

Discurso de recepción en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando el día 17 de diciembre de 2006

## Relación entre la estructura resistente y la forma Notas en torno a la valoración estética de los puentes

Acceptance speech given at the Royal Academy of Fine Arts of San Fernando on 17 December 2006

Relationship between resistant structure and form.  
Considerations on the aesthetic appraisal of bridges

**Javier Manterola Armisén.** Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
*Carlos Fernández Casado S.L. cfcs1@cfcs1.com*

**Resumen:** El pasado mes de diciembre, el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Javier Manterola Armisén, fue recibido como miembro de la Real Academia de Bellas Artes en Madrid. La *Revista de Obras Públicas* tiene la satisfacción de recoger, en su integridad, el discurso del nuevo académico, que además de profundizar en la relación entre la estructura resistente y la forma, como dice su título, incide en los conceptos que constituyen la mentalidad del ingeniero y en las tres manifestaciones de lo ingenieril: las relaciones arquitecto-ingeniero, el mundo y la estética del ingeniero y, finalmente el futuro de la construcción.

**Palabra clave:** Discurso; Real Academia; Estructura resistente

**Abstract:** Last December, the Civil Engineer, Javier Manterola Armisen, was admitted as a member of the Royal Academy of Fine Arts in Madrid. The *Revista de Obras Públicas* has the pleasure to publish the new academic's acceptance speech in its entirety. This speech, in addition to delving into the relation between resistant structure and form as suggested by its title, also touches on concepts concerning the mentality of the engineer and three aspects of engineering work: architect-engineer relations, the world and aesthetics of the engineer and finally, the future of construction.

**Keywords:** Acceptance speech; Royal Academy; Resistant structure

Señores académicos:

Quiero, en primer lugar, daros las gracias por el honor y la satisfacción que me habéis proporcionado al aceptarme entre vosotros y por permitirme ocupar un asiento en esta Real Academia, tan querida y respetada. Este hecho me estimula para cumplir con todos los quehaceres que me sean confiados y en los que espero no defraudar vuestra confianza. A vuestra disposición me pongo con mis luces y mi voluntad.

He tenido el honor de ser presentado en esta Academia por tres ilustres académicos, Exmos Srs. D. Antonio Fernández Alba, D. Joaquín Vaquero Turcios y D. Tomás Marco. Ellos han creído en mí y mis merecimientos, pero la verdad es que el hecho de que yo esté hoy ante Uds se lo debo más a su generosidad que a su espíritu de justicia. Su apoyo da valor a mis

méritos. Mi más sincero agradecimiento para todos ellos.

Me uno así a los pocos ingenieros de caminos que han pertenecido o pertenecen a esta Real Academia, como le ocurre a mi compañero Ángel del Campo, todos ellos ilustres y relevantes personalidades que han rendido utilidad a esta Institución. Permítanme un recuerdo especial para el que fue mi querido profesor, D. Carlos Fernández Casado, dotado de innumerables saberes en el campo de la ingeniería, la historia, la arqueología, la filosofía y demás ciencias. Un espíritu sosegado y penetrante.

Vengo a ocupar la plaza que ha dejado vacante el muy ilustre crítico de arte, historiador, catedrático, conferenciante y escritor Exmo. Sr. D. Julián Gallego Serrano. No lo conocí personalmente y lo siento enormemente porque cualquier referencia que obtengo

de sus colegas y alumnos, de aquellos que escucharon sus conferencias y recibieron sus enseñanzas, no puede ser más entusiasta. Julián Gallego nace en Zaragoza el 7 de Enero de 1919 y muere en Madrid el 20 de Mayo de 2006. Licenciado en Derecho en Zaragoza, se desplazó a la Sorbona donde se doctoró en Historia del Arte bajo la tutela de Pierre Francastel, gran maestro de la sociología y filosofía del arte. En París fue ayudante de investigación en la Escuela de Altos Estudios donde se despertó su vocación por la docencia. En esta dirección su labor se desarrolló en Madrid, primero en la Universidad Autónoma y finalmente en la Universidad Complutense, como catedrático de Historia del Arte Moderno y Contemporáneo, disciplinas a las que aportó un enfoque especial.

Su admiración por Velázquez y Picasso lo convirtió en un verdadero experto en ambos pintores. En "De Velázquez a Picasso. Crónicas de París (1954-1973)" reunió todos los artículos que había escrito durante su época dorada de París y en sus numerosas visitas.

Sus críticas de arte las desarrolló en publicaciones como la "Revista de Occidente", "Revista de las ideas estéticas", "Goya", ABC y otras muchas.

Su tesis doctoral dió lugar a un libro fundamental en la Historia del Arte "Visión y símbolos en la pintura española del siglo de Oro". Pero el número de sus libros y publicaciones importantes es muy grande, tanto en lo que se refiere a la pintura como a la ficción en obras dramáticas y de narrativa. Entre las primeras, además de los libros ya citados encontramos "El cuadro dentro del cuadro", medio por el que muchas veces la pintura se sirve de un cuadro interno para dar la clave del entendimiento del cuadro principal, "El pintor de artesano a artista" donde analiza el proceso que sigue la historia de los pintores hasta la consecución de la dignidad asociada a todo artista.

En cuanto a los segundos en 1951 obtuvo el premio Amparo Balaguer de teatro por su obra Fedra y en 1965 le concedieron el Leopoldo Alas de cuentos por "Apócrifos españoles". Fue elegido miembro de esta Real Academia en 1987 y Patrono de Honor de la Fundación de amigos del museo del Prado el 8 de Abril del año 2003.

Desde la distancia entre nuestras diferentes disciplinas profesionales tengo con Julián Gallego una afinidad fundamental: la pasión por nuestro trabajo. En su discurso de recepción en esta Real Academia expresaba: "Lo único que justifica relativamente mi presencia aquí es el apasionado amor que he tenido a las artes,

desde mi infancia..." para seguir diciendo "...pudiera yo decir que soy aficionado a ver hasta los malos edificios, las malas esculturas, los malos cuadros...y que por malos que sean, siempre guardarán una chispita de aquel ánimo levantado y heroico que exige el cultivo de las artes". Yo siempre he dicho: me gustan todos los puentes hasta los feos, los torpes y los malos. Es algo que me pertenece y a lo que pertenezco.

Me va a ser difícil estar a la altura de mi antecesor y no ya en lo que se refiere a su enorme cultura plástica sino a lo que sin duda fue su mejor contribución a esta Academia, su presencia, sus consejos y sus criterios. Prometo que me esforzaré en reducir el impacto de tan importante pérdida.

## **Introducción**

---

Es evidente que las construcciones de los ingenieros, puentes, presas, carreteras, etc., tienen una gran presencia en nuestra vida diaria. Para un ciudadano normal, el significado puede oscilar desde una simple impresión neutral, como algo que tiene que existir para que puedan realizarse intercambios físicos suficientemente rápidos y seguros, a una impresión favorable, cuando su presencia se convierte en asombro ante la dimensión, importancia y contundencia del puente o de la presa. Y difícilmente se sale de ese estar asombrado.

Pero pocas veces se establecen consideraciones de calidad estética. No nos detenemos a considerarlo como una obra de arte, aunque esto no solo le pasa a las obras de los ingenieros sino también a la mayoría de las obras de los arquitectos, siendo estas construcciones, por su historia, más propicias a ser consideradas dentro del mundo del arte.

En realidad para empezar a considerar a algo como obra de arte tiene que ocurrir que ese objeto ó esa construcción pertenezca de por sí, al mundo de las obras de arte y este mundo es el configurado por la consideración que sobre el arte y lo que es artístico se tenía tiempo atrás. Existen como departamentos estancos que establecen que es o no obra de arte. Significa eso también que la capacidad de ver, de distinguir, de obtener significados artísticos de cualquier objeto se hace más difícil si no se está en esos departamentos.

Actualmente la consideración actual de lo que es o no arte se escapa totalmente de estos, así llama-

dos, departamentos estancos. Definir como Beuys que toda persona es un artista y sus obras, obras de arte, no se si significa algo para mi. Una aproximación mejor es lo que decía Picasso "No preguntéis a los críticos sobre que es arte, mirar simplemente lo que hacen los artistas". A mi me gusta más aquella otra que dice: "cuando el mundo de los críticos y entendidos en general, se manifiesta sobre una obra y la califica como arte, lo es". Se que esto no es una definición y además es muy inexacta, sé que variará en el tiempo, pero también es la más flexible, la que mejor se adecua a lo que pasa con el arte hoy en día.

Además creo que la consideración de algo como obra de arte está en su calidad de objeto concreto, al margen de pertenecer o no a una clasificación. La ingeniería civil produce obras aisladas, formidables, de un gran impacto y significado. Que alguna de ellas sea o no considerada como arte, no es demasiado importante para el desarrollo de la ingeniería en sí, pero creo que es importante para el concepto mismo del entendimiento del arte. Hoy se debe aprender a ver la ingeniería, a pensarla en su totalidad.

### 1. Construcción del pensamiento de los ingenieros

Con el fin de penetrar con un poco de precisión en el mundo de la estética que informa la ingeniería me parece importante hablar de una serie de conceptos previos como la técnica, la ciencia y la historia de las formas construidas lo que facilitará mi tarea posterior.

Toda construcción humana necesita de una técnica que la soporte y con la cual se pueda llevar a cabo la intención del artífice. Esto es aplicable a la pintura, a la escultura, a la música, etc., y dentro de las construcciones que nos interesan especialmente a dos, la arquitectura y la ingeniería.

Pero la técnica no es algo que está ahí y que se utiliza. La técnica es también el resultado de nuestra propia intención final. Su invención es el resultado de sucesivos desequilibrios entre lo que sabemos y lo que pretendemos. El fin perseguido está en la esencia de nuestra técnica. La técnica de la pintura la inventan los pintores al pintar, como la de la escultura la crean los escultores al esculpir o la de la arquitectura los arquitectos al construir.

También es necesario decir que es equivocada la idea de que la tecnología es la aplicación de la cien-



Fig. 1. Arco de piedra. Acueducto de Segovia.

cia a las cosas prácticas, cuando normalmente están tan íntimamente relacionadas ciencia y tecnología que casi siempre una da origen a la otra y viceversa.

Un ejemplo evidente, es la dovela de un arco de piedra. El prodigio que es la dovela de piedra, es consustancial al arco. ¿Qué es antes el arco o la dovela? Porque un arco conseguido por erosión de determinadas rocas, no es un arco, tiene forma de arco y trabaja como arco, pero es otra cosa, una curiosidad. Un arco es algo construido, formado por dovelas manejables y ordenadas según un determinado criterio, orden que constituye la estructura del arco. (Fig. 1).

Sobre la técnica se escribió mucho a principios del siglo pasado. J. Ortega y Gasset y sobre todo M. Heidegger escribieron siempre de una manera positiva y causal, de forma más radical y trascendente de lo aquí expuesto. La técnica no es el ser de las cosas pero está en el ser de las cosas. Ortega dijo "el medio imita a su finalidad". Hoy diría, y lo pienso desde hace mucho tiempo, aplicado a la ingeniería, que el proceso constructivo de un puente está en la esencia de lo que es ese puente.

Durante muchos siglos la arquitectura ha ido construyendo su propia técnica, una técnica precisa, y bastante operativa. Ahora ya se conoce suficientemente bien el alcance y la importancia de esta técnica y nos asombran las formidables construcciones obtenidas con conocimientos tan poco exactos.

Esta técnica nos sirve de intermediaria para la comprensión de cual era su capacidad a la hora de construir los espacios. Los tipos de espacios conseguidos en la arquitectura clásica no pasaban de la bóveda, la cúpula o el techo plano de madera. No había otras invenciones. Con mucho ingenio conseguían espacios tan formidables como el Panteón de Roma ó San Pedro del Vaticano. Pero el método de prueba y error, el método que generaba la técnica y la invención en la construcción es lento. Es poco lo que cambia y poco lo que se añade.

Si miramos un mundo más próximo a mi trabajo como es el de los puentes, la estructura del puente romano de Alcántara se mantiene imperturbable a lo largo de unos dos mil años. Los grandes constructores de puentes, generalmente se conocen por sus obras de arquitectura, Herrera, Ribera, los Gabriel, Mansard, etc. Desarrollan formalmente el puente romano acoplándolo, mediante el añadido de chaflanes, impostas y parapetos, a la época en que fueron construidos, ya sea un puente románico, gótico, renacentista, barroco o neoclásico. El puente siempre era el mismo, su estructura y configuración eran las mismas, y también siempre los problemas eran los mismos. Su incapacidad para vencer el problema de las avenidas de los ríos, la socavación del cauce, se interpretaban como maldición de los dioses de los ríos, a los que naturalmente se enfrentaban los dioses romanos o cristianos para vencerlos y cuando esto no podía ser se acudía al diablo, que solía ser más eficaz.

En ese saber y no saber se llega a finales del siglo XVIII y principio del XIX, donde se produce un hecho prodigioso que va a cambiar la historia de la humanidad y de paso la de la construcción. La primera revolución industrial, produce un enorme cataclismo en la manera clásica de pensar y de vivir. En lo que a los ingenieros, nos incumbe, la revolución se produce en la construcción como consecuencia de la aplicación de la ciencia al mundo de lo construido.

Creo que, por primera vez, la historia de la construcción pasa por un trance semejante. El ingeniero al configurar las formas resistentes que necesita se encuentra sin historia. El mundo clásico, el configurado por los grandes constructores clásicos, casi no le sirve para nada. No tiene a donde mirar y desde donde evolucionar. Es un nuevo comienzo, empieza una historia nueva.

Gerard Vilar dice "Lo nuevo sólo es nuevo cuando se instala dentro del mundo de lo conocido", y este

nuevo mundo formal y constructivo no tiene antecedentes, no pertenece a ningún mundo conocido, no es entendido, y por esta razón desaparece de la realidad.

¿Como empieza el ingeniero a configurar su mundo? En principio simplifica, analiza, sintetiza y separa lo que se entendía como indisoluble en el mundo clásico. ¿Que es un muro en una iglesia? Para una concepción antigua el muro es una unidad en sí, que se manifiesta en que resiste y además aísla el interior del exterior, es lo que configura, da forma, textura, solemnidad o sentido al edificio y muchas otras cosas más que se podrían predicar del muro y todas ellas como reflejo de su unidad conceptual. El muro es todo eso. Aristóteles, al analizarlo, no descompondría el muro, sino que a un conjunto le buscaba también una causa conjunta, pero el ingeniero se da cuenta de que con tanta unidad, con tantas manifestaciones del ser en sí del muro no se puede hacer nada. Y, como en todo movimiento realmente revolucionario, lo transforma todo. La historia de la humanidad está llena de estos momentos brillantes en que se rompe la complejidad. Y en esa transformación deja fuera, elimina infinidad de matices, sutilezas, esencias ocultas pero reales, disposiciones que a lo largo de tantos siglos han configurado los arquitectos.

Los verdaderos actos de creación, aquellos que transforman la realidad, siempre son violentos y desconsiderados. No matizan, no justifican ni se sienten en la obligación de dar explicaciones. Simplemente desprecian la realidad de lo anterior y los sustituyen por lo nuevo. La realidad constructiva anterior estaba atada de pies y manos. Con el método de prueba y error como acceso a las respuestas, no se podía hacer nada.

El ingeniero va construyendo su mundo, su universo formal. Es un proceso acelerado y progresivo. Se plantea cualquier forma resistente, una viga, algo tan nuevo y tan viejo como una viga, se analiza y se penetra en su interior. Con la viga de madera se puede saltar de un lado a otro en función de su tamaño pero se desconoce el por qué. La invención de la doble "T" metálica es lenta y costosa, la máxima inercia con el mínimo material. El nudo, allí donde reposa la esencia de lo construido, se va perfilando poco a poco, tiene que inventarse el roblón, la platabanda, el tornillo, la soldadura para poder dar continuidad a vigas manejables y hacerlas así mayores. Entonces aparece la gran invención de todo el siglo en este campo, la vi-



ga en celosía, invención de tanta o mayor trascendencia que el de la dovela de piedra para con el arco.

El cálculo va creando una nueva seguridad necesaria para lo nuevo, los resultados de la aproximación, que a fin de cuentas son todos los modelos matemáticos, empiezan a ser fiables. Antes, probar la seguridad de la construcción era difícil, sólo se pensaba que no se iba a caer. Todo el proceso de la técnica es el paso de dudar si se va a caer a estar absolutamente seguro de que no se cae. Y esto es absolutamente fundamental para avanzar. De esta nueva manera de pensar salen los puentes, las estaciones de ferrocarril, los grandes almacenes, los rascacielos.

Los ingenieros, por primera vez en la historia, no eligen el material de sus obras de entre los que encuentran en la naturaleza sino que los diseñan, los inventan, los crean, y les confieren unas determinadas características mecánicas con el fin de que satisfagan unos determinados fines. Se encuentran, además, con que lo creado tiene una vida propia, diferente, no controlada. Recuerdo aquellos años, en que por primera vez entraba personalmente en el entendimiento total ó mejor aún, en la pretensión de entendimiento total del material, recuerdo no comprender, cuando leía en Ruskin ó en Violet-Le Duc, por qué acentuaban en su definición de los materiales, conceptos como el de verdad y honradez.

Otro de los conceptos que se acentúan entonces, es el de estructura. Al material resistente se le debe dar un orden, una distribución, unas conexiones, unos enlaces que produzcan una respuesta controlada y eficaz ante las cargas y además que en este orden ya esté la manera en que debe ser construido. La estructura es el contenido, lo que da sentido a lo construido. (Fig. 2). Y en su busca el ingeniero organiza su quehacer estableciendo casi una metafísica como soporte del trabajo ingenieril.

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 eran el resultado de una interpretación formal del hecho resistente sino que debían ser el descubrimiento de su esencia. En el fondo lo resistente tenía la exigencia de ser desvelado formalmente. No era algo interpretable, era algo por descubrir, que estaba ahí y que deberíamos tener el talento de traducir en formas. Lo resistente, lo constructivo, tienen un ser en sí y hacia él deberíamos

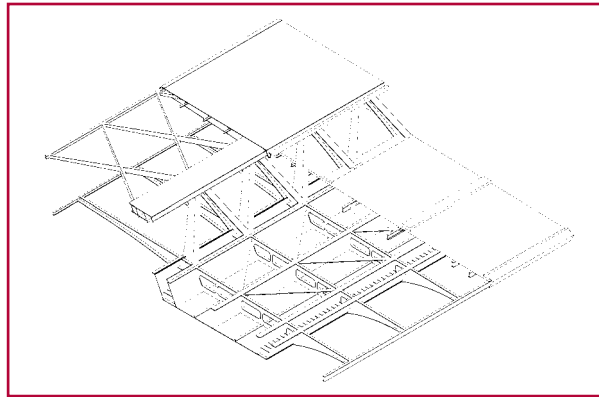


Fig. 2. Puente de Euskalduna. Bilbao. J. Manterola.



encaminar nuestra sensibilidad, nuestra constancia, nuestro rigor y nuestro talento. Toda una religión.

Había una razón para este proceder, la ingeniería se enfrentaba cada vez a problemas más difíciles. Si se había conseguido saltar 100 m de una a otra orilla de un río, ahora debíamos dar otro paso para conseguir saltar 1000 m. Nuestras posibilidades siempre eran inferiores a nuestras necesidades y en esa incapacidad todo se tiende a trascendentalizar.

¿Pero qué pasa con el arte y la visión artística? Cuantas veces en boca de los propios ingenieros se ha expresado, con gran pesar, el desprecio que entre sus colegas siempre se tuvo por el arte en el proceso de construcción de su universo formal. Se les achacaba una falta de sensibilidad a la hora de enfrentar su trabajo. Se afirmaba que en el siglo XIX "pocos ingenieros hicieron caso al problema estético del diseño de puentes", se lamentaba la oportunidad perdida de lograr un planteamiento artístico y finalmente se consideraba que los ingenieros del siglo XIX habían despreciado el diseño creativo de las estructuras, la búsqueda de la perfección formal y estética de éstas, así como su adecuación al paisaje. No puedo estar más en desacuerdo con esas manifestaciones y además digo, menos mal.

Para las nuevas formas que el ingeniero ha inventado, creado y configurado no hay estética donde mirar, no existen, ni pueden existir referencias. Las estéticas nunca son previas, son el resultado, con el tiempo, de ver, de comparar, de entender, de calificar, de comprender lo construido. Es como si a los impresionistas se les echase en cara que no hubiesen tenido en cuenta a Ingres o Gericault, o a Kandinsky que no siguiese a los impresionistas. Lo nuevo, lo verdaderamente creativo, lo que va a cambiar y configurar el mundo de las ideas del futuro, de las construcciones del futuro, del hombre del futuro y de lo que yo aquí proclamo como la nueva estética de lo constructivo, debe proceder como hizo la ingeniería a lo largo de los siglos XIX y XX, no mirar atrás. Sólo le queda como guía, como diría M. Heidegger, "la rectitud en el concebir".

Pero paradójicamente en esa rectitud en el concebir siguen estando presentes conceptos tan clásicos, tan poco frecuentes en el arte actual, como es si las proporciones entre las partes de un puente son adecuadas, si existe ritmo en su constitución, si implica uno u otro significado. También están presentes todos aquellos otros conceptos derivados de que tratamos con obras enormes, donde la presencia de lo constructivo, en el diseño de la forma, es fundamental. Es la guía para establecer como son y deben ser las distintas configuraciones formales cuando se ponen en contacto e interactúan entre ellas. La traducción en formas de esta interconexión, de un nudo bien diseñado, por ejemplo, nos explica que es lo que ocurre en esa interconexión. (Fig 3).

Como diseñador de puentes, estos conceptos y otros muchos tienen para mí, al concebir mi trabajo o mirar el de los demás, una gran importancia.



Fig. 3. Puente de García Sola. J. Manterola.

Desde, este estado de cosas, el ingeniero se manifiesta en tres direcciones. Primera, ofrecer el arquitecto las distintas posibilidades por él descubiertas para poder configurar espacios nunca imaginados, ofrecimiento que será aceptado o rechazado según la idiosincrasia de las distintas épocas. También se presenta con un papel menos creativo, como es la mera resolución de todos y cada uno de los problemas técnicos que se presentan al arquitecto al construir.

La segunda manifestación de su quehacer y más importante está en seguir creando su propio mundo, el mundo de los puentes, de las presas, de las carreteras, de los puertos. La aparición de esta nueva realidad, que tiene poco que ver con la de la arquitectura, se ha manifestado hasta ahora por la contundencia de su realidad física, por su escala, y se sigue manifestando ahora con la producción de una nueva realidad constructiva, resistente y estética.

Finalmente, con la tercera manifestación se vislumbra el futuro, lo que puede ocurrir con la construcción, con el nuevo entendimiento de la realidad constructiva.

## 2. Primera manifestación de lo ingenieril. Relación arquitecto-ingeniero

Al desarrollar ahora la primera de las manifestaciones que hemos citado, cómo es, cómo va a ser y será la relación de la ingeniería con la arquitectura, nos encontramos con un problema difícil e interesante. Conforme más veo, leo, y pienso en la arquitectura,

observo lo alejada que esta de la ingeniería y que cada vez el distanciamiento es más evidente, casi hasta decir que disciplinas que parecían hermanas son cada vez más diferentes.

Esto no ha sido siempre así. La arquitectura tiene, y necesita de una gran tecnología ya que trata con problemas difíciles. La piel del edificio, lo que separa, aísla, y protege el interior, se está volviendo un problema muy complejo en la actualidad y si se quiere saber como funciona la piel y como va a ser, hay que acudir a las revistas de ingeniería, no a las de arquitectura. La función del edificio tampoco es algo simple, aquello en qué se concretan las necesidades de una casa de vecinos o de un museo, ¿hasta que punto es algo objetivo? La concreción de la función se mezcla con la del espacio y entonces las cosas se hacen más complejas y ésta es una complejidad querida por el arquitecto, punto de apoyo en su pensar. Pero esta complejidad es vulnerable pues sin duda se pueden objetivar muchas de las variables que ahora gustan que sean aleatorias. ¿Se destruirán estas y otras complejidades para dar lugar a una arquitectura nueva?

Antes existía colaboración entre ingenieros y arquitectos. Pero hoy en día las cosas han cambiado. En mi opinión, la arquitectura pasa por un exacerbado formalismo y esteticismo. Y en esta situación es difícil la colaboración. El papel del ingeniero se ha reducido a resolverle todos los problemas técnicos con que se encuentra.

Y aquí me empiezan a aparecer las dudas y las preguntas. La arquitectura puede desprenderse de todo lo técnico y en esa circunstancia ¿podrá encontrar en sí mismo el camino en qué pensar? ¿El formalismo desnudo que no responde a problemas de intención, tiene sentido?

Qué ocurre cuando hablamos de los grandes espacios, cada vez más necesarios, en los que el conocimiento de lo que le pasa a la estructura resistente es necesario. Hay soluciones siempre, lo malo es que siempre existen soluciones, pero creo que sería bueno el pensar que es cubrir, soportar, cerrar desde los nuevos planteamientos técnicos. No es suficiente disponer de soluciones ya contrastadas, hay que pensar en el espacio, en el nuevo espacio, a que se puede llegar con la nueva tecnología. (Fig 4). Y es obligación del arquitecto y la arquitectura participar, si no quiere llegar a lo que llegó en las estaciones de ferrocarril en el siglo XIX, disponer una fachada clásica y que el inge-

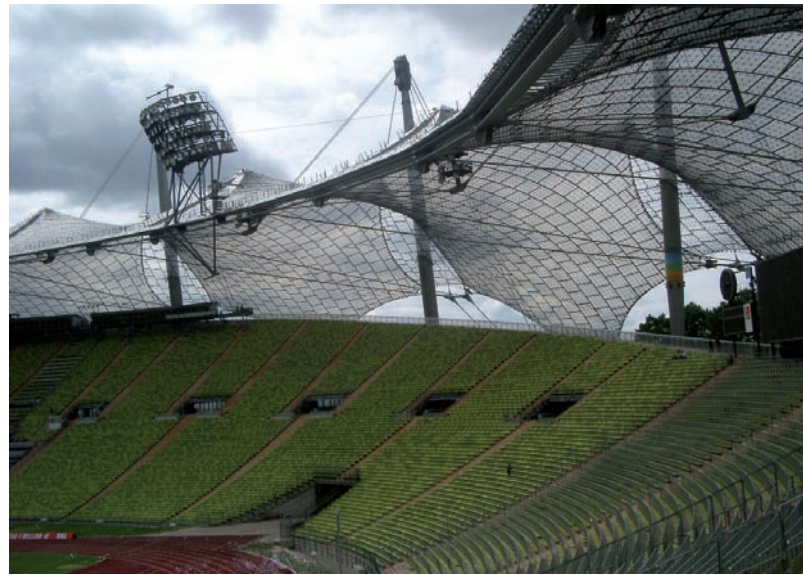


Fig. 4. Estadio Olímpico Munich. J. Schlaich.

niero le ponga la nueva cubierta inteligente de fibra de carbono.

Siempre he pensado en el espacio como resultado de un proceso. Primero fue la cueva, luego, la falsa cúpula del Tesoro de Atreo en Micenas y después el Panteón de Roma. Muchos cientos de años distancian uno y otro, pero dentro de un proceso técnico, hecho por técnicos, es decir personas con una fuerte dimensión técnica. Porque el concepto que se tiene de espacio es una consecuencia de ver espacios, no al revés. Sabemos lo que es un espacio cupular de ver cúpulas. Es el resultado de una sucesión de invenciones formidables. La lógica y facilidad del avance en voladizo en el Tesoro de Atreo o el giro, mucho más sofisticado y menos evidente que experimenta la dovela al acoplarse a la curva antifunicular para el Panteón de Roma. A partir de entonces empieza la arquitectura y en ella podíamos seguir, con este mismo ejemplo, con el paso de la cúpula de Sta. Sofía de Constantinopla a la de Sta. María del Fiori de Florencia ó a la de San Pedro del Vaticano, o San Pablo en Londres, hasta llegar a Soufflot con el Panteón de París. Esta evolución tiene dos lecturas. Una la arquitectónica, sobre la que no voy a entrar y otra la ingenieril en la que podemos concluir que entre el Panteón de Roma y el de París, separados 1.600 años no ha pasado nada y debía haber pasado algo pues el concepto de cúpula que se tenía participaba de varios defectos intrínsecos por ignorancia resistente.

El concepto de espacio cupular permanece y hasta la deconstrucción era difícil pensar el espacio fuera



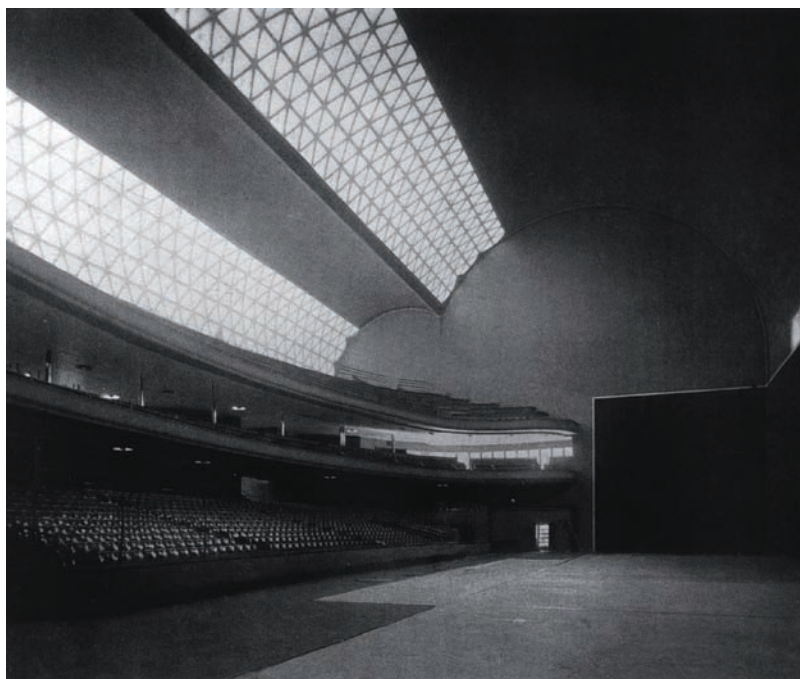


Fig. 5. Frontón Recoletos. E. Torroja.

del conseguido, desde tiempo inmemorial, por la cúpula, el cilindro o el techo plano, horizontal o inclinado, a los cuales se les puede añadir toda la decoración árabe o barroca que se quiera, pero de ahí no se salía.

Me contaron, con información de primera mano, que cuando D. Secundino Zuazo hizo el Frontón Recoletos, se quejaba de los líos en que le metían estos ingenieros jóvenes con las novedades que introducían en la cubierta. El ingeniero joven que la diseñó era E. Torroja. C. Fernández Casado ayudó a construirla y la estructura de esa cubierta constituía, a mi entender, uno de los logros más importantes de la construcción del siglo XX. (Fig 5).

Técnicamente el frontón Recoletos era una lámina cilíndrica de gran tamaño 55,0 x 33,0 m y de solo 8 cm de espesor. Formada por dos ondas cilíndricas de 24 y 9 m que se cortaban en una línea. Esta cubierta produjo tal sensación que condujo a Torroja a la fama mundial. Resolvió un problema tecnológico muy sofisticado y difícil y nunca resuelto hasta entonces de esa manera.

Junto a esto se encontró con que el misterio invadía la construcción. Uno está habituado a estar bajo una bóveda cilíndrica en las iglesias románicas, bóvedas de 8 ó 10 m de luz que descansan sobre pilares o sólidos muros de piedra. En este caso la bóveda cilíndrica tiene 24,0 m de anchura y además no se apoya en ningún muro de piedra sino que rebota en un se-

gundo salto, apoyándose en el aire, en una segunda bóveda de 9 m de anchura también cilíndrica.

Un espacio nuevo aparecía, nunca visto, nunca buscado. Si Torroja buscó este espacio ó lo encontró, no lo sabemos. Si llegó a darse cuenta de lo que había encontrado tampoco lo sabemos. La destrucción de esta bóveda durante la guerra civil hizo imposible que yo la viese. Cuando en mis años de estudiante fui con recogimiento al Recoletos, vi otra cosa poco emocionante. El carenado de una estructura metálica, poco interesante, que aún recordaba lo anterior y que ahora ya ni siquiera se ve porque la han demolido.

El Recoletos es importante por la sofisticación resistente implícita en las estructuras laminares, aquellas cuya forma se configura para resistir, con espesores mínimos de pocos centímetros, resulta de una identidad tal entre forma y estructura que uno descubre qué es resistir viendo solo una forma.

Esta invención, la lámina del Recoletos, se convierte en creación, y en creación artística de primera calidad a la que podría aplicarse lo que decía Heidegger sobre el contenido de lo artístico, "como desocultación de la verdad en la obra". Pocas cosas hacen tan precisa esa definición.

Pero aún hay que hacerse otra pregunta, ¿esta emoción estética tan evidente en mí y en otros cuantos amigos, era objetivable para los demás?. Para los no entendidos, lo que veían, era arte, misterio, emoción o era algo que pasaba desapercibido por lo natural de la solución, por la justeza con que se acoplaba a la definición del frontón que había hecho Secundino Zuazo.

Ahora está pasando otra cosa con la arquitectura que junto con muchos partidarios, también encontramos muchos enemigos entre arquitectos, ingenieros y entendidos. Me refiero a la deconstrucción. La deconstrucción ha roto esta confortable situación del espacio conocido. Se ha manifestado formal, espacial y estructuralmente sin las limitaciones que la construcción clásica había impuesto ¿Por qué un muro no puede ser alabeado en lugar de vertical? Técnicamente no hay problema, no hay mas que introducir rigidez a flexión en los elementos verticales y horizontales que lo constituyen. La forma puede cambiar y se deja a la voluntad del arquitecto, la posibilidad de romper la verticalidad sin un coste excesivo. ¿Y que pasa? pues que todo el espacio cambia. El muro puede plegarse, alabearse, ser suelo y techo o



evolucionar de suelo a techo. Entonces el espacio conocido, el del plano horizontal o inclinado, el abovedado ó el cupular, deja de tener la condición de lo necesario. La tecnología no crea la deconstrucción, lo único que introduce son las posibilidades que la hacen posible, que se pueden usar o no. (Fig 6).

Más aún, nuevos e interesantes problemas resistentes nos asaltan, nuevos y diferentes problemas formales se le ofrecen a los arquitectos. No sólo tenemos la sala polivalente en Lille de Rem Koolhaas, la formidable obra de Steven Hall, ó muchos otros trabajos de Toyo Ito, Miralles, etc. Sino que también aparecen estructuras nuevas como la Casa de Música de Oporto de Rem Koolhaas, o el edificio Prada en Tokio, de Herzog y de Meuron, las nuevas configuraciones de las cúpulas de Toyo Ito, o el interesante trabajo resistente con papel de Shigeru Ban, la Terminal de Yokohama de Zaera o las propuestas de Zaha Hadid para la olimpiada de Londres.

Aquí se presenta un problema conceptual interesante. ¿Se puede pensar en espacios nuevos sin pensar en la estructura que lo configura? Cuando Gehry concibió el espacio interior del Guggenheim ¿pensaba en la estructura que lo iba a configurar? ¿Diseñó únicamente como un escultor sabiendo que existe una tecnología que podría materializar este espacio? Se que entre las soluciones que se barajaron estaba la de las laminas de hormigón, capaces de acoplarse a cualquier superficie, pero inteligentemente cambiaron por una celosía metálica de una capa, compuesta por triángulos que pueden acoplarse a cualquier superficie plana o alabeada resistiendo tanto en su plano como fuera del plano si además se introduce rigidez a flexión en sus barras. Creo que esta solución es de un ingeniero indio de gran valía, pero de lo que si estoy seguro es que sabía como hacerlo. No hay más que seguir su obra. Todas estas enormes y complejas superficies alabeadas las resuelve siempre de una manera elemental, dispone generalmente una familia de vigas paralelas, rectas o curvas, que se acoplan a la superficie alabeada, las cuales a su vez son sostenidas por otras dos vigas mayores dispuestas transversalmente a las anteriores. Esta estructura completa, la sujeta y dispone a conveniencia, apoyada en una celosía simple.

La celosía plana o espacial, el triángulo o el tetraedro pueden acoplarse a cualquier forma y resistir bajo cualquier tipo de soporte, desarrollando los dos mecanismos resistentes que siempre han sido, la resisten-



Fig. 6. Estructura metálica Guggenheim. F. Gehry.

cia por forma y la resistencia a flexión. Y esto fue la solución para todos los problemas técnicos de la deconstrucción

Ahí se han lanzado todos, celosía metálica plana o espacial, la utilizan como estructura resistente tanto Libeskind, como Zaha Hadid, o Gehry, etc, etc. Y cuando van a suelos planos o inclinados de construcción fácil, resuelven el problema con el hormigón macizo en losa con pilas verticales o inclinadas. En todos los casos el espacio está pensado desde la posibilidad de que siempre se puede realizar.

El ingeniero no solo ha inventado, pensado, desarrollado y entendido la celosía espacial sino que la ha ofrecido. Las estructuras colgadas, atirantadas, las tensigrity, son también posibilidades desarrolladas y ofrecidas. Vivimos en un momento en el que las concepciones formales priman en el mundo de la arquitectura, sobre las conceptuales y estructurales. Vivimos un presente en que es difícil avanzar con la rapidez que se produjo en el siglo XIX y primera mitad de siglo XX. Pero llegará un momento en que también se podrá pensar en arquitectura desde las enormes posibilidades espaciales que ofrece la ingeniería actual.

Pero también hay una cosa evidente, la enorme capacidad de ver de los arquitectos. Siempre se han movido muy bien, en la época moderna, en ese saber y no saber, distinguir, usar, cambiar, evolucionar con autoridad y maestría.



Fig. 7. Puente alto continuo. San Pablo. Londres.



### 3. Segunda manifestación de lo ingenieril. El mundo y la estética del ingeniero

Si pasamos ahora a la segunda manifestación del trabajo de los ingenieros, la más importante y significativa para nosotros, la que consiste en configurar nuestro propio mundo, constructivo, resistente y estético, toda la novedad y originalidad de nuestras propuestas parten de un problema de escala. El tamaño de un puente, de una presa o de una carretera tiene su medida en el territorio no en el hombre. Y yo quiero esbozar ahora un espacio desde donde pensar la relación entre la ingeniería y el arte

Supongamos la construcción adintelada, imaginemos un puente recto que cruza un valle a 100 m. de altura y con vanos de 100 m. de luz. Un dintel recto, de canto constante, esbelto, saltando entre pilas verticales. Con su gran dimensión y tamaño. Se impone a lo natural

Toda la construcción adintelada de la antigüedad es el resultado de un gran despropósito, de un error de concepción. Y el despropósito está en la tecnología. Es un disparate utilizar la piedra para resolver un dintel. La transposición de la madera a la piedra, según la tradición del origen de la arquitectura griega, no es adecuada. El mismo capitel, es igual que sea dórico, jónico, ó corintio, es otro sin sentido. En la madera no, porque la flexibilidad del capitel de madera permite extender el efecto de la concentración de cargas en los bordes de las vigas que descansan en él, pero la piedra no puede hacer eso y por esta razón y para que no se rompan, el arquitrabe de un frontón tiene luces muy pequeñas, es muy grueso ó nunca se apoya en el borde, como debiera, sino que lo hace en una pequeña protuberancia superior y centrada. Es decir el capitel no se utiliza, no es la manifestación de la pila cuando va a recibir una carga

puntual, no es un reflejo del concepto de apoyar, como fue en su origen de madera, sólo es un adorno.

En el mismo dintel, el concepto de esbeltez cambia si consideramos la arquitectura o la ingeniería. Y es que, no siempre, pero generalmente el dintel en arquitectura está debajo de algo sólido, su función es sostener una pared y dejar paso a una puerta ó a una ventana. Para la concentración de esfuerzos en los extremos de la viga, aparece el marco de la puerta y hay que ver el juego formal que se le ha sacado a este pequeño problema técnico. Esta relación entre lo que sostiene y lo que es sostenido es fundamental para encontrar el sentido de un dintel en arquitectura. (Fig. 7).

Pero en un puente el problema es radicalmente distinto, en un puente el dintel siempre está exento y libre. Se soporta sobre todo a sí mismo. Un dintel de 100 m. de luz destina más del 90% de su capacidad resistente se sostiene a sí mismo y lo poco que le sobra sirve para soportar el tráfico. Entonces las cosas cambian, qué semejanza existe entre el problema de la relación de vacío a lleno, del canto a la luz, cuando un dintel está exento y con una escala a nivel territorial, con el dintel de un edificio. Qué relación tiene esto con el problema infinitamente abordado por los tratadistas históricos de la arquitectura cuando se plantean estos mismos problemas en la fachada neoclásica de un edificio representativo. Ninguna. La relación, en ingeniería, entre lo que sostiene y lo sostenido desaparece porque lo que sostiene es a la vez lo sostenido.

Además el puente se caracteriza por una dimensión geométrica específica. Es una obra lineal, su relación longitud-anchura suele ser tan grande que el carácter de linealidad se impone sobre el de obra superficial que en realidad es. Ahora bien una línea puede ser recta, o curva en el espacio, curva definida por las exigencias que impone el móvil y el trazado. Todo puente



Fig. 8. Propuesta de puente arco. J. Manterola

curvo, casi por definición, tiene, salvo algunos casos, un plus de belleza añadida, la correspondiente a la mayor complejidad de lo curvo sobre lo recto, a la mejor definición que sobre el espacio determina lo curvo. La presencia de una gran viga curva en el espacio es algo emocionante y exclusivamente ingenieril.

La misma diferencia la encontramos con los arcos. Los romanos, mantienen la construcción adintelada en la fachada del edificio pero la sustituyen por el arco, la bóveda o la cúpula para configurar el espacio interior.

El arco de piedra resuelve definitivamente el espacio de la arquitectura clásica. El arco, de una manera más poderosa que el dintel, cumple el mismo papel, sirve para perforar el muro y se manifiesta como lo que le pasa al muro cuando quiere ser perforado con una gran abertura. Me siguen llenando de asombro y entusiasmo esas estructuras de iglesias en las cuales dos enormes muros verticales, que enmarcan la nave central y estructuran la iglesia, son perforados por arcos para unir entre si las tres naves y para dar luz interior. Penetrar para unir es un concepto querido por mí.

Otro planteamiento de la cubierta en las iglesias, mucho mas sofisticado estructuralmente, se realiza cuando la cubierta se complica al nervalarla y el soporte se hace individual. El muro es sustituido por la columna, la bóveda se nerva o pliega. Pues bien en los dos ejemplos citados la relación resistente entre el arco, sustentante y la cubierta o muro sostenido, es esencial y propio solo de la arquitectura y no de la ingeniería. En arquitectura existe una interdependencia por la cual lo sustentante necesita resistientemente de lo sostenido y viceversa. Una complejidad que unos conocimientos, generalmente limitados, han utilizado bastante bien.

En ingeniería, el arco moderno, como pasaba con el dintel, se hace exento. No existe ninguna plementería



añadida que rigidice su respuesta ante cargas alternadas, que confunda el trabajo del arco y no lo distinga del conjunto ni de su dependencia respectiva. A los primeros puentes metálicos arco del siglo XIX les cuesta algo desprenderse del tímpano rígido, asociado de siempre al puente de piedra. Un arco de piedra conceptualmente está unido a su tímpano. Un arco de un puente actual está libre y debe conferírsele las condiciones que le hagan apto para resistir las cargas no funiculares. Su relación con el dintel ya sea con cables, (arco superior), como con pilares, (arco inferior), es mucho más sofisticada y compleja, un tejido artificial que está en nuestras manos para conferirle propiedades resistentes, planas o espaciales y visuales.

El cambio de escala, de geometría y de la naturaleza del problema separa de tal manera la esencia de un arco de iglesia de la de un gran arco de puente, que parece que estuviésemos hablando de cosas distintas, como en realidad lo son. (Fig. 8).

Pero junto al dintel y al arco, la ingeniería, para resolver los problemas que se le plantean, ha generado formas resistentes tan especiales como la de los puentes atirantados, (Fig. 9), o colgados, las grandes celosías modernas de tubos en los que se circula sobre o a



Fig. 9. Pasarela Manzanares. J. Manterola.



Fig. 10. Salgina Tobel. R. Maillart.



través de ellos, etc. La escala del problema sigue aumentando, el puente sobre el estrecho de Akashi, en Japón, tiene 2000 m. de luz y el del estrecho de Mesina, 3000 m. de luz, como si tuviese una pila en el estadio Bernabeu y otra en la plaza de Colón. Esta es la envergadura de lo ingenieril y lo que determina un cambio de naturaleza en lo construido.

Otro aspecto en el cual la obra de ingeniería se manifiesta de una manera exclusiva es la de su relación con el terreno y el paisaje. Se podría decir que el suelo tiene sus propias características resistentes que el puente o la presa las necesitan, de ahí viene la primera relación de dependencia, puente y terreno se interaccionan en el resistir. Pero esto no es todo. La forma, la geometría del terreno sugiere determinadas configuraciones del puente. El formidable valle abrupto, con paredes casi verticales, sugieren el puente arco del Salgina Tobel del Maillart y aún se podría ir más allá diciendo que si el valle tiene paredes casi verticales se debe a que la roca es resistente y por eso es capaz de recibir las acciones de un puente arco. (Fig. 10).

Terreno y puente se interaccionan en su forma y la experiencia de ver puentes encajados en terrenos va configurando la manera en que se deben relacionar y de paso se crea la disciplina de lo que está bien o mal. No existe una relación biunívoca, puente-terreno y la interpretación que del paisaje hace el puente, aunque es inevitable, es muy difícil y hermosísima cuando se realiza bien.

Encajar es distinto que colocar. Se encaja un puente, se encaja algo cuando el terreno lo sujeta. Los problemas de contacto, de transición suelo-estructura son objeto de invención. Todo el mundo de los estribos de los puentes, generalmente tratados con descuido, es extraordinariamente atractivo.

Donde se acentúa el problema del encaje es en el caso de las presas, que solo pueden colocarse allí donde la naturaleza del terreno sea capaz de resistir la concentración de fuerzas que la presa va a producir. La misma forma de la presa es una respuesta a la forma de las laderas, con los arcos que la constituyen y cuyo entronque en el terreno tiene que ser definitivamente adecuado, si no queremos reventar la ladera. De eso estamos hablando cuando hablamos de ingeniería, desarrollar y conducir fuerzas similares a las de la naturaleza y por tanto controlar la interacción entre ambas. Ya se ha roto más de una presa por una insuficiente resistencia de la ladera y ha provocado





Fig. 11. Presa de Aldeadavila + Presa Cristo.

catástrofes apocalípticas. Una presa es una obra asombrosa, el artista Christo la descubre y se acerca a lo ingenieril con su presa de tela, su Valley Curtain, Colorado. (Fig. 11).

Donde existe con claridad, pero de otra manera, la relación entre la obra y el terreno es en las carreteras o las líneas de ferrocarril. La cinta que es una carretera, tiene unas características geométricas que están determinadas por la velocidad del móvil que la utiliza, radios de curvatura, peraltes, pendientes son las características geométricas en que se resuelve el móvil. Pero el acoplamiento entre esa cinta y el terreno natural no es tan fácil. Si el terreno es poco accidentado y resistente, la cinta que es la carretera se

acopla fácilmente, si por el contrario el terreno es accidentado la coincidencia es difícil. Entonces es un arte encajar la carretera en el lugar sin producir grandes heridas en las laderas. Cuando uno se encuentra con una carretera bien encajada, sobre todo si es una topografía difícil, la carretera se convierte en una obra de "land art" que con su geometría traduce la morfología del suelo y nos descubre las características del lugar donde se asienta. (Fig. 12).

Esta característica de la carretera ya estaba explicitada por una obra fundamental, la más formidable y completa obra que conozco, la gran muralla china. La impresión estética que produce te golpea con una fuerza enorme. De nuevo, Christo se acerca al mismo



Fig. 12. Carretera zizagueante+MurallaChina+Obra de Christo.

problema cuando crea Running Fence, una cortina de 6 m. de alto y 24 millas y media de largo, para traducir lo mismo, la huella de una línea indefinida en el paisaje y de paso también el paisaje en una de sus características esenciales.

La carretera se ciñe a la ladera, utiliza un puente cuando es necesario y mientras va desarrollándose, hace sentir al viajero el movimiento suave y ondulado del recorrido. El conductor entiende el suelo, y lo siente en la aceleración que le imprime el móvil. Además descubre el paisaje que va apareciendo ante sus ojos de una manera especial, dirigido, condicionado por el trazado, que es lo que configura el itinerario de su visión. Esta visión puede ser diseñada estéticamente, paisajísticamente.

Con un edificio la relación de la obra con la naturaleza es menos exigente, pues el edificio es más pequeño y su valor de relación se parece más al de la escultura que al de la ingeniería civil. Esta bien lo que hacían los jardineros ingleses y alemanes barrocos, diseñaban el terreno, lo cambiaban y ordenaban para que encajase bien con el edificio. Remodelar el terreno ha sido habitual en todo el siglo XVIII. El terreno en lo pequeño, en lo visible desde un paseo romántico, se cambia con facilidad, se le fabrica un río para colocar encima un pequeño puente romántico y una ruina de un monasterio si necesario.

El formidable encaje del Crematorio del Cementerio de Estocolmo de Asplund es totalmente artificial y hermosísimo. En cambio en ingeniería el problema no se puede resolver igual. Es cierto que también se ha fabricado un río para algún puente pero esto es algo extraordinario y no se ha realizado con toda la contundencia que el puente necesitaba porque la actuación era excesiva. Es necesario remodelar todo un entorno importante y no un problema local como el citado del Crematorio de Estocolmo.

La relación de la escultura con el terreno también es diferente y también depende del tamaño de la escultura en su relación con el paisaje. Si son pequeñas y en eso de pequeña me refiero a aquellas que tienen una dimensión suficiente de algunos metros, el problema de colocación, de encuentro con un paseante supone alteraciones locales pequeñas y necesarias algunas veces. Recuerdo parques como el Crolle-Muller en Holanda o el Parque de Escultura de York, en los que cada escultura se instala adecuadamente. En otros casos, el sitio y la escultura están muy bien relacionados, como sería la escultura de Chillida en Gi-

jón, frente al mar ó el formidable Stone Enge de Inglaterra, más de 2000 años antes.

Sin embargo, a veces, en la intención del escultor está en convertir en una unidad la escultura y el suelo sobre la que se asienta. De la misma manera que hemos visto en la carretera, la escultura, perdido su carácter de monumento, abandonada la estatuaría, crea geometrías complejas que nos descubren las características del terreno donde se asientan. Recuerdo la escultura - instalación "Shift" en R. Serra en Canadá, una serie de chapas verticales, triangulares al modificar su forma con el terreno. Cuanta relación ha encontrado entre la instalación de la ingeniería en el terreno y la labor de los escultores del "land art".

Junto a esos problemas específicos, que hacen exclusiva la manera de pensar las obras públicas, éstas también participan de un planteamiento conceptual más común con el trabajo de arquitectos, escultores y artistas en general. Como ejemplo de esto último, vienen a mi memoria los puentes de altura estricta de D. Carlos Fernández Casado. Los puentes de altura estricta son el resultado de un conjunto de opciones personales sobre los problemas geométricos de relación canto-luz, del hueco formado por pilas, tablero y suelo. Un problema de esbeltez necesario para minimizar el coste de los materiales y los accesos. Un problema de contención sobre la formalización visual. Es la versión de austeridad de un hombre austero que vivía en épocas austeras. Es una manifestación del racionalismo que empezaba a fraguarse en las vanguardias artísticas de la época. Estos puentes son obras excelentes en las que se conjuga con una gran perfección, el concepto de lo resistente, lo formal y lo económico del puente. Además introduce en el paisaje geometrías simples como es la de estos puentes que tranquiliza, ordena y asienta unas geometrías naturales no tan sosegadas y más torturadas de lo que parece.

Esta es una manifestación clara de ese trascender la elemental función del puente, de permitir el paso de uno a otro lado. El caso típico de una glorieta circular colocada sobre una autopista. Existe una solución elemental para su realización, dos puentes curvos encima de la carretera y cubrir con terraplenes el resto de recinto. Pero las cosas cambian cuando se toma como problema a resolver no solo el pasar sino también el recinto espacial y circu-





Fig. 13. Zizur.  
J. Manterola.

lar que determinan. Y esto ya es simplemente una opción artística, la configuración de un espacio a dos niveles que constituye un ámbito donde se entra. Se siente que al circular por la carretera se introduce en un espacio especial. (Fig. 13).

Toda la ingeniería que no está fuertemente condicionada por su tamaño, aquella en que todas sus variables no están ni pueden estar optimizadas, empiezan a plantearse en su trabajo problemas complementarios necesarios y no objetivables. La dimensión artística se añade, como algo que se debe añadir.

Nosotros sabemos más que el ingeniero romano que construyó el puente en Suiza o que el ingeniero chino que construyó el puente sobre el Cinturón de Jade en los jardines del palacio de verano del emperador chino, y también más que el ingeniero japonés que en el siglo XVII construyó el puente de Kantai-ky. Fig 14. Podemos explicar bien su manera de resistir, donde la concepción de estos ingenieros era

acertada o errónea, pero por muy explicada que sea su estructura resistente ó su forma, no somos capaces de definir la totalidad del puente, las formidables curvas de las rasantes, poco funcionales pero extraordinariamente bellas, nos llenan de asombro y nos dicen como también pueden ser los puentes. Nos amplían nuestra visión sin dejar de estar inscritos en ese sustrato conceptual de lo resistente que hemos definido.

Un puente es mucho más que unas formulas matemáticas. Dar forma a una manera de insistir no explica la totalidad de las formas que presentan. Los puentes, como cualquier manifestación humana, incluidas las consideradas artísticas, crea su propia estética. Vivimos entre puentes, entre configuraciones que a lo largo del tiempo han ido

produciendo las aportaciones creativas de uno y otro ingeniero. Vivimos en un mundo real, no ideal, un mundo que interpreta otros mundos y el resultado de este proceder es la historia de los puentes. Los





puentes tienen historia y son el resultado de su historia, la única definición acertada de su esencia.

#### 4. Tercera manifestación de lo ingenieril. El futuro de la construcción

Si vemos ahora, para finalizar, la que está siendo la última manifestación de la ingeniería, como es su progreso científico y técnico podemos hacer las siguientes consideraciones:

El mundo del progreso científico en la construcción, se está moviendo, otra vez, en varias direcciones. En primer lugar en el estudio y desarrollo de nuevos materiales de construcción, materiales compuestos de fibras de vidrio, fibras de carbono o aramidas, dentro de determinadas matrices de resinas, de propiedades y pesos que no se podían concebir hasta ahora. Mucho más ligeros, más resistentes, ajenos a la corrosión, etc., etc. Ya se están realizando pequeñas estructuras con ellos pero aun presentan problemas en sus uniones, aun no se saben unir con la facilidad requerida, lo cual no es poco porque tampoco podemos olvidar que el concepto mismo de construcción se asocia, se funde con el de unión entre partes.

Aún hay muchas más novedades. Se está dando un paso más en materiales mucho más sofisticado, materiales que cambian su condición de rigidez y flexibilidad en función de los requerimientos exteriores. Si un músculo humano se hace rígido o blando según exigen nuestras necesidades, así van a poder ser los materiales modernos, capaces de adaptarse a las condiciones variables a que van a estar sometidos. Materiales que pueden autoregenerarse –una grieta puede detectarse por la información de un ordenador (esto ya se está haciendo, estableciendo una serie de circuitos internos a través de fibras de carbono que se interrumpen cuando aparece una grieta) y se está detrás de que ese material pueda cerrar sus propias heridas, cerrar sus propias grietas.

Pero no todo acaba aquí. Se está trabajando y ya existen algunas realizaciones, en las llamadas estructuras inteligentes. Hasta ahora a las estructuras se les confería unas condiciones de resistencia y unas inercias capaces de enfrentarse con las solicitaciones variables a que se sometían. El pretensado fue una manera de adelantarse a solicitaciones que se le iban a presentar a una estructura, pero aun dentro de res-

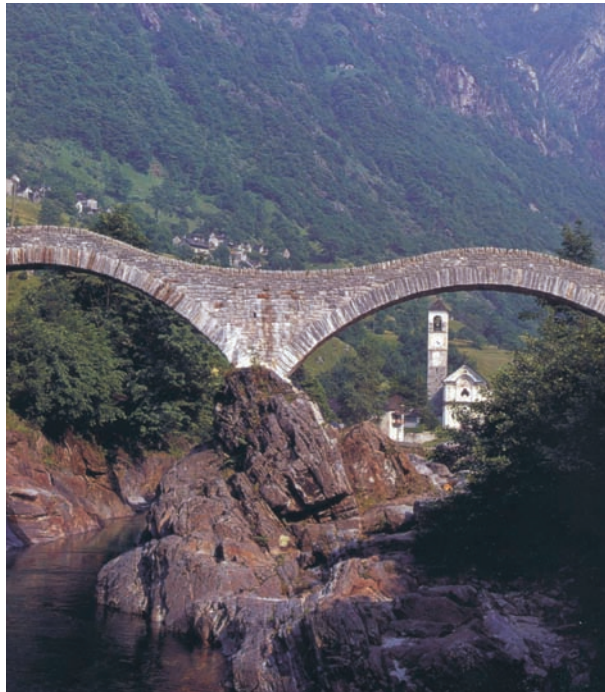
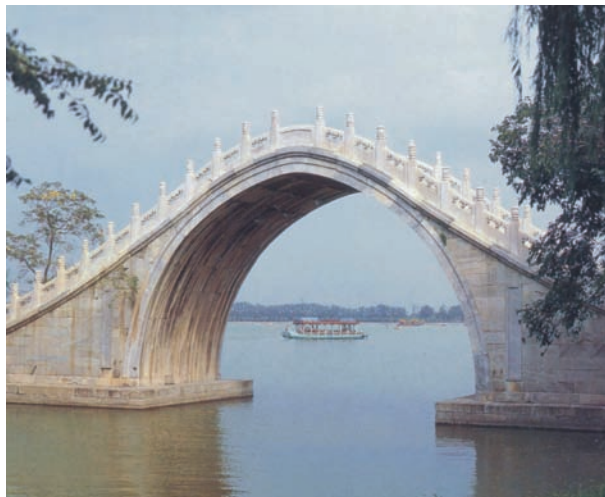


Fig. 14. Tres puentes.



puestas fijas. Las estructuras inteligentes responden de una manera variable, según sea la solicitud que reciben, con lo cual se reduce extraordinariamente la necesidad de inercia, auténtico depósito de reservas resistentes, que dan peso y masa a la construcción. Pero este peso y esta masa de las estructuras experimentará una reducción enorme, ya que las estructuras inteligentes pueden cambiar su estado tensional según éste se va produciendo. Las posibilidades que se pueden obtener para construir con este sistema son inimaginables.

Todo esto va a producir un cambio en la historia de la construcción tan importante como el que se produjo a principios del siglo XIX, con la introducción de la ciencia en la construcción. Lo que veremos, en lo que nos instalaremos, como viviremos y pensaremos, empieza a vislumbrarse en un horizonte aun opaco, sumergido en una niebla cada vez más tenue.

## **5. Conclusión**

He intentado, con este discurso, crear el espacio desde el que pensar la estética de la ingeniería. Pasar de aquí a definir el misterio que siempre ha acompañado a las grandes obras de arte, a descubrirlo en tal o cual obra, supone un camino largo de aprendizaje del espectador atento y siempre será algo personal.

Pero tengo una duda, una duda que ya debería haber despejado, ahora, que con el beneplá-

cito de Uds., voy a entrar en esta institución del arte.

Pienso en un puente, el mejor puente posible para la mejor teoría posible sobre lo que debe ser la estética de los puentes, el que más incógnitas desvela, el que mayor significado contiene, el que más emoción produce y el que más misterio encierra. Y este puente perfecto ¿cómo se compara en importancia, si la importancia se mide en vibraciones personales, con lo que va a ser el puente inteligente, hecho con materiales inteligentes, generador de nuevos mundos, nuevas ideas, nuevas ilusiones?

Yo amo los puentes, los busco, voy a verlos a los pasajes más recónditos, y siempre con la pasión del principiante. Entiendo de puentes, entiendo mucho de puentes y desde ese entender y sentir, sé que la vibración que me va a producir ese puente futuro es cien, mil veces mayor, que el mejor de los puentes actuales, el mejor de los puentes que yo pudiese diseñar y construir.

Esto me lleva a pensar qué pasó en la mente de los impresionistas cuando rompen con Ingres o David. Que pasó en Kandisky cuando empieza la abstracción. Que pasó con Duchamp, que pasó con tantos que esperan y creen en el cambio. Es el problema de la discontinuidad, de lo que debe empezar.

¿Este es un problema que tiene que ver con el arte? ¿Qué contestaron nuestros mayores al respecto? Lo que hicieron nuestros mayores es no hacerse estas preguntas imposibles. ♦