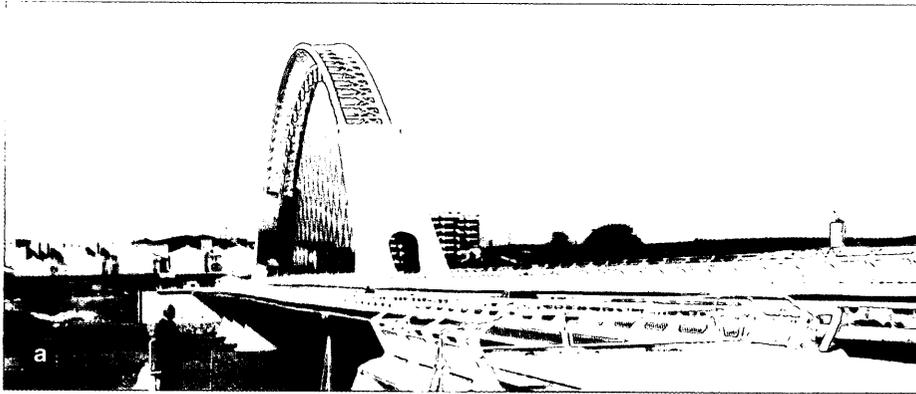
Norman Foster se ha acercado a los puentes, un poco más tarde que Calatrava o Piano, y lo ha hecho de una manera muy correcta y en algún caso excelente, en lo que podríamos establecer como su etapa estructuralmente moderada, pasados los excesos de la fábrica Renault en Swindon (Inglaterra) 1982-1983, el banco de Hong-Kong y Shanghai (1979-1980) o incluso la torre Collserola de 1992.

En 1991 gana el concurso para el puente de Rennes (a), viaducto de 2100 m de longitud con luces de 20 a 50 m. Se contempla en esta obra lo que son las pautas de muchos de estos diseñadores, Puentes atirantados con torres extraordinariamente apuntadas. Usa diferente, al normal, de los materiales que lo constituyen, pues utilizan el acero para las torres y el hormigón para el dintel. Usa de una manera innecesaria y efectista el

atirantamiento para luces muy pequeñas. En el concurso del puente de Öresund - entre Dinamarca y Suecia (1993) (b) se presenta con un equipo de ingenieros tan poderoso y competente como Schlaich y Bergemann. Utiliza un dintel en celosía - ferrocarril en el interior y carretera en la parte superior - disposición del dintel análoga al proyecto ganador - y arco metálico de 600 m de luz para el vano principal. Utiliza el dintel como atirantamiento del arco a través de los puntales inclinados traseros. La construcción de este puente es muy complicada y solo posible con la utilización de un atirantamiento provisional del arco. Es una solución similar a la propuesta por Calatrava que también utiliza el atirantamiento del arco a través del dintel.

En el puente de la A 75, entre Clermont Ferrand y Beziers (c) en Francia, ganado en concurso, vuelve al puente atirantado

continuo, perfectamente utilizado en este caso, pues la pila tiene rigidez a flexión y permite un comportamiento adecuado del atirantamiento ante la sobrecarga en vanos alternos. Además pueden permitir los desplazamientos del dintel por temperatura, y está perfectamente resuelta la transición entre la torre de atirantamiento triangular (y otra vez puntiaguda) y la pila inferior de gran altura. El puente tiene alturas entre 75 y 235 m y luces de 350 m. Es sin duda un excelente puente, sea cual sea el punto de vista. Un puente sorprendente en la trayectoria de Foster (d), propuesto para el concurso del puente del Sena en París, que ha sido recientemente inaugurado con solución francesa, es este puente organicista, de hormigón que recoge la tradición metabolista y que ya había dado lugar a alguna propuesta no construida como la de Paolo Soleri y la de Frank Lloyd Wright.



**Figura 9.**

Santiago Calatrava es, de todos estos diseñadores, el que consigue efectos visuales más sorprendentes. Su capacidad de formalizador es asombrosa lo que le ha proporcionado la admiración incondicional de muchos profesionales, políticos y público en general.

El concepto de puente como objeto puede deducirse viendo su obra. La ortodoxia resistente es seguida o no en función de sus valores expresivos.

El lugar, allí donde se instala el puente, carece de influencia en su diseño, lo que le permite repetir el mismo puente en varios sitios. Ejemplo de lo primero es el puente del Alamillo de Sevilla (b) y de lo segundo es el puente de Mérida (a), donde rompe la versión de puente que todos los ingenieros anteriores han realizado, desde los romanos a Fernández Casado. A un puente indefinido, en su doble dimensión de muy largo y sin énfasis especial en ninguna parte, como corresponde a un río con cauce divagante, contrapone un gran arco central -de diseño muy hermoso- que carece de sentido si se tiene en cuenta que el río puede estar o no estar y al que hay que crear una presa aguas abajo para no dejarlo en seco.

Su condición de escultor está constantemente presente en su obra. Sigue los modelos desarrollados a principios de siglo por los hermanos Pevsner, presente en el juego de tirantes y arcos y de Brancusi que se manifiesta en el diseño de las pilas de sus puentes atirantados. Todo ello combinado con una enorme facilidad y maestría. De los diseñadores mayores sigue con bastante fidelidad a Gaudí y Nervi.

Junto con esas cualidades y calidades hay que destacar determinados hallazgos estructurales como la utilización de pórticos, como estructura transversal del dintel, que le posibilita relacionarse con arcos inclinados dispuestos en posición superior o inferior al dintel.

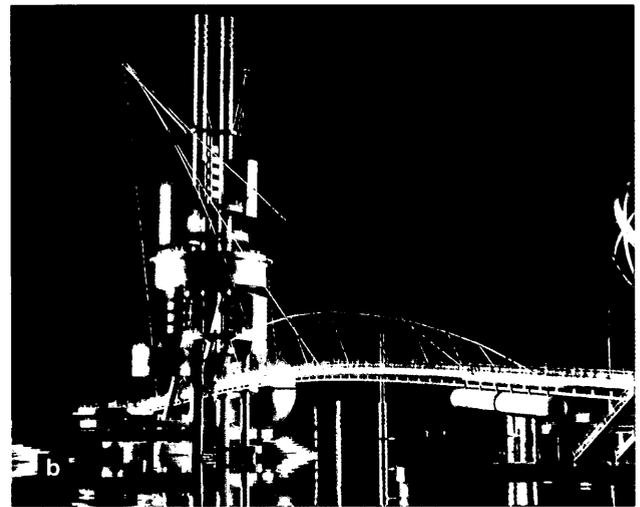
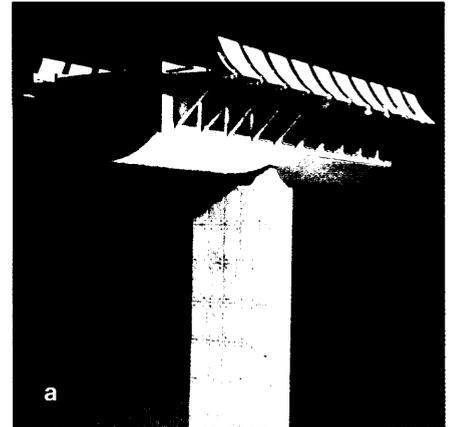
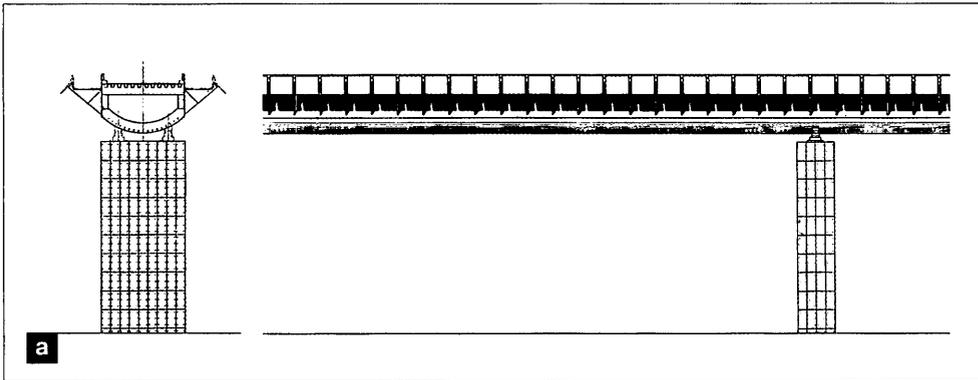
El arco soporta al dintel y el dintel al arco. (c) y (d)

(a) Puente de Mérida (1988-1991).

(b) Puente del Alamillo (1992).

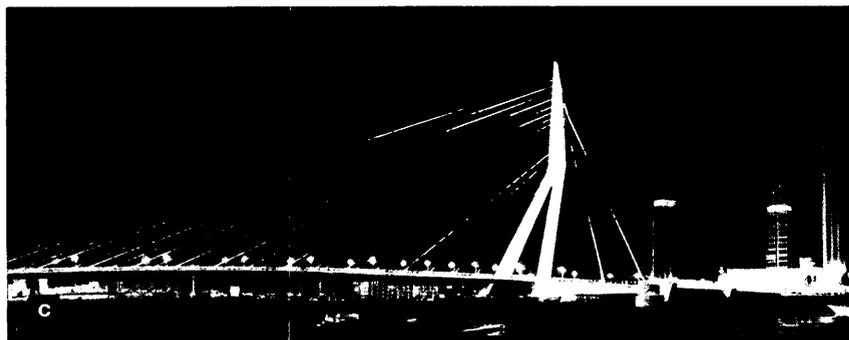
(c) Pasarela La Devesa. Ripoll. (1989-1991).

(d) Krunprinzen bridge. Berlín (1996).



### Figura 10.

Propuesta de Renzo Piano para un puente muy correcto morfológica, estética y estructuralmente, para la unión del archipiélago Ushibuka-Kumamoto (a) en Japón (1989-95). La vinculación de tres zonas del puerto por el del puente produce una planta curva excelente. (b) En 1986 Richard Rogers presenta esta propuesta para puente en Hungerford (Londres) sobre el Támesis que parece salida de "la guerra de las galaxias". Algunas veces no se sabe si son los arquitectos los que copian a los dibujantes de ciencia-ficción o viceversa, tema éste no tan disparatado como podría parecer en parcelas en las cuales la escenografía está mostrándose cada vez más importante. (c) El puente Erasmus sobre el río Maas en Rotterdam (1995), del arquitecto Ben van Berkel, tiene la espectacularidad de todo puente atirantado bien iluminado y la sorpresa de una torre quebrada. (d) Propuesta ganadora para el concurso del puente de Poole en Inglaterra (1996). De nuevo la pauta arquitectónica de utilizar el acero en la torre (puntiaguda) y el hormigón en el dintel, en un puente correcto que pretende interpretar la presencia en la zona de gran cantidad de veleros deportivos.



3.- Existe un tercer grupo de arquitectos muy interesantes que no despierta ninguna inquietud entre los ingenieros, pues por un lado representa la negación de lo que hasta ahora se consideraba como lo ingenieril y por otro, tienen muy pocas realizaciones. Además no gozan de ningún reconocimiento público fuera del círculo de expertos. Y sin embargo no están tan alejados de nosotros como a primera vista parece. Me refiero a la versión que sobre las estructuras y los puentes hacen los “deconstructivistas”.

Si la “High Tech” representa la continuidad formal del racionalismo, la brillantez de la segunda estética de la maquina (la primera fue la auténtica, la segunda es la carenada), la “deconstrucción” se vuelve contra la concepción constructivista y racionalista de la construcción y desde sus mismos presupuestos, la transforma.

Heredera del constructivismo ruso propone “en principio una ortodoxia que luego subvierte, una norma que rompe, una hipótesis y una ideología que socava”. No acepta la lógica constructiva que ha ordenado nuestro quehacer a lo largo de los siglos. Lo vertical, lo gravitatorio, lo ortogonal y la simetría geométrica está dentro del vocabulario constructivo que conocemos. Por el contrario, la deconstrucción hace crítica de esta realidad. Crea un nuevo vocabulario, adopta la oblicuidad, la falta de estabilidad, tanto gravitatoria como formal, (los habituales “palillos de cóctel” inclinados y dispuestos entre muros boomerang).

Este nuevo vocabulario formal, que la situación de la tecnología ha posibilitado, es el soporte de una nueva concepción arquitectónica. La inestabilidad formal está llena de una nueva plasticidad. La arquitectura abandona los senderos del racionalismo lo que le permite caminar con el resto de las artes. Fig. 11.

El origen de este movimiento, que reposa en los planteamientos filosóficos de J. Derrida, está siendo desarrollado por los creadores más interesantes de hoy en día, Frank Gehry, Peter Eisenmann, Rem Koolhaas, Zaha Hadid, Daniel Libeskind, el grupo Coop Himmelblau, etc y una enorme cantidad de diseñadores en todo el mundo entre los que encontramos a arquitectos españoles tan interesantes como Enric Miralles y Carme Pinos. En los puentes no existen casi realizaciones, aunque sí propuestas.

## **LOS INGENIEROS Y EL FUTURO DE LOS PUENTES**

El gran desarrollo de la tecnología de los puentes, realizada por los ingenieros, los ha hecho vulnerables. Profesionales más habituados a tratar con problemas formales, de gran destreza visual, capaces de convertir en imágenes la cultura de nuestro tiempo, invade un territorio exclusivo.

¿Qué va a pasar?

No hay mejor manera ni más rápida de equivocarse que hacer predicciones. Pero me atrevo a aventurar varias líneas en que va a desarrollarse la ingeniería de los puentes.

En el terreno de los llamados puentes “emblemáticos”, la presencia de los formalizadores (arquitectos, escultores, escenógrafos, también ingenieros, por qué no) será evidente. Los recientes concursos internacionales de puentes con pre tensiones así lo evidencia. Foster ganó el concurso del viaducto de 2,5 km de longitud en la autopista A75 entre Clermont Ferrand y Beziers en Francia. En un concurso reciente de pasarela emblemática para el año 2000 en Londres, que unirá la Catedral de San Pablo con la nueva Tate Galery, los seis preseleccionados, entre 236 concursantes, están encabezados por Frank Gehry, asociado con el escultor Richard Serra, y un segundo equipo formado por N. Foster, asociado a otro escultor A. Caro<sup>2</sup>. Salvo en un equipo que aparece N. J. Gimsing, asociado a un arquitecto, Georg K.S. Rotne, en ninguno de los demás existe ningún ingeniero, aunque se supone que detrás de todos ellos se encuentre el equipo de Ove Arup.

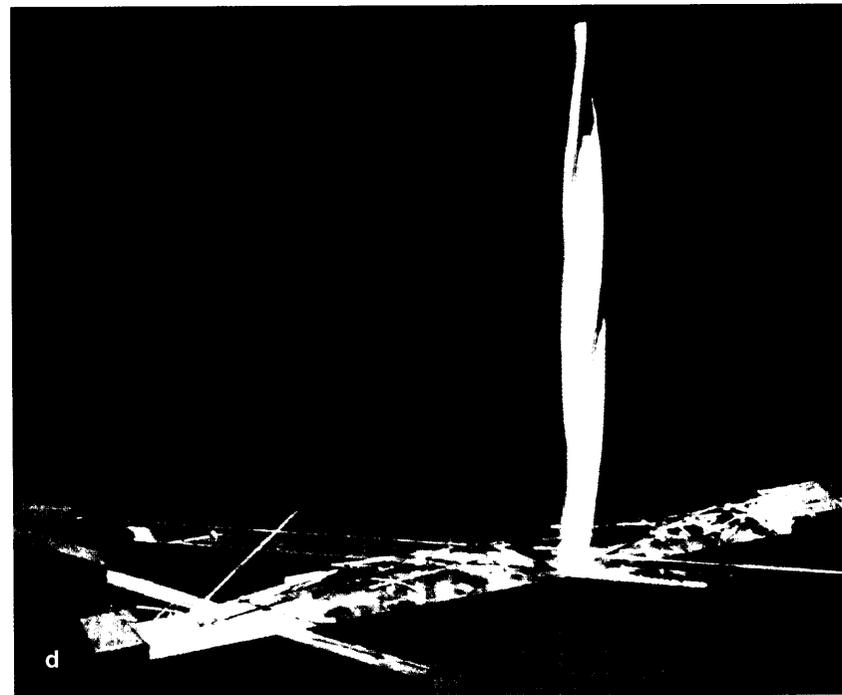
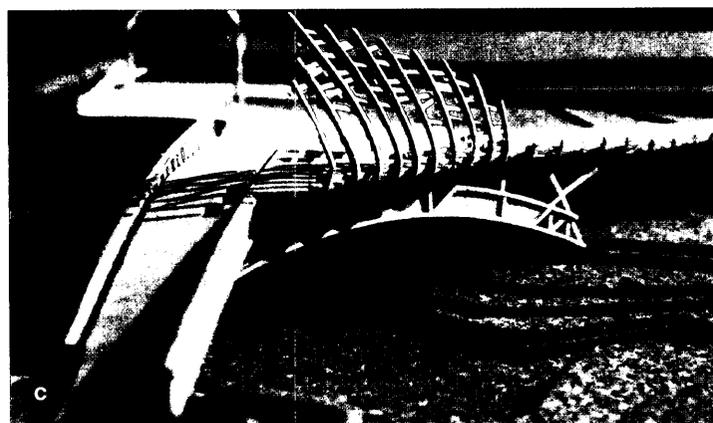
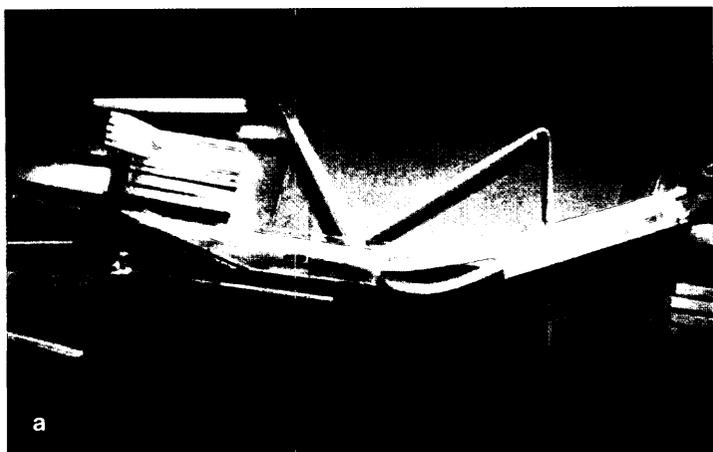
Es un terreno de competición complicado, que los ingenieros no debemos abandonar, porque el universo formal que aún está por descubrir, siguiendo lo que hemos llamado presupuestos “esenciales” de los ingenieros, tendrá grandes oportunidades. Porque una cosa es que el campo de los puentes esté sujeto a la contingencia de lo conceptualmente cambiante y otra distinta, que esta manera de entender la formalización de lo resistente no tenga oportunidad.

Existe un segundo campo, el del trabajo cotidiano, donde la economía se mira de una manera más estricta. En este campo, el más extendido, nuestra presencia seguirá siendo casi absoluta y donde se está realizando un buen trabajo.

En esta zona parece que se perfila cada vez con más insistencia la tendencia a la prefabricación de puentes, ya sean de hormigón como metálicos. Los constructores prefieren comprar los puentes. Están apareciendo por tanto otros constructores especializados en producir tipologías determinadas de puentes a precios razonables. Los prefabricadores de vigas de hormigón se esfuerzan en pasar de sus 40 ó 45 metros de luz máxima a cubrir luces mayores, de 90 ó 100 m, con lo cual se pueden construir el 99% de los puentes de nuestro país.

Por otro lado es de esperar que la rigidez formal que introduce en la prefabricación la viga doble T o la viga en artesa, coexistirá con planteamientos formales algo más ambiciosos.

Sin embargo los cambios radicales en el diseño de estructuras y puentes se producirán con la comercialización y normalización de los nuevos materiales compuestos de fibras de vidrio, de carbono y bases de resina que ya empiezan a estar presentes a nivel experimental. Así como la aparición del hierro y acero determinó la primera revolución formal producida por los ingenieros y la segunda corresponde a la apa-



**Figura 11. Deconstrucción**

(a) Propuesta de Zaha Hadid para puente habitable sobre el Támesis en Londres. (b) Propuesta de Miralles para pasarela sobre el río Segre en Lérida. En

las calles en una vieja ciudad. (c) Carmen Pinos propone este puente para Petrel en Alicante. El arco y el tablero tienen directrices diferentes, se quiebran creando una disposición volumétrica que deja pasar el río

ambas obras la disposición lógica de ir de un sitio a otro en línea recta se divide en itinerarios quebrados, que a la vez de multiplicar las posibilidades de cruce, interpretan la situación real de

y establece un lugar de encuentros. Aunque pueda parecer lo contrario, la deconstrucción no crea objetos, sus obras se instalan en función del lugar y lo interpretan y construyen aunque de forma no habitual.

(d) Igual que Zaha Hadid, Libeskind propone para el mismo puente de Londres sobre el Támesis una configuración deconstructiva que además tiene una gran belleza formal y plástica.

(e) Para el parque del museo de Rotterdam, Rem Koolhaas realiza una pasarela que puentea un parterre de flores, disponiendo los pilares con el desorden con que crecen y se configuran los árboles cercanos.

riación del hormigón armado y pretensado, la tercera se producirá con las posibilidades alumbradas por los nuevos materiales.

Estos cambios tecnológicos y formales fueron acompañados a su vez por una cristalización paralela de los conocimientos científicos, tanto durante la primera revolución industrial, como la que se produce con el pretensado en el cambio introducido por el hormigón. Los nuevos materiales van a estar acompañados por una nueva revolución, ya presente en muchos casos, pero aún no extendida. Las llamadas estructuras adaptables, las cuales por medio de sensores y ordenadores podrán variar las características resistentes de los materiales.

Así mismo podrán producir acciones artificiales con el fin de establecer el control de la respuesta de la estructura ante el paso de las cargas ó la acción de cualquier sollicitación. No es el momento ni el lugar para hablar de este problema, pero está ahí, cuando llegue, una vez más, los ingenieros cambiaremos las formas construidas. Una nueva estética aparecerá con esta tercera revolución. ●

(1) Del libro "Cultura o basura" de James Gardner

(2) Finalmente este equipo ganó el concurso

## CD-ROM EN DEPÓSITO



SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS