



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

El puente y la escultura: un diálogo entre funcionalidad y estética

Ascensión García García



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0. Spain License.**

**El puente y la escultura:
un diálogo entre funcionalidad y estética**

Trabajo presentado por Ascensión García García para la colación del grado de doctora en el Departamento de Escultura de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Barcelona.

Programa de doctorado

L'expressió plàstica: fonaments, processos metodològics i realitzacions projectuals.

Curso: 1986-88

Dirigida

por el Dr. Fernando Hernández Hernández, profesor titular del Departamento de Dibujo de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Barcelona.

Tutor:

Dr. Albert Valera i García, profesor titular del Departamento de Escultura de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Barcelona.

Barcelona, Marzo de 1996



BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA



0701265209

¿Qué habría sido de nosotros, di, si no existieran los puentes?

Pedro Salinas

Agradecimientos

La investigación que se refleja en una Tesis Doctoral es el resultado de muchas aportaciones que, a lo largo de la trayectoria de la doctoranda, han ido mostrando, de maneras diferentes, la importancia del trabajo en grupo. Por eso, en este inicio, quiero dejar constancia de algunos nombres que han sido importantes en la construcción de este trabajo, y expresarles desde este pórtico mi reconocimiento.

Al Dr. José A. Fernández Ordóñez, por sus lecciones aclaratorias en materia de puentes, por la documentación que me ha proporcionado y por las tertulias entrañables compartidas en torno al tema de la investigación.

Al Dr. Luis Doñate, amigo y compañero por compartir los momentos más espinosos de esta andadura y por su colaboración incondicional.

A los Dres. Lino Cabezas y Josep M^a Martí, por escucharme en mis dudas y orientarme con su experiencia.

A mi tutor de tesis, Dr. Albert Valera por ayudarme a canalizar este trabajo en el ámbito del Departamento de Escultura.

Al Dr. Antoni Remesar, por su compañía en el tramo final de la investigación, facilitándome información y compartiendo los momentos difíciles de culminación del trabajo.

A mis hijos Noel y Esther Almagro por su ayuda en las traducciones y por su paciencia y apoyo a lo largo de todo este recorrido.

A María Anllo, por sus explicaciones sobre resistencia de materiales y comportamientos estructurales.

A Gonçalo Calado y Abel López por su paciencia y eficacia en la preparación y ordenación de las imágenes.

Finalmente, al director de esta tesis, Dr. Fernando Hernández, por sus orientaciones y consejos a lo largo de la investigación y su apoyo en los momentos arduos de esta trayectoria.

A todos ellos, y a todos los amigos que me han alentado y me han respaldado en los últimos meses, gracias.

Presentación

Acto I:

Entre Galicia y Murcia

El interés por la figura del puente se remonta a la década de los años setenta, época en la que, por motivos familiares, residía en el norte de España. Los viajes por carretera entre Galicia y Murcia me acercaban a muchos de los puentes que cruzan ríos, abren caminos, saltan embalses. El encuentro con puentes de todas las épocas, me indujo a observarlos de cerca, mirándolos desde abajo -como el Profesor Fernández Ordóñez enseña a sus alumnos- y aprendiendo a conocerlos.

Dentro del territorio gallego, los desplazamientos entre La Coruña, Vivero y Lugo, me conectan con tres épocas diferentes, la romana, por medio de los puentes de La Coruña y Lugo; la medieval, a través del puente de Vivero y con el siglo XIX por el puente de La Chanca en Lugo.

Los puentes romanos me transmiten un sentimiento muy peculiar. Al contemplarlos se hace inevitable el traslado a la época romana. Imágenes de esclavos, cadenas, carros, caballos, piedras y más piedras y, sobre todo, muchas vidas que se fueron en el intento de construir un puente. Pensamientos de este orden dirigían mi mente cuando me acercaba a uno de los puentes romanos que se encuentran en la zona este de Galicia, entre la provincia de Lugo y el noreste de la provincia de Orense.

Esta parte del territorio gallego tuve ocasión de visitarla durante la corta estancia de residencia en la capital de Lugo, entre los años 1977 y 78. Los puentes de Gatín en Becerreá, el de Puebla de Brollón, el de Monforte de Lemos, el de La Cigarrosa en Petín y el de Bibey en Puebla de Trives, todos ellos romanos, fueron para mí motivo de excursiones.

Por otro lado, las conferencias vía telefónica que, desde Galicia y desde otros lugares de residencia, mantenía con la familia que residía en Murcia, las cartas, los viajes de avión, todo ello me llevaba a una reflexión sobre la comunicación, unión, vínculo,nexo en definitiva, que se podía visualizar en la figura de un puente.

*Acto II:
Una conferencia
inesperada*

Viviendo en Barcelona, y después de terminar los estudios de licenciatura en Bellas Artes, tuve la oportunidad de escuchar una conferencia sobre puentes que se celebró en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, a cargo del Dr. José Antonio Fernández Ordóñez. La dosis de entusiasmo que se desprendía de las palabras del conferenciante, unido a mi interés por el tema, se tradujo en una visión nueva, que cobraba fuerza.

En su conferencia, Fernández Ordóñez hablaba de los puentes chinos, unas pasarelas en arco muy peraltadas que evocan un gran romanticismo. Hablaba también del puente colgante y de las pasarelas que se encuentran en zonas del Tibet, India, China y Perú.

También hablaba del puente colgante en occidente. Recordaba a Faustus Verantius un monje húngaro del siglo XVI que aporta el primer testimonio gráfico que se conserva en Occidente del puente suspendido. Contaba cómo un juez estadounidense, James Finley, en 1807, utilizó cadenas de eslabones de hierro forjado. Y cómo entre 1700 y 1800, Europa tiene dos tendencias de puentes colgantes: la inglesa y la francesa o suiza; esta última de los cables de acero.

Utilizando una narrativa coloquial aunque precisa y contundente a la vez, continuaba contando cómo Charles Ellet, destrozó a Finley en sus puentes de cadenas, y en 1847-48 hace el puente sobre las cataratas del Niágara. Un recuerdo para Telford y su puente sobre el Estrecho de Menai, con 177 m. de luz en 1926-28; un puente que ha sido restaurado en varias ocasiones y sin embargo conserva su pureza primitiva.

Y dentro del recorrido por los puentes colgantes, no se olvida el conferenciante de John Augustus Roebling y el puente de Brooklyn. Roebling, que estudió en Berlín, se marcha a Estados Unidos en 1831, «año en el que muere Hegel» -recuerda el conferenciante-. Este gran ingeniero fue el primero en utilizar la viga de rigidez y los tirantes inclinados.

Y así, entre la imagen proyectada de puentes impresionantes y la palabra amena y formativa, recuerdo este encuentro con el mundo de los puentes. Un contacto lleno de magia y de poesía. No se olvidó el conferenciante de los ingenieros españoles que habían sido sus maestros. Para Torroja, explicaba, el puente colgante es un arco al revés.

Este acontecimiento fue decisivo para consolidar un interés que, hasta entonces, no había pasado de la evocación, y a partir de aquel momento se convertiría en una auténtica pasión por los puentes.

A partir de entonces comencé a sentir los puentes como grandes esculturas. Una idea que ha ido madurando al identificar la función comunicativa de desplazamiento en los puentes con la comunicación dialéctica que se establece entre el objeto escultórico y el espectador.

Realizando los cursos de doctorado, dentro del programa de doctorado *L'expressió plàstica: fonaments, processos metodològics i realitzacions projectuals*, que dirigía el Dr. Fernando Hernández, aproveché para trabajar la polémica de las «teorías implícitas» tomando como muestreo el discurso de los ingenieros de caminos, recogido en un vaciado de la Revista de Obras Públicas en un periodo de diez años. Este trabajo, que posteriormente derivaría en una Comunicación, me acercó al pensamiento de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en la época contemporánea.

La imagen ampliamente divulgada, del ingeniero de caminos como un técnico que se ocupa exclusiva y preferentemente del cálculo, se vio sensiblemente modificada por la de un profesional inquieto por toda una problemática que concierne a la construcción de la obra pública y que va más allá del cálculo y de lo puramente constructivo. Es decir, lo relativo a la naturaleza, en cuanto al posible impacto ambiental que sus construcciones pueden ocasionar en la misma. Lo que atañe a la historia y por consiguiente a la memoria del pasado para considerar todo lo construido como referencia y base para obras posteriores. Y por último la inquietud por la estética de sus obras.

Acto III: Un curso de doctorado

Acto IV: La docencia en escultura

Desde mi posición como docente, la figura del puente resulta altamente sugestiva y útil para aplicar en la enseñanza de la escultura. La referencia a la estructura del puente abre vías de trabajo a los estudiantes, que apoyándose en alguna de las tipologías clásicas, construyen sus propias maquetas. Y también la idea de construcción articulada, desde el arco hasta la viga de celosía ayuda al estudiante a organizar sus experiencias.

En este sentido, la experiencia pedagógica que muestra Jean-François Pirson (1988) en su libro *La estructura y el objeto*, son prueba evidente de las posibilidades creativas y de composición que permite articular la idea de puente.

Desde el punto de vista formal hay varios aspectos que se repiten en la imagen de un puente y que atraen mi atención. A nivel perceptivo estos aspectos se podrían definir como categorías visuales y se relacionan con la solidez y magnitud en la apariencia de los puentes, lo que conecta con la sensación de peso, una constante en la obra de escultores como Richard Serra y Eduardo Chillida.

Otra categoría visual, poderosamente atractiva para mí, es la sensación de orden y equilibrio que se percibe en el conjunto de la estructura de un puente. Estas constantes perceptivas asociadas a la forma de los puentes son recuperables para trabajar con los estudiantes, canalizando su trabajo de manera que ellos las utilicen al configurar sus maquetas.

Introducción

Justificación de la tesis

Este trabajo nace con el propósito de evidenciar el paralelismo que, a nivel formal y como resultado de la investigación de la autora, existe entre un ámbito de la escultura contemporánea y los puentes. Me refiero a los puentes físicos, a las estructuras que se construyen con la finalidad de salvar un obstáculo, que tienen por consiguiente una componente utilitaria, permitiendo la movilidad de los usuarios. La escultura que sirve de referencia es aquella que se vincula al territorio, utilizándolo muchas veces como materia que define un espacio escultórico (Land Art) y otras como soporte para instalar la escultura.

El territorio es el lugar común para el puente y para la escultura. Un territorio que es espacio público, unas veces referido a la ciudad y otras veces situado fuera de la misma. Desde la concepción de la autora de esta investigación, cualquier puente, de cualquier época, puede ser considerado como una macro escultura en el territorio.

La tesis se presenta en la Facultad de Bellas Artes, en el Departamento de Escultura, en unos momentos en que se está configurando el nuevo Plan de Estudios. Con esta tesis se pretende abrir nuevas vías de investigación que vinculen: (a) una posible consideración del paisaje más allá de su calificación como mero contenedor de objetos, (b) los estudios que contemplen la noción y el proyecto del puente en un sentido más amplio que el estrictamente físico, (c) la vinculación de las dos consideraciones anteriores con la escultura en el espacio público.

Este trabajo se inició con la intención de plantear un método de análisis capaz de valorar la estética de los puentes. En la medida que fui conociendo estas estructuras, familiarizándome, no sólo con su morfología, sino con la suma de condicionantes que hay que considerar al iniciar el proyecto de un puente, advertí las dificultades añadidas que conlleva crear un método de análisis estético y aplicarlo a los puentes, obras de ingeniería que deben cumplir una función estática.

La realidad me ha evidenciado que, si bien me interesaba exclusivamente la lectura estética de los puentes, en éstos, la forma está condicionada a aspectos técnico-constructivos que no se pueden desligar y que, además, la valoración de los

*Esbozo de un
recorrido investigador.*

*De las intenciones
iniciales a la realización
final*

mismos exige unos conocimientos básicos de ingeniería.

Por ello, en la medida que he profundizado en el tema, he ido descubriendo que yo trataba de entrar en las razones fundamentales que determinan el por qué de una configuración concreta en la apariencia de un puente, en las bases que orientan el problema de una determinada elección y, evidentemente, el problema formal en un puente no es exactamente igual al problema formal en una escultura, donde no existe la necesidad de una función estática.

En lo que se refiere a los puentes, su finalidad es la de sostener cargas, es decir, crear una plataforma que permita el paso de personas y/o vehículos. Además, esta finalidad funcional básica va unida a otras que, más o menos necesarias, ofrecen infinidad de variaciones y le aportan un carácter propio a cada obra en particular.

Por ello se puede decir que en el proyecto de un puente, y debido a necesidades funcionales, se deben cumplir unas condiciones básicas, otras convenientes y otras puramente accesorias. La definición de las condiciones básicas es una cuestión técnica que puede valorar el experto, igualmente ocurre con las condiciones convenientes y, únicamente en los aspectos accesorios del proyecto se podría opinar desde fuera, desde el juicio estrictamente estético.

La necesidad de un recorrido histórico

La primera aproximación al tema objeto de estudio ha sido cronológica. En el recorrido de la configuración del objeto de la tesis y de las relaciones que de ella pueden establecerse, se ha comenzado con un acercamiento a los límites temporales desde los que se puede esbozar el valor del puente como objeto con valor estético y funcional en un entorno público. En este recorrido se ha trazado una panorámica que abarca desde los primeros puentes que se conocen hasta la actualidad.

Para demostrar que un puente puede tener el valor estético-plástico de una escultura, comienzo por estudiarlos desde su dimensión histórica, pues ello permite acercarse por un lado a su evolución funcional y, sobre todo (y éste es el nexo conductor de la presente investigación) a su evolución formal.

La acotación realizada no se plantea en términos generales (no se trata de escribir la historia de los puentes y sus cambios formales) sino de esbozar una génesis histórica, que permita establecer posibles conexiones con la escultura. Debo insistir que en ningún momento esta tesis se ha enfocado como una catalogación de puentes, por lo que he limitado la relación de

modelos comentados, ateniéndome a uno o dos ejemplos siempre que ha sido posible y con la finalidad de que esos dos ejemplos representaran suficientemente la tipología de la que se estuviera hablando en relación con una época concreta.

En cuanto a los límites espaciales, la elección de los modelos ha estado sujeta al criterio de proximidad. Es decir, cuando en el territorio catalán se encuentra un modelo explicativo del momento histórico que se está estudiando, se menciona de manera preferente. Cuando esto no ocurre los ejemplos recogidos están en relación con la «tesis» que aquí se presenta. Sin embargo, este criterio marcado por una intencionalidad de adecuación no ha sido el único seguido.

Así, es necesario no perder de vista que la intención de reducir ejemplos ha sido una constante. Por ello, cuando en determinados periodos históricos, como por ejemplo la etapa romana, me he visto obligada a decidir qué puente resultaba más representativo, he optado por mencionar prioritariamente los puentes situados en otras Comunidades Autónomas, ya que tanto el puente de Alcántara (Cáceres) como el Acueducto de Segovia, forman parte del Patrimonio de la Humanidad. Razón que me ha parecido significativa para establecer una excepción.

Algo parecido ocurre con los puentes colgantes, una tipología que se desarrolla en Estados Unidos, donde la orografía del terreno requiere cubrir luces mayores, para las que los puentes colgantes son la tipología más adecuada. Por ello los grandes constructores de puentes colgantes en Estados Unidos, los Roebling, ocupan un espacio destacado así como los modelos que construyen.

Estas son las razones del por qué se presente un recorrido histórico y los criterios empleados para la selección de los ejemplos que ilustran nuestra propuesta de análisis. Todo ello con la finalidad apuntada: evidenciar la consideración del puente en su dimensión formal y, por tanto, susceptible de ser interpretado en su dimensión escultórica en un espacio público.

Se ha hecho un considerable esfuerzo de síntesis histórica, entendiendo que no era este el objetivo de la investigación. Sin embargo, no se podía prescindir de este recorrido ya que aporta las conclusiones necesarias en cuanto a evolución formal (cómo se realiza, qué la provoca, por qué está condicionada) y cuales son en realidad los inventos tecnológicos que han posibilitado las diferentes estéticas en la apariencia de los puentes. Es decir, que esta reflexión sobre la génesis histórica, abre el camino para abordar una visión más subjetiva e

interpretativa de estas estructuras, y que sin este conocimiento previo no podría hacer.

Con relación a los cuatro primeros capítulos debo hacer otra aclaración. En el índice he seguido un orden cronológico y no relativo a las tipologías. He mantenido este criterio de manera intencionada, ya que el orden histórico me aporta la información necesaria, y de manera evolutiva, para encontrar los elementos de juicio que organicen los cambios tipológicos y sus modificaciones de orden estético.

Así, esta primera parte está motivada por el deseo de conocer, y debo aclarar que, en muchos momentos he sentido frustración por la incapacidad para tratar en profundidad aspectos vinculados a soluciones técnicas y constructivas adoptadas en algunas realizaciones. En algunas de estas propuestas se evidenciaba su repercusión a nivel estético, y sin embargo, una falta de formación técnica me impedía desarrollar un discurso fundamentado. Sin duda esta investigación tendría más posibilidades aunando los conocimientos del ámbito constructivo con la formación artístico humanista.

*El marco para un
análisis formal del
puente*

Pero el recorrido de la investigación no acaba en este paralelismo histórico. La segunda parte de la tesis es un intento de presentar y ordenar una estrategia metodológica, a modo de modelo de lectura formal de los puentes, que evidencie, desde otro punto de vista, la intención relacional entre puente y escultura que persigue esta tesis. En el capítulo V de esta investigación se plantea una metodología formalista para «leer» el puente como un «objeto» con cualidades estéticas.

Tres vías nos sirven para construir este modelo de análisis desde: (a) la psicología de la percepción, sobre todo la investigación realizada por Neisser (1981) es la que nos sirve de guía; (b) el lenguaje gráfico-visual, en la medida en que el dibujo permite analizar un objeto, en este caso, un puente y (c) un análisis hermenéutico, basado en los momentos comprensivos y de cánones interpretativos, de Betti, que sirven al intérprete para afrontar la tarea de reconstrucción interpretativa.

Nuestra propuesta concluye con la definición de una serie de categorías operativas, en las que se concretan estos tres niveles de análisis. Quede claro, que lo que aquí se presenta es, sobre todo, una hipótesis de trabajo y, a la vez, una de las vías de investigación que nuestro estudio ha planteado.

Algunas precisiones metodológicas

Los puentes citados a lo largo de la primera parte no pretenden ningún intento de catalogación, tan sólo ejemplificar la exposición del tema desarrollado en cada momento.

Desde el periodo romano hasta la actualidad, en los cuatro capítulos en los que está estructurado el recorrido histórico, se dedica un apartado a España. Se hace así porque dado que la situación político-social es un condicionante crucial para las obras públicas y esta no siempre es coincidente en el tiempo para todos los países, a veces suele ocurrir que un determinado sistema constructivo o la utilización de un nuevo material se hace factible en un país mientras que en el vecino hay que esperar algunos años.

Aunque en algunos momentos de la investigación surge la anécdota referida, bien al puente récord en algún aspecto, o bien a la descripción de ciertas proezas relacionadas con la construcción, he procurado no perder el hilo conductor, el objetivo básico que, en estos cuatro capítulos, se centra en la evolución formal del puente.

La voz puente, en singular, se utiliza en este trabajo cuando está referida a la estructura que tiene como finalidad salvar un obstáculo, que permite la comunicación y que hace de nexo entre dos puntos. Esta estructura que evoluciona, se modifica, se adapta al trazado de la carretera, es el puente. Por el contrario, se habla de los puentes, en plural, cuando se refiere a las diferentes tipologías, especificando una de ellas.

Debo aclarar que, para la elección de un puente a la hora de ejemplificar una tipología determinada o un sistema constructivo, me he basado en la proximidad geográfica. Siempre que ha sido posible he citado un modelo ubicado en el territorio catalán o español, y sólo cuando la importancia del proyecto lo requería me he referido a puentes extranjeros.

Capítulo I

De la prehistoria al nacimiento del arco

Notas previas

A lo largo de cuatro capítulos se plantea un recorrido por la historia de los puentes, desde lo que se supone fueron los primeros ejemplos hasta la contemporaneidad. Este estudio sobre la génesis histórica no responde al eje central del trabajo, sino a la necesidad de evidenciar la importancia de ciertos momentos del pasado constructivo que han sido cruciales en la evolución formal de los puentes. Esta parte de la investigación está motivada por el deseo de conocer, preguntándome, no sólo si la innovación tecnológica y los nuevos materiales han influido en la forma de los puentes, lo que parece evidente, sino hasta qué punto esos aportes han sido generadores de una estética diferente. En este recorrido también señalamos un puente con ejemplos del campo de la escultura que, dado nuestro punto de vista, ofrece semejanzas conceptuales y formales entre ambos *objetos* en el entorno.

Aunque la Revolución Industrial supuso un gran avance vinculado a la idea de progreso de la civilización occidental, no puedo dejar de mencionar la situación del panorama constructivo anterior a 1800, ya que *«un puente sólo se concibe en función de todos los puentes que le han precedido en la historia»*¹. Es decir, cada avance constructivo se apoya en un descubrimiento anterior, por tanto no se pueden ignorar los conocimientos que han permitido llegar a las metas actuales, porque ellas suponen el primer estadio de los descubrimientos posteriores. Los ingenieros, Javier Manterola y Leonardo F. Troyano (1988) lo explican:

«Todo puente no es sino un momento de la historia de los puentes. Toda la tradición heredada de nuestros mayores configura y condiciona nuestra manera de pensar en puentes. Un puente romano o una pasarela de los Incas del Perú no es sólo una respuesta a un problema de paso utilizando una determinada tecnología, sino que también es una definición de lo que es un puente. Nos transmiten no sólo el cómo se ha realizado y para qué sirven, sino que nos empiezan a descubrir el qué de los puentes, su esencia.

En ellos podemos leer las preguntas que se hicieron sus constructores al realizarlos, y vemos que coinciden con las que nos hacemos ahora: qué material utilizar, cómo ordenarlo, cómo construirlo y qué resultado formal se encuentra.

1. Miguel Aguiló (1979) Introducción a la Edición Española, en Stenman y Watson (1979), p. 17.

Definir entonces el puente como forma resistente construida es especialmente útil, pues incluye las principales preguntas que se hace todo constructor en general y de puentes en particular. También es incompleto, pues los puentes no son sino el resultado de su historia y para el que los hace no son sino lo que él piensa que son²».

2. Manterola, J. y Troyano, L. (1988), p.35

Por ejemplo, sabemos que el arco fue el gran invento en el que se apoya la arquitectura romana, sin el cual no existirían los grandes puentes y acueductos romanos, como tampoco los puentes de sillería que se fueron construyendo a lo largo de la historia hasta el siglo XIX. Con el descubrimiento del hormigón armado, cambia el material de fábrica pero el principio estructural que rige los puentes en arco sigue siendo el mismo.

Incluso cuando se realiza el primer puente de hierro (el de Coalbrookdale), se adopta la tipología del arco. Se construye como un arco de sillería pero con bloques de fundición actuando como dovelas de piedra en los nervios del arco. Y así ocurre con todos los primeros puentes de hierro, porque, «un nuevo material se expresa en formas tradicionales o familiares, y no encuentra su expresión individual propia hasta que ha pasado por una etapa experimental de transición»³.

3. Steiman y Watson (1979), p.148

Otro ejemplo en este sentido, aunque más próximo en el tiempo, lo encontramos en la obra del ingeniero suizo Robert Maillart. Sin la experiencia del puente Billwil-Oberbüren, Maillart no habría podido crear el puente sobre la garganta Salgina, porque para concebir unos tímpanos aligerados como los de éste, antes tuvo que incorporar los tímpanos a la bóveda. Una vez incorporados, la silueta del alzado de sus puentes se dirige hacia una expresión más ligera, que culmina en el Salginatobel.

La historia de los puentes no es, por tanto, un continuo de sucesiones, sino de interrelaciones, en el que influye no sólo los cambios técnicos, sino los cambios en la cultura y en la sociedad de cada época, o en la interrelación de ambos.

De la prehistoria al nacimiento del arco

En este punto se explica la génesis de los primeros puentes, desde aquellos que nos ofrece el paisaje, originados bien de manera casual o a través de la acción de la naturaleza en un largo periodo de tiempo, hasta la formación, de manera gradual, de las grandes tipologías. Se incluye también un apartado sobre los puentes militares, como construcción provisional, ocasional, y de todas las épocas. Son puentes construidos con ingenio para salvar obstáculos en periodos de guerra. Pero vayamos al principio.

Steinman y Watson (1979) sitúan la construcción de pasarelas primero, y de puentes después, como una de las más antiguas actividades del hombre y, aunque no existen restos de las primeras realizaciones, estos autores dan por supuesto que fueron parecidas a numerosas pasarelas descubiertas en regiones que han permanecido aisladas del resto de la civilización, como son algunas zonas del interior de la China.

Existen básicamente dos tipos de pasarelas: las colgantes y las de vigas. Ambas se construyen con materiales que se encuentran directamente en la naturaleza, como son la madera, la piedra y las lianas.

La pasarela colgante pudo tener su origen en las lianas y otras plantas entrelazadas que, situadas en las orillas de los ríos permitían desplazarse de un lado a otro por medio del trepado y colgado. Estas pasarelas incluyen diversas variantes:

- Cable único del que pende un cesto que se desplaza por gravedad o del que tiran unas cuerdas.
- Especie de hamaca compuesta por dos, tres o cuatro cables enlazados por una red o soportando un entablado que sigue el trazado de aquellos.
- Entablado colgado de los cables portantes por medio de suspensiones, como en los puentes colgantes actuales.

Una vez que supo trenzar y tejer, el hombre primitivo pudo acumular lianas y enredaderas formando cuerdas con ellas para después, amarrar fuertemente uno de sus extremos a un árbol o a un saliente rocoso y así, desplazarse colgado hasta la orilla opuesta.

Quizás fueron estos los puentes que inspiraron al equipo de escultores formado por Gilles Bruni y Marc Babarit en sus intervenciones en la naturaleza o quizás el carácter efímero de los mismos. En su trayectoria artística, estos escultores se califican así mismos de nómadas. «*Ils trouvent un lieu et décident de s'y installer et d'y installer leur oeuvre*»⁴. La selección del lugar es importante para ellos porque en él instalarán su obra, lo que se convierte en un acto sublime, que ellos llaman «*épiphanie du site*».

Una vez instalados, comienzan a realizar su trabajo en medio de la naturaleza, la cual es a la vez parte integrante y cómplice. Como nómadas, Bruni y Babarit se consideran extranjeros en el lugar donde se han instalado y esta condición

Los primeros puentes: El hombre se inspira en la Naturaleza



⁴ Catálogo, *DIFFERENTES NATURES. Visions de l'art contemporain. Ministère de la Culture et de la Francophonie. Exposition à La Défense 25 juin - 26 septembre 1993*, p. 90.

repercute en sus propuestas. Sus construcciones son una versión provisional, una imitación de las que hacen las sociedades sedentarias: casas, puentes, vallas, muros etc., pero siempre cargadas de un valor simbólico y onírico. Sus títulos son testimonio del rol que les atribuyen.



Concretamente la instalación **Le pont, s'avancer pour mieux s'entendre**, de 1989, se organiza partiendo ambos de la orilla opuesta de un río, para encontrarse en el centro. Es un puente frágil en su apariencia, parecido a los construidos con lianas y otros vegetales pero suficientemente resistente como para permitir el desplazamiento y la movilidad de sus constructores. Está formado de elementos naturales encontrados en el lugar.

En una de las riberas el agua era profunda, y desde allí proponen iniciar la construcción de un puente suspendido. Por la otra, había muy poca agua y muchas rocas, por lo que desde esa orilla, el puente avanzaba sobre apoyos.

Continuando con la evolución de los puentes, el siguiente paso del hombre primitivo fue tender dos cuerdas paralelas en lugar de una y cubrir el espacio intermedio con una malla entretejida atada a las cuerdas. Hecho esto, el hombre había concebido y construido un verdadero puente colgante que perfeccionaría con el paso del tiempo, aunque, esta evolución ha sido muy lenta, ya que hasta el momento en que se han empleado los cables metálicos, a finales del siglo XVIII, no han surgido los primeros puentes colgantes en el sentido actual de la palabra.

En América del Sur, los indios nativos llaman «bejucos» al puente colgante, que es el nombre de la planta fibrosa empleada para trenzar los cables. Los indios tienden cuatro cables paralelos sobre el vano; colocan otros dos algo más arriba, con la función de pasamanos. Sobre los cuatro cables se disponen ramas de bejuco transversales; los cables se entrelazan con una malla de cuerdas simples del mismo material. El resultado es una estructura que se mueve bastante pero útil para las necesidades de un pueblo primitivo.



De una apariencia tan rústica como debieron ser los primeros puentes colgantes, aunque realizada con diferentes materiales, es la obra del artista italiano Pino **Pascali**, presentada en 1968 con el título de **Ponte**. Está realizada en paja de hierro tejida sobre una estructura metálica. El puente, tendido entre dos paredes, tiene unas dimensiones de 800 x 200 x 90 centímetros.

Es precisamente la magnitud de la obra y la tosquedad que

expresa el material lo que ayuda a percibirla con un alto grado de realismo, con la seguridad de que permitiría la movilidad si a este puente se le adjudicara una ubicación estratégica.

En cuanto a la pasarela de vigas, su origen pudo ser un tronco caído accidentalmente entre las dos orillas de un río, que posteriormente serviría de ejemplo y que llevaría a provocar su caída en un lugar estratégico.

El escultor Richard Nonas también parte del azar de un tronco caído para configurar su obra *Notched Windfall* en 1969-70, localizada en Upstate, estado de Nueva York. Cuando encuentra este tronco, Nonas lo convierte en material para una escultura. Con esta iniciativa personal, se cuestiona lo gratuito del trabajo del artista y las relaciones entre el suceso y la voluntad del artista de transformar. Es decir, la caída del árbol y el trabajo del escultor.

El punto central de la gestión plástica de Richard Nonas se basa en la determinación de un lugar. «*L'art est notre connaissance de l'impossible existence de la nature dans un monde déjà très humain. L'art est notre connaissance de l'inévitable destruction de la nature par l'homme*»⁵. Esta paradoja confirma su visión del arte como el lugar propio de la paradoja y de la reafirmación en la libertad del hombre. La obra de Richard Nonas atestigua la íntima relación de estas dos convicciones.

El análisis se perdería en una relación simplista de la obra con la naturaleza si no tuviéramos en cuenta la importancia de la selección de este lugar. En lo gratuito de este acto es donde el artista se reconoce. En realidad, su acto no tiene la pretensión de dominar; a menudo sus obras respetan el orden del azar por el cual el artista obtiene sus materiales, como en el caso de *Notched Windfall*.

Su intervención es un gesto en el que se mide la capacidad del hombre para marcar un territorio que puede cambiar e incluso negar la historia de este territorio. Su discurso con relación al espacio público es algunas veces virulento, ya que las ideas del artista y la voluntad sociopolítica que le gobierna, a menudo borran el alcance de la paradoja del arte. Es decir, la obra no está allí para resolver un problema geopolítico, y menos aun para captar la mirada del visitante. «*L'oeuvre, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, doit révéler le paradoxe et ouvrir l'esprit au questionnement*»⁶.

Pero continuando con la construcción primitiva de puentes, los habitantes de regiones donde no existía tanta vegetación como para construir cualquiera de los dos tipos de pasarelas de desplazamiento descritas, tuvieron que pensar en la piedra



5. Catálogo, *DIFFERENTES NATURES. Visions de l'art contemporain. Ministère de la Culture et de la Francophonie. Exposition à La Défense 25 juin - 26 septembre 1993*, p. 167.

6. Catálogo, *DIFFERENTES NATURES. Visions de l'art contemporain. Ministère de la Culture et de la Francophonie. Exposition à La Défense 25 juin - 26 septembre 1993*, p. 167.



7. Sobre «La Calzada de los Gigantes» existe una leyenda por la que se considera a estas rocas como las supuestas pilas de un puente por el que pasaban los gigantes en tiempos prehistóricos. (Steinman y Watson, 1979, p. 29).

como posible solución a su problema; por consiguiente, irían colocando piedras a través del río haciendo un vado. El resultado fue la primera construcción de piedra.

Quizás el siguiente paso fue tender de piedra a piedra los troncos que antes había utilizado como tablero, construyendo así su primer puente de vigas de varios vanos con pilas de piedra. Un ejemplo de lo que pudieron ser estas construcciones primitivas se encuentra en el canal entre Irlanda y Escocia, donde existen unas enormes rocas naturales llamadas «La Calzada de los Gigantes» que sobresalen del agua⁷.

También en la naturaleza se encuentran modelos para los puentes que más tarde el hombre perfecciona. Los primeros hombres que habitaron la tierra suponemos que vivían al aire libre o bien en cuevas naturales excavadas en el terreno. Estas cuevas, eran bóvedas naturales formadas por estratos de piedra; capas horizontales de rocas o arcillas que posiblemente se proyectaban una sobre otra para encontrarse en lo alto. Descubrir estas bóvedas y observarlas fue, quizá, la primera lección de arquitectura recibida de la naturaleza.

Otra lección de arquitectura recibida de la naturaleza pudieron entenderla los hombres primitivos al usar los llamados «puentes naturales». Son estructuras que tienen forma de arco pero con tensiones similares a los voladizos y que se supone han estado en formación durante cientos de años. Algunos de estos puentes naturales de piedra se han formado por la erosión de arroyos de montaña, que van destruyendo un estrato blando; en otros casos las cavernas calizas horadadas por los cursos de agua pueden colapsar parcialmente, dejando una especie de techo⁸.

8. Existen leyendas que hablan de la existencia de puentes naturales ya desaparecidos. En este sentido, Steinman alude al folclore indio para recordar el que quizá fue el mayor de los puentes naturales, el «Puente de los dioses», que salta el río Columbia entre Washington y Oregon (Steinman y Watson, 1979, pp. 26-27).

Así pues, la naturaleza dio forma a tres clases de puentes: el puente colgante, el puente de viga, el puente natural de piedra

Probablemente, el hombre empleó durante muchos miles de años estos cruces o pasos naturales, recorriendo a menudo grandes distancias para encontrarlos. Aunque no existen restos arqueológicos para afirmarlo, parece que el hombre tardó un largo periodo de tiempo en copiar a la naturaleza construyendo por sí mismo.

Desde el punto de vista de la construcción, quizá el paso más importante en la primera historia de la evolución humana es el desarrollo de los utensilios. Fue durante el periodo Neolítico cuando perfeccionó los instrumentos de piedra, entre los cuales el hacha de piedra es el más relevante. Con ella pudo imitar las estructuras naturales que durante miles de años había utilizado aprovechando el paisaje que le ofrecía la naturaleza.

Evolución de la pasarela que funciona como viga

La primera pasarela de viga, la formada por un tronco caído que posibilita el cruce de un río, fue insuficiente cuando el hombre, asentado en el Neolítico, necesitó un entorno más estable en función de las actividades que desarrollaba. Y así, desde el granjero al comerciante, sin olvidar al guerrero, toda tribu o comunidad fue avanzando en la construcción de puentes. Por lo que la primitiva estructura formada por un tronco longitudinal, se ensanchó colocando dos troncos longitudinales con una cierta separación entre ellos y unidos por troncos transversales. El paso siguiente sería aplanar los troncos para conseguir mayor seguridad.

Uno de los trabajos del artista Herman de Vries, **Stammstücke, 1972-1979**, recuerda en su origen, a las pasarelas primitivas cuyo tablero es un tronco apoyado sobre un pequeño valle. En sus propuestas, de vries evita toda intervención dictada por la imaginación. Selecciona, aísla y desplaza elementos encontrados en la naturaleza pero su manipulación es mínima; sus hallazgos son expuestos de tal forma que dejan al espectador toda la libertad de atribuir un valor artístico a la obra.

Este trabajo, *Stammstücke, 1972-1979*, es consecuencia de uno de sus paseos en el que el artista se encuentra un tronco de árbol que ha sido cortado y colocado de tal manera que salva un pequeño valle formando un puente. Siete años después vuelve al mismo lugar y encuentra sólo tres trozos del tronco que está descompuesto en gran parte. De Vries recoge los restos y los expone en una galería, presentándolos en la misma posición en la que los ha encontrado.

Hay que destacar el gran respeto por la naturaleza que demuestra de Vries. Para él la naturaleza es la expresión de un sistema no jerárquico, donde cada elemento tiene allí una función particular. «*L'idée du hasard dans la nature -dice de vries- montre notre incapacité à comprendre la complexité de ses causes*»⁹. Con estos principios no sorprende que Herman de Vries conceda una particular importancia al hecho de que su nombre, así como el título de sus obras, sean escritos sin mayúsculas.

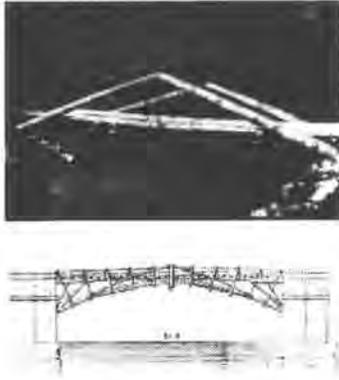
Dependiendo de la región en la que habitara el hombre primitivo, la pasarela de vigas se fue perfeccionando. Se construiría en madera cuando este hombre habitaba una región arbolada y en piedra si habitaba regiones más frías. En este último caso estas construcciones se han denominado puentes losa. Están formados por pilares de piedras sobre los que se apoya la losa, una piedra plana y de mayor tamaño.



9. Catálogo, *DIFFERENTES NATURES. Visions de l'art contemporain. Ministère de la Culture et de la Francophonie. Exposition à La Défense 25 juin - 26 septembre 1993*, p. 106.



Los puentes losa tienen sus luces muy limitadas a causa de su débil resistencia a tracción y a cortante, lo que condiciona su empleo a situaciones en que los apoyos intermedios están suficientemente próximos en el río. Es el tipo de puente que aparece en China, Egipto y Babilonia, civilizaciones donde las tipologías constructivas adinteladas fueron predominantes.



Por el contrario la madera, gracias a sus características mecánicas, permite la construcción de estructuras con luces mayores que la piedra, y con una resistencia suficiente para el paso de vehículos. De hecho, la construcción de pasarelas y puentes de madera ha continuado a lo largo de la historia. Una evolución de la misma consiste en reforzar las vigas por medio de codales oblicuos. Este sistema introduce un empuje horizontal sobre los apoyos bajo el efecto de las cargas, siendo análogo al de los puentes pórtico actuales de pies inclinados. Para algunos autores (Steinman y Watson, 1979), éste es el primer sistema de puente en arco.

Tanto el tramo recto como el pórtico de soportes inclinados son tipologías absolutamente actuales que se emplean con frecuencia en obras de hormigón y de acero. Y es que la madera es el único material natural con capacidad resistente tanto a tracción como a compresión y por ello, análogo en su comportamiento estructural a los materiales modernos.

En comunidades aisladas en las que existía abundancia de bosques, se supone que se desarrolló una cultura de construcción en madera. Un ejemplo lo tenemos localizado en Suiza, donde los habitantes de la Edad de Bronce que vivieron hacia el año 2.500 a. de c., habitaban en pequeñas casas de madera de construcción adintelada, realizadas sobre una plataforma de madera colocada sobre el lago. *«Para apoyar estas plataformas desarrollaron un método para hincar pilotes en el fondo del lago. Posiblemente del descubrimiento de esta técnica derivó el puente de caballetes de madera»*¹⁰

10. Steinman y Watson (1979), p. 35

En esta comunidad también acertaron en la construcción más tosca y simple de celosía, construyendo tejados a dos aguas, formados por dos vigas apoyadas en puntales y descansando una sobre otra.

Construcción en voladizo

La construcción en voladizo tiene un origen muy antiguo; se planteaba cuando la longitud de los troncos disponibles era inferior a la luz que había que salvar y, al mismo tiempo, era imposible colocar apoyos intermedios. Dado que los constructores no sabían enlazar unos troncos con otros para componer

una viga suficientemente larga, aplicaron la idea de avanzar la construcción desde ambos márgenes en voladizo. Esto se hacía por diversos métodos:

- Un sistema era elevar un tronco de pirámide.
- Otra forma era empotrar troncos en paredes rocosas.
- Una tercera posibilidad de construir el voladizo era la de enlazar solidamente un tronco a un emparrillado de vigas lastrado por piedras para hacer contrapeso.

Cualquiera de estas construcciones básicas posibilitaba franquear la distancia entre los extremos de los voladizos con un solo tronco.

Los primeros puentes en voladizo fueron construidos en madera. César habla en sus escritos de obras galas construidas con troncos de árboles colocados ortogonalmente en franjas horizontales, entre los cuales se colocaban bloques de rocas formando contrapesos. Obras de este tipo se encuentran todavía en India, China y Tibet.

En 1811, el ingeniero americano Thomas Pope construyó un puente en madera de 550 metros de luz. Se trata de un arco muy rebajado, empotrado en sus apoyos extremos de mampostería, a partir de los cuales estaba construido en voladizo por unión de elementos prefabricados.

La falsa bóveda

Cuando el método constructivo de los voladizos se emplea con la piedra, se origina una falsa bóveda: cada hilada de piedras vuela ligeramente sobre la inferior hasta que las dos partes quedan suficientemente próximas para que el hueco pueda ser cubierto por un solo bloque.

Los bordes vistos de las sucesivas hiladas se tallan de modo que la superficie del intradós sea regular, dando a estas construcciones la apariencia de bóveda, cuando en realidad se trata de falsas bóvedas.

El mecanismo resistente de esta construcción difiere del de las bóvedas verdaderas. Su construcción es más simple ya que no necesitan cimbra, quizá por esta razón la falsa bóveda se ha venido utilizando hasta la Edad Media, aunque no para construir puentes, ya que su resistencia es muy baja, sino para la arquitectura. Sin embargo, este sistema constructivo fue ampliamente utilizado por las civilizaciones precolombinas de América.

El descubrimiento del arco: uno de los avances más significativos en la historia de la humanidad

Hasta la aparición de las verdaderas bóvedas, probablemente en Mesopotamia, hacia el 3.500 a.c., no fue posible la utilización de la piedra para la construcción de puentes.

Es difícil situar históricamente el paso de la falsa bóveda a la verdadera, pero sabemos que los sumerios, un pueblo asentado en el fértil valle del Tigris y el Éufrates hacia el 4.000 a.c., empleaban el ladrillo como único material de construcción duradero, aunque al principio este ladrillo sólo estaba secado al sol. Pese a conocer el sistema de cocción, los sumerios se enfrentaban al problema de la escasez de combustible, por lo que los ladrillos cocidos al horno no eran frecuentes.

La piedra, aunque no era desconocida, se empleó muy poco porque tenía que ser importada fluvialmente desde Persia o transportada por medios humanos desde las colinas del Este. Por consiguiente, se puede decir que los materiales disponibles dictaron los métodos constructivos empleados, y el principio estructural dominante fue el arco y la bóveda.

No se conoce con certeza cuando comenzaron a utilizar el arco en sus construcciones los sumerios. Los egipcios desarrollaron una gran habilidad en la práctica constructiva, pues en Dindereh existe una bóveda compuesta de tres arcos, que data del 3.600 a.c. En la época de la Tercera Dinastía (2.980-2.475 a.c.) los arcos eran usuales. Sin embargo, los egipcios siempre prefirieron la construcción adintelada para sus edificios en lugar del arco.

Hablar del arco y la bóveda en la historia del puente es hablar de puentes pétreos, resistentes y duraderos, como no se habían conocido hasta entonces, ya que la durabilidad de la obra era y ha sido siempre la propiedad más buscada por el hombre. Por esta razón, *«la introducción del arco en la construcción supuso un nuevo impulso, una fuerza constructiva orgánica, dinámica, expresada por la propia forma. Por el contrario, la construcción adintelada es inorgánica, estática; no transmite un sentimiento de potencia y movimiento, sólo de masa inerte. La razón de este sentimiento de movimiento del arco, es que éste expresa una transmisión de empujes; cada dovela traspasa su carga a la siguiente, desde la clave hacia las impostas, y de ellas a los estribos»*¹¹

¹¹ Steunman y Watson (1979), p. 40

Eduardo Torroja (1960, p. 101) define el arco como *«el mayor invento tensional del arte clásico»*. En efecto, la construcción de un arco va unida a la idea de esfuerzo por resistir, de salto

como dominio de la distancia y de esfuerzo también para construirlo, ya que se requiere sostener todas las dovelas hasta colocar la última, la clave, momento en que el arco entra en acción. Quizá por eso, dice Torroja, «el arco, que también es monumento, es el elegido para proclamar los honores de la victoria»¹².

La importancia del arco y la bóveda en la construcción de puentes tiene una trascendencia que repercutirá en todas las épocas posteriores. La tipología arco posibilitará los puentes romanos, pero también los románicos, ojivales, en herradura, renacentistas y todos los puentes construidos mediante este sistema estructural, los de sillería, mampostería, ladrillo y hormigón. Es decir, los puentes de fábrica, independientemente del material que se haya utilizado en su construcción. Los arcos rebajados de los siglos XVIII y XIX, aquellos que se construyen a partir de tres o más radios, elípticos, en «asa de cesto», etc.

Pero también los arcos metálicos deben su existencia al descubrimiento del arco de piedra, porque el principio estructural que los mantiene es el mismo. Por algo el primer puente que fue construido en fundición de hierro (Coalbrookdale, entre 1777 y 1779), se configura a partir de fragmentos que, al unirlos a modo de dovelas, definían un arco.

Los puentes militares son estructuras efímeras que se construyen con una finalidad única: salvar un obstáculo durante un periodo de guerra. Se les denominaba «puente de barcas».

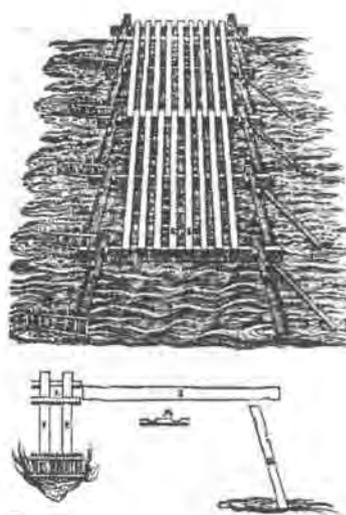
El pueblo romano, en su fase de expansión, debido a que era primordialmente un pueblo guerrero y colonizador, realizó puentes provisionales. Al principio, el guerrero construía temporalmente puentes de madera, considerándolos como simples medios que facilitaban la conquista; después, cuando comenzaba la civilización, aparecía el verdadero constructor, erigiendo puentes permanentes en las principales calzadas para mantener las comunicaciones entre la metrópoli y las colonias.

Esa primera etapa en la que se construían pasos provisionales por motivos bélicos, permanecerá inalterada por muchos siglos. Tales estructuras pertenecen siempre a uno de estos dos tipos: los puentes de barcas o de caballetes y vigas de madera.

Hoy sabemos que Julio César había utilizado este tipo de puentes de madera para cruzar el Rin durante sus campañas militares en Germania. En el siglo XVI, cuando Palladio interpreta el libro *Comentarios* de Julio César, aporta un dibujo de lo que se supone fue el puente sobre el Rin que éste utilizara.

12. Eduardo Torroja en su libro *Razón y ser de los tipos estructurales*, dedica un capítulo al arco, donde a parte de una magnífica descripción del mismo, lo compara con la columna, indicando que es arquitectura, mientras que el arco es ingeniería (Torroja, 1960, p. 101).

Puentes militares





Puentes de madera

Otro dato histórico de lo que fueron los puentes militares lo encontramos en el pueblo persa. Los persas, un pueblo guerrero, para conquistar Babilonia atacaron por el sitio más vulnerable, el río Eufrates, que corría diagonalmente a todo lo largo del territorio. Para ello, y dado que Babilonia estaba rodeada de murallas, tubieron que desviar el curso del río y entrar por él. Esto indica que la construcción de estructuras relacionadas con el agua (presas y puentes) era familiar a los persas.

Si bien es cierto que la madera, como material natural, posibilitó los primeros puentes y también los puentes militares, más tarde, la historia presenta una gran laguna informativa sobre los mismos. Ello no significa que no se construyeran puentes de madera, más bien que, debido a incendios y otros accidentes, se destruyeron, no quedando testimonio de su existencia.

Pero antes de entrar en la indudable importancia de los puentes de madera o puentes cubiertos, quizá haya que hablar brevemente de las características y propiedades de este material en su utilización para estructuras.

Características de la madera

La madera está formada por fibras longitudinales soldadas entre sí y es de escasa durabilidad, ya que las alternancias de ambiente húmedo y seco le afectan gravemente por la intervención de bacterias, líquenes e insectos.

En cuanto a resistencia, es el primer material capaz de resistir por igual, a tracción y a compresión, según la dirección de sus fibras. En el sentido normal de las fibras, las resistencias son menores que en el sentido longitudinal.

Por otra parte, es un material que ofrece una gran deformabilidad tensional; con deformaciones, no sólo elásticas o proporcionales a las cargas, sino que crecen más de prisa que estas, en especial al aproximarse a las de rotura. También acusa deformaciones irreversibles bajo la acción de cargas prolongadas.

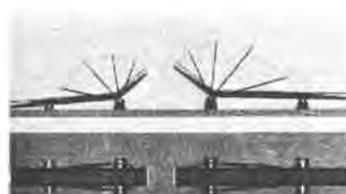
Sometida a compresión, la rotura se puede producir por deformación y pandeo transversal bajo la acción de cargas duraderas. Sin embargo, la rotura por tracción, aunque puede ser brusca, no suele serlo tanto como en materiales pétreos.

Otra cuestión importante en las estructuras de madera, es la referente a los enlaces. De la corrección del enlace depende que pueda aprovecharse la resistencia a tracción del material.

Actualmente, la madera es uno de los materiales más considerados en el ámbito de la construcción. Utilizada a base de laminados, sus ventajas estructurales son claras:

- Excelente comportamiento ante la compresión y la tracción, que la hace comparable al acero y superando al hormigón.
- Los costos de la cimentación son muy bajos debido al reducido peso de los laminados.
- Buen comportamiento ante el fuego.
- El coste de mantenimiento es muy bajo.
- Se obtienen beneficios ambientales en su producción.

Quizás son estas las ventajas que han llevado al grupo SOM a presentar, para el concurso de la pasarela Canary Wharf en el área Dockland de Londres, un proyecto basado en la madera laminada y en los mástiles de acero que rotan para liberar la parte central del tablero de la pasarela.



La celosía como principio estructural, se inicia en el Renacimiento. En el siglo XVI, los conocimientos de geometría proporcionaban el principio básico de que el triángulo era la única figura indeformable sin alterar las longitudes de sus lados. Por ello, las celosías se empleaban como cimbras y andamiajes para la construcción de arcos.

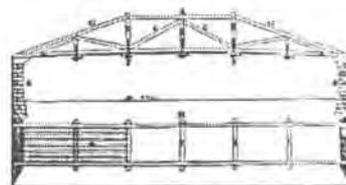
Tres hombres del Renacimiento son reconocidos como los líderes del diseño de celosías: Andrea Palladio, Philibert de L'Orme y Faustus Verantius. Aunque los testimonios más fehacientes los obtenemos de Palladio (1508-1580), un clasicista que proyectaba con los principios griegos y romanos con tal éxito que dio nombre a toda la escuela del clasicismo renacentista, conocida con el nombre de «palladiana».

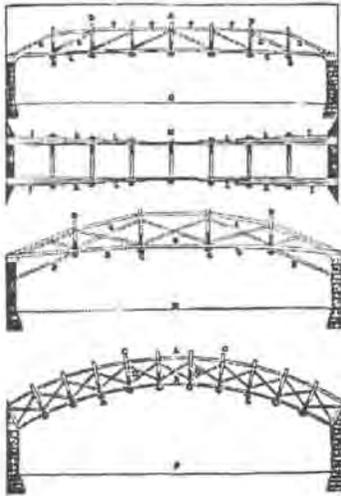
En 1570, Palladio publicó su tratado **Cuatro libros de arquitectura**¹³. En el tercero de estos libros, en el cual se trata de los Caminos, de los Puentes, de las Plazas, de las Basílicas y de los Xustós, Palladio presenta cuatro tipos diferentes de celosía para la construcción de puentes.

El primero de los diseños es ya una auténtica celosía, combinación de la celosía simple y la trapezoidal y recibe el nombre de Cismone por el río que salva y con el que alcanza un récord de luz de 30 metros. El segundo diseño, una celosía con

Vigas de celosía

13. Documentación completa sobre los diseños de puentes de Andrea Palladio se puede encontrar en el libro de Giangiorgio Zorzi: *Le chiese e i ponti di Andrea Palladio*. En el capítulo IX del tercero de *Los cuatro libros de arquitectura*, habla de otro puente de madera, situado en las filadas de los Alpes, el puente de Bassano. (Palladio, 1988, pp. 289-291).





ocho recuadros, más ancha en las orillas que en el centro. El tercero de los diseños, inspirado en el de Cismone pero perfeccionado al curvar el elemento superior de la celosía y añadir montantes secundarios. Y por último, Palladio inventó el arco en celosía.

Pero sin duda, Palladio estaba demasiado avanzado para su época. Sus diseños permanecieron olvidados durante dos siglos aproximadamente, para ser recuperados por los estadounidenses, quienes desarrollaron al máximo el principio constructivo de la celosía, primero en madera y más tarde en hierro. Hasta tal punto llegaron a dominar la celosía que, durante una época los puentes así construidos se les llamaba puentes americanos.

Los primeros puentes estadounidenses de madera de los que tenemos constancia, son puentes rústicos, de una indudable belleza plástica. Construcciones que pretendían abrir camino en la expansión de los colonizadores hacia el occidente.

En Estados Unidos la madera conservó su importancia tradicional en el ámbito de la construcción debido a factores económicos. Allí los puentes cubiertos en celosía de madera, alcanzaron el máximo desarrollo. En zonas donde la madera era un material abundante, y dado que las técnicas industriales estaban menos avanzadas que en la Europa occidental, la construcción en madera era la opción lógica.



Los constructores americanos desarrollaron de tal forma el sistema de vigas de celosía, que facilitaron la base para la posterior evolución del entramado de hierro. En una primera etapa, son puentes cubiertos que combinan el arco con la celosía. Y es que los principios del arco eran sobradamente conocidos, sin embargo, se conocía muy poco sobre la carga que correspondía a cada elemento de la celosía. Por ello, entre 1750-1830 la celosía se apoya en la forma constructiva del arco.

Mencionaré las vigas de celosía más significativas, sabiendo que de todas ellas surgieron variantes que, en algún momento, realizaron los constructores.

La **viga Burr** fue la más conocida de las que combinan el arco y la celosía, pero en lugar de reforzar el arco con la celosía como era habitual, reforzó la celosía con el arco. El nombre le viene de Theodore Burr, de Nueva Inglaterra, que fue uno de los pioneros en este tipo de construcción.

El sistema Burr lo utilizaron carpinteros, mecánicos, arquitectos y constructores de los Estados Unidos. Combinaban la viga con el arco cuando se trataba de grandes vanos y utilizaban sólo la cercha para salvar luces más pequeñas.

La viga **Town** fue quizá la más popular en Nueva Inglaterra. La patentó Ithiel Town, un arquitecto de Connecticut, en 1820. Era una cercha con doble alma en celosía, libre de la acción del arco y por consiguiente del empuje horizontal.

Diez años después fue patentada la siguiente celosía famosa por el teniente coronel Stephen H. Long. La viga **Long** es una celosía con barras cruzadas, puntales inclinados en los extremos y una cercha de pendolón en la parte central del cordón superior. Fue la última celosía íntegramente de madera y sus diversos miembros fueron diseñados para una perfecta distribución de tensiones: la cuerda superior y los postes se hallaban en compresión, mientras que la cuerda inferior y las diagonales actuaban en tensión.

Un ejemplo de ella se aprecia en el puente **Blenheim**, de 1855, situado en el estado de Nueva York, que, además de ser un raro ejemplo de los que tienen tres líneas de vigas de celosía, es el segundo puente cubierto más largo de los de un solo ojo en todo el mundo, con 63 metros de cruce¹⁴.



14. Delony (1993), p.29

Pocos años después se patentaron las vigas **Howe** y **Pratt**. Ambas se emplearon de hierro fundamentalmente y se popularizaron con la llegada del ferrocarril, cuando éste exigía más y mayores luces. Por lo tanto serán mencionadas de nuevo cuando tratemos los puentes de hierro.

Todavía en 1850 se construyen algunos puentes en arco de celosía. Un ejemplo es el puente **Haupt**, originalmente situado en Vandevander, Pennsylvania y trasladado a Thompsontown en 1889, donde permaneció en servicio como puente de vehículos hasta 1984, cuando fue trasladado al Museo del Ferrocarril en Altoona. Este puente es una combinación de celosía Pratt y un arco atirantado fabricado en hierro.



15. Delony (1993), p.28

El puente de madera es la expresión de una época en los Estados Unidos; marca un avance importante en la comunicación y el comercio. Tanto los entes públicos como la iniciativa privada promovieron la construcción de estos puentes, lo que a su vez permitió la oferta de empleo. Trabajadores dirigidos por el mejor carpintero, mecánico o constructor de la localidad que había comprado los derechos de autor de la patente, eran los que realizaban los puentes, ya que por lo general, las celosías de madera requerían poco trabajo de armado.

Reflexiones al capítulo

- De este primer capítulo se desprende una idea general: los inicios de la construcción de puentes estuvieron presididos por las ideas, reflejos, intuiciones, de nuestros antepasados derivados de su apropiación/relación con el entorno.

Como en todas las ramas debió ser el ingenio del hombre, su espíritu de conquista, su necesidad de desplazarse, lo que motivó la realización de las primeras construcciones de puentes que, suponemos fueron similares a las utilizadas todavía en los lugares menos avanzados del planeta y en zonas de difícil acceso.

La economía de medios es precisamente la que aporta una determinada belleza plástica a estas construcciones. A pesar de la baja tecnología de que disponían y disponen estos pueblos alejados de la civilización, sus puentes pueden ser muy sólidos.

- Las manifestaciones escultóricas que se han mencionado, conectan con esta primera fase de la historia de los puentes en cuanto a su relación con el lugar. La elección de un sitio concreto es extremadamente cuidada por Bruní y Babarít, allí inician una comunicación con la naturaleza que culmina en la realización del puente, avanzando con un deseo de mejorar la comunicación.

Para Herman de Vries y para Richard Nonas la elección del lugar no es intencionada sino fruto del azar. De Vries sin embargo, rechaza toda intervención canalizada por la imaginación. Son la casualidad y el tiempo los factores que hacen posible su trabajo.

También es un suceso casual el árbol caído en el que Nonas basa su intervención. Pero en este caso hay una participación diferente por parte del artista, que se reconoce a sí mismo en el acto.

Con todo ello el paralelismo entre el puente, en su concepción de apropiación-transformación-relación con la naturaleza y la escultura *de* y *en* la Naturaleza se comienza a perfilar.

En los siguientes capítulos esta relación irá delimitándose y adquiriendo nuevos matices.

Capítulo II

El desarrollo del arco

El arco, una de las tres grandes tipologías de puentes, se desarrolla plenamente en el periodo romano con el arco de medio punto. La piedra es un material muy adecuado en la construcción de arcos debido precisamente al trabajo de compresión que ejercen los mismos y, el periodo romano, nos ofrece los puentes más importantes y majestuosos partiendo para ello del arco de medio punto.

Con el arco se inicia la construcción de puentes de fábrica. Si bien es cierto que el arco supone uno de los avances de la civilización, también lo es que, el procedimiento constructivo del mismo supone importantes inconvenientes. El más significativo es que el arco no puede construirse directamente, como ocurre con las falsas bóvedas, sino sobre la cimbra, que es un andamiaje provisional. Cuando se cierra el arco con la última piedra, la clave, se retira la cimbra.

Pero el arco evoluciona en el curso de la historia adecuándose a la época en cuanto a forma y material. Y así, los pueblos islámicos juegan cerrándolo en los apoyos y crean el arco de herradura.

En la Edad Media, aunque sigue utilizándose el arco de medio punto, nace una variante, el arco ojival, que se origina cuando el arco de medio punto se eleva en la clave. En esta etapa histórica, dos aspectos dominantes marcan y condicionan la vida de las gentes: lo militar y lo religioso. Y en consecuencia, también los puentes medievales son claros indicativos del modo de vida social. Cabalgan por tanto entre murallas, torres defensivas, calzadas estrechas y capillas, sepulcros, cruces, etc., evidencias de que las inquietudes sociales se repartían entre guerras feudales y eventos religiosos.

A partir del siglo XVIII, cuando el hierro comienza a imponerse como material constructivo, los primeros puentes que se realizan también utilizan la tipología del arco para su construcción. Más adelante, evolucionaría hacia la tipología de viga, en la que alcanzó su máxima expresión con las celosías.

Con el hormigón, el arco rebaja su flecha hasta lo inimaginable. Primero tímidamente pero progresivamente los constructores se arriesgan con arcos más estilizados que salvan vanos mayores. En el momento que este rebajamiento de los

arcos no puede continuar, debido al peligro de derrumbamientos, el hormigón pretensado solucionará la problemática posibilitando las mayores luces, aunque para ello va a recurrir a otra tipología, la viga.

Otros arcos son los que propone el escultor Bernar Venet cuando en 1967 redacta un resumen de sus concepciones artísticas: «*L'art n'existe qu'au niveau de la création*»¹.

A partir de entonces, Venet elabora un plan de acción de cuatro años, que concluye con la decisión de parar toda producción artística, afirmando que un artista sólo es creativo una sola vez en su carrera. En aquellos momentos realizaba intervenciones de carácter efímero, por lo que conecta con la fotografía, utilizándola sólo como confirmación de un hecho y nunca como obra en sí misma.

Poco después, utiliza la geometría y las matemáticas como códigos: arcos de circunferencia, líneas rectas, son motivos recurrentes en un trabajo que se aproxima al diseño industrial. Para él, estilo y forma no tienen ninguna importancia.

Pero los grandes cambios en la trayectoria artística de Venet se producen a finales de los años setenta, cuando su línea se aleja del motivo geométrico, volviéndose más libre, utilizando un trazo aleatorio que pasa por la torsión y la combadura. Su trabajo se gira entonces hacia el exterior, con obras de grandes dimensiones que configura alternando arcos, ángulos y líneas no terminadas, semejantes a garabatos en tres dimensiones.



La propuesta de la figura - **Arc Majeur de 185,4°**, de 1986, es un proyecto para la autopista A6, en la frontera entre Nemours y Auxerre, en Yonne, Francia. El arco de acero, inclinado con relación a la línea del horizonte, permite que la autopista pase entre sus dos brazos, uno de 53 metros de alto y el otro de 15 metros.

Puentes romanos

El pueblo romano manifiesta una preocupación de pervivencia construyendo puentes que duran. Hasta entonces, se puede decir que no había existido una colectividad de constructores que cuidara las comunicaciones terrestres como lo hicieron los romanos; por ello se dice que con los romanos nacieron los primeros ingenieros de nuestra civilización.

En realidad, el pueblo romano adopta de Grecia el sentido de lo grandioso y de lo estético, mientras que de Etruria hereda el sentido práctico y el arte de la construcción. El pueblo etrusco concentra gran parte de sus recursos compositivos en las puertas urbanas, que constituían lo más caracterizado de la expre-

¹ Catálogo DIFFERENTS NATURES. Visions de l'art contemporain. Ministère de la Culture et de la Francophonie. exposition à La Défense 25 juin-26 septembre 1993, p.238

sión de la ciudad hacia el exterior, tanto en lo material como en lo simbólico.

Estas puertas poseían arcos, una estructura revolucionaria para su momento. Recordemos que *«los ejemplares más antiguos se hallan en una colonia romana, Falerii Novi, establecida con posterioridad al año 241 a. C., tal vez hacia el 220, y cuyos tracistas fueron al parecer arquitectos etruscos»*². Estas puertas urbanas poseen impostas y archivoltas molduradas, con cabezas esculpidas, que representan animales o personas para destacar puntos significativos de la composición, sentando así los precedentes más directos de los arcos de triunfo como elementos propios de ritos guerreros y funerarios relacionados con el tránsito.

2. Jiménez (1987), p.9.

Si la civilización griega fue el triunfo de lo abstracto, lo ideal, lo teórico, dando origen al pensador que, partiendo de un teorema, demostraba su aplicación; el romano razonaba precisamente al contrario. Partía de la aplicación práctica, y a través de la experiencia deducía de ella los planteamientos teóricos. Este procedimiento coincide con la lógica del ingeniero.

Este pueblo de ingenieros se identificó totalmente con el arco de medio punto. Dado que no existen referencias históricas de las razones que le impulsaron a repetirlo centenares de veces sin probar otras formas, cabe sospechar que los romanos valoraban la ventaja del radio constante, de la igualdad de forma de todas las dovelas y del ahorro de esfuerzo que esto suponía.

Cabe pensar también, y dado que todos los puentes romanos son obras de una gran masa, que el ingeniero romano no tenía interés en construir obras más ligeras. Recordemos también que en este periodo histórico no existía el concepto de obrero libre y remunerado, condiciones en las que el trabajo pierde su sentido como problema económico.

En el desarrollo de la arquitectura romana, según lo define Jiménez (1987), jugó un papel muy importante la posibilidad de la fabricación en serie, por medio de mano de obra barata y gracias, precisamente, a programas arquitectónicos y medios de transporte que permitían la producción de elementos repetidos y versátiles en grandes cantidades.

Los romanos comenzaron construyendo puentes en madera pero pronto pasaron a la piedra, local o no, que se empleó bajo formatos muy distintos: las más pequeñas fueron para mampostería y los formatos mayores oscilaron entre los aparejos ciclópeos y la sillería. Para evitar el deslizamiento de las piezas, que era uno de los grandes peligros de la sillería, los

constructores romanos recurrieron al empleo del engatillado o, a la inclusión de grapas.

El constructor podía conseguir varias clases de piedra: la toba caliza, una roca amarillenta, el travertino, los conglomerados volcánicos de gradación blanda hasta muy dura, y más tarde el marmol y piedras similares que importaban de Egipto.

También utilizaron el ladrillo, llegando a conseguir gran maestría en su fabricación. Para ello empleaban una mezcla de arcilla blanca, una tierra roja y arena sólida dura. Cortaban los ladrillos con formas rectangulares de uno o dos pies de largo y tres o cuatro de espesor. La fabricación de ladrillos era una actividad adjudicada a los soldados en tiempo de paz.

Pero el mayor logro romano en el campo de los materiales, fue el descubrimiento de un cemento natural que aparece por primera vez en la historia de la construcción y se considera el primer material dúctil. Era una arcilla volcánica llamada «puzolana», que los romanos mezclaban con cal quemada para formar hormigón. Este hormigón se fabricaba de manera similar a como se hace hoy, mezclando dos partes, en peso, de puzolana con una parte de mortero de cal ordinario. Su durabilidad es patente; aun existe un ejemplo de pasarela de hormigón construida el siglo VI a.c., en Amalfi.

Este descubrimiento del hormigón, a pesar de ser un mortero de cemento perfecto, no fue muy utilizado por los romanos, que preferían colocar los bloques de piedra con gran precisión y unirlos con grapas de hierro.

Los romanos, como pueblo ambicioso que era y con visión de futuro, a medida que el poder y la fuerza del Imperio crecían, necesitaba métodos duraderos para preservar su grandeza. Hasta entonces ningún pueblo había llegado a ser tan consciente de su lugar en la Historia, como tampoco había alcanzado la objetividad de pensamiento como para dar tanta importancia al papel del hombre en la vida. En muchas ocasiones el ingeniero romano supera el puro problema funcional, incorporando a sus puentes un arco de triunfo. Es un gesto que indica el deseo de perpetuidad del pueblo romano.

Una peculiaridad de los puentes en la época romana es la decoración que poseen los puentes urbanos, una condición que en algunos periodos históricos ha sido conflictiva. Y es que el constructor de aquella época creía que, en la ciudad, la estructura debía ser realizada con una decoración apropiada al entorno urbano monumental. Algo parecido sucedía el siglo pasado, junto a la austeridad propia del neoclasicismo, se imponía la

necesidad de «adornar» las estructuras cuando éstas se ubicaban en el espacio urbano.

Un ejemplo claro lo tenemos en el puente de María Cristina sobre el río Urumea en San Sebastián. En las bases del concurso se advertía *«que si se adoptara como material de construcción el cemento armado, habrá de quedar completamente oculto en los paramentos principales y recubierto con azulejos, mármoles u otros elementos decorativos»*³.

3. Catálogo de la Exposición celebrada en el Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, junio de 1982, pp. 7-8

Los arquitectos romanos monopolizaron el diseño y la construcción de edificios, la planificación de ciudades, el cálculo y la construcción de obras de abastecimiento de aguas, de caminos, de pantanos, de murallas, de puertos y también, el cálculo de relojes de sol y todo lo que se relacionase con la mecánica antigua, como fueron las máquinas de guerra.

La profesión de arquitecto fue, entre las de carácter artístico, la más valorada. Al parecer, *«su formación no se basó en los principios académicos, es decir, no fue una formación teórica, sino que accedieron a la profesión tras un largo aprendizaje de carácter artesanal, en el taller de un profesional de reconocida competencia»*⁴.

4. Jiménez (1978), p. 53

En la actividad constructora de puentes de los romanos, subyace la idea de «unión». Se proponían unir todos los territorios de su imperio, acercando las provincias a la metrópoli mediante buenas carreteras y puentes.

De entre los numerosos puentes que los romanos construyeron, me parece interesante citar el puente de Augusto en Rímini, Italia. Este puente es mencionado en la historia de los puentes como el más hermoso de todos los puentes romanos. Andrea Palladio, el arquitecto del siglo XVI, lo empleó como modelo para su «Puente Paladiano».

Fue construido por orden del Emperador Augusto entre el año 27 a.c. y el 14 d.c. Se compone de cinco arcos de medio punto, los tres centrales con vanos de 8'40 metros de luz y los dos extremos de 6'90 metros. Pero lo menos usual del puente es su decoración. Sobre cada pila hay un nicho flanqueado por dos columnas que soportan un frontón clásico. La cornisa está soportada por una fila de canecillos. Toda la estructura está chapada de mármol y primitivamente unos pórticos de mármol realzaban la calzada. Este puente es una clara excepción de la regla, usualmente respetada por los romanos, de no adornar los puentes construidos en las provincias. Pero eso no lo es todo, desde el punto de vista estructural, «el interés del puente de Rímini radica en que es el primer ejemplo conocido de un puente oblicuo -esto es, con las pilas formando un ángulo no



6. Arenas (1982), p. 46



recto con el eje del puente-. La oblicuidad, sin embargo, es pequeña: sólo trece grados. Es probable que el constructor recurriera a ello por la necesidad de situar convenientemente sus cimentaciones en el lecho del río, donde las corrientes y el suelo hicieran más fácil la construcción»⁵.

Y pasando a España, la provincia quizás más beneficiada por la ocupación romana en cuanto a construcción de puentes se refiere, mencionaremos el puente más antiguo de los que todavía quedan, es el **Puente del Diablo** en Martorell, en la provincia de Barcelona. Parece datar desde el año 219 a.c. y probablemente queda muy poco de la estructura original romana.

«Un estudio de este puente hecho por Fernández Casado, concluye con la hipótesis de que el arco central, fechado en 1283 como 'pont gotic', sustituyó a dos menores de medio punto, cuya pila central, cimentada en arena, no pudo soportar la socavación provocada por la corriente»⁶. Pero diferentes intervenciones han modificado la apariencia primera de este puente. Otra reparación se hizo en la época de Carlos III, en 1766, y en la guerra civil fue destruido. Finalmente, el servicio de Reconstrucción de Monumentos de la Diputación de Barcelona llevó a cabo su reconstrucción en 1965.

El puente está construido en piedra rojiza con un arco central de cerca de 37 metros de luz. A la derecha del puente hay un arco triunfal que conmemora las hazañas de Amílcar, uno de los grandes cartagineses enemigos de Roma.

Y también en España, hay que mencionar dos obras excepcionales, el **puente de Alcántara** y el **acueducto de Segovia**. El primero está situado sobre el río Tajo en la provincia de Cáceres y su propio topónimo significa en árabe «El puente», lo que da idea de la impresión que esta obra causó a otro de los pueblos que habitaron en la península Ibérica.

Está compuesto por 6 arcos de unos 30 metros de luz que se apoyan sobre pilas de 30 metros de altura. Su faceta monumental ha sido muy cuidada, ello se refleja en la regularidad de las dovelas de sus arcos, en la perfecta sillería de sus tímpanos, en el juego de volúmenes de sus pilas y en las impostas que, rematando los parámetros de tímpanos y pilas, coronan la totalidad de la obra siguiendo la planta quebrada que aquellos componen.



La topografía del valle impidió aquí a los romanos llevar a la práctica su recomendación estética del número impar de arcos que permite enfatizar el vano central. El foco de atención

que conmemora las hazañas de Amílcar, uno de los grandes cartagineses enemigos de Roma.

Y también en España, hay que mencionar dos obras excepcionales, el **punto de Alcántara** y el **acueducto de Segovia**. El primero está situado sobre el río Tajo en la provincia de Cáceres y su propio topónimo significa en árabe «El puente», lo que da idea de la impresión que esta obra causó a otro de los pueblos que habitaron en la península Ibérica.

Esta compuesto por 6 arcos de unos 30 metros de altura. Su faceta monumental ha sido muy cuidada, ello se refleja en la regularidad de las dovelas de sus arcos, en la perfecta sillería de sus tímpanos, en el juego de volúmenes de sus pilas y en las impostas que, rematando los parámetros de tímpanos y pilas, coronan la totalidad de la obra siguiendo la planta quebrada que aquellos componen.

Visualizando una fotografía aérea del puente de Alcántara, se establece fácilmente un vínculo con la escultura de **Joel Shapiro**.

La magnitud del puente, desde la panorámica se reduce a lo insignificante de la magnitud del territorio. El escultor Hace una inversión de la escala y el pequeño puente, fabricado en fundición de bronce se percibe en la amplitud de la sala de exposiciones, sólido y pesado como un puente romano.

El impacto que produce el lugar en el que está situada la pieza se traduce en una sensación de peso, por la que parece que el puente de **Shapiro** empuje el suelo hacia abajo mientras que, simultáneamente, hace muy insegura la posición en el espacio del propio suelo. Shapiro, «al llamar la atención hacia el reino que hay a los pies de espectador transporta su escultura a la órbita de lo real, con todos sus riesgos circunstanciales y perceptivos⁷»

Esta escultura, obedece en parte a que Shapiro vivió cerca del puente de Brooklyn. Con ella explica su preocupación por reducir las formas naturales a la condición de arquetipo. Gilbert-Rolfe (1973) lo interpreta como un intento de articular la propia experiencia a través de una reducción arquetípica que es esencialmente trascendental por su ambición. Que el puente sea de metal (en un primer momento lo fue de madera), tiene una doble motivación: es, por un lado, una virtud de independencia como arquetipo, pero por otro es una virtud del deseo del artista de comunicar ese arquetipo a través de una terminología artística que enfatiza lo morfológico.

A partir de la idea que aporta la imagen del puente de

7. Princetnal (1991), p. 11



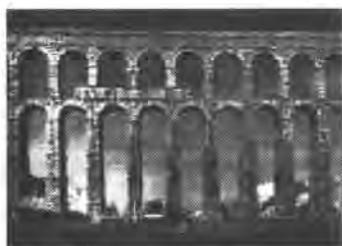
Shapiro, en la amplitud de un espacio que se desborda por la falta de correspondencia en la escala, y haciendo una extrapolación con la imagen del puente de Alcántara, cuando sea visualizado desde una panorámica aérea, podríamos comenzar a intuir la metáfora de la escultura en el territorio.



8. Princethal (1991), p. 15

A la vez que Shapiro se encontraba incluyendo pequeños puentes entre sus estructuras a escala reducida, Siah Armajani realizaba maquetas reducidas de puentes peatonales. Aunque a Shapiro parece que no le han interesado las implicaciones para el diseño cívico y la comunión pública que Armajani perseguía en estas formas, en opinión de Princethal (1991), compartida por la autora, es que la semejanza superficial de sus puentes elementales desde principios de los años setenta, es reflejo de unos impulsos compartidos más profundos. Shapiro comenzó a cambiar una de las condiciones del minimalismo. Abandonó su insistencia en el uso de formas que fueran abstractas por su no-referencia.

«Ambos artistas expresan mediante formas lo que Armajani valoraba al escribir acerca de Martin Heidegger: un concepto enriquecido de la vivienda, tanto imaginativo como literal; una idea del lugar que se invoca al construir»⁸. Aunque también ambos han realizado su obra a escala pública, para Armajani esto significó la construcción de puentes funcionales, mientras que, lo que Princethal considera obra pública de Shapiro, son trabajos basados en la figura humana y realizados a una escala mayor, como la pieza que realiza para el Hood Museum de Dartmouth, con una altura de 6,3 metros, que pone a prueba su precisión compositiva.



La construcción de acueductos fue otra de las principales actividades de los romanos. El de Segovia, con unos 800 metros de longitud y pilas de hasta 30 metros de altura, está formado por una superposición de dos filas de arcos de los que los inferiores vienen a cubrir los 20 primeros metros, quedando los 10 restantes para el nivel superior. El ancho de las pilas inferiores es de unos 2'40 metros, y el conjunto resulta aun más impresionante si se tiene en cuenta que los sillares están colocados sin mortero intermedio.

Alcántara y Segovia son hoy parte del Patrimonio Artístico, en la misma línea que lo son catedrales y palacios de épocas posteriores. Se encontrarían a medio camino entre el arte y la ingeniería.

Conviene recordar cuales eran los métodos constructivos de los romanos para valorar aun más los magníficos puentes que nos dejaron. Construían con los útiles más simples: variantes de la cuña, la palanca, la polea y el plano inclinado. Realiza-

ban sus cimentaciones arrojando simplemente piedras sobre la superficie del agua o empleando ataguías. En este caso se usaba el hincado de pilas, ya descubierto por los hombres primitivos, pero perfeccionado por los romanos.

Desarrollaron dos métodos de hincado: el pilote proyectado hacia arriba, o sea, con las cabezas sobresaliendo del agua y el pilote de apoyo, en cuyo caso los pilotes se hincaban bajo el nivel del agua y se recogían sus cabezas en un entramado o plataforma de madera, o bien se reunían por medio de hormigón que a su vez daba apoyo a la primera hilada de sillería de las pilas.

Los arcos se construían por anillos concéntricos adyacentes, a veces unidos entre sí y a veces no. Se progresaba desde una orilla hasta la otra o desde ambas hacia el centro. En cualquier caso, durante la construcción, cada una de las pilas pasaba por una situación de desequilibrio en la que recibía el empuje de un arco sin estar compensada por el otro lado. Ello exigía pilas de espesores muy importantes (de $1/2$ a $1/3$ de la luz libre del arco) pero presentaba la ventaja de no tener que cimbrar la totalidad de la obra (lo que representaba un ahorro muy importante de madera) y la no menos crucial de que, en caso de destrucción parcial del puente, el resto permanecía estable.

La visible solidez de los puentes romanos hace parecer imposible la posibilidad de que sean demolidos, pero las avenidas de los ríos y la socavación que pueden producir en el terreno de cimentación de las pilas constituyen el mayor peligro para la durabilidad de los puentes antiguos. Prueba evidente de ello son los numerosos puentes que, contruidos por los romanos, no han llegado hasta nosotros al ser arrastrados por el agua.

Hay que decir que un puente romano reduce el desagüe libre del río a su mitad, o como mínimo a sus dos terceras partes. Esto supone importantes aumentos en la velocidad media del agua, que en las inmediaciones de las pilas alcanza valores muy altos, con remolinos locales que, si el terreno en que descansan aquellos es socavable, descalzan su cimiento y provocan el vuelco de la pila y la ruina del puente.

Por todo ello, no es de extrañar que los romanos hicieran descansar las pilas de sus puentes en roca viva, siempre que les fue posible. En España tenemos un ejemplo en el puente de tres arcos de Cangas de Onís, en Asturias. En él, la luz del vano central viene marcada por el emplazamiento de sendos macizos rocosos en los que se han ubicado las pilas.





9. Catálogo, Andy Goldsworthy (1994), p. 94.



10. Catálogo, Andy Goldsworthy, 1994, p. 95.

Iglesia y monarquía protagonizan la construcción de puentes en el medioevo

Como contraste a esta marcada solidez y monumentalidad que reflejan los puentes romanos, recordemos algunos de los trabajos con piedras del escultor Andy **Goldsworthy**, quien encuentra cualidades monumentales en las rocas con las que trabaja. Ya en su época de estudiante comenzó a interesarse por el equilibrio mágico de las piedras suspendidas, que pueden pasar siglos en ese equilibrio.

Más tarde construiría sus propias obras utilizando como marco un paisaje alejado de montañas, en momentos en los que el viento estaba en calma, buscando y explorando lo que ya había encontrado en la naturaleza, un equilibrio entre «*instant and timelessness*»⁹. Goldsworthy busca en su trabajo el desequilibrio y la tensión de un arco desigual. Estos arcos están contruidos sobre un montón de piedras que hacen de cimbra y que son retiradas una vez se han encontrado las dos columnas que inician el arco.

Para el artista, en esta acción hay tanto de movimiento como de arquitectura. «*If an arch does not collapse of its own accord, I sometimes weaken it so that it falls. I can learn as much by its destruction as from its making*»¹⁰. Con frecuencia se ha sorprendido por lo elástico que puede ser un arco. Incluso esos que movidos por el viento muestran una gran resistencia antes de caer. Para Goldsworthy, el movimiento es su fuerza.

Tras la caída de Roma, los hombres cultos del mundo clásico se refugiaron en monasterios; de esta forma, los monjes de algunas órdenes religiosas de la Iglesia Católica preservaron la sabiduría y el conocimiento clásicos y lo transmitieron a sucesivas generaciones.

Hacia el siglo X se extendió el dominio de la Iglesia y durante varios siglos no tuvo competencia su liderazgo tanto en lo político como en lo social. Así, la construcción de carreteras, puentes y todo tipo de edificios se hizo bajo la tutela de los monjes; ellos se encargaban de transmitir los oficios de albañiles, carpinteros, tejedores, yeseros, etc.

El trabajo libre trajo consigo la dignidad del trabajador, y gradualmente, puesto que el trabajo debía ser remunerado, el tiempo comenzó a tener valor. La nueva situación económica representaba un gran paso en el progreso del hombre, dando origen a un sistema totalmente nuevo que influiría en los métodos constructivos.

Son las órdenes monásticas las primeras en asumir la labor constructora. El primer reconocimiento histórico de la obra realizada por estas órdenes religiosas lo hace Hubert Gautier, el autor del primer libro de puentes, publicado en Francia en el año 1.728¹¹.

Fue necesario un primer periodo de construcción en madera, en que los puentes fabricados eran de vigas, con tablero de madera colocado sobre pilas de piedra o pilotes de madera. Pero la antigua secuencia constructiva se repetía y estos puentes de madera comenzaron a ser reemplazados por puentes de piedra que garantizaban mayor duración.

Durante los siglos XII y XIII los monjes estuvieron ocupados con la construcción de puentes y aunque no produjeron muchas estructuras tan grandes como los puentes de Avignon y de Londres, realizaron muchos otros de menor tamaño.

El puente de Avignon sobre el río Ródano, al sur de Francia, hay que mencionarlo por múltiples razones¹². Su constructor, St. Bénézet, pertenecía a la Hermandad Francesa de Constructores de puentes y fue precisamente como homenaje a su obra por lo que la Iglesia le santificó. Las diferentes versiones históricas no se ponen de acuerdo sobre el número de arcos que lo componían. Hoy se conservan cuatro que tienen una luz de 30 a 33 metros. Los tajamares triangulares, situados a ambos lados de las pilas, representan una innovación ya que los romanos sólo los disponían aguas arriba. También la anchura del puente resulta sorprendente: en la parte más ancha mide 4,80 metros y donde está construida la capilla, se estrecha hasta dos metros. Este sistema posibilitaba una mejor defensa de la estructura ante los ataques enemigos.

También la curva del arco creado por San Bénézet es una curva sin precedentes, ya que tiene tres centros y parece obvio que, no pudiendo calcularla, se limitara a experimentar hasta conseguir un diseño que, siendo estable desde el punto de vista resistente, también fuera agradable visualmente.

La Edad Media presenta en España un panorama conflictivo, en el que los reinos cristianos al norte, débiles, divididos y enfrentados contra el poder árabe, forman una sociedad fragmentada, política y económicamente débil, comprometida en una guerra, la Reconquista, que marcará a toda la sociedad medieval y tendrá su reflejo también en la configuración e imagen del puente de esta época.

11. Una referencia a la obra de Gautier se recoge en Steinman y Watson (1979, p. 75). «De acuerdo con tal obra, al final del siglo XII y principio del XIII, viajar era muy difícil y los gobiernos eran tan débiles, que un grupo de hombres piadosos se unieron para formar una Hermandad de Constructores de puentes, con el fin de ayudar a los viajeros, construir puentes, o disponer barcas y hospedarlos en albergues en las orillas de los ríos».



12. Una de las leyendas que se conserva sobre este puente dice lo siguiente:

«Un día la buena gente de la ciudad de Avignon estaba durmiendo en la Iglesia cuando, repentinamente, un joven pastor interrumpió el sermón del Obispo. Había entrado sin hacerse notar en la iglesia, y corría ahora excitadamente hacia el altar. Sorprendido, el Obispo se calló y miró fijamente al joven, quien agitando sus brazos hacia los feligreses trataba de decir algo. Quería comunicar, dijo, un mensaje divino: ¡Dios le había enviado para construir un puente sobre el Ródano! La gente permaneció tranquila; el Obispo, abiertamente incrédulo; sin embargo, el joven insistió una y otra vez. Al fin, para terminar de una vez con aquel enojoso asunto, el Obispo declaró que creería la historia si el pastor podía mover un gran pedrusco que había allí cerca, hasta el lugar del río donde Dios quería que se construyera el puente. El joven consintió ansiosamente en realizar esta sobrehumana tarea y salió como un rayo hacia la piedra, seguido por el Obispo con su intriguado rebaño. El joven se arrodilló primero ante la piedra para rezar unos minutos; luego, se levantó, rodeó la piedra con sus brazos y la levantó tan fácilmente como si fuera un guijarro. La llevó sin esfuerzo a la orilla del río y la colocó donde ahora está el estribo del puente: «¡Es un milagro, es un milagro de Dios!», gritó el Obispo arrodillándose ante el humilde pastor. Los ciudadanos, exaltados, iniciaron inmediatamente una suscripción para recoger fondos para el puente» (Steinman, 1979, p. 76-77).

La privatización del puente. Puentes medievales en España





Pese a la imagen dominante de enfrentamientos entre las culturas árabe y cristiana, la Edad Media también supuso un intercambio en todos los órdenes. Ambas civilizaciones restauraron un importante patrimonio de puentes romanos. El sistema de construcción de puentes no varía, pero donde sí se aprecia un cambio es en la forma que adapta el arco: ojival y de herradura.



Debido a los conflictos de la sociedad medieval, el puente se convierte en un elemento doble, por una parte debe unir, comunicar, y por otro lado debe ser un obstáculo que afronte el peligro cuando sea necesario. Así pues, cambia su función y al mismo tiempo cambia su fisonomía: calzadas, tajamares, plantas, perfiles, adquieren ahora una nueva misión, y por tanto, una nueva forma. En consecuencia surgen los castillos en el agua, las torres defensivas, los puentes fortaleza, los aparcaderos. Innovaciones todas ellas que dan respuesta a las exigencias sociales de la época.



Un aspecto interesante que caracteriza a los puentes del Medioevo es su carácter privado, por lo que durante toda esta época el concepto de «obra pública» deja de tener significado. La falta de unidad de los poderes locales, da como resultado una carencia total de la organización administrativa, condición necesaria para la construcción de puentes. Por ello, los puentes se convierten en bienes particulares, propiedad del rey, la Iglesia, órdenes militares, nobles, etc. y de su uso se obtiene un beneficio económico.

El dinero necesario para sufragar los gastos de construcción de un puente se obtenía, bien de una manera voluntaria por parte de una persona o comunidad, o bien de manera forzosa, y en este caso las aportaciones se llamaban «pontazgos». Estos podían empezar a percibirse incluso antes de comenzar la obra, como único sistema de financiación del futuro puente.

Una vez terminado el puente seguía cobrándose el pontazgo como impuesto de circulación, que era diferente según pasara un jinete o caminante, animales con carga o tirando de carros, ganado mayor o menor.



En algunas ocasiones el rey concedía privilegios, liberando del pago a instituciones que, generalmente estaban asociadas a causas pías, como podían ser hospitales, albergues, monasterios, etc., que estaban situados en vías de peregrinación.

Ciencia y arte se reúnen. Puentes renacentistas

A finales del siglo XII se revitaliza la economía, surgen nuevas ciudades y la burguesía adquiere sus perfiles característicos. Igualmente el interés por la individualidad, la investigación de las leyes naturales, el sentido de fidelidad a la naturaleza en el arte y en la literatura, que culminan en el Renacimiento, habían comenzado ya en el Gótico.

No obstante, es en el Quattrocento cuando definitivamente se produce la ruptura total con la mentalidad medieval, originándose una apertura de la capacidad humana para estudiar y conocer racionalmente su propio mundo. Se puede decir que el Renacimiento produce la aparición y desarrollo de la ciencia experimental. De la creencia en la física de Aristóteles se pasa, gracias a Galileo, al conocimiento de las leyes del movimiento, del péndulo, y al concepto de fuerza como agente capaz de producir aceleración de masas, y, como idea que subyace a todo el movimiento, se impone la autonomía del hombre y la importancia que concede a su propia vida.

Leonardo da Vinci, uno de los grandes maestros de esta época, deja constancia, entre sus innumerables inventos, del diseño de un puente que, como todas sus propuestas resulta de una gran innovación. El manuscrito L, folio 66, contiene el boceto que describe un puente entre Pera y Constantinopla, con anotaciones de las dimensiones de su estructura. Este puente estaría situado sobre el Cuerno de Oro, en Estambul.

Algunos puntos sobre este puente son aclarados por Ladislao Reti (1990), profesor emérito de la Universidad de California, en un capítulo del libro *The unknown Leonardo*.

Al parecer, la idea nace a partir de 1502, cuando los embajadores del Sultan Bajazet II del imperio Otomano buscaban ingenieros italianos para reemplazar el puente de barcas sobre el Cuerno de Oro, por una estructura permanente. Según Vasari, el encargo pudo estar relacionado con Miguel Angel, pero en 1952, examinando un documento Franz Babinger, reconoció una carta de Leonardo ofreciendo sus servicios al Sultan Bajazet II para la ejecución de cuatro proyectos de ingeniería. Los proyectos resultaron ser: una especie de molino de viento, un mecanismo automático para sacar el agua de los diques secos, la construcción del puente entre Gálata y Estambul o Constantinopla y la construcción de un puente levadizo para llegar a la costa anatoliana. El texto invita a pensar que Leonardo, conociendo las necesidades que el imperio otomano tenía en materia de ingeniería, se adelanta y ofrece sus proyectos.

Otro tanto ocurría «ya en su escrito de solicitud a Ludovico



13. *Klinkowestrom* (1965), p. 93

Sforza, hacia 1481, en el que Leonardo se atribuía conocimientos y habilidades notables, indicando que era el inventor de un puente fácilmente transportable que permitía perseguir a los enemigos más allá de los ríos, que era capaz de fundir cañones gigantescos y que podía vaciar los fosos de las fortalezas sitiadas mediante bombas adecuadas»¹³.

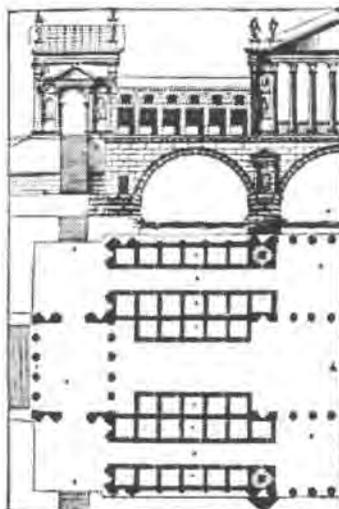
El científico suizo D. F. Stüssi, estudiando el manuscrito de Leonardo, concluyó que el proyecto era técnicamente factible. En el museo de Milán se muestra una maqueta que reproduce el modelo.

Pero las aportaciones de Leonardo van más allá. Su método de unión de vigas para las estructuras, encontró expresión más de trescientos años después en Suiza en los puentes de madera. Uno de sus dibujos que aparece en *Codex Atlanticus*, folio 344 verso-a, demuestra cómo las vigas se pueden ensamblar de manera que las fibras de la madera no se rompan.



De esta forma, su resistencia a tracción aumenta. Un ejemplo de este tipo de ensamblaje de la madera lo encontramos en un puente construido en 1839 en Signan sobre el río Emmer, en el distrito de Berna. Tiene dos arcos de soporte contruidos con todo detalle como en el dibujo de Leonardo.

El Renacimiento no supuso de modo directo progresos importantes en la construcción de puentes, aunque marque el inicio de la ciencia experimental que culminaría siglos después en la resistencia de materiales. Problemas elementales como el de la distribución de las tensiones normales en la sección de empotramiento de un voladizo y la resistencia a tracción de un prisma fueron estudiados por Galileo, quien descubrió que esta última depende sólo de la sección transversal y no de su longitud. Pero, aunque intuye el mecanismo resistente de las tensiones internas del empotramiento de la ménsula, no logra alcanzar la correcta distribución de las mismas.

14. *Palladio* (1998), p.293.

No obstante, la contribución más significativa del Renacimiento, desde el punto de vista constructivo, es sin duda el invento de la celosía como principio estructural, donde las aportaciones de Palladio son importantes. Palladio también se pronuncia en el diseño de puentes de piedra, de los que dice: «son más duraderos, de mayor gasto y de más gloria para los constructores»¹⁴. En el tercero de sus *Cuatro libros de arquitectura* habla de algunos puentes romanos y también de dos puentes de piedra inventados por él. Al primero de estos puentes, Palladio se propone atribuirle una función que va más allá de la utilidad propia del puente como vínculo entre dos puntos y posibilitador de cruce, y es el hecho de ser lugar de reunión para mercaderes, para ello construye las logias, que además le permiten pensar

en el ornamento.

Aunque la pretensión de esta tesis no sea hacer una historia exhaustiva de los puentes, como ya hemos manifestado, sino conocerlos, para encontrar las posibles relaciones entre éstos y la escultura, hay determinadas estructuras que merecen ser mencionadas de manera particular si, como en el caso del puente de Rialto sobre el Gran Canal de Venecia, la estructura se convierte, con el paso del tiempo, en un monumento.

El suelo de Venecia está formado por un conjunto de islotes que se agrupan en el centro de una laguna de 50 km. de longitud por 10 km. de anchura media. *«La necesidad de comunicación de sus habitantes forzó el paso sobre los pequeños canales, al principio por medio de puentes de barcas, luego con pequeñas estructuras de madera, y más tarde con bóvedas de piedra y ladrillo»*¹⁵.

El Gran Canal, con sus 70 metros de anchura media, constituía una barrera infranqueable que dividía Venecia en dos zonas aisladas, lo que obstaculizaba el crecimiento armónico del conjunto urbano.

Debido a la orografía, los problemas constructivos más agudos que se presentaban en la construcción de puentes de Venecia, estaban localizados en las cimentaciones. El terreno de la laguna, formado por depósitos aluviales, no resiste cargas concentradas, por lo que la utilización de pilotes hincados era necesaria.

Aproximadamente en el centro del Gran Canal, al borde del islote de Rivo Alto se encontraba el único estrechamiento, y allí mismo existía desde el siglo XII, un puente de barcas llamado Puente Moneta, por la moneda que se cobraba como peaje. *«En ese mismo lugar se construyó, a mediados del siglo XV, un puente cubierto de madera, que en 1500 reprodujo Jacopo de Barbari en un grabado sobre madera de toda la ciudad»*¹⁶.

En 1512, el año en que nació en Venecia Antonio Da Ponte, futuro constructor del actual puente de Rialto, un gran incendio destruyó el puente de madera. Desde entonces hasta 1588 en que comenzaron las obras del nuevo puente, el Senado de Venecia buscaba soluciones definitivas. Para ello convocaba concursos e invitaba a célebres arquitectos.

Las propuestas básicas sobre las que el Senado tuvo que decidir, fueron la de Palladio y la de Da Ponte. El concurso lo ganó Da Ponte con un proyecto que conserva la organización palladiana en cuanto a paseos y tiendas, pero aporta una solución más sencilla y técnica.

15. Fernández Ordóñez (1995), p. 9



16. Fernández Ordóñez (1995), p. 10

«En efecto, su puente tenía una rasante quebrada, lo que eliminaba las escaleras en los accesos y permitía no tocar las edificaciones aledañas. Además la creación de una sola bóveda escarzana, formada por un tercio de segmento de círculo de 85 pies de luz, con una esbeltez (relación luz/flecha) superior a 4, permitía un gálibo vertical superior en un 40% al de Palladio, al tiempo que eliminaba sus dos pilas intermedias, que ocupaban la cuarta parte del desahüe total, y permitía el paso franco de la gran embarcación de los dogos -el Bocentoro-, incluyendo los remos, lo que con la solución de Palladio no era posible»¹⁷.

17. Fernández Ordóñez (1995), p. 12.

El puente tiene una calzada en el centro, tiendas a ambos lados y dos pequeñas aceras en el exterior. La cubierta está soportada por 6 arcos a cada lado del arco central, que es un poco mayor y está situado sobre la clave. La comunicación entre ambas márgenes se produce por un grupo de cuatro escaleras en los estribos y una serie de largos escalones de poca altura que asciende hacia la clave.

La cimentación de los estribos la resolvió Da Ponte de manera magistral, «con un conjunto de tres familias de miles de pilotes coronados con emparrillados de madera de pino a tres niveles, garantizando de este modo la estabilidad de los edificios adyacentes. Arrancando sobre estas plataformas con rellenos triangulares de ladrillo con dovelas con juntas radiales, se elevó hacia la clave por medio de los bien conocidos planos inclinados de las enjutas»¹⁸. La obra se acabó sin incidentes en 1591, llegando a soportar sin el menor problema, un temblor de tierra que hubo en Venecia días después de su terminación.

18. Fernández Ordóñez (1995), p. 13.

Las críticas de sus oponentes se dirigían sobre todo hacia la estética, argumentando en favor de los arcos de medio punto sobre el arco rebajado de la solución final. Da Ponte consiguió su objetivo y además su puente se convirtió en el símbolo de Venecia.

En el Códice Marciano Italiano se dice: "El puente no es sólo un ornamento para la ciudad, sino de una gran conveniencia para los negocios. Por estas razones pienso que es la más bella estructura, no sólo de Venecia, sino de otras ciudades también... El puente permanecerá de pie eternamente junto a esta maravillosa y única ciudad". Y Ruskin, más tarde, en «Las Piedras de Venecia», escribe: "Muy noble en su simplicidad, en su proporción, en su fábrica, con sus piedras inclinadas en los estribos, digna de confianza, palpable y evidente a los ojos y al sentimiento"¹⁹.

19. Fernández Ordóñez (1995), pp. 14-15.

A modo de conclusión se puede decir que, una solución inteligente como fue la propuesta de Da Ponte, en la que se planteaba resolver sobre el Gran Canal una conexión perma-

nente, de piedra, resistente contra incendios y terremotos, y que además resultase autofinanciable, fácil de conservar y sencilla de construir en un breve plazo, es actualmente un monumento y un símbolo en la ciudad de Venecia.

Y antes de abandonar Italia hay que hablar de un puente florentino, el de Santa Trinitá. Su diseño y construcción lo encargó Cósimo I, el primero de los Medici, a su ingeniero Bartolommeo Ammanati, con el propósito de reemplazar la antigua estructura de madera. Lo más sorprendente de este puente es la curva que definen sus arcos. Está formada por dos curvas, parecidas a la parte superior de una parábola, que se encuentran en la clave con un ángulo obtuso que Ammanati ocultó discretamente con un escudo decorativo. Lo verdaderamente sorprendente de la curva es la flecha tan pequeña frente al vano, con una relación de uno a siete, cuando lo normal era no pasar de uno a cuatro.



El sistema que siguió Ammanati para diseñar esta curva resulta una incógnita, al no existir un procedimiento matemático que permitiera su trazado. En opinión de Steiman y Watson (1979), Ammanati, que era un buen dibujante, la diseñó por pura apreciación estética.

Puentes renacentistas en España

Cuando se produjo la unión de las coronas de Aragón y Castilla en 1469, el humanismo renacentista ya resplandecía en el Mediterráneo occidental. En España, y en el plano cultural, se daba un giro hacia la modernidad; las Universidades de Alcalá y Zaragoza, el estilo Plateresco, las catedrales de Granada y Jaén, Berruguete, El Greco, Cervantes, Boscán, Garcilaso, Manrique, y un largo etc. marcan la revolución intelectual que llegó a todas las áreas del pensamiento, la ciencia y las artes.

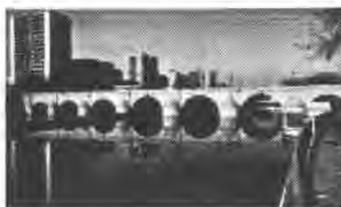
Bajo el reinado de los Reyes Católicos la obra pública comenzó a significarse como tal en España pero en el reinado de Carlos V se inicia un proceso de decaimiento que no resurgiría hasta acabada la dinastía de los Austrias.

Si en la Edad Media el norte de la península Ibérica se enriquece con magníficos puentes, con los Reyes Católicos se empieza a ver compensada la parte meridional. Con ellos se inicia un giro centralizador, no sólo por la fusión de sus reinos sino también con la conquista de nuevas tierras, y sobre todo, recortando libertades municipales al instituir la figura del corregidor y limitando las facultades de las Cortes. Con todo ello se va perfilando el concepto de obra pública, que hasta entonces se reducía a construcciones de defensa.

A partir de ahora el poder público intervendrá en la ejecución y reparación de caminos aunque no los costea. Esta intervención del poder público en la organización de las obras se plantea de modo definitivo en cuanto a la Inspección, obligando a los pueblos a mantener en buen estado los caminos de sus términos.

Desde el punto de vista constructivo, la piedra y el arco de medio punto seguirán siendo normas que llegarán hasta el siglo XIX. Aumentan los rebajamientos, lo que ayuda a suavizar las pendientes; pero las bases sentadas por los sabios humanistas y que acabarán conduciendo a la rama científica de la resistencia de materiales, aun no se materializan.

El reflejo renacentista se plasma en el gusto por la geometría y las proporciones. Curvaturas variables de las bóvedas pero guardando simetrías; afilamiento de los tajamares, nobleza de líneas y austeridad en la ornamentación. Esta sobriedad se consolida especialmente en pleno siglo XVI bajo el reinado de Felipe II, con los puentes herrerianos, como el de Segovia sobre el río Manzanares y del Guadarrama, ambos en Madrid.



El puente de Segovia, iniciado en 1574 por orden de Felipe II con idea inicial de Gaspar de la Vega, fue retomado por Herrera con planos que reforman la obra a partir de los cimientos. Herrera impone la rasante horizontal que ya hace innecesario el crecimiento de las luces de los extremos hacia el centro. Fernández Casado ve en este puente la impronta del gran arquitecto, un puente elegante, severo y moderno.

Aunque se puede decir que Felipe II no prestó demasiada atención a los caminos. La inspección continuaba pero la competencia del personal que la realizaba era muy cuestionable. Para los arreglos se utilizaban recursos locales, dejando los caudales públicos para ocasiones extraordinarias como podían ser los desplazamientos de los príncipes o exigencias militares. En estos casos se organizaba una gran movilización de hombres por todo el territorio, con la misión de allanar barrancos, reparar puentes e incluso construir otros nuevos.

Podemos resumir esta mirada al Renacimiento diciendo que aportó mejoras en el arte y la ciencia de la construcción de puentes. El desarrollo de las teorías estructurales dejó como principal secuela un diseño más agradable estéticamente y un empleo eficiente y económico de los materiales. Por primera vez la superioridad del arco de medio punto es cuestionada con la introducción de arcos rebajados y elípticos.

También la gran versatilidad del pensamiento renacentista

estableció el concepto, la idea del constructor como persona que posee todos los conocimientos: artísticos, arquitectónicos y científicos. Con la posterior separación de estos campos y la aparición del especialista, esta unidad de concepto no volverá a ser posible. También, con el desarrollo de las máquinas, los detalles constructivos reciben mucha mayor atención; esto se notó especialmente en el proyecto y ejecución de cimentaciones. Como los hombres aprendieron a trabajar unidos, por el bien de la comunidad, la calidad de los trabajos de sillería y de carpintería mejoró notablemente. Y finalmente, cuando el pueblo comenzó a ser consciente de la apariencia de sus puentes, el constructor adquiere una mayor importancia y llega a ser realmente un ingeniero civil, creador de monumentos públicos.

A lo largo del siglo XVII, con el reinado de los tres últimos Austrias, Felipe III, Felipe IV y Carlos II no existe cambio ni evolución en el estado de los caminos españoles. Las únicas disposiciones que se dictan hacen referencia al mantenimiento de la seguridad. El leve progreso que se inicia a finales del siglo XVI desaparece. Mientras en Francia la corte de Luis XIV preside lo que será el renacer de la obra civil, España se sume en un retraso que durará siglos. Hasta el siglo XVIII, con la institución de la Escuela de Ingenieros no se inicia un periodo brillante para los puentes.

*La fundación de la
Escuela de Ingenieros
de Caminos y los
avances del s.XVIII*

Al principio del reinado de Luis XV se fundó en París el Corp de Ponts et Chaussées, primera organización gubernamental para el desarrollo científico de la construcción de puentes. Durante este periodo el hombre prefería manejar ideas concretas y tangibles sobre la especulación en teorías y conceptos científicos. Por ello se centró en supervisar y sistematizar los conocimientos científicos existentes. Se puede decir que en esta época nació la ingeniería, al separarse los dos campos de la construcción, arquitectura e ingeniería, ya que era imposible que un solo hombre abarcara lo más importante de ambas disciplinas.

Poco después de su constitución, el Corp de Ponts et Chaussées se percató de que la formación de tipo general impartida en la Escuela de París, no era suficiente para abordar los problemas técnicos de los grandes proyectos de ingeniería, siendo necesaria una enseñanza más especializada para dotar al país de ingenieros capaces; en consecuencia, en 1747 se fundó en París la primera escuela de ingeniería del mundo, la histórica **Ecole de Ponts et Chaussées**.

Una vez institucionalizado el primer Departamento Gubernamental de Ingeniería, se creó la necesidad y el interés por los libros sobre las distintas facetas de esta disciplina. Se inicia también una subdivisión de las distintas ramas de la ingeniería: mecánica, civil, de minas, etc. La tendencia se manifiesta con cierta rotundidad a finales de siglo. El primer ejemplo lo marcó el inglés John Smeaton al autodenominarse Ingeniero civil, en contraposición a Ingeniero militar.

Y con ello ciertos autores limitan sus libros al campo de la ingeniería. El primer tratado de construcción de puentes se remonta a 1714 y pertenece a Hubert Gautier, arquitecto, ingeniero e Inspector de Puentes y Carreteras del Reino. Poco después, en 1725 aparece la *Nouvelle Méchanique* de Pedro de Varignon, donde los conceptos de equilibrio de fuerzas y la construcción de polígonos funiculares aparecen con toda claridad. Sin embargo, en esa época solía transcurrir mucho tiempo entre la resolución de problemas teóricos y su aplicación a cuestiones prácticas.



Perronet, primer Director de L'Ecole de Ponts et Chaussées y a quien algunos consideran el padre de la moderna construcción de puentes, en vista de tal estado del conocimiento, poco pudo apoyarse en cálculos analíticos, sin embargo, las mejoras que introdujo en la construcción de puentes fueron revolucionarias. Llevó a cabo una serie de ensayos experimentales de arcos en modelo reducido y acabó entendiendo la necesidad de la curvatura variable en los intradoses de las bóvedas. Como resultado, arcos rebajados de gran radio sustituyen a los tradicionales arcos de tres centros. Este rebajamiento dio origen a los llamados «*anse de panier*».

Pero la gran revolución del siglo XVIII en las bóvedas de sillería va más allá. Hasta Perronet, las bóvedas se construían vano a vano pero él observó que, pilas más delgadas equivale a puente más seguro²⁰. Reducir la anchura de las pilas exigía que todos los arcos tuviesen una luz similar y que el descimbramiento fuese simultáneo, no parte a parte, como siempre se había hecho.

Era una revolución, una apuesta basada más en intuiciones geniales que en cálculos físicos. El revuelo que causó esta iniciativa llegó a convocar al rey Luis XV con toda su corte para presenciar el descimbramiento del primer puente construido con este sistema, el de Neuilly, el 22 de septiembre de 1772. Este puente sobre el río Sena en las afueras de París, fue demolido en 1932 para facilitar la navegación y la circulación por carretera.

20. Una aclaración sobre este punto se lee en el libro de Steinnan *Puentes y sus constructores*, al explicar que Perronet «fue el primer constructor en darse cuenta de que los empujes horizontales de los arcos se podían llevar a través de los vanos adyacentes hacia los estribos, con lo que las pilas sólo resistían cargas verticales y la diferencia entre los empujes horizontales de los vanos contiguos. De esta manera, la anchura de las pilas se podía reducir mucho sin peligro, siempre que los arcos tuviesen una luz similar y que el descimbramiento fuese simultáneo. Perronet conocía la vulnerabilidad de un puente construido de esta manera; sin embargo, empleó pilas-estribo muy rara vez. La proporción entre anchura de pila y luz del vano era de un décimo a doceavo, en vez del tradicional un quinto empleado en su época».

Como consecuencia de este descubrimiento, Perronet inventó un nuevo tipo de pila. «En vez de construirla maciza, la dividió en dos columnas conectadas por un arco lateral. Sin embargo no empleó el mismo criterio en sus bóvedas que nunca partiría en nervios» (Steinnan, 1979, p. 116).

Pero no sólo los aspectos constructivos preocupaban a

Perronet, también la estética de los puentes era un tema de su interés. Fue el primero en utilizar un parapeto abalaustrado y también un arco biselado llamado *corne-de-vache*. Este arco aumenta la sensación óptica de ligereza en el plano frontal del puente cuando está iluminado por el sol, mientras el grueso auténtico de la bóveda queda escondido en la penumbra.



La materialización de los *cornes de vache* fue posible gracias a las aportaciones de Monge y Rondelet, que consisten en dar forma científica a la estereotomía, definida como el arte tallar las piedras según una forma dada. Esto hizo posible remates tan elaborados como exigen los *cornes de vache*.

Siguiendo el ejemplo francés, se fundó en España la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales, en 1802, por el ingeniero Agustín de Betancourt que había estado pensionado en Francia por la Administración de Carlos III. Así, para España se inicia una nueva trayectoria en el siglo XIX, ya que desde un punto de vista histórico, todavía no había salido del antiguo régimen.

Seis años después de la fundación de la Escuela de Caminos estalló la guerra de la Independencia, lo que ocasionó un freno en la infraestructura existente que desembocó en la supresión de la Inspección y de la Escuela en 1814 por orden de Fernando VII. Siguiéron unos años poco fructíferos para la Escuela en los que en dos ocasiones más se vio obligada a cerrar, hasta 1834 en que se reorganizó y en 1851 fue incluido el Cuerpo de Ingenieros de Caminos en el ministerio de Fomento que se había creado recientemente.

Pero la política gubernamental de resistencia a la innovación que predominó durante el reinado de Fernando VII frenó, no sólo la expansión ferroviaria, que en los países vecinos era una realidad, también el desarrollo de la red viaria.

A la Escuela española siguió la de Praga en 1806, Viena en 1815 y Karlsruhe en 1825. Inglaterra no institucionalizó sus estudios hasta la última década de del siglo XIX.

Piedra, medio punto, rasante casi horizontal, cuando no plana por completo son rasgos comunes en los puentes del siglo XVIII.

Paralelamente a los avances que se producen en los arcos de sillería durante el siglo XVIII, y por primera vez en la historia, a finales del siglo se cuestiona la primacía de la piedra como material de construcción, al introducirse un nuevo material, el hierro.

Puentes de sillería del s.XIX

El siglo XIX va unido a una intensa actividad económica engendrada por la revolución industrial, que produjo un aumento del tráfico tanto por carretera como por ferrocarril, lo que obligó a la construcción de puentes. Mientras que los gobiernos se preocupaban de modo especial de las carreteras, que cumplían a la vez funciones comerciales y estratégicas, los canales eran construidos por los particulares, debido a necesidades puramente económicas, ya que eran las principales vías de transporte para las materias primas necesarias a la industria y para las mercancías que salían de las fábricas.

En las primeras líneas de ferrocarril los puentes se componían de tramos de madera apoyados sobre pilas de fábrica. Pero pronto se observó que resultaba más ventajoso aceptar mayores gastos iniciales en la construcción de un puente para aumentar su duración y suprimir los gastos de mantenimiento.

Como las pendientes admisibles para las vías del ferrocarril eran mucho menores que las de carretera, fue preciso atravesar numerosos valles por medio de viaductos, obras cuya altura por encima del suelo supera notablemente la que sería precisa para franquear el obstáculo. Los viaductos están formados por una sucesión de bóvedas de medio punto, de poca luz, pero que alcanzan una altura de varias decenas de metros. Como este tipo de obra resultaba muy costosa, siempre que era posible se procuraba salvar los valles mediante bóvedas de gran luz.

Aunque en relación al periodo anterior los puentes del siglo XIX hayan representado un cierto número de mejoras, la técnica empleada por Perronet no llegó a sufrir transformaciones profundas. Las mejoras se refieren a los morteros, a las investigaciones sobre los aglomerantes y a la invención del cemento portland.

Mayor importancia tuvieron los avances en los métodos de encaje de las bóvedas que hasta entonces se construían basándose en la experiencia de las ya existentes. Es a principios de este siglo cuando se inicia el análisis teórico del funcionamiento de las estructuras: por un lado la estática gráfica y por otro el de la resistencia de materiales.

Pero los perfeccionamientos se centraron sobre todo en las disposiciones constructivas y en los métodos de ejecución asociados a los arcos de sillería²¹. Y en este ámbito fue el francés Séjourné (1851-1938) quien marcó la técnica de estos puentes, basándose en métodos semiempíricos de cálculo, frente a los conceptos ya bien desarrollados de la pieza elástica curva.

21. A diferencia de un arco metálico que es un material homogéneo, las bóvedas de sillería están formadas por la suma de diferentes piedras, cuya composición puede variar de unas a otras, y unidas mediante un mortero, que resulta un material diferente de los sillares

Pese a ello el ocaso de estos puentes estaba próximo ya que estaban sometidos a la competencia de los puentes metálicos y posteriormente de los de hormigón armado. Aunque durante algún tiempo fueron preferidos como puentes de ferrocarril debido a su sencillez, su resistencia a las cargas estáticas y dinámicas, y su gran durabilidad sin necesitar grandes cuidados de mantenimiento, el costo de los materiales y la desaparición progresiva de los canteros obligaron a sustituirlos por otros en donde el hierro hacía su protagonismo.

Hay que aclarar que, durante todo el siglo, la construcción de puentes se caracteriza por una convivencia, no siempre cordial entre los puentes de fábrica, continuadores del pasado, y los de hierro, representantes de la nueva sociedad industrial. La piedra y el hierro simbolizan a su vez el desafío entre dos profesiones inicialmente hostiles, arquitectura e ingeniería, y que sólo el tiempo reconciliará al situar la labor de cada una en su campo específico.

Si bien es cierto que los cálculos de estos puentes son simples, podemos destacar en ellos su concepción geométrica y su composición volumétrica; también el cuidado de los detalles, el encaje de los diversos elementos: bóveda con posibles archivoltas, arquillos de aligeramiento, cordones e impostas de sus paramentos, parapetos macizos o formando balaustrada, ofrecen grandes posibilidades alternativas, enriqueciendo la obra y aportando toda una lección de arquitectura del ingeniero.

Además, los puentes de sillería del XIX contaban con todas las posibilidades expresivas de sus materiales y, así, jugaban con los volúmenes del estribo, cuidaban los distintos tonos y texturas de las piedras, empleando desde la caliza blanca, gris, oscura, granito, molasa, etc. y prestando la máxima atención a la talla, desde talla simple, bujarda, avegurrada o almohadillada.

Precisamente por no ser el cálculo la principal inquietud en la construcción de puentes, los ingenieros pudieron dedicar durante este periodo mayor esfuerzo al encaje geométrico y arquitectónico.

Por otra parte, y relacionado con esta voluntad geométrica que se manifiesta en los puentes de sillería del XIX, no hay que olvidar que el período entre 1760 y 1830, que corresponde a la revolución industrial en historia de la economía, en historia del arte pertenece al neoclasicismo. En esta etapa, la persistencia por las formas clásicas se justifica aludiendo a diferentes posturas²², una de ellas es la de atribuir la voluntad por lo clásico

22. Una amplia exposición sobre la vinculación que existe entre ingeniería y neoclasicismo se puede encontrar en Benevolo (1974), p. 58-70.

a causa de la moda, y se basa en las premisas de los racionalistas del siglo XVIII y es teorizada en las nuevas escuelas de ingeniería.

Una minoría de ellas atribuye al neoclasicismo un valor cultural unívoco, originando lo que Benevolo llama «neoclasicismo ideológico»; y para la mayor parte de los constructores, aquellos sin ambiciones artísticas, el neoclasicismo es una simple convención a la que no se atribuye ninguna significación especial pero que permite dar por descontados y apartar los problemas formales, para desarrollar de modo analítico, como requiere la cultura técnica de la época, los problemas prácticos constructivos y de distribución; en este caso Benevolo lo llama «neoclasicismo empírico»²³.

23. Referencia sobre este tema se puede encontrar en Benevolo (1974), p. 61

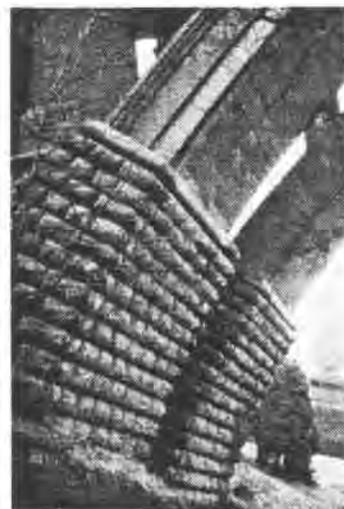
Mientras el primer sector carga las formas antiguas de significados simbólicos, los segundos usan formas idénticas, pero sin hablar de ellas, profundizan en las nuevas exigencias de la ciudad industrial.



Bajo este panorama se construyen los magníficos puentes y viadutos de este periodo que se prolonga hasta los primeros años del siglo XX. Francia es el país donde posiblemente se encuentren los ejemplos más significativos, y es que la construcción de fábrica de sillería alcanza allí el más alto grado de perfeccionamiento. También en este campo la obra de los ingenieros salidos de la Ecole des Ponts et Chaussées es determinante.



Antes de abrir el capítulo dedicado al nuevo material, el hierro, quiero recordar algunos de los puentes y viaductos que se construyen en esta época y que representan el final de las sillerías. El viaducto de Morlaix, construido hacia 1870 para la línea férrea de Rennes a Brest, en la Bretaña francesa, tiene una altura de 62 metros en dos pisos de arcos.



El puente Adolfo sobre el río Pétrusse a su paso por Luxemburgo, obra diseñada por Sejourné y realizada en 1904. Tiene un gran arco central de 84,65 metros de luz, que excede en magnitud las dimensiones de los arcos de sillería. Su intradós es un arco de tres centros, con radios de curvatura de 30 metros en arranques y de 53 metros en su partes central, organizado de modo que este último corresponda a la totalidad de la bóveda exenta mientras el primero se aplica tan sólo a los arranques macizos, materializados con espesos sillares averrugados.

Parece evidente que Sejourné se propone en esta obra aligerar volumen y peso de piedra y así, concibe el gran arco

como la unión de dos bóvedas paralelas de unos 5 metros de ancho cada una y con una distancia transversal de 6 metros a cubrir con un forjado de hormigón armado.

El movimiento neogótico en construcción

Por otro lado, 1830 aparte de señalar el comienzo de las reformas sociales y urbanísticas, señala también el éxito del movimiento neogótico en arquitectura. El uso de las formas góticas se asocia al gusto por lo exótico con un carácter marcadamente literario. Ya en 1742 se publica en Inglaterra un tratado curioso: *Gothic Architecture Restored and Improved*, en el que persigue un nuevo tipo de orden a partir de las formas medievales. Casi un siglo después, en 1836, Augustus Welby Pugin (1812-1852), un arquitecto muy activo, decía que la arquitectura gótica era preferible a la griega y la romana y, cargándole de un mensaje cristiano, entendía que no era lícito rehacer las formas góticas sin revivir y replantear su contenido religioso original.

En Francia el estilo **Troubadour** está cargado de significados literarios; en 1807 Chateaubriand embellece su villa de Vallée-aux-Loups con motivos góticos. Al espíritu romántico se unen los estilos medievales, y no se ve en ellos un nuevo sistema de reglas destinadas a sustituir a las normas clásicas sino que es precisamente la carencia de las mismas lo que hace que sean valorados, ya que de esta forma se constata un predominio del sentimiento sobre la razón.

Por otra parte, Debret, en la *Encyclopédie moderne* de 1824, alaba el estilo gótico, considerándolo producto de una gran imaginación. También Victor Hugo, en la novela *Notre-Dame de Paris*, de 1831, ensalza la arquitectura medieval y critica los monumentos clásicos, aunque la descripción que hace de la catedral parisina la sitúa en un nivel de antro oscuro y desmesurado.

En la pintura, la difusión de gótico es rápida así como en la escenografía, la imprenta, la decoración. Todos los ámbitos de la cultura en general, participan de la posibilidad de imitar las formas góticas en lugar de las clásicas. En lo que concierne a la construcción de puentes, se encuentran algunos modelos en los que se aprecia claramente esta influencia, no sólo a nivel ornamental, también en un orden estructural.

Es el caso del viaducto de Fontpédrouse (1906-1908), obra de P. Sejourné en los Pirineos Orientales franceses. El arco central, es un recuerdo de los arcos ojivales del periodo gótico.



A partir de 1950 la construcción de puentes de sillería cesó por completo. La piedra ya no se utiliza en los puentes más que como revestimiento en forma de placas, bien por razones estéticas, bien para proteger al hormigón de las pilas contra la abrasión en los ríos que arrastraban un fuerte caudal sólido.

El siglo XIX en España

Desde una perspectiva histórica, el XIX es el siglo dorado en lo que respecta al patrimonio de puentes, tanto por cantidad como por diversidad y calidad de los modelos. Es consecuencia del desarrollo que se produce en la red de carreteras. Durante este siglo conviven, junto a los puentes de sillería los nuevos ejemplares que se originan al incorporarse el hierro al ámbito constructivo.

El hierro posibilitará la solución de grandes luces, perfiles casi etéreos, formas atrevidas, contribuyendo a la definición de una estética, y marcará la construcción de puentes, especialmente los ferroviarios, configurando el paisaje y la imagen de la época.

Pero el inicio de la etapa tuvo sus dificultades. La falta de personal entendido hace que en algunos casos se sobredimensionen las obras, gastando inútilmente recursos; o que, por el contrario, se caiga en el extremo opuesto y se economice con deterioro de la seguridad y calidad de las mismas.

Por otra parte, se constata que, algunos de los puentes construidos en el siglo anterior, tienen graves deficiencias en su origen debido a la falta de conocimientos sobre hidráulica, lo que provoca bien su hundimiento a los pocos años, bien la realización de obras de reparación para que sobrevivan.

Con la creación de la Escuela de Caminos en 1834, se pretende poner fin a una situación lamentable, que además de anticuada resultaba muy costosa para el país.

Sin embargo, la consolidación de los nuevos servicios técnicos no estuvo exenta de problemas. Desde sus comienzos, el Cuerpo y la Escuela de Ingenieros de Caminos va a contar con la oposición de los sectores más reaccionarios del país, partidarios del antiguo régimen. Recordemos que, la figura del ingeniero tal y como la entendemos actualmente, es un profesional fruto de la revolución industrial, producto del estado liberal burgués.

Como la mayoría del Cuerpo de ingenieros era partidaria de la nueva sociedad y se sentía comprometida con los nuevos ideales, con la vuelta al conservadurismo, tras la invasión napoleónica, se ordena el cierre de la Escuela y gran número de ingenieros son perseguidos, lo que obliga a algunos de ellos a exilarse. Esta situación se mantiene hasta la muerte de Fernando VII, causando el consiguiente retroceso en la modernización de las obras públicas. Finalmente, en 1934 la Escuela reanuda su actividad de forma ininterrumpida.

Pero no fue sólo una reacción ideológica lo que hubo de soportar la ingeniería pública en este momento histórico, también la apuesta corporativista de los arquitectos, que hasta entonces tenían la competencia exclusiva de las obras públicas. Al ser institucionalizado el cuerpo de ingenieros, se despierta el recelo de los que hasta entonces ostentaban el monopolio de la profesión, los arquitectos. Por ello, cuando se habla de ingenieros y del siglo XIX, resulta obligado referirse a la polémica que se suscitó durante esta etapa.

La polémica se entiende mejor si se considera que la formación de los arquitectos en este periodo clave de transformación de la sociedad era insuficiente, en una parcela, la construcción, que se enfrentaba al reto de los nuevos materiales y técnicas. Una formación academicista centrada casi exclusivamente en el diseño artístico, con escasa atención a los aspectos técnicos.

Por el contrario, los ingenieros iban a desarrollar al máximo todas las posibilidades de los nuevos materiales y las técnicas que anunciaban el progreso. Todo ello en las obras públicas, con los puentes a la cabeza.

En consecuencia, los arquitectos verán limitadas sus competencias ya que no podrán abordar la construcción de estaciones ferroviarias, mercados, hangares, palacios de exposiciones, puentes metálicos, todas ellas necesidades funcionales derivadas del desarrollo industrial y que demandan soluciones nuevas, inspiradas en la arquitectura del hierro. Por lo tanto, el declive del arquitecto, al ir unido al progreso de la ciencia, marca la ampliación de competencias del ingeniero.

Con este estado de la situación, el siglo XIX se presentaba para España con un gran desafío que otros países europeos habían resuelto con mayor o menor éxito, como era la creación de una infraestructura viaria lo suficientemente amplia y moderna como para convertirse en pilar del progreso. Se inicia la gran ruta que transformaría los viejos caminos, algunos de ellos con diseños de la época romana, con ausencia de vías de

comunicación entre las grandes regiones del país y configurando un panorama desalentador para la industria nacional, en una red de comunicaciones comparable al resto de países europeos; y en este camino, el puente se convierte en una necesidad y en un símbolo de progreso.



Las construcciones de sillería de este siglo, participan de las innovaciones técnicas que preconiza Séjourné en Francia, en cuanto al ajuste de los sillares y a la construcción de vanos. Junto a los aspectos técnicos, encontramos sobriedad y esmero en los detalles, combinando acertadamente funcionalidad y estética. Se eliminan los elementos decorativos excesivos y gracias a la estereotomía se consiguen líneas limpias y contornos cuidados. Los tajamares suelen ser semicilíndricos e iguales por ambos frentes del puente, rematándose con sombreretes semicónicos.

Pero las sillerías no son las únicas fábricas de este siglo, junto a ellas se construyen un buen número de puentes en fábrica mixta que, generalmente, es una combinación de sillería, ladrillo y mampostería. Pese a la introducción de un nuevo color, el del ladrillo rojo junto a la sillería blanca, el puente no pierde austeridad. El ladrillo se utiliza sobre todo en tímpanos y bóvedas, reservando la sillería para los contornos y la mampostería para el resto de los elementos. Son obras en las que quedan perfectamente definidos todos los componentes estructurales mediante el cambio de materiales.

También hay que recordar los puentes de fábrica para el ferrocarril, cuyas características estéticas vienen condicionadas a la necesidad funcional de mantener la rasante lo más horizontal posible. Por ello, las pilas tienen que ser altas, superando a veces los 20 metros. Las bóvedas suelen ser de medio punto y la fábrica es de sillería, mampostería y ladrillo. Un ejemplo de estos puentes es el de Vilches en la provincia de Jaén, de 1868.

Pero los puentes de ferrocarril evolucionan rápidamente hacia el hierro, un material más en consonancia con este nuevo y revolucionario sistema de transporte que simboliza el sentido de progreso en el siglo XIX. Con el hierro se inaugura la tipología más característica del puente en este periodo, la celosía de hierro.

Reflexiones al capítulo

El recorrido por este capítulo, sin duda muy extenso en sus límites temporales, nos lleva a situar:

- La importancia del descubrimiento del arco para la construcción de puentes. El arco ha permitido que los romanos primero, y otras culturas más adelante construyeran puentes sólidos, pétreos, resistentes, capaces de permitir la movilidad necesaria para la conquista de tierras y el intercambio cultural. Precisamente la amplitud de los límites temporales de este capítulo, nos aporta una visión global de los cambios que se van originando

El arco, que en el periodo romano es el protagonista de la construcción en general, comienza siendo de medio punto. Los puentes romanos son algo más que elementos de tránsito y de paso, son construcciones monumentales que, coronadas con sus arcos de triunfo, glorifican a Roma. El sentido de **unión**, que es una constante en la expansión romana, se ejemplifica en la figura del puente.

- A finales de la Edad Media, hay que destacar el desnivel que se produce entre la arquitectura religiosa y el tratamiento humilde y sencillo que se da a los puentes. Esta diferencia parece una consecuencia lógica de la organización social predominante, y de la escala de valores de la época. En efecto, la necesidad de un catedral, era sentida por una ciudad mucho más que la de otras obras que mejoraran las vías de comunicación.

Así como en la época romana la monumentalidad de puentes y acueductos reflejaba el papel esencial que esas obras desempeñaban en la organización social y política del Imperio, así también el desequilibrio que en la Edad Media produce entre catedrales y puentes es claro testimonio de que ésta es una organización localista, compuesta por núcleos de población aislados, cuyo centro vital es la fe religiosa y cuya vida se celebra de murallas adentro de la ciudad. Sólo así cabe entender que una época que fue capaz de levantar los pilares y las arquerías góticas, haya dejado una herencia tan pobre en puentes.

Para Arenas (1982), el gran problema que planteaba la construcción de puentes sobre ríos, tanto al constructor medieval, como al renacentista y al barroco, era la cimentación de pilas. *«Porque los refinamientos del gótico hubieran podido servir para escapar de las bóvedas macizas, componiéndolas mediante arcos nervados y encasetonado transversal. Pero comparado con el de la cimentación, el problema de la bóveda era realmente secundario»*²⁴

24. Arenas (1982), p. 49.

En esta etapa, el arco adopta ligeras modificaciones que son consecuencia directa de las tendencias estilísticas en la construcción arquitectónica (arcos de herradura y ojival). También en esta etapa histórica, el puente es algo más que elemento de cruce en el camino. Puede ser muralla, torre defensiva y lugar de descanso y esparcimiento.

- Buscando este carácter social del puente, en el que las prestaciones van más allá de la pura movilidad para cruzar el obstáculo, en el Renacimiento tenemos la máxima representación en el puente Vecchio sobre el río Arno, en Florencia. Concebido como lugar de paso en el centro histórico de la ciudad, se halla sobrecargado de comercios.

- A partir del siglo XVIII, el arco inicia un proceso de cambio hacia el rebajamiento. El momento de cambio social, Benévolo (1994) lo sitúa en 1750, estableciendo aquí el final de la época renacentista y entendiéndolo que hasta entonces el clasicismo ha estado aceptado como sistema de formas deliberadamente extraídas del pasado y consideradas virtualmente constantes. Pero el problema no es sólo de formas externas sino de concepción global de la sociedad y del hombre que la habita.

Este rebajamiento del arco no es casual, tampoco responde a estilos artísticos del pasado, responde a una necesidad de abarcar más, de ir más lejos, de aventura y riesgo por parte de sus constructores, y siempre basándose en comportamientos técnico-constructivos.

Perronet protagoniza la auténtica revolución estructural en materia de arcos: descubre la acción continua de los empujes de los arcos. Las consecuencias estéticas derivarán en pilas más delgadas que, unido a los arcos rebajados de gran radio, suponen un cambio en la estética de los puentes.

- En muchos puentes, ya desde la época romana (el puente de San Angelo, en Roma), y posteriormente, en el siglo XVII y hasta principios del siglo XX, se aprecia cierta ornamentación de tipo arquitectónico-escultural que no modifica ni repercute en el principio estructural del puente, tan sólo denota que éste es una construcción más de la ciudad, y como tal, se le aplica el mismo tratamiento estético que a cualquier edificio.

Otra relación con la escultura se manifiesta en este extenso período con el surgimiento de la noción de "arte" como parte de la cultura occidental. La escultura deja de ser religiosa o de homenaje y pasa a ser ornamental. Un elemento que crea paisaje y que se integra en la construcción arquitectónica.

Puente y ciudad

Capítulo III

La generación de una nueva estética

A finales del siglo XVIII se vislumbra, en toda Europa, un nuevo potencial estético y un rechazo casi unánime de las formas estilísticas existentes. La arquitectura, que en el barroco representaba una perfecta unidad con las artes, se había desgarrado del concepto de arte, y tenía que ser redefinida en la era industrial.

Etienne-Louis Boullée, constructor y miembro de la Academia, resaltó en su obra la primacía de la geometría. La esfera tenía para Boullée el más alto valor de los cuerpos regulares, ya que reúne en sí todas las ventajas de la forma espacial. De esta manera se sitúa en la tradición del arquitecto renacentista Andrea Palladio, quien había elogiado la forma circular, considerándola adecuada para expresar la unidad y la uniformidad.

Boullée se apoyó en esa analogía para diseñar su Cenotafio dedicado al físico, astrónomo y matemático inglés Isaac Newton, utilizando el símbolo de la esfera terrestre; solamente el espacio esférico le parecía apto para expresar arquitectónicamente la totalidad del mundo.

Pocos años después, en 1802, Jean-Nicolas-Louis Duran, discípulo de Boullée publicaba los «*Précis des leçons d'architecture*», paralelamente a su docencia en la Ecole Polytechnique. Su propuesta era desarrollar la arquitectura a partir de la ordenación racional de los elementos aislados. Introdujo también el argumento de los costes, según el cual, solamente una construcción económica podía aportar belleza mediante la acción recíproca de simetría y regularidad. El resultado fue una enseñanza de la composición que permitía la configuración de la forma arquitectónica partiendo de elementos clásicos.

En los primeros años del siglo XIX, la construcción de carreteras y canales se intensifica; mientras que los gobiernos se ocupan de las carreteras, que cumplen funciones comerciales y estratégicas, los canales, que son vías de transporte para las materias primas necesarias a la industria, son construidos, con frecuencia, por entidades privadas.

Las nuevas construcciones viarias entre finales del siglo XVIII y principios del XIX requieren una gran cantidad de nuevos puentes, con frecuencia de más luz que los existentes. Esta cuestión fomenta el progreso de los métodos tradicionales

de construcción en madera y en piedra tallada, y requieren el empleo de nuevos materiales: el hierro y la fundición.

Puede decirse que el siglo XIX se presenta como la época de las grandes hazañas de la ingeniería y los inventos técnicos. En 1907, el historiador de arte Alfred Gotthold Meyer llegó a la conclusión de que la arquitectura de hierro trajo una nueva calidad a la construcción¹, anticipándose a lo que serían los cimientos de la nueva estética.

¹ Pero según Meyer, la evolución artística se encontraba todavía en «fermentación», metáfora que desveló diciendo que

«los fermentos son estimulantes de la fermentación que procuran o aceleran la descomposición de cantidades relativamente mayores de otras sustancias orgánicas. Los fermentos, que condicionan la posición del siglo XIX en la historia del estilo, son los logros de la técnica moderna. Aparecen en primer plano. Sus efectos más importantes se pueden resumir en tres círculos de materiales: primero el hierro, segundo el arte de las máquinas, tercero el arte de la luz y el fuego. Estas son las más poderosas fuerzas que influyen estilísticamente en el presente y con las que, hasta hoy día podemos abarcar, ha de preverse el futuro. Todas las demás sustancias orgánicas en las que los fermentos muestran su fuerza de descomposición, son las formas estéticas transmitidas históricamente» (Gössel, 1991, p. 17).

Pero siguiendo en aquellos años de principios del siglo XIX, mientras los arquitectos hablaban de la búsqueda de un nuevo estilo adaptado a la era de las máquinas, en las construcciones de ingeniería se impuso una claridad en la forma desconocida hasta entonces. Aunque a tales construcciones, como son por ejemplo los grandes pabellones de exposiciones universales, pensados para un fin pasajero, no se les atribuía un valor estético. Su apariencia, su aspecto impresionante, su magnitud e innovación quedaban relegados a la fascinación del momento.

Por otra parte, los incendios ocurridos en los telares ingleses en el último decenio del siglo XVIII obligaron a construir las fábricas con pilares de hierro fundido. Hasta entonces, el hierro se utilizaba solamente en pequeñas partes accesorias: tirantes o uniones entre sillares en dinteles y cornisas.

Hay que matizar que, la fabricación de hierro y con ella el desarrollo industrial, fue muy superior en Inglaterra que en el continente europeo. De hecho fue en Coalbrookdale entre 1777 y 1779, donde se construyó el primer puente de hierro.

Este hecho fue compensado, sobre todo en Francia, por una serie de nuevas ideas. En 1837, Polonceau presentó una nueva viga ligera para techos, y el ingeniero Joly hizo lo mismo en 1849 con otra viga-I de ángulos de hierro remachados. Conviene recordar que el régimen napoleónico alienta, en los primeros años de 1800, a la industria siderúrgica francesa; por lo que la producción de hierro crece de 115.000 a 185.000 toneladas. Ello posibilita la realización en hierro de grandes obras, como fue el Puente de las Artes.

Junto a la industria siderúrgica se desarrolló también la del vidrio y, en el primer cuarto del siglo XIX, el cristal sustituyó al papel de aceite. A partir de 1806 la industria del vidrio estaba capacitada para producir hojas de hasta 2,50 x 1,70 metros. Sin embargo, Inglaterra que es el mayor productor, tiene que interrumpir su producción debido a las exigencias fiscales que rigen durante la guerra napoleónica, y no puede seguir su desarrollo hasta después del tratado de paz.

Pero entre 1816 y 1829 el consumo inglés de hojas de vidrio pasa de 10.000 a 60.000 quintales aproximadamente, con la consiguiente reducción de precios. Esto contribuye a estandarizar el uso del vidrio para los cerramientos y se empiezan a experimentar aplicaciones más ambiciosas, asociando el vidrio al hierro para obtener cubiertas translúcidas.

En consecuencia se usan grandes lucernarios de hierro y vidrio en edificios públicos. Las primeras estaciones de ferrocarril, que requieren grandes cubiertas de vidrio, y los nuevos establecimientos comerciales, con sus grandes escaparates, son proyectadas por los arquitectos con paredes totalmente de dicho material.

Pero la utilización del hierro siguió siendo discutida, ya que es un buen conductor del calor y por eso gotea constantemente el agua de la condensación. Pese a ello, en 1830, el hierro se impuso a causa de su poco peso y de las posibilidades que ofrecía en la fabricación de perfiles.

A través de las Exposiciones Universales se puede seguir fácilmente los progresos de la ingeniería en la segunda mitad del siglo XIX. Las Exposiciones de los productos industriales reflejan la relación directa que se establece entre productores, comerciantes y consumidores.

Durante la primera mitad del siglo las Exposiciones son nacionales, por el hecho de que casi todos los países, con excepción de Inglaterra, ponen fuertes obstáculos al comercio extranjero para proteger las industrias locales, pero en 1850 la situación cambió al verse reducidas las barreras aduaneras, primero en Francia y luego los demás países. Con lo cual las nuevas posibilidades del comercio internacional se reflejan en las Exposiciones.

La primera Exposición Universal se celebra en 1851 en el Hyde Park de Londres. El acontecimiento condujo a Joseph Paxton a diseñar el famoso «Palacio de cristal». El Palacio se construyó a partir de innumerables partes articuladas en serie, siguiendo un sistema de encaje a base de un módulo de 24 x 24 pies, que hizo posible un prefabricado racional y un montaje muy sencillo.

La construcción no era especialmente segura, y pese a las modificaciones posteriores en Sydenham, se derrumbó más tarde un ala. Los anclajes de las piezas no tenían la suficiente solidez, y tampoco podía hablarse de una distribución adecua-

La arquitectura del hierro. Exposiciones Universales





da de tensiones. Conviene aclarar que los edificios destinados a exposiciones no se atenían a los principios y criterios de diseño convencionales. No se trataba aquí de la envergadura ni de la larga vida del edificio, sino de una construcción rápida y de costes moderados.

El carácter genuino y valiente del Palacio de Cristal se debe a varios factores:

- La formación de Paxton, que no era arquitecto sino ingeniero experto en jardinería, y por tanto alejado de las inquietudes de tipo monumental que preocupaban a los proyectistas de edificios similares construidos más adelante.
- La influencia de sir Henry Cole, teórico del diseño industrial y uno de los animadores de la Exposición.

Henry Cole manifestaba que la actitud correcta frente a la técnica industrial debía ser de sencillez, en contra de las estructuras sensacionales propias de la época, y de aceptación abierta de los productos fabricados en serie y las limitaciones económicas. Estas recomendaciones fueron seguidas y aseguraron el éxito del Palacio de Cristal.

«La importancia de esta obra no se debe a la solución de importantes problemas estáticos, ni tampoco a la novedad de los procesos de prefabricación y a los detalles técnicos, sino a la nueva relación que se establece entre los medios técnicos y las finalidades representativas y expresivas del edificio»².

2. Benetolo (1994), p. 127.

En efecto, una lectura del edificio al modo tradicional se hace difícil. Anulada la masa, la superficie compacta, el espectador percibe una sucesión de líneas de las que no puede calcular su distancia al ojo, ni entre ellas, ni sus varias dimensiones. La imposibilidad de ser abarcado con una sola mirada dificulta aun más la percepción. La composición se fundamenta en un módulo simple de 2,44 metros, montado en una jerarquía de luces estructurales que variaban desde 7,31 hasta 21,95 metros. Su realización, en el plazo de cuatro meses, fue simple cuestión de producción en serie y montaje sistemático.

La composición, aunque fundada en la repetición de un módulo simple, no se parece a los modelos de la tradición neoclásica, porque las relaciones y las dimensiones adoptadas cambian totalmente el resultado, y dan la impresión, no de un objeto unitario y concluido, sino de una extensión indefinida, calificada de manera siempre mudable por los objetos expuestos y las personas que la visitan. En definitiva, no se apreciaba

construcción puesto de manifiesto como sistema total, desde su concepción inicial, fabricación y traslado hasta su erección y desmantelado final.

El éxito del Palacio fue tal, que para la Exposición de Nueva York en 1853 se pretendía construir un edificio similar pero se modifica introduciendo una cúpula en el centro de la nave.

Al año siguiente, los ingenieros Voit y Werder construyen en Munich un Glass Palast. Y en 1855, en París, para la primera Exposición Universal francesa se presenta un problema análogo. Fr. A. Cendrier (1803-1893) y Alexis Barrault (1812-1867) preparan en 1852 el proyecto para un gran pabellón de hierro y vidrio, pero la industria francesa, al contrario de la inglesa, no está preparada para responder a estas demandas, por lo que se decide cubrir el edificio con un revestimiento de fábrica, limitando el hierro a la cobertura de la sala.

Las novedades de esta Exposición en el campo de la edificación, son importantes: máquinas para la construcción, grúas y excavadoras, los pilotes de cimentación hincados por aire comprimido, las chapas onduladas para coberturas, las cubiertas de cinc, las tejas hechas con molde, las losas de piedra serradas mecánicamente en la cantera, los pavimentos de madera hechos en serie, las instalaciones de calefacción por circulación de agua o vapor y las instalaciones de ventilación.

Una segunda Exposición tiene lugar en París en 1867, en el Champ de Mars, en un edificio provisional de forma oval. Los parisinos, acostumbrados a los proyectos monumentales, critican severamente esta construcción. En ella, Eiffel (1832-1923) participa con los cálculos y las verificaciones experimentales, y con la solución de las armaduras metálicas.

Seis años más tarde se inaugura en Viena la Exposición Universal de 1873, y en el 1876 se abre otra en Filadelfia. Francia, tras el paréntesis de la guerra, puede de nuevo, en 1878, inaugurar otra Exposición Universal. En esta ocasión se realizan dos edificios: uno provisional, en el Champ de Mars y otro permanente al otro lado del Sena, formando eje con el anterior, sobre la colina de Chaillot: el Palais du Trocadero.

El edificio provisional lo realiza Léopold Hardy (1829-1894). Utiliza hierro y fundición y cerámica vidriada para las partes de fábrica; la construcción ofrece un carácter alegre, aunque recargada con decoraciones eclécticas. También aquí aporta Eiffel su colaboración, calculando las estructuras de los vestíbulos.

G. J. A. Davioud (1823-1881) y J. D. Bourdais (1835-1915) proyectan el Trocadero; la idea de una construcción permanente se relaciona con la de una estructura de fábrica y sólo para la cubierta se reserva el hierro. Este palacio, de estilo romano-bizantino entreverado de morisco en torno a una estructura de hierro, fue destruido para dejar sitio al Palais de Chaillot.

Después de 1878, las Exposiciones Universales se multiplican por todas partes, pero la de 1889 en París, tiene especial relevancia. Organizada también en el Champ de Mars, abarca un conjunto articulado de edificios: un palacio con planta en forma de U, la Galerie des Machines y la torre de 300 metros construida por Eiffel, en el eje del puente que lleva al Trocadero.

El palacio proyectado por J. Formigé (1845-1926) es una obra pesada con una cúpula sobrecargada de ornamentación; sin embargo, la Galerie y la Torre, aunque cargadas de decoraciones, han sido calificadas como las obras de mayor envergadura realizadas hasta entonces en hierro y, además, por sus dimensiones plantean nuevos problemas arquitectónicos.

La Galerie des Machines es un proyecto de Ch. L. F. Dutert (1845-1906), ayudado por los ingenieros Contamin, Pierron y Charton. La gran extensión de 115 x 420 metros se sostiene por arcos de hierro con tres articulaciones; este sistema había sido experimentado en algunas estaciones alemanas, y permite cubrir, sin apoyo intermedio, un espacio tan grande como el Palacio de Cristal, construido treinta y ocho años antes.

La Galerie despertó todo tipo de comentarios, desde el entusiasmo de los profanos hasta las reservas de escritores importantes. Desgraciadamente, la Galerie des Machines fue derribada en 1910 y ya no es posible comprobar las inducciones que se hicieron en los diarios de la época. Entre los arquitectos, unos critican las proporciones demasiado rebajadas y los detalles, particularmente la junta articulada, porque debilita visualmente la base de los arcos. Otros aprueban la correspondencia entre la estructura y la envoltura arquitectónica.

Eiffel encarga el proyecto de la torre a dos ingenieros empleados en su empresa, Nouguier y Koechlin, quienes habían llegado a construir una torre de hierro, tras realizar unos estudios sobre los pilares metálicos de los puentes. De la parte arquitectónica se encargó el arquitecto Sauvestre. El perfil de la torre está calculado para resistir la acción del viento, pero además Eiffel adopta una postura comprometida con la estética, diciendo lo siguiente:

«El primer principio de la estética arquitectónica prescribe que las líneas esenciales de un monumento se adapten perfectamente a su

finalidad. ¿Y cuáles son las leyes que tuve en cuenta en la torre? La resistencia al viento. Pues bien, yo sostengo que las curvas de las cuatro costillas, tal como las ha expresado el cálculo... darán una gran impresión de fuerza y de belleza, puesto que ofrecen a la vista la audacia de la concepción del conjunto, mientras que los numerosos huecos obtenidos en ellas mismas harán resaltar enérgicamente el constante cuidado por no ofrecer a la violencia de los huracanes superficies peligrosas para la estabilidad del edificio»³

3. Benevolo (1974), p. 153.

Eiffel pretende calmar los ánimos exaltados de algunos sectores, y en realidad, cuando acaba la torre, el 15 de abril de 1889, muchas reacciones contrarias se vuelven favorables. No obstante, el juicio de los contemporáneos está dominado por la impresión de novedad. Actualmente el criterio es muy distinto, debido al lugar que la torre ha alcanzado en el paisaje parisino, que induce a valorar otro tipo de características: símbolo de la ciudad y objeto escultórico.

Gracias a las Exposiciones, se aprecia un movimiento de flujo y reflujo en el arte contemporáneo. La última Exposición de París pareció consagrar el triunfo de los materiales nuevos: hierro, vidrio y cerámica combinados; pero la de Chicago de 1893 señalaba un claro retorno al academicismo neorrenacentista. En París, en 1900, incluso se comprueba un verdadero renacer de los estilos del pasado, junto a la aparición de formas nuevas a veces muy modernistas.

A partir de entonces las construcciones en hierro parecen haber alcanzado la cúspide de sus posibilidades. Después de 1889, la obra más importante es la cúpula para la Exposición de Lyon, en 1894, con un diámetro de 110 metros. Por el contrario, en los dos últimos decenios del siglo, un nuevo material y sistema de construcción dominará el campo de la edificación: el hormigón.

Corrientemente se mantiene la idea de que los métodos constructivos han permanecido invariables y que en el siglo XIX se construye como en el anterior e incluso como en la época medieval. Probablemente el tópico sea cierto, pero lo que no admite duda es que existe un espíritu que orienta su curiosidad hacia todo tipo de aplicaciones técnicas.

Este nuevo espíritu se origina en Francia con la publicación de la *Encyclopédie* (1751-1772), que en su voz *Architecture* publica, en extracto, los artículos relativos a la técnica constructiva habitual con la intención de mejorar la preparación de los constructores.

La utilización de nuevos materiales en edificios comunes

Paralelamente y por diversos motivos, cambia el empleo de los materiales tradicionales. Se producen industrialmente ladrillos y madera para las obras, materiales que son transportados por la red de canales, deshaciendo así las diferencias de aprovisionamiento entre un sitio y otro.

Se generaliza el uso del vidrio para las ventanas y de la pizarra o barro cocido para los tejados, en vez de la paja. Tanto el hierro como la fundición se usan en los accesorios de los cerramientos, en las barandillas, verjas y en la estructura portante. Los forjados de los edificios comunes, sostenidos normalmente por vigas de madera se van a sustituir por vigas de hierro dulce. El metal, por el juego de los ensamblajes, permite ordenar los empujes y, las soluciones estéticas más eclécticas o las más barrocas serán propuestas gracias a la intervención de vigas y de soportes metálicos. La estética del ensamblaje y del remache se convierte en el afán de los arquitectos progresistas.

Se inician experiencias para aligerar el peso de las barras de hierro, pero la crisis económica que sigue a la Revolución Francesa interrumpe estos experimentos. La solución satisfactoria llega en 1836 cuando las fábricas comienzan a producir industrialmente las vigas de hierro de doble T.

La revolución arquitectónica conduce, en un sector bien definido, a la búsqueda de un arte nuevo racional. El espíritu de los funcionalistas, predicando en favor del empleo honesto de los materiales nuevos y de la búsqueda de formas y planes útiles, iba por delante de las opiniones de aquellos que consideraban el Modern Style decorativo como un abuso ornamental artificial, no dirigido por la estructura.

En 1892 afirmaba Sullivan que el adorno no era más que un lujo; le negaba esa belleza que debía obtenerse directamente de las estructuras y de las superficies, de esas estructuras que según Van de Velde pueden, gracias a sus formas, producir un sentimiento de alegría o protección. En la misma época, el arquitecto vienés Otto Wagner pensaba que la belleza no debía existir al margen de la utilidad. Loos la percibía en el arte de los ingenieros, a quienes consideraba los modernos helenos. Y para Wright, no era sólo en las fachadas sino también en la distribución de los espacios donde residía una parte del secreto del arte moderno.

Todos ellos, en diversos grados, representan el movimiento del modernismo; sin embargo, rechazan el aspecto ornamental en beneficio de la estructura, que había sido renovada por la aportación de materiales nuevos.

Así pues, a comienzos del siglo XX hay un vasto movimiento de depuración de formas que el uso del hierro no había puesto de relieve suficientemente. Este será en gran parte el papel del hormigón, al que se puede considerar en gran parte como el responsable de la destrucción de la ornamentación Modern Style.

La unión de las artes y los oficios artísticos

A partir del Palacio de Cristal de Paxton, en Londres, con motivo de la Exposición de 1851, había nacido algo cuyo destino era irreversible. Todos los intentos de novedad son un ejemplo de búsqueda apasionada y de vacilaciones. Los Mackintosh van a yuxtaponer, dentro de un mismo movimiento, una decoración exuberante con líneas sobrias que anuncian lo que se llamó modernismo tardío y que servirá de punto de mira a los arquitectos germánicos que más tarde mostrarán con el hormigón la desnudez de la arquitectura moderna.

Cronológicamente, la difusión del modernismo se extiende entre los años 1890-1905 aproximadamente. Pero ya había sido iniciado por dos americanos, el pintor Whistler y el ceramista Tiffany. En su origen se encuentran las preocupaciones de los prerrafaelistas, deseosos de luchar contra la asociación de la máquina y el mal gusto. Ruskin y su discípulo Morris proponían como remedio un retorno a la artesanía y la penetración del arte en la vida cotidiana, nuevo vínculo entre el creador y el usuario.

Inglaterra tiene la iniciativa del movimiento. Se trata en principio de una tendencia decorativa que, tras las experiencias de arte industrial de la firma Morris, se orienta netamente hacia esa ondulación de la línea y de la forma, asociada a todo un repertorio vegetal revalorizado, así como a la forma femenina que pronto se convierte en el objetivo temático más aparente.

El espíritu del arte nuevo se hace presente en todas partes bajo apelaciones distintas, **Art Nouveau** y **Modern Style** en Francia, estilo **Liberty** en Italia, **Jugendstil** en Alemania, **Sezession** en Viena, **Modernismo** en España. Por todas partes se habla también de arte social intentando modificar el gusto de la propia burguesía.

La idea de Morris se fundaba en creer que la verdad se hallaba en una asociación estrecha de la idea del bienestar social con la renovación de un arte que, puesto a disposición del pueblo, naciera gracias al genio inventivo del hombre y de la lucha contra la estandarización de la máquina. Gracias a Morris, el arte nuevo tuvo la ambición de abarcar una totalidad.

Dos hechos originan la aventura artística de Morris: sus amistades prerrafaelistas y su matrimonio con Jane Burden, para quien construye «la casa roja», colaborando en la decoración él mismo en la realización del mobiliario. Sus amigos prerrafaelistas colaboran en los complementos. Terminada la experiencia, en 1861, proponía la idea del primer almacén de conjuntos mobiliarios y de accesorios de decoración, el Red Lyon Square.

Pero la acción de Morris conducía a una contradicción, uno de cuyos aspectos sobresalientes era fabricar caro trabajando enteramente a mano para una clientela esencialmente burguesa. Como balance, cuando murió en 1896, su acción había sido positiva. Tras él quedaba la **Arts and Crafts Exhibition Society**, fundada a partir de 1886 y bajo la dirección de su discípulo Walter Crane. Su programa era realizar objetos prácticos cuya forma estuviera subordinada por completo a su destino, que determinaba igualmente la elección de materias a utilizar, ya que la decoración debía estar vinculada a la estructura.

De esta manera, quedaba abolida en adelante toda distinción entre artes menores y mayores, y el afán de belleza se convertía al mismo tiempo tanto en un imperativo social como en un signo de civilización.

La influencia de la industria en el origen de las vanguardias

La defensa de los valores pre-industriales que el movimiento Arts and Crafts tuvo en Inglaterra, en el resto de Europa tuvo transformaciones, llegándose gradualmente a aceptar la mecanización con el fin de alcanzar unos objetivos sociales y estéticos. Por lo que respecta a los valores formales, esta transformación se caracteriza por un mayor interés por los elementos estructurales y funcionales en detrimento de la ornamentación y la decoración.

Aunque se interesará más por la calidad artesanal que por la producción industrial, el movimiento modernista del último decenio del siglo pasado representó, especialmente en su variante del Jugendstil alemán o austríaco, una importante etapa de transición hacia el Funcionalismo. Mientras que en Francia, Bélgica e Italia la evolución del Art Nouveau se caracteriza por una abstracción de las formas naturales, con una gran fuerza y sinuosidad de las líneas y molduras tridimensionales que unifican los diferentes elementos del diseño en un todo integrado, en Alemania el estilo iba a seguir una orientación diferente.

En Munich, en las obras de artistas y diseñadores como August Endell, Herman Obrist, Peter Behrens y Richard

Riemerschmid, los elementos fluidos y curvilíneos estaban desde un principio controlados y moderados, y posteriormente dieron paso a composiciones formales de elementos geométricos. Esta evolución llevó a una estilización todavía más rigurosa en Viena donde a Josef Hoffmann, una destacada figura del estilo, se le conocía como «*Quadrat*» Hoffmann, es decir, Hoffmann «*ángulo recto*». Diseñó una amplia gama de objetos en plancha de hierro perforada, en los que se observa un claro predominio de una cuadrícula rectilínea y demuestra que el apoyo estaba plenamente justificado.

Por lo general los artistas del modernismo eran contrarios a la diversidad, o como la calificaban ellos, la confusión de su tiempo. Rechazaban el uso de formas del pasado y trataban de crear un estilo nuevo y universal que uniera todos los aspectos del entorno visual en un conjunto armónico, una obra de arte total que sería la expresión de una unidad cultural y social.

Sin embargo, en el fundamento mismo del movimiento modernista existía un dilema esencial que hacía imposible materializar estas aspiraciones. La naturaleza de este conflicto está reflejada en la obra y los escritos de Henry van de Velde, artista belga polifacético y de gran talento. Sus textos no han perdido actualidad. Se refiere a vehículos de transporte, instalaciones de cuarto de baño, lámparas eléctricas e instrumentos quirúrgicos como «*inventos modernos que seducen por su belleza*» y elogiando la racionalidad en el diseño y la producción en serie.

No obstante, dentro del contexto de su obra, el racionalismo no implicaba una exclusión del adorno, sino más bien su uso racional con el propósito de expresar la naturaleza y la función de un objeto.

Y así, demuestra su concepto de la fábrica en el gran taller artesanal que fundó en 1898 cerca de Bruselas, en el cual la producción en serie no era otra cosa que la reproducción sistemática, por métodos artesanales, de un modelo. Estaba profundamente influido por las ideas de Ruskin y Morris, y aunque rechazaba la manifiesta nostalgia por el pasado de autores, trataba de desarrollar los principios morales y sociales que habían propugnado, afirmando que los objetos no podían evaluarse al margen de su producción y utilización y que los artistas debían ejercer una influencia decisiva para garantizar que se tuvieran en cuenta ante todo las necesidades humanas.

Por este motivo fundó su propio taller, iniciativa que se produjo paralelamente en otras ciudades, creándose centros como los Vereinigte Werkstätten de Munich, y los Wiener Werkstätten de Hoffmann y Koloman Moser en Viena. Sin

embargo, el uso de un sistema de producción artesanal ponía a los diseñadores modernistas frente al mismo dilema que a William Morris: que sus productos de alta calidad eran costosos y solamente estaban al alcance de ricos mecenas.

Van de Velde manifestaba que si los artistas se interesaban exclusivamente por la creación de nuevas formas, éstas serían explotadas fuera de su contexto, y en este sentido sus temores resultaron justificados. La producción industrial adoptó gran número de diseños modernistas y los fabricó en serie como un estilo entre otros muchos, para satisfacer los gustos de moda de la época; por ejemplo, los utensilios de cocina de metal estampado fabricados por la Wurtembergische Metalfabrik en Alemania y las vajillas producidas por Royal Doulton en Inglaterra.

A partir de 1900 Van de Velde trabajó en Alemania, convirtiéndose posteriormente en una destacada figura de una organización creada para conciliar el arte y la industria: el Deutsche Werkbund. La fundación del Werkbund en 1907 fue consecuencia de los contactos establecidos entre un abigarrado grupo de diseñadores industriales, periodistas y funcionarios que tenían una inquietud común por el nivel de calidad en el diseño en Alemania.

Pero como las artes aplicadas y la artesanía estaban dejando de ser una misma cosa, estas tres funciones se habían separado, y era necesario encontrar de nuevo un terreno común. Ésto exigía un cambio de actitudes y hacía necesaria la cooperación. *«Ante todo, había que buscar una nueva estética, pues dedicarse a la reproducción mecánica de diseños creados para la elaboración manual supondría un empobrecimiento de las posibilidades de las máquinas. Como razonaba Naumann: 'Es preciso refinar este arte inferior, es preciso espiritualizar la máquina y utilizarla como educadora del gusto'»*⁴.

4. Heskett (1985), p. 90.

El documento redactado con motivo de la redacción del Werkbund se refiere a este tema, afirmando que el propósito de la institución es: *«el mejoramiento de la actividad profesional a través de la cooperación de arte, industria y artesanía, por medio de la educación, la propaganda y una postura solidaria hacia las cuestiones más importantes»*. El objetivo no sólo era el de mejorar el nivel de calidad estética: *«la validez de los criterios estéticos está estrechamente ligada con las aspiraciones generales de nuestro tiempo, con la búsqueda de la armonía, del sentido cívico y de una unificación en la dirección del trabajo y de la vida»*⁵.

5. Heskett (1985), p. 90.

Sin embargo, la esperanza de llegar a una «postura solidaria» fue efímera. Pese a que todos los miembros de la sociedad habían sido invitados a formar parte de ella, había entre ellos

una gran diversidad; asimismo, se produjo una acusada polarización ideológica en torno a dos personalidades: Hermann Muthesius, arquitecto, y Van de Velde.

Entre 1896 y 1903 Muthesius estuvo agregado a la embajada alemana en Londres para estudiar los adelantos ingleses en el campo de la arquitectura. A su regreso el ministerio de Comercio prusiano le nombró responsable de la educación en artes aplicadas. Desempeñó una importante labor catalizadora en la formación del Werkbund, ejerciendo una influencia considerable dada su amplia experiencia y su posición gubernamental. Para él, las artes aplicadas tenían un significado aun mismo tiempo artístico, cultural y económico.

En definitiva, la propuesta de Muthesius se dirigía hacia la creación de nuevas formas pero no como un fin en sí mismas, sino como manifestación visible del impulso interno de la época. Su función era, a parte de cambiar la casa alemana, influir directamente en el carácter de una generación.

Por lo tanto, las formas se situaban en el terreno de la cultura general, y su misión era expresar la unidad de la nación. Asimismo, un estilo artístico que expresara la cultura nacional tenía, para Muthesius, un valor económico, ya que el éxito comercial, en su opinión, va emparejado con los valores internos predominantes, y los medios estéticos para sentar las bases de una cultura nacional, declaraba, consistían en definir unos «*prototipos*» o «*normas*» para crear una unificación general del gusto.

Muthesius, como funcionario del gobierno debía estar al corriente del sistema prusiano de normas técnicas, y aunque sus objetivos fueran diferentes, al referirse a normas culturales y formales, las razones que expone y su manera de justificarlas son muy similares.

Por el contrario, Van de Velde era menos optimista en cuanto a las posibilidades de unir el arte y la industria para mejorar la economía de la nación. Afirmaba que unir las dos cosas equivalía a mezclar el ideal y la realidad, y la consecuencia sería la destrucción del ideal. Se mostraba escéptico acerca de la capacidad de la industria para aceptar un planteamiento que diera poca importancia al éxito material, y se reafirmaba en su anterior postura moral, es decir, que *«la industria no debe creer que esta noción de la belleza de la obra y de la buena calidad de los materiales puede sacrificarse en aras de un aumento de los beneficios económicos. En modo alguno nos haremos responsables de objetos que no se preocupen de la perfección, que no cuiden de la calidad de los materiales utilizados y que se ejecuten sin que el trabajador halle placer en su trabajo»*⁶.

6. Heskett (1985), p.92.

En 1914 se produjo un enfrentamiento en la conferencia del Werkbund en Colonia; Muthesius presentó una ponencia en la que resumía sus ideas, y que fue vehementemente contestada por Van de Velde. Tras un acalorado debate y posterior votación, el sector de Van de Velde logró una amplia mayoría, y la ponencia fue retirada.

En definitiva, la mayoría de los miembros de la asociación seguían considerándose artistas, y la importancia concedida por Muthesius a las normas formales y al comercio la interpretaron como una amenaza a su independencia y a su integridad.

Por consiguiente, el problema fundamental del Werkbund era su incapacidad para resolver su distanciamiento en relación a la industria y para elaborar un programa concreto referente a la forma y a la función del diseñador. A excepción del trabajo de Peter Behrens para la AEG y los encargos recibidos de alguna compañía naviera, las grandes empresas comerciales no se daban por enteradas de las actividades del Werkbund.

Y es que la mayoría de las empresas que firmaban contratos con miembros de la asociación eran pequeñas, y con frecuencia sus propietarios eran a su vez miembros de ella, como Peter Bruckmann, presidente en el momento de la fundación, que encargó a Richard Riemerschmid que diseñara una cubertería para su empresa familiar, situada en Heilbronn. Karl Schmidt, otro miembro fundador, había creado con anterioridad un taller artesanal en Hellerau, cerca de Dresde, que en 1906 se fusionó con otras industrias similares para formar los Deutsche Werkstätten bajo la dirección de Schmidt.

Hay que mencionar la incorporación a la empresa de Riemerschmid, cuñado de Schmidt, porque juntos fundaron una fábrica cuyas instalaciones estaban en parte destinadas al trabajo manual, pero en su mayoría a la fabricación en serie de muebles y pequeñas casas prefabricadas.

Durante la guerra el Werkbund organizó una serie de exposiciones en países neutrales que eran fundamentalmente ejercicios de propaganda, y a partir de este momento se convirtió en un organismo orientado más exclusivamente a la esfera nacional. Los aspectos internacionalistas de su pensamiento fueron cediendo terreno ante un concepto del diseño como medio para mejorar los resultados económicos de la nación.

En este sentido, hay que decir que la evolución de la industria alemana hacia la creación de una serie de grandes organizaciones con una orientación de mercado jugó un papel importante en esta tendencia al abandono de elementos

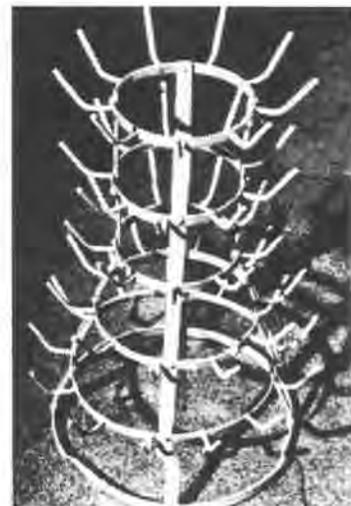
programáticos y a conceder mayor importancia a las ventajas comerciales del diseño.

En la pintura y la escultura, la relativamente mayor libertad del artista posibilitaba la realización de las ideas vanguardistas. Una característica destacada de los diferentes movimientos artísticos de este periodo es el gran número de conceptos fundamentales que unos y otros tienen en común. Aunque matizados por las diferentes circunstancias personales y nacionales de los artistas, existía una serie de rasgos que tenían una dimensión internacional, como el universal rechazo del concepto del «*arte por el arte*» y la gran preocupación por la función social del arte. Esto suponía la negación de un subjetivismo puramente individual, y un intento de determinar unas bases objetivas, incluso «*científicas*», para la creación y la comprensión del arte.

En esta tendencia se puede percibir la influencia de la tradición filosófica idealista y la búsqueda de unas formas ideales platónicas que simbolizaran una realidad situada más allá de lo mudable y lo efímero del mundo exterior. Esto se reflejaba en una tendencia hacia la abstracción y, en particular, hacia las formas geométricas. Equiparar estas formas con la estética mecanicista permitía representarlas simultáneamente como «*atemporales*» e inequívocamente «*modernas*».

El movimiento cubista nacido en Francia tuvo inicialmente una importancia fundamental para estimular estas ideas. En la fase del cubismo analítico, entre 1909 y 1913, Picasso y Braque iniciaron la abstracción de las formas de la pintura naturalista, mientras que en la fase siguiente, el cubismo sintético, se tendía más fuertemente hacia una geometrización emparejada con una estética mecanicista. Sin embargo, la comprensión del arte dependía ya menos de su relación con el mundo exterior tal como la percibía el espectador, pasando a ocupar un primer plano la interpretación ofrecida por el artista.

En el ámbito de la escultura, Marcel Duchamp elevó el objeto utilitario a la categoría de «*obra de arte*» cuando en 1914 compró un botellero barato, lo firmó y lo expuso en su estudio, declarando que era arte. Más adelante, en los Estados Unidos, expuso una pala de nieve, y en 1917 suscitó grandes protestas al presentar un urinario en la exposición de la Sociedad de Artistas Independientes de Nueva York. Su objetivo era cuestionar la naturaleza del arte; pero al presentar al público las piezas que él llamaba **readymades** (ya hechas), las situaba dentro del campo de su idea del arte como actividad mental que no podía verse limitada a unas formas y unas técnicas determinadas.



7. De Micheli (1979), p.372.

Tras el cubismo, el movimiento artístico más influyente fue el futurismo italiano. Fundado por Filippo Marinetti, venía a ser un provocativo desafío contra el peso de la tradición, y una llamada a Italia para que entrara en la edad moderna. Para los integrantes del movimiento, modernidad significaba máquinas y tecnología: «*un automóvil rugiente que parece correr sobre la metralla, es más bello que la Victoria de Samotracia*»⁷, escribía Marinetti en el primer manifiesto futurista de 1909. El principio artístico dominante era el dinamismo, que intentaba representar la velocidad, el movimiento y las sensaciones simultáneas de la vida moderna. Sin embargo, la teoría y la propaganda y el arte como actividad tenían igual importancia que las obras acabadas.

El futurismo tuvo una influencia sobre todo en el terreno de las ideas, y su imagen de la máquina transformadora de la sociedad y el arte se difundió y fue asimilada por toda Europa. Gino Severini puso el movimiento en contacto con el cubismo. En 1916, con motivo de una exposición de su obra en París, estableció relaciones con miembros de la vanguardia parisina, en especial con Amadée Ozenfant, y a consecuencia de ellas rechazó el dinamismo y comenzó a enunciar un concepto de la máquina como función y eficacia, un ideal estático de precisión y armonía.

Las ideas de Severini fueron desarrolladas por Ozenfant y Le Corbusier, quienes trataron de crear un vocabulario de elementos pictóricos en que se combinaran el idealismo platónico y los conceptos de mecanización y modernidad. A su sistema lo denominaron purismo, exponiendo sus teorías en una revista que fundaron en 1920 llamada *L'Esprit Nouveau*. Propugnaban una jerarquía de formas geométricas básicas y de escalas cromáticas cuya composición estaba controlada por leyes basadas en la sección áurea, que también determinaba las proporciones geométricas a su vez relacionadas entre sí por un sistema modular.

Le Corbusier fue principalmente responsable de la expresión de estas ideas en la arquitectura y el diseño. Las teorías del purismo se basaban en un concepto del hombre como mecanismo humano perfeccionado por el proceso de la selección natural, y que funcionaba de acuerdo con las leyes de la economía.

Esta perfección hallaba su reflejo en los objetos funcionales creados por el hombre que se ajustaban a esta misma ley. De ahí la definición de la casa como «*máquina de vivir*», es decir, como un mecanismo que funciona perfectamente, supliendo todas las necesidades utilitarias de la persona. A los objetos que satisfacían de forma más completa las necesidades humanas se

los denominaba «*objetos tipo*», y eran la culminación de un proceso de perfeccionamiento y normalización funcional. En resumen, se definía la relación del hombre con la máquina como respuesta a unas leyes inmutables, que conducía a una estética de orden y claridad clásicos.

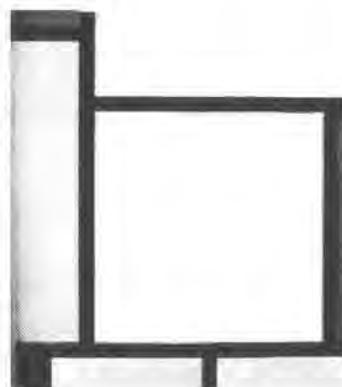
En 1925, en la Exposición Internacional de las Artes Decorativas de París, Le Corbusier plasmaba estos ideales en el «*Pavillon de l'Esprit Nouveau*». Este pavellón consistía en una pequeña casa en la que se procuraba aprovechar al máximo el espacio disponible y, empleando prioritariamente accesorios fabricados en serie, proporcionaba una imagen de las posibilidades de la vida moderna. El armazón estructural de la casa, las paredes, las ventanas y los suelos se componían de unidades normalizadas; todos los armarios y demás elementos empotrados formaban parte de un sistema modular cuyas proporciones estaban reguladas y unificadas. El mobiliario se componía de «*objetos tipo*» como los muebles de madera curvada de Thonet.

Con este pavellón, y la difusión de sus ideas a través de *L'Esprit Nouveau*, Le Corbusier se convirtió en una de las más destacadas figuras de los movimientos artísticos internacionales de los años veinte.

En Holanda, el movimiento De Stijl, fundado en 1917, también tenía por punto de partida una filosofía idealista, buscando un arte que diera forma a una nueva visión de la vida moderna. En la obra de artistas adscritos al movimiento De Stijl como los pintores Theo Van Doesburg y Piet Mondrian, y los arquitectos J. J. P. Oud y Rob van t'Hoff se observa un proceso de depuración de las formas que culmina en una abstracción geométrica total.

Las ideas del grupo estaban influidas por las del teósofo M. J. H. Schoenmackers, amigo de Mondrian, místico y matemático que afirmaba un orden matemático del universo. La composición formal quedó reducida a los elementos fundamentales: la línea vertical y la línea horizontal, los tres colores primarios, rojo, azul y amarillo, y los tres valores de base, blanco, negro y gris los cuales, según creían los artistas del grupo, subyacían toda la realidad visible. A partir de los elementos en conflicto de línea, plano y color, trataban de crear una imagen de equilibrio y proporción, símbolo de la armonía universal de la vida.

La equiparación de las formas geométricas con la producción mecánica, concebida como medio de extender esta armonía a través de todo el entorno visible, confería un fuerte acento social y utópico a sus teorías.



Un año después de la formación del grupo De Stijl, ingresó en él Gerrit Rietveld, ebanista de profesión y posteriormente arquitecto, para quien el contacto con el grupo tuvo un gran impacto. Aquel mismo año creó la famosa «silla roja, azul y amarilla», una de las primeras expresiones tangibles de los ideales de De Stijl, elaborada a partir de listones de madera y tableros contrachapados y mecanizados sin empalmes o rebajes, y pintados con los colores primarios. Era una redefinición estructural absoluta de la silla, sin ningún precedente.



Rietveld continuó sus experimentos con diseños para edificios, mobiliario y diversos accesorios domésticos, exploración de la estética De Stijl que culminó en 1924 con la casa Schröder de Utrecht; este encargo le permitió crear una imagen total para la vida moderna. La organización funcional de la casa, sus elementos formales y la totalidad de sus muebles y accesorios se combinaban para formar un ambiente integrado, con una interacción de líneas, planos y colores.

Durante un tiempo pareció que donde más posibilidades tenían de alcanzarse los ideales «de vanguardia» era en el nuevo estado soviético que había desplazado en Rusia el régimen tradicionalista de los zares. Antes de la primera guerra mundial, el grupo suprematista formado en torno a Kasimir Malevich había evolucionado hacia una abstracción geométrica total, con una teoría complementaria que buscaba un vocabulario visual objetivo, basado en unos valores metafísicos atribuidos a los materiales y a las estructuras. La revolución de octubre de 1917, con su promesa de cambio social, fue acogida con gran entusiasmo por la vanguardia que, en general, establecía un paralelismo entre las posibilidades de la revolución política y la revolución artística.

El constructivismo

Si bien es difícil señalar con precisión los inicios de un movimiento artístico, hoy podemos decir que, aquello que en la escultura internacional entendemos como constructivismo, tiene sus raíces en el proyecto que Gabo hizo de **Construcción en el espacio**. En 1920, formuló sus ideas a modo de tesis en un apunte audaz -el Manifiesto Realista-, en Moscú.

Visto ahora, desde una óptica retrospectiva, con ello se encontraba, sin duda, a la altura de los proyectos artísticos con miras al futuro que nacieron en su época. Sin embargo, las formulaciones estilísticas que nacían en el occidente europeo no tuvieron una influencia directa y demostrable sobre Naum Gabo.

Hoy sabemos que el constructivismo ruso no era simple-

mente una forma de arte distinta, nueva, sino el proyecto de un mundo; una visión del mundo que interpreta, que tiene fe en el futuro, con una actitud creadora ante la realidad en todas sus manifestaciones. A partir de este espíritu revolucionario se imponían unas nuevas formas de expresión. La teoría de la obra de arte autónoma como objeto independiente de la realidad, válida aún en la actualidad, desde el punto de vista del constructivismo, tampoco era únicamente el resultado del trabajo solitario en un estudio.

Con su **Manifiesto Realista**, Gabo contribuyó a la historia del arte, porque cinco años antes ya había llevado a la práctica, con su escultura, los postulados que dirigió en 1920 al arte de su tiempo, en una apuesta radical y transformadora. Por tanto, su teoría se basaba en la práctica de su propia invención artística. En una conferencia inédita de 1989, Charles Wilson subrayó con vehemencia que, con sus tempranas cabezas constructivas -por primera vez en el invierno de 1914/15- Gabo inició su camino.

Respecto al arte, se establecen en su manifiesto los siguientes principios:

- El espacio y el tiempo son los dos elementos exclusivos de la vida real; por tanto, el arte, para poder concordar con la vida real, ha de referirse a estos dos elementos fundamentales.
- El volumen no es el único medio expresivo espacial.
- Los ritmos estáticos no son el único medio expresivo para el tiempo. Los elementos cinéticos y dinámicos son los únicos que hacen posible expresar el tiempo real.

Movido por su impulso de englobar la nueva época en todas sus manifestaciones como medio en su arte, Gabo ya había trabajado con material plástico antes de realizar *La Chatte*. Hasta entonces, este uso resultaba -desde la óptica de la escultura tradicional- tan poco «*digno de arte*» como el empleo de vidrio y acero, pero era altamente «*moderno*» y conforme a la técnica. Las esculturas que Gabo hizo durante estos años se convirtieron en construcciones espaciales completamente libres, abstractas, geométricas, compuestas por numerosas piezas individuales. La forma clara, los materiales modernos, la regularidad de una geometría exacta y los cálculos precisos de una fantasía que la naturaleza había dotado de una gran inspiración para la ingeniería, fueron los medios artísticos que crearon un discurso de una estética totalmente nueva. En estas obras, que a menudo llevan títulos de referencia arquitectónica,



como **Torre, Monumento o Fuente**, se evidencia con claridad la visión concepcional de Gabo de levantar tales construcciones espaciales en formato monumental: las catedrales del siglo XX.

La integración de arte e ingeniería gozó de particular fuerza en la Rusia revolucionaria y en el contexto de los esfuerzos del gobierno comunista por forjar un nuevo orden social que reflejara los valores y necesidades de la clase trabajadora.

En diciembre de 1920 Vladimir Tatlin exponía en Moscú su **Maqueta para un monumento a la Tercera Internacional**, una gran escultura calada concebida como prototipo de un edificio enorme y plenamente funcional de cristal y hierro. Fig. Tatlin confesó que su objetivo era la síntesis de forma artística y fines utilitarios, así como la integración de pintura, escultura y arquitectura.



El ejemplo de Tatlin fue seguido por Gabo en su **Proyecto para una emisora de radio**, ideado para Serpuchov hacia 1920/21, y en el que hacía uso, de forma expresiva, de elementos procedentes de la Torre Eiffel. Este clima artístico inspiró asimismo la serie de estructuras diseñadas para torres entre 1921 y 1924, todas ellas a la búsqueda de una imagen que sintetizara en unidad el elemento escultórico y el arquitectónico. Para Gabo la culminación de dicha búsqueda fue **Columna**, pensada en Rusia pero finalmente realizada en Berlín durante la primera mitad de 1922. Todas estas obras eran pura y simplemente esculturas, pero Gabo también las concebía como grandes monumentos públicos, como arte para las masas e índices de un nuevo lenguaje arquitectónico.

Si los ejemplos de arquitectura constructivista son raros en la URSS, la influencia ejercida por los arquitectos se dejó sentir a través de la Asociación de Nuevos Arquitectos (A.S.N.O.V.A.). Los proyectos de arquitectura de ese periodo son muchos y a veces utópicos. Su proliferación se explica por la posición de vanguardia que ocupaba entonces el arte ruso, por los concursos que convocaba el gobierno y por la novedad de los temas propuestos: palacios del trabajo, bibliotecas, casa de la cultura. Propuestas que se acercaban todas ellas a las ambiciones socialistas de elaborar un mundo nuevo.

Entretanto, la formación del grupo W.O.P.R.A. (Asociación Panrusa de Arquitectos Proletarios) en 1929, anuncia el fin del constructivismo. Este grupo se afirma como la única agrupación de artistas realmente proletarios, poseedores de la verdadera ideología marxista.

Pero si el constructivismo no fue continuado en la URSS,

muchas de sus ideas aparecen en la actividad arquitectónica internacional. La idea de construcción esculpida, la importancia de las estructuras son, además, ideas cercanas a las expresadas por Le Corbusier, y en parte, a la propuesta alemana que se consolida en el Bauhaus con un arte de síntesis y una expresión funcional.

La realización de los ideales que buscaba la revolución rusa no iba a resultar sencilla. Se estableció un debate sobre lo que debía tener preferencia: la producción de carteles de agitación y de objetos utilitarios o la creación de estructuras abstractas como modelo para un arte revolucionario. Estos dos puntos de vista partían de interpretaciones diferentes de la «función»; en una se daba mayor importancia al uso utilitario externo, y en la otra, basada fundamentalmente en las teorías de Malevich, se ponía el acento en la «economía» en la construcción estética. Un ejemplo de ello lo podemos ver en la interpretación que hace Malevich en sus diseños para objetos de cerámica realizados hacia 1920. En ellos no se tiene en cuenta ni las consideraciones prácticas ni los requisitos del consumidor y la «función» es abstraída, convirtiéndose en un principio estético de economía formal.

En 1920 Alexander Rorrenchenko y Varvara Stepanova publicaron un «*manifiesto de producción*» en el que trataban de relacionar el rechazo de la tradición y el entusiasmo por la tecnología con la ideología comunista. Sus teorías de lo que más adelante recibiría el nombre de Constructivismo identificaban la organización racional de los materiales con una definición del comunismo como «*organización ideal*».

La manifestación artística de estas teorías consistía en construcciones abstractas escultóricas que exploraban el concepto de la eficiencia material. Las fuertes críticas de las que fue objeto este «*arte de laboratorio*» por su falta de oportunidad social suscitaron un debate acerca de la manera de relacionar el arte con la industria.

En relación a este tema habían surgido varias teorías, pero estas se habían limitado a esbozar una relación abstracta entre el arte como construcción material y como forma de trabajo y el trabajo en la fábrica.

En este sentido, hay que destacar un detallado estudio del trabajo industrial que en 1922 realizó el teórico B. Arvatov, llegando a la conclusión de que la labor del ingeniero de producción era parecida a la de los artistas, pues también los ingenieros eran descubridores de las cosas, organizadores de materiales y trabajadores de la forma, aptitudes que nacían de

*La figura del ingeniero
como propuesta del
idealismo socialista*

la experiencia práctica, único medio de descubrimiento e invención. Arvatov llegaba a la conclusión de que los artistas tenían una experiencia más amplia y más diversa y por tanto podían sustituir a los ingenieros de producción. Para otros, como era el caso de Alexey Gan la tarea de este propuesto «ingeniero-artista» tenía una doble vertiente: diseñar productos industriales experimentales y también artículos para la producción masiva y en serie.

Este concepto de la función central y sintetizadora del ingeniero-artista, fue criticado argumentando que no guardaba ninguna relación con la realidad de la producción industrial, basada en la división del trabajo.

En respuesta a estos ataques, Arvatov seguía propugnando la figura del ingeniero-artista, razonando que «*el socialismo no es un grupo de seres homogéneos, sino un conjunto organizado de personalidades altamente especializadas, dedicadas a una producción colectiva*». A su manera de ver, la función del ingeniero artista era «*realizar una labor experimental en fábricas modelo y descubrir formas normalizadas en el entorno material*»⁸. Estos patrones eran un medio para demostrar principios de vida colectiva y socialista, que influyeran en el pensamiento y en las relaciones sociales.

8.Heskett (1985), p.102

Los problemas prácticos que planteaba la realización de estas teorías eran inmensos: las fábricas modelo, simplemente no existían; los únicos centros en los que se podían realizar trabajos experimentales en tres dimensiones eran los talleres de metalistería y carpintería de la institución de enseñanza de Moscú, el Vchutemas. En éstos, bajo la dirección de Rodchenko y El Lissitsky, se desarrollaba una intensa labor para hallar métodos de diseño de producción, a pesar de la escasez de materiales y equipos.

El trabajo se centraba en el diseño de prototipos de muebles multifuncionales. Aunque la austera simplicidad de las formas y la economía en el uso del espacio eran un fiel reflejo de la poca disponibilidad de espacio para trabajar. Incluso algunos de los diseños tenían cierto aire de irrealidad. Se diseñaron muebles transformables para aviones y autocares de larga distancia en un momento en que estos medios de transporte eran virtualmente inexistentes en Rusia. Tampoco las estructuras y materiales utilizados guardaban relación con los medios de producción disponibles.

Una vez más se produjeron severas críticas que evidenciaban la separación entre los conceptos estéticos y las condiciones sociales de producción y consumo.

*Arte e industria en
Alemania a principios
de siglo. La Bauhaus*

En Alemania, la idea de que los artistas abstractos podían conciliar el arte y la vida creando formas universalmente válidas para la industria se identificaba, sobre todo, con la Bauhaus, institución de enseñanza fundada en Weimar en 1919, tras la fusión de las escuelas de Bellas Artes y de Artes Aplicadas, bajo la dirección de Walter Gropius.

En los años veinte alcanzó una enorme notoriedad; unas veces ensalzada, otras rechazada, según el punto de vista de cada uno. Su clausura por los nazis en 1933 le mereció una especie de canonización institucional que sólo recientemente ha llegado a cuestionarse.

Desentrañar la madeja de mito y realidad que rodea a la Bauhaus, resulta como mínimo muy difícil, pero hay dos aspectos que me gustaría destacar: por un lado, constatar que el método educativo elaborado en esta institución estaba idealmente adaptado al diseño industrial; en segundo lugar, que se considera a esta escuela como origen del diseño industrial moderno.

En los primeros años de la Bauhaus se buscaba principalmente unificar el arte y la artesanía. La estructura pedagógica se fundamentaba en el Vorkurs, o curso preliminar, creado inicialmente por Johannes Itten, y obligatorio para todos los alumnos. Se basaba este curso en el concepto del aprendizaje a través de la práctica. Partiendo de una base de estudios teóricos, los trabajos prácticos exploraban y combinaban color, materiales y textura. A este curso preliminar seguía el aprendizaje en el taller de una disciplina optativa de arte, artesanía y, a partir de 1924, arquitectura, en donde la metodología básica del Vorkurs se aplicaba a la actividad especializada elegida por el alumno.

Itten concebía la enseñanza en un sentido metafísico: la experimentación constituía un método de autoconocimiento. Después de su partida en 1923, se hicieron cargo del Vorkurs Lazlo Moholy-Nagy y Josef Albers, quienes daban especial importancia a la objetividad técnica y a la economía, a conseguir el máximo efecto con el mínimo esfuerzo, cosa que una vez más conducía a las formas abstractas y geométricas respaldadas por una teoría idealista y platónica.

Este cambio reflejaba una evolución en las ideas de Gropius, que en 1923 preconizaba la noción de «arte y tecnología: una nueva unidad». El significado de esta afirmación lo resumía

Gropius en un documento a modo de principios generales en donde explicaba el funcionamiento de los talleres.

La escuela tuvo, en su conjunto, significados y valores diversos. Hay que destacar su actitud de filtro a través del cual las tendencias de la vanguardia figurativa llegaron a influir en el diseño y en la arquitectura, dando lugar a un estilo Bauhaus, y produciendo una notable aportación al lenguaje racionalista.

9. De Fusco (1992), p. 268.

Para De Fusco, la Bauhaus «*intentaba convertir la protesta expresionista en la construcción de un método riguroso*»⁹. En efecto, la afirmación es justificable ya que su inicio fue de carácter expresionista. Concretamente Gropius, manifestaba su vanguardismo esforzándose en la agrupación de todas las energías que operaban en los diversos sectores artísticos y orientándolas hacia la arquitectura.

Pese a las reservas que sin duda podemos tener acerca de la Bauhaus, no se puede negar la influencia que ha tenido. El heterogéneo grupo de hombres reunido por Gropius, aunque era sumamente individualista, supo lograr una fuerte cohesión colectiva. Al dispersarse todos los componentes de este grupo debido a la llegada de Tercer Reich, todos llevaron consigo una gran convicción, que tendría un gran impacto en cualquier lugar en el que se establecieran y a su vez era reafirmada por un gran número de seguidores.

Puentes metálicos

El desarrollo de la industria y de la agricultura trajo consigo la correspondiente expansión de la red ferroviaria y una creciente intensidad del tráfico. Por consiguiente, la necesidad de puentes de gran luz, al mismo tiempo que económicos iniciaba una carrera imparable.

El interés manifestado por el hierro se debe al invento de la máquina de vapor, que introduce dos cambios en la técnica de la construcción de puentes. Por una parte produce nuevos tipos de máquinas para mejorar la construcción y, por otro lado, contribuye a la realización de un nuevo método de transporte, que a su vez exige nuevos tipos de puentes.

Puentes de fundición

Hasta 1775, año en que se propuso la construcción del primer puente de hierro, este material apenas había sido empleado en la construcción, salvo en forma de barras de refuerzo de bóvedas y cúpulas. Pero el progreso de la minería y de la siderurgia en Inglaterra, dio ocasión a que, ante la construcción de un puente de 30 metros de luz sobre el río Severn, en Coalbrookdale, que en principio estaba previsto como de fábrica, los herreros Darby y Wilkinson tuvieran la iniciativa de

proponer un puente enteramente de fundición, diseñado por el arquitecto T.F. Pritchard de Sherwsbury.

El puente lo forman cinco arcos paralelos de 30,50 metros de luz, formados por dos semiarcos de una sola pieza. Actualmente está fuera de servicio y es conservado como monumento histórico. Este prototipo fue imitado rápidamente, y a finales de siglo ya existían en Gran Bretaña varios puentes de fundición.

Uno de ellos, es el segundo puente que se construye sobre el río Severn, en Buildwas, con una longitud de 39 metros. Supone una proeza por parte del ingeniero Thomas Telford¹⁰, al conseguir un peso de 173 toneladas, en lugar de las 378 del primer puente de Coalbrookdale.

En los primeros treinta años del siglo XIX, Telford adoptará la fundición para construir numerosos puentes, puentes-canales y acueductos. Crecen las luces y se aligera el peso. En 1801, Telford propone la sustitución del puente de Londres por un único arco de fundición de 180 metros de longitud; el proyecto es abandonado, pero no porque se dude de su posibilidad técnica o de su conveniencia económica, sino por la dificultad que representaba expropiar terrenos a ambos lados del puente.

En Francia el nuevo material se introdujo en la construcción de puentes gracias a una decisión gubernamental. El 25 de julio de 1802, la Orden de los Cónsules obligaba a la Compañía que había obtenido la concesión de tres puentes nuevos de madera en París, a construirlos de fundición. Con esta decisión, motivada esencialmente por razones de prestigio, se intentaba introducir en Francia la nueva técnica que, desde hacía 20 años se utilizaba en Gran Bretaña.

De estos tres puentes -Puente del Jardín de las Plantas, convertido en 1805 en Puente de Austerlitz, Puente de la Cité y Pasarela de la Artes-, subsiste solamente la Pasarela de las Artes.

Mientras tanto, se generaliza el uso de la fundición en la edificación; columnas y vigas de este material forman el esqueleto de muchos edificios industriales, permitiendo cubrir grandes espacios con estructuras relativamente ligeras y, lo que era más importante, no atacables por el fuego.

En España tenemos un ejemplo de puente de fundición en el puente de Triana en Sevilla, uniendo el casco urbano con el barrio de Triana. Es un puente de tres tramos, con pilas y estribos de piedra y firme de hierro. Cada tramo está soportado por cinco arcos rebajados de fundición, y cada arco sostiene



10. Thomas Telford nació en 1757, en el condado de Dumfries (Escocia). Aunque de origen muy humilde, llegó a ser el primer constructor del mundo de puentes colgantes. La enseñanza que recibió en la infancia fue muy elemental pero completó su formación por sí solo estudiando en una biblioteca.

En el campo laboral, sus inquietudes se ceñían al ámbito de la construcción. Comenzó como jornalero pero su ambición y tenacidad le hicieron escalar puestos hasta llegar a ser ingeniero de la Compañía del Canal de Ellesmere. Mientras duró su trabajo en este gran proyecto visitó Shrewsbury, en el interior de la zona industrial del hierro y del carbón.

En consecuencia comenzó a interesarse por el hierro como material estructural; siguió los trabajos de Darby y Wilkinson y también los de Tom Paine y finalmente tuvo oportunidad de probar por sí mismo las posibilidades del hierro, al tener que proyectar un puente sobre el Severn en Buildwas después que una riada había arrastrado el viejo, en 1795. Telford consiguió construir una estructura más ligera que la del puente de Coalbrookdale. A partir de aquí comienza una carrera de experiencias con el nuevo material, llegando a ser nuestro de los puentes colgantes.

Una información más amplia sobre este gran ingeniero se puede encontrar en el libro de Steinman y Watson (1979, p. 148-151).





Puentes de hierro

catorce anillos que, en grupos de siete y de mayor a menor se colocan desde las pilas hacia el centro, entre los arcos y el tablero. Se inauguró en 1852 y fue reparado en diversas ocasiones, pero la intervención más importante se realizó en 1961 y consistió en alterar el esquema resistente de modo que, aunque resulta casi imperceptible, los arcos no trabajan.

Paralelamente a la fundición se inicia el empleo del hierro y se desarrolla rápidamente. Aunque más caro que la fundición, ya que exigía más trabajo de elaboración, su resistencia a la tracción era muy superior a la de aquella. Y por primera vez, los constructores disponían de un material que permitía realizar los tres grandes tipos de puentes: puentes suspendidos, puentes de vigas y puentes de arco.

Las tres tipologías eran conocidas desde los tiempos más remotos, pero las luces permanecían muy limitadas a causa de las características de los materiales. Con la fundición, que apenas resistía a tracción, no se podían hacer más que arcos, del mismo modo que con la piedra no se podían hacer más que bóvedas. El hierro iba a ofrecer posibilidades incomparablemente más amplias, iba a posibilitar los puentes colgantes.

Y así toma cuerpo la idea de los puentes colgantes de cadenas de hierro, que se adaptan mejor que los de fundición a las grandes luces, y ofrecen una mayor elasticidad frente a los esfuerzos dinámicos.

Puentes colgantes

Los puentes colgantes son estructuras casi míticas, indisolublemente asociados al paisaje americano, pues es allí donde alcanzaron, a finales del siglo pasado y comienzos del actual, su máximo esplendor.

Si bien es cierto que desde hace 2000 años se sabía construir pasarelas suspendidas, las cadenas estaban formadas por eslabones de hierro forjado, y la luz era muy limitada a causa del peso de las cadenas. El primer ejemplo conocido es una pasarela peatonal. Data de 1741 y salva el río Tees con una luz de 21 metros.

Fue la invención de las cadenas formadas por barras de hierro articuladas, patentada en 1817 por Brown en Inglaterra, la que permitió pasar con celeridad a luces mucho mayores.

Telford, desde 1801 persigue el objetivo de levantar un puente colgante sobre el estrecho de Menai pero el bloqueo

napoleónico y la crisis general en que estaba sumido el país de Gales no permitieron su realización.

Pocos años después, en 1813, un capitán de la marina inglesa construye un puente de 110 metros sobre el Tweed que es considerado como el prototipo de los puentes europeos.

Entre 1818 y 1826, Telford lleva a cabo su idea de construir un puente sobre el estrecho de Menai, con una luz de 176 metros. El éxito de este puente que ha permanecido en servicio hasta 1940, fue determinante para el desarrollo de los puentes colgantes. A partir de aquí se van sucediendo los modelos de esta tipología en un impulso ascendente.



En Francia, los puentes colgantes fueron introducidos por una decisión de la Administración al encargar un estudio de los mismos a Navier y también la construcción de un modelo que estaría situado frente a la Esplanada de los Inválidos. Navier escribió una Memoria sobre los puentes colgantes que presentó en la Academia de Ciencias en 1823. También desarrolló un proyecto que, en 1826, cuando estaba casi terminado, tuvo que ser demolido por problemas de cimentación.

Pese a todo, en el emplazamiento del actual Puente de los Inválidos se construyó un puente suspendido de 68 metros de luz, terminándose en 1829. A continuación se construyeron en París otros puentes colgantes, pero todos fueron sustituidos a finales del siglo XIX.

En Estados Unidos, fue el ingeniero Charles Ellett quien introdujo la técnica de los cables de hilos paralelos. Cuando regresó a América, después de finalizar sus estudios en Europa, construyó varios puentes importantes, entre ellos un récord del mundo, el puente Wheeling sobre el río Ohio, en 1849, con 308 metros de luz. A partir de aquí sería Roebling quien iba a mejorar y desarrollar muy ampliamente la técnica de los puentes colgantes.

Mientras que Ellett situaba los hilos en capas que sostenían barras horizontales a las que se anclaban las suspensiones, Roebling reunía los hilos en cables cilíndricos fuertemente apretados, a los cuales quedaban enlazados los tirantes por medio de collares. Alrededor de este cable se enrollaba un hilo fuertemente estirado para completar el apretado e impedir la penetración del agua.

Con este sistema, Roebling llevó a cabo la construcción del puente sobre el Niágara, más tarde el de Cincinnati y después



Puentes de vigas

el puente de Brooklyn. Este último lo veremos más adelante en el apartado correspondiente a los puentes de acero, porque con él inauguró Roebling el empleo de cables de acero.

Esta tipología, la más adecuada para cubrir grandes luces, tiene escasos ejemplos en España. El más significativo es el puente de Amposta, sobre el río Ebro, construido en 1914 por José Eugenio Ribera. Fig. Para construirlo, y debido a las características del terreno, Ribera tuvo que realizar una cimentación a treinta metros, lo que supuso un record de profundidad que se ha mantenido hasta hace poco.

El puente de Amposta se convirtió desde su inauguración en el factor determinante de la personalidad de esta ciudad y se conserva en perfecto estado, pese a que hubo de ser reacondicionado en los años sesenta para adecuarlo a las condiciones del tráfico actual.

Los primeros puentes colgantes sufrieron numerosos accidentes, siendo destruidos por el viento muchos de ellos. Estos accidentes tenían su origen básicamente en la insuficiente rigidez de estas obras y probablemente también en la disminución de la resistencia de los cables debida a la oxidación.

En efecto, en estos primeros puentes las vigas transversales suspendidas de los tirantes no estaban unidas entre sí en sentido longitudinal más que de un modo muy flexible, produciéndose deformaciones importantes bajo el peso de las cargas. Pero las verdaderas vigas de rigidez no aparecieron hasta fin de siglo, en los puentes suspendidos de acero.



Una pasarela de vigas es la construcción que realiza el escultor George Trakas en Lewiston Artpark en 1976, en el estado de Nueva York. Es una pasarela metálica, un larga cinta lineal que descansa sobre apoyos regulares en forma de U invertida. Está situada junto a las orillas del río Niagara que sirve de frontera entre la provincia canadiense de Ontario y el estado americano de Nueva York.

Esta pasarela conduce al visitante a la proximidad de las formaciones rocosas de la costa. La obra se completa con una rampa de albañilería diseñada como una cascada de cemento. Al realizar este paseo, el espectador tiene la impresión de entrar en el paisaje. Aunque sin riesgo alguno, **Rock River Union** desafía al visitante.

La sensación de peligro es una constante en la obra de Trakas, para quien el riesgo es un estímulo, una fuente de exaltación, de acuerdo con el carácter impetuoso del lugar. Se

cuestiona el artista de qué forma afecta el cuerpo en la percepción que tenemos del mundo exterior. En su opinión no se trata tanto de la agudeza de los sentidos como de la manera que reaccionamos ante el espacio.

Esta idea, al hilo de su trabajo, no deja de levantar nuevas cuestiones vinculadas siempre a la relación de nuestro cuerpo (su posición en el espacio, talla, peso, movimientos, estructuras culturales y psíquicas, etc.) y el entorno inmediato.

Por ello, para Trakas, las intervenciones en el espacio público ofrecen las únicas posibilidades de expresión ya que le permiten confrontar estas cuestiones con los lugares elegidos con la máxima precisión. Esta cuestión, que podríamos llamar «*estrategia del lugar*», es un aspecto que conecta con la localización del puente. Aunque sin duda, los motivos que justifican una determinada ubicación en la situación concreta de un puente, están sujetos a unas variables diferentes, como puede ser el curso de un río, la adecuación al trazado de la carretera o los resultados de los análisis geológicos.

Cuando, hacia 1830, la producción industrial de hierro se desarrolló para la fabricación de calderas, el nuevo material fue utilizado en Europa, en forma de vigas de alma llena, para la construcción de alguno de los puentes de ferrocarril.

La realización más espectacular de vigas metálicas fue la del puente Britannia, construido en 1850 por Robert Stephenson, compuesto por dos tramos centrales de 140 metros y dos laterales de 70 metros.

Para franquear unas luces tan importantes y para evitar un exceso de flexibilidad, habían concebido un tablero muy rígido sostenido por cables. Pero como este tablero demostró una rigidez suficiente por sí mismo, los cables inicialmente previstos no fueron colocados. Se trata de un tubo rectangular de paredes llenas y altura constante, por cuyo interior pasaban los trenes.

Este puente ocupa un lugar de excepción en la historia de los puentes porque aporta innovaciones fundamentales:

- a) Ensayo previo de una sección de la viga cajón; lo que demostró la necesidad de rigidizar frente a la abolladura la cabeza de compresión y las almas.
- b) Prefabricación, transporte fluvial y montaje de las vigas, con enlace de continuidad posterior.
- c) Desnivelación de apoyos para regular las reacciones



y aproximar la ley de momentos flectores de peso propio a los de una viga continua.

El Britannia ha estado en servicio hasta el año 1971, fecha en la que sufrió daños como consecuencia de un incendio y tuvo que ser reemplazado.

[1. Ver el apartado específico del cap.1

En América, donde se habían realizado numerosos puentes de vigas de celosía de madera¹¹, el hierro se utilizó en un principio para construir las diagonales tendidas de las vigas mixtas de madera y metálicas. Después, las vigas fueron construidas totalmente en hierro, con disposiciones muy variadas para las triangulaciones. Sólo a partir de 1850 el sistema se desarrolló en Europa, reemplazando al de las vigas de alma llena.

En Francia, el principal constructor de esta época fue Gustavo Eiffel (1832-1923), autor de numerosos puentes metálicos de vigas trianguladas, tanto para ferrocarril como de carretera. Sus pilas son a veces de piedra, a veces de fundición y, con más frecuencia, pilonos triangulados de hierro.

Esta tipología tiene importantes ejemplos en España, ligados estrechamente al ferrocarril. Este, por las condiciones del propio trazado, que exige una rasante lo más horizontal posible, necesita puentes de luces mayores. Otras exigencias como la rapidez en su fabricación, la economía y la facilidad de montaje, impulsan su adopción por las líneas ferroviarias. El primer ferrocarril español se pone en funcionamiento en 1848, cubriendo el trayecto de Barcelona a Mataró.

En las primeras líneas de corto recorrido se construyeron inicialmente puentes de madera, material poco adecuado por el peligro de incendios que provocaba el propio ferrocarril, por lo que pronto fue sustituido por celosías metálicas. Los primeros puentes españoles de este tipo fueron construidos por compañías extranjeras que dominaban la técnica y el mercado. A partir de 1869, la compañía Maquinista Terrestre y Marítima que construyó el primer puente metálico español, comienza a abordar este tipo de obras.

Puentes de arco

El hierro se adaptaba perfectamente a la construcción de puentes en arco. Pese a su mayor precio, fue sustituyendo progresivamente a la fundición a causa de sus mejores características mecánicas. Los grandes arcos metálicos aportaron una solución relativamente económica y muy espectacular para franquear a gran altura valles profundos y ríos anchos en los que las cimbras resultaban muy difíciles y costosas.

Dos obras ferroviarias de Eiffel, el puente María Pia en Oporto sobre el río Duero, de 1878 y con 160 metros de luz y el viaducto de Garabit sobre el río Truyère, de 1884 y 160 metros de luz, se consideran las realizaciones más importantes dentro de la tipología arco metálico. En realidad, ejemplifican un método y una estética que hallaron su apogeo definitivo en el diseño de la Torre Eiffel. La base en forma de embarcación y la sección vertical parabólica del pylon tubular de hierro que Eiffel creó para los viaductos son formalmente indicativas de su intento constante para resolver la acción interdinámica del agua y el viento.



Estos arcos, así como los tableros que soportan, fueron construidos en voladizo, siguiendo una técnica propuesta por Eiffel que permitía evitar por completo la cimbra. La construcción en voladizo se desarrolló ampliamente a partir de entonces.

En España, donde los puentes metálicos ocupan un lugar secundario con respecto a los de fábrica, la tipología en arco no es frecuente; y ello por dos motivos esenciales: económicos y geográficos. El acero es mucho más caro, y las características de nuestra orografía no presentan dimensiones tan vastas como para obligar a adoptar necesariamente este material. A esto hay que añadir que la tecnología del hormigón se ha desarrollado tanto durante el siglo XX, que hoy resuelve los mismos problemas que su rival.

No obstante, tenemos una importante representación en el viaducto del Pino, que se tiende sobre el río Duero en la provincia de Zamora, obra del ingeniero José Eugenio Ribera. Este arco rebajado de celosía metálica, proyectado entre 1902 y 1906 fue la solución adoptada por Ribera entre las doce propuestas que se planteó. Pero era ésta la solución que resolvía el problema con el menor peso en hierro, lo que la convertía también en la mejor solución desde el punto de vista económico.



Aunque el interés del viaducto va más allá. El ingenio de Ribera no fue sólo diseñar un arco formado por dos vigas de celosía Pratt con un peso de hierro de 414 kg/ml, frente a los 6.000 y hasta 9.000 de los puentes de Eiffel; además este arco estaba articulado en sus extremos.

La obra concluyó en 1914, siendo record de luz en su momento (120 metros) y actualmente está declarado Bien de Interés Cultural.

El acero en todas las tipologías

El acero, gracias a sus características y, sobre todo a su resistencia, iba a sustituir totalmente a la fundición y al hierro. Sin embargo, la evolución fue progresiva, a medida que las posibilidades del acero eran mejor apreciadas. Fue después de la invención del convertidor, en 1856, a cargo de Bessemer, cuando la fabricación comercial del acero permitió su empleo en los puentes.

Con el acero también se iban a configurar puentes de las tres grandes tipologías: arcos, colgantes y de vigas. Dado que el objetivo de este trabajo no es la catalogación, mencionaré a modo de ejemplo sólo uno o dos modelos de cada una de las tipologías.

Arcos de acero

El primer gran puente en el que el acero fue utilizado ampliamente es el de St. Louis, Missouri, sobre el río Mississippi, construido por James B. Eads entre 1868 y 1874¹². Es una estructura de doble plataforma para ferrocarril y carretera, que está formada por tres arcos que cubren vanos de 153, 158,5 y 153 metros respectivamente. El sistema estructural de cada tramo fluvial consiste principalmente en dos nervios a cada lado, unidos por una armadura Warren montada en el plano vertical entre los pares de nervaduras en un costado y por un armazón instalado transversalmente entre las nervaduras inferiores de cada lado. La carga de las dos plataformas pasa a los arcos mediante una estructura rectangular de vigas y postes en las plataformas.

12. Información sobre este puente se puede encontrar en el libro de Steinman y Watson, *Puentes y sus constructores* (1979, pp. 183-214). Se describe, en un relato ameno, desde los estudios de Eads familiarizándose con el Mississippi, las sospechas y recelos de las compañías rivales a la construcción del puente, organizando campañas de descrédito contra los planes de Eads, hasta los diferentes proyectos que se elaboran para llegar al proyecto definitivo.

Es usual que en las obras de esta magnitud se refleje la participación ciudadana y la opinión pública cristalice y tome conciencia antes de materializarse el proyecto. En el caso del puente de San Luis, tanto el diseño como los métodos constructivos suponían una innovación, y en este sentido hay que pensar que los obstáculos a vencer fueron múltiples, tanto a nivel social como técnico.

La valentía y coraje de su autor se justifica en las innovaciones que aporta esta estructura, en la que emplearon por primera vez cajones de aire comprimido para la cimentación de las pilas, también por primera vez se usaron elementos tubulares. Los arcos eran empotrados, lo que ocasionó considerables problemas, tanto de cálculo como de montaje.

Finalmente, y pese a los grandes riesgos que se hubieron de vencer, el puente aguantó las pruebas de carga originando un gran espectáculo entre las gentes de San Luis, y dos días después, el 4 de julio de 1874 la ciudad celebró la terminación del puente con un gran festejo. El éxito de este puente alentó la construcción de arcos metálicos desde principios del siglo XX.

Hablando del puente de Eads hay que decir que tuvo una gran importancia para el desarrollo de St. Louis, convirtiéndola en un nudo ferroviario y en la ciudad más importante del Mississippi. La aportación y significado de este puente en la llamada «conquista del Oeste» se reconoció al figurar como motivo de un sello de los Estados Unidos en la emisión del «*Trans-Mississippi*» de 1898. Fue el primer puente en recibir tal distinción.



Como ejemplo de puente de vigas, hablaremos del famoso puente sobre el Firth of Forth cerca de Edimburgo. Un modelo que pertenece al sistema llamado «cantilever», cuyo principio se encontraba en las pasarelas primitivas¹³. Esta estructura sustituye al diseño inicial de un puente colgante. La preparación de los planos definitivos para el puente fue precedida por una serie de experimentos destinados a determinar, con la mayor exactitud posible, los efectos de la presión del viento sobre un tramo de esta longitud. Esta investigación adquirió carácter urgente tras derrumbarse el puente sobre el Firth of Tay en diciembre de 1879.

El diseño actual fue construido por John Fowler y Benjamin Baker, entre 1881 y 1890. La longitud total de más de 1.600 metros entre los estribos era ya impresionante para la época, pero lo que parecía increíble era la longitud de las armaduras en voladizo combinadas, compuesta por dos vanos centrales de 521 metros de luz y dos tramos laterales de 207 metros. Cada tramo principal consta de dos ménsulas de 207 metros que soportan en sus extremos un tramo independiente de 107 metros.

El diseño del puente suponía una innovación, ya que hasta ese momento la práctica de la ingeniería había utilizado una serie de principios diferentes para tender un puente de tramos largos: la suspensión de cadenas colgando desde pilones, anchas vigas rectangulares autosustentadas que encerraban la vía, vigas tubulares circulares con la vía suspendida debajo. Pero Baker se alejó de aquellos y sentó el principio, menos conocido, del cantilever: tres voladizos unidos soportando dos sencillas secciones de apuntalamiento.

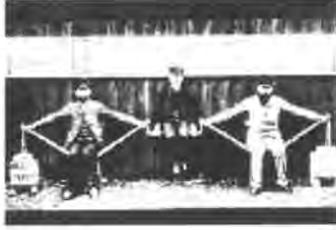
Aunque el principio del cantilever había sido ensayado en una escala más reducida y de forma menos radical en Alemania en 1867, un estímulo para el puente de cantilever lo constituía una tradición de puentes de madera orientales que interesaba a Baker, hombre de inclinación histórica. Por un lado, se conocía un ejemplo tibetano que había sido dibujado a finales del siglo XIII, y otro ejemplo conocido en Inglaterra era el puente Wangto sobre el río Sutlej en India. Un tercero se veía en el diseño cerámico Willow. Baker adaptó este antiguo principio a la construcción metálica a escala colosal.

Una de las ventajas de los puentes de cantilever es que el patrón de tensión se calcula clara y fácilmente. En el puente de Baker los pilares laterales superiores están en tensión, los laterales inferiores en compresión, e igualmente los pilares centrales. El principio estructural de este puente, fue demostrado por miembros del equipo de Baker, y quedó reflejado en una fotografía.

Puentes cantilever

13. «Un cantilever o contrapeso es una viga o armadura soportada por un solo extremo, en contraste con el miembro simple, que está sustentado por ambos extremos, y el miembro continuo que carga sobre soportes intermedios terminales. Un voladizo no se sostendrá a no ser que de algún modo esté anclado en su soporte o mantenido en su lugar por medio de otro miembro que se extienda en la dirección opuesta desde el extremo fijo para contrapesarlo. Combinando dos armaduras en voladizo con una armadura simple montada entre ellos en sus extremos libres, los constructores pudieron incrementar la luz mucho más allá de la dimensión máxima que era la norma alrededor de 1880» (Kranzberg, M. 1981, p. 677).





14. La postura de Baker con relación a su puente la expresa con cierta contundencia en el Instituto Literario de Edimburgo. Ante la provocación de Morris, dijo que dudaba de:

«si el señor Morris tenía el más mínimo conocimiento de las funciones que tenía que cumplir la gran estructura, y él no podía juzgar la impresión que causó en las mentes de quienes, teniendo ese conocimiento, podrían apreciar la dirección de las líneas de tensión y la capacidad de los muchos pilares para resistir los empujes. Probablemente, el señor Morris juzgaría la belleza de un diseño desde el mismo punto de partida, ya se tratase de un puente de una milla o del ornamento de plata de una chimenea. Era imposible que nadie se pronunciase con autoridad sobre la belleza de un objeto sin conocer sus funciones. Las columnas narmóreas del Partenón eran bellas donde estaban, pero si se tomase una y se la perforase siguiendo un eje y se utilizara como chimenea en un transatlántico, según él, dejaría de ser bello, pero, por supuesto, el señor Morris pensaría de otra manera.

A él (Sir B. Baker) se le había preguntado por qué la parte inferior del puente no se había hecho como un verdadero arco, en vez de tener forma poligonal, y su contestación fue que, de haberlo hecho así, habría materializado una falsedad. El Puente Forth no era un arco, y lo decía por sí mismo. Los críticos deberían estudiar primero el trabajo a realizar por los pilares y por la estructura superior, así como los materiales empleados, antes de estar en condiciones de decidir si era bello o feo. Sería añadido un error absurdo suponer que Sir John Fowler y él mismo habían dejado de lado la consideración del diseño desde el punto de vista artístico. Lo hicieron desde el principio. Una forma arquenda era reconocida por su gracia, y ellos habían aproximado su puente a esa forma cuanto habían podido, sin sugerir falsas construcciones y engaños. Hicieron los pilares de compresión como fuertes tubos, y los de tensión como obras de ligera celosía, de modo que para cualquier ojo inteligente la naturaleza de la tensión y la suficiencia de los elementos de la estructura para resistirlos quedara subrayada por todas partes. El objetivo había sido disponer las principales líneas de la estructura para transmitir una idea de fuerza y estabilidad. Esto, en una estructura así, parecía ser a la vez el más verdadero y elevado arte».

La nota está recogida de M. Baxandall (1989) Modelos de intención. Sobre la explicación histórica de los cuadros, pp. 37-41.

Lo que resulta evidente es que el Puente Forth no pasó inadvertido. Una amplia gama de opiniones reflejaba el gusto público de aquel momento: William Morris expresó su crítica negativa calificándolo de «fealdad suprema». Alfred Waterhouse, por el contrario se pronunciaba a favor, partiendo de una posición funcionalista. El mismo Baker, al ser provocado por Morris, habló ampliamente de su obra en una conferencia en el Instituto Literario de Edimburgo¹⁴.

A partir del puente del Forth, el tipo cantilever se popularizó y los ejemplos aumentaron durante el primer cuarto del siglo XX. Su rigidez le adecuaba para ferrocarril.

El puente del Forth fue record mundial de luz hasta la terminación del puente de Quebec sobre el río San Lorenzo, en 1917, con una luz de 549 metros.

Este, como la mayoría de los grandes puentes, tuvo que superar serias dificultades antes de ser construido. El primer intento se llevó a cabo en 1900, cuando Theodore Cooper proyectó la estructura de mayor luz a nivel mundial. La propuesta de construcción del vano se ajustaba al método de voladizos sucesivos. Con este método, después de construir las ménsulas de anclaje sobre andamios, el brazo en ménsula y la mitad del vano biapoyado se construyen en voladizo desde cada pila. Se proveen unas conexiones especiales articuladas para facilitar el ajuste final cuando se encuentran las dos mitades en el centro del vano.

Cuando el brazo sur del vano principal se aproximaba al centro del canal, algo funcionó mal en uno de los elementos del cordón inferior y toda la estructura se derrumbó. Era la catástrofe más alarmante de la historia de la construcción de puentes.

Las investigaciones revelaron que el colapso fue causado por el pandeo de un elemento a compresión, debido a un arriostamiento inadecuado. Para el diseño de secciones y detalles de elementos a compresión, se habían adoptado reglas empíricas que sólo se habían verificado en elementos más pequeños. Como consecuencia de este desastre hubo una revolución técnica en el diseño y cálculo de piezas comprimidas.

Años más tarde se inicia la construcción de un nuevo proyecto que se había diseñado con la supervisión de un comité de ingenieros que no estaba dispuesto a correr riesgos. El nuevo diseño llevaba dos veces y media más cantidad de acero que el primero. Pero en el momento de izar el vano, un nuevo fallo provocó el hundimiento.

Un año después, en 1917, se terminó un nuevo tramo central que se remolcó al centro del río y se elevó con gatos hidráulicos; al cabo de cuatro días, el tramo fue conectado a las ménsulas. Y así, terminaba la construcción del puente de Quebec, estableciendo un nuevo récord mundial de luz.

Mientras el puente de Quebec luchaba por existir, en Nueva York se construía el puente de Queensboro, un cantilever continuo de luces desiguales. Una característica peculiar de este puente es la omisión del vano biapoyado: los brazos en ménsula se juntan sobre ambos centros sin vano biapoyado entre ellos, convirtiendo en indeterminada la estructura.

A nivel estético, su apariencia es pesada, porque el peso de las secciones y detalles también lo es. En él se empleó por primera vez acero al níquel. La nueva aleación contenía un 3% de níquel y era un 50% más resistente en proporción a su peso, que el acero ordinario empleado en la construcción de puentes.

Como consecuencia de la rotura del puente de Quebec, aumenta la preocupación por la seguridad en obras posteriores, como en este puente, donde se nombraron dos grupos independientes de ingenieros para comprobar el proyecto e informar de su seguridad. De esta manera se pudo corregir un error del principio del proyecto, el cálculo de la sobrecarga.

El método constructivo por voladizos sucesivos fue simplificándose, de tal forma que, diez años después del puente de Quebec, en el que el vano central se elevó con gatos hidráulicos en un plazo de cuatro días, esta tarea se podía resolver por un método más simple en tan sólo treinta y cinco minutos.

Un puente singular dentro de la tipología de viga es el puente transbordador de Portugalete-Las Arenas, que salva el río Nervión en su desembocadura. Sustituye al famoso puente colgante de los frailes de San Francisco. Su construcción, de 1891 a 1893, fue iniciativa de la Sociedad Puente de Vizcaya y dirigida por el arquitecto-ingeniero Alberto de Palacio.

Es un puente que corresponde a la estética industrial de finales del siglo XIX, basada en la arquitectura del hierro. Pertenece a la tipología **puente de viga**, de la cual pende una barquilla transbordador sujeta por cables. Tiene una luz de 160 metros, y 45 metros de gálibo, para no obstaculizar la navegación.

Consta de cuatro torres metálicas, arriostradas con cables de acero y enlazadas dos a dos, con una altura total de 51





metros. El tablero estaba constituido originariamente por una viga de celosía en forma de cruz de San Andrés, pero la destrucción parcial del puente en junio de 1937, supuso algunos cambios en su reconstrucción, que fue llevada a cabo por J. Juan Aracil. Los cambios significativos que introdujo Aracil son dos básicamente: el sistema de suspensión, a base de péndolas y la viga de celosía con disposición en cruz de San Andrés por una viga warren. El puente se reinauguró el 19 de junio de 1941.

La novedad que aporta este puente es la de ser el primero de sus características en el mundo. Soluciona de manera brillante el problema funcional que supone cruzar brazos de mar, rías o canales marítimos, ya que estos pasos están permanentemente sometidos a la variación del nivel del agua a causa de las mareas, la acción del oleaje, la acción del viento, las corrientes, etc. Además, debían permanecer completamente libres en altura para permitir el paso de los buques, y en toda su anchura para no perjudicar a la navegación.

Los sistemas convencionales usados hasta entonces, es decir el recurso de los puentes móviles en cualquiera de sus variedades (de barcas, levadizos, giratorios), no resolvían satisfactoriamente las dificultades planteadas. La solución aportada por Palacio, de puente transbordador, resuelve el problema de modo sencillo y elegante y sobre todo de acuerdo con la estética de la época.

Las pilas ocupan muy poco espacio en cada margen y no interrumpen ningún servicio. El transbordador, que funciona en el aire, no se ve afectado ni por corrientes, ni por el oleaje. Por otra parte, este tipo de puentes no necesitan para su construcción de ningún tipo de andamiaje, lo cual favorece la navegación, que en ningún momento se ve interrumpida.

La monumentalidad del conjunto y el carácter genuino de su diseño, le otorgan un valor simbólico, de puertas abiertas a la ciudad.

Otro transbordador no menos interesante, es la obra del español Leonardo Torres Quevedo sobre las Cataratas del Niágara, de 1914. En las publicaciones que analizan la evolución de la ingeniería estructural, no es fácil encontrar referencias sobre este transbordador. Aparentemente se trata de una obra menor si se compara con las impresionantes obras de ingeniería estructural que se realizan a lo largo del siglo XIX.

Pero se trata de una obra que resuelve un problema que no es menor: cruzar las cataratas del Niágara entre dos puntos

separados 550 metros, con recursos mínimos, con seguridad máxima y con elegancia que se manifiesta en la concepción general y en cada uno de los detalles de la obra. Esta estructura, dice Javier Rui-Wamba, «ha influido en el desarrollo posterior de la ingeniería del acero y más recientemente en estructuras tan actuales como las que se engloban en la llamada arquitectura 'high-tech'»¹⁵

15. Rui-Wamba (1995), p. 9.

Los orígenes de esta estructura se remontan hacia el 1884, año en el que Torres Quevedo, en su refugio cántabro del Valle de Iguña, construyó un pequeño transbordador. En 1896 patentó el sistema con el que más adelante construyó el del monte Ulía en San Sebastián, con una solución análoga a la que pocos años después (1914-1916), le llevó a construir el transbordador del Niágara.

La estructura estaba constituida por seis cables portadores que se apoyaban en dos torres que en el Niágara se situaban a 550 metros de distancia. Los cables de uno de los lados iban anclados en un macizo de hormigón, encajado en el macizo rocoso que servía de cimiento. En el otro extremo, contrapesos con libertad de desplazamiento vertical, aseguraban una tensión constante en los cables. El carro de traslación estaba constituido por un conjunto de 12 ruedas unidas seis a seis, mediante dos ejes horizontales, uno a cada lado del carro.

Los dos ejes con seis ruedas cada uno se solidarizaban mediante una elegante estructura constituida por dos perfiles de forma semicircular y un sistema radial de cables que coincidían en un nudo del que nacían, a su vez, los cables radiales de los que colgaba la barquilla. Se conformaba así un recinto con forma rectangular de 6 x 3 metros, con capacidad para 24 pasajeros sentados y un pasillo central apto para otros 21 pasajeros más.

Transversalmente, los dos arcos comprimidos estaban arriostrados con un sistema de cables en forma de cruces de San Andrés y la estabilidad transversal del carro estaba asegurada también mediante cables inclinados que unían las cuatro esquinas de la barquilla con los cuatro bordes de los ejes. El transbordador se completaba con los sistemas de tracción y retención del carro, con los dispositivos de frenado y seguridad, y con plataformas de acceso y desembarque integradas en el diseño de las torres de sujeción de los cables, que también cobijaban a los contrapesos y motores que aseguraban el movimiento de la barquilla.

La flecha de los seis cables portadores, tres a cada lado de la barquilla, que lógicamente dependía de la envergadura de los contrapesos construidos, variaba de unos 14 metros sin la



barquilla hasta un máximo de 30 metros, con la barquilla cargada con 45 pasajeros.

Cada cable iba sujeto en uno de sus extremos a un contrapeso de 10 toneladas, constituido por una celdilla de acero en la que se disponían lingotes de fundición. Así, cada cable estaba solicitado por una tensión constante, 10 toneladas, con independencia de la carga real del transbordador, que influía exclusivamente en la flecha que tomaban los cables. La tensión constante de éstos favorecía su comportamiento. Además, aportaba una ventaja añadida: la rotura eventual de un cable no conllevaba a la rotura de los dos restantes, que habían sido sobredimensionados para cubrir esta posibilidad.

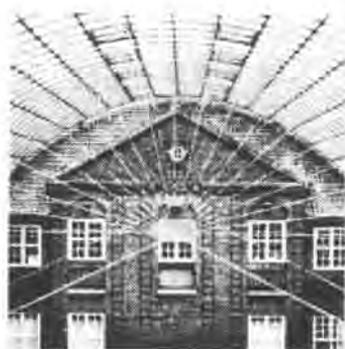
El transbordador es, por otra parte, paradigma de la racionalidad y todos sus elementos son esenciales: *«no hay espacio para la decoración»* -dice Rui-Wamba-, quien encuentra en esta obra un encanto que va más allá de la percepción de sus formas visibles. *«Si en una estructura se alcanza la belleza cuando no se puede quitar nada, no cabe duda que el transbordador responde a esta imagen de belleza, que va asociada además a la transparencia: simplemente unos hilos cruzando un paisaje exquisito y un carro y su barquilla como de encaje, que recuerda la belleza de estructuras tan hermosas y esenciales como el paraguas, la rueda de bicicleta o el abanico»*¹⁶.

16. Rui-Wamba (1995), p.29.

Junto a esta visión racionalista, tan vinculada a la estética industrial, y a la que alude Rui-Wamba, el transbordador resulta fascinante si consideramos el que hace ochenta años, Torres Quevedo tuviese el entusiasmo de construir esta estructura en un país tan alejado de España y en el que no existían precedentes de obras realizadas por la ingeniería española. Además, el ingeniero tuvo que encontrar recursos para financiar sus estudios y las obras y, promovió primero la constitución de la *Sociedad de Estudios y Obras de Ingeniería* y, posteriormente, *The Niagara Spanish Aerocar Company*.

Una curiosa relación se puede encontrar entre el transbordador del Niágara y el proyecto del ingeniero alemán Jorg Schlaich, consistente en la cubierta del patio del museo de Historia de Hamburgo, en 1990. El abanico de elementos radiales pretensados, rigidizando por compresión el perfil de forma circular que soporta la cubierta, es muy similar a la solución empleada 75 años antes por Leonardo Torres Quevedo.

En el caso alemán, la pretensión de los esbeltos radios del sistema, se asegura por medio de dos cables tensados, anclados a los edificios antiguos entre los que se ha generado el patio cubierto que actúan así a modo de contrapesos y que equivalen a la barquilla del transbordador de Niágara. La cubierta del



museo de Historia de Hamburgo, fue galardonada con el premio de la construcción alemana de 1990 y con el premio internacional Mies Van der Rohe del mismo año.

Dentro de la tipología de los puentes colgantes de acero, hay que recordar en primer lugar al puente de Brooklyn. Este puente, al igual que el de Baker y el de Eads es algo más que una estructura para salvar un río; es un símbolo de conquista y de triunfo del hombre. Es el primer gran puente colgante de ferrocarril y, un anticipo del Golden Gate y el George Washington.

Su diseñador John Roebling había introducido un nuevo método para la construcción de los cables de hierro forjado, consolidando los distintos cordones en un cable compacto cilíndrico y envolviéndolos con alambre más blando para protegerlos de la corrosión. Este método lo aplicó en los puentes sobre el Niagara y el Ohio (Cincinnati) y fue sólo el preámbulo de lo que sería Brooklyn, una estructura que se destaca por sí misma en el panorama de la construcción de puentes de todas la épocas.

El proyecto de este puente, por sus dimensiones, era contemplado con escepticismo, por lo que Roebling propuso que fuera revisado por una comisión. Cuando finalmente se otorgó la autorización por el Departamento de Guerra, un accidente en el muelle de Brooklyn donde Roebling realizaba un levantamiento para situar las pilas principales del puente, le produjo una lesión en el pie, ocasionándole la muerte. Su hijo, el coronel Washington A. Roebling terminó su obra.

A parte de los cables de acero, otra novedad de este puente se refiere al sistema constructivo, concretamente a la cimentación de las pilas, para la que se adoptaron cajones neumáticos. Contemporaneamente, este sistema fue introducido y desarrollado en el puente de Eads, en St. Louis. El fuego era el peligro más grave para este tipo de cimentación, y fueron varios los incendios que se tuvieron que librar en Brooklyn.

En 1872 el coronel Roebling sufrió una parálisis y perdió la voz; pese a ello continuó dirigiendo la obra desde su casa, dibujando y escribiendo cada detalle constructivo, y desde su habitación en Columbia Heights vigilaba las obras con unos prismáticos. En la primavera de 1883 se terminó el puente de Brooklyn.

La estructura en su conjunto, a parte de calificarse como el primer puente moderno, se percibe como una obra equilibrada; sus dos torres de granito, el arco de los cables principales, la red

Puentes colgantes de acero



de cables que unen el arco principal con el tablero, la línea arqueada del tablero, se combinan para producir la composición.

Durante la primera cuarta parte del siglo XX se repite esta tipología, gracias al éxito del puente de Brooklyn, que mantiene su récord como el puente colgante de más luz, durante veinte años. En 1931 se termina el puente de George Washington en Nueva York, con un vano de 1.066,80 metros, y en 1937 se termina el Golden Gate en San Francisco, con un vano de 1.280,16 metros de luz. Con este nuevo récord, el puente colgante desplazó al tipo cantilever para la construcción de puentes de gran luz.

Puentes de acero remachados

En 1900, era habitual la construcción de puentes de hierro y acero; se construían, al igual que los barcos, uniendo las piezas con remaches. La prefabricación era frecuente; así, las piezas eran fundidas y taladradas antes de ser enviadas al punto de construcción.

Durante muchos años predominaron los puentes remachados. Su ventaja era que nunca se hundían catastróficamente. Esto era debido a que las señales de debilidad eran aparentes mucho antes de que se produjesen fallos graves, pues los propios agujeros de los remaches detenían la evolución de las grietas resultantes de la fractura por fragilidad.

Por otro lado, hay que saber que el remachado es una operación intensiva en mano de obra y los remachadores experimentados eran cada vez más difíciles de encontrar a medida que avanzaba el siglo XX. Además, cualquier estructura exigía mantener grandes existencias de diversos tamaños de remaches y vigas, así como una fabricación muy precisa de las piezas para que en el montaje se alineasen exactamente los agujeros de los remaches.

En tales circunstancias, la soldadura era una alternativa interesante, pero hubo que superar dos obstáculos antes de que fuese un éxito. En primer lugar hubo que perfeccionar las técnicas de soldadura. Mientras no se conocieron debidamente los principios metalúrgicos, las uniones soldadas -al contrario que las remachadas- tendieron a fallar sin previo aviso.

En segundo lugar, y para aprovechar plenamente la soldadura en términos de perfección de acabado, hubo que aceptar nuevos conceptos de diseño. Los primeros puentes soldados eran prácticamente idénticos en apariencia a los puentes rema-

chados. La construcción soldada progresó lentamente y todavía a mediados de siglo y después se construían puentes remachados.

El primer puente de acero soldado parece ser que fue una modesta pasarela de menos de 30 metros de longitud, en una fábrica de gas en Melbourne, Australia. No obstante, es históricamente comparable al primer puente de hierro que atravesó el río Severn, en Coalbrookdale, en 1779; era una estructura ensamblada a espiga sin tuercas ni remaches.

Aunque se construyeron puentes mayores en Estados Unidos y Europa durante la siguiente década, el avance más importante no se produjo hasta 1962, cuando los tramos del puente colgante de Brunel en Chepstow (1852) fueron sustituidos por vigas de caja soldadas. A partir de entonces, las vigas de caja soldadas fueron utilizadas casi universalmente en toda clase de puentes nuevos.

Reflexiones al capítulo

- A finales de 1800 aparecen en el arte europeo contradicciones internas cada vez mayores. El academicismo oficial tiende a oponerse a todo intento nuevo. Se habla de un compromiso ecléctico entre los diferentes estilos del pasado y, el naturalismo para la pintura y las nuevas técnicas modernas del hierro para la arquitectura. Es una tendencia que se impone en nombre de la libertad contra todo dogmatismo antiguo, pero que esconde la realidad de una crisis más profunda.

Se oponen los nuevos derechos de la subjetividad a los de la objetividad, de la visión positivista y cientifista todavía en auge. Pero la clase burguesa dominante, anima cualquier arte que se apoye sobre la realidad de las obras maestras del pasado o sobre una visión realista de las formas. Es decir, que los valores del pasado constituyen una parte esencial del eclecticismo y adaptarlos al presente era la mayor ambición.

En arquitectura se suceden los estilos que agradan a la burguesía y responden a la necesidad de prestigio de los gobiernos. Por ello todos los arquitectos se sienten obligados a conocer bien todo aquello del pasado que puede convertirse en ornamento para el presente. Pero el material nuevo no respondía a los conceptos estéticos tradicionales.

La cuestión se debatía entre contentarse con edificios utilitarios reducidos a su estructura puramente funcional o revestirlos de una presentación estética para la cual se apoyaran en estilos o elementos estilísticos mejor adaptados. Y así, nació la tendencia a enmascarar, a alzar fachadas cuya justificación era ante todo lo ornamental, buscando combinar formas ya conocidas.

- En el ámbito de la ingeniería de puentes, marca el inicio de esta época el puente sobre el río Severn, en Coalbrookdale. Uno de los rasgos más sorprendentes de este momento es el problema de la oposición entre la construcción práctica del ingeniero y la exigencia estilística del arquitecto, formado en gran parte con relación únicamente al efecto estético. El problema afectaba a la enseñanza y al concepto de la arquitectura, oponiendo a los que cargaban el acento sobre una decoración nacida de la estructura (pilares, arcos, vigas, etc.), con los que querían disimular ésta tras una ornamentación estilística que diera al edificio su belleza como único indicativo visible de la personalidad. Los racionalistas, que estaban por una estructura aparente, contra los clásicos, que optaban por un revestimiento de ésta, juzgando a la piedra más notable que el hierro. Sin embargo, todos buscaban soluciones nuevas a través del pasado.

- En el campo artístico, el movimiento futurista fue quizá el primero en aceptar la era de la máquina como un ideal estético, aunque en realidad, su admiración se centraba más en los conceptos de potencia y velocidad representados por la máquina que en las propias máquinas.

Y en el ámbito puramente escultórico es a partir de 1914 cuando un grupo de artistas de Moscú comienza a aplicar las técnicas de la ingeniería a los objetos escultóricos que les llamaron «*construcciones*». Originando así un nuevo lenguaje y una nueva estética que, al igual que ocurría en la construcción de puentes, venía de la mano de un nuevo material, el hierro, que exigía nuevos comportamientos.

El periodo constructivista es crucial como aportación a una nueva estética. Supuso un encuentro entre las propuestas artísticas y la tecnología. Al principio de los años veinte, estas propuestas conocidas con el nombre de constructivistas se manifiestan con unas aportaciones próximas a lo que hoy se conoce como «arte público».

Ideológicamente sintonizaban con el simbolismo revolucionario y, por consiguiente, se transformaban en construcciones utilitarias localizadas en espacios públicos. Suponían el construir una realidad nueva de carácter polifuncional que facilitaba el cambio a través de la alteración de sus elementos o del desmontaje de su estructura abierta.

Se desarrollaba bajo los principios productivistas de carácter material-formal relacionados con la ciencia y la técnica. En una cultura industrial, liberada por la revolución proletaria, que proponía pasar del arte de laboratorio al trabajo artístico, entendido socialmente como el construir y expresar realmente las tareas elaboradas por la nueva clase.

- Un rasgo común que se percibe en los movimientos de vanguardia, era la creencia en que la transformación artística del entorno creado por el hombre llegaría a producir, por sí misma, una mejora cualitativa de la vida. Por ello, los problemas existentes en el mundo que les rodeaba los traducían en términos estéticos, para redefinirlos y configurarlos por el poder de la creatividad artística. Se trataba de un proceso de abstracción, y muchas veces los resultados no eran fácilmente comprensibles.

Se hizo evidente que unos problemas sociales muy complejos no se podían solucionar únicamente mediante la aplicación de una estética formalista. La idea de que los diseñadores

y artistas eran los transformadores de la sociedad, era un ideal atrayente pero no suficientemente apoyado.

- En arquitectura, el Palacio de Cristal constituye uno de los primeros ejemplos en que la estructura constructiva asume plenamente un valor arquitectónico, porque introduce una nueva tipología edificatoria: la de las grandes instalaciones para exposiciones, que responde a la demanda de una arquitectura como medio de comunicación de masas; porque está construido sobre principios de modulación y repetición, aspectos todos que lo erigen como modelo para la producción posterior.

Al mismo tiempo, el Palacio de Cristal es una obra emblemática porque, pese a su carácter innovador, refleja el lenguaje de una época, el eclecticismo histórico y también simboliza la historicidad de su tiempo: la revolución industrial, las condiciones socioeconómicas de la Inglaterra victoriana y la confianza en el progreso de la humanidad, típica del periodo decimonónico.

- Otra reflexión que se desprende de lo expuesto en este capítulo es la evidencia de que las obras de ingeniería que nacen en este periodo de finales del siglo XIX, contribuyen a marcar época, de un estilo, con el mismo rango que la arquitectura.

No sin razón, el Centre de Création Industrielle en Francia (C.C.I.) presentó una exposición en el Centre Georges Pompidou que se exhibió desde el 20 de diciembre de 1978 hasta el 12 de febrero del año siguiente, con el título: **Arquitecturas de ingenieros, siglos XIX y XX**. En aquella exposición se trataba de evidenciar la gran polémica que se vivía a finales del siglo XIX y que concluyó con la inclusión de la técnica en el ámbito de las artes. En definitiva, la exposición enfatizaba de manera prioritaria en cómo las construcciones de ingeniería, en esta etapa concreta, crean un estilo constructivo en las obras de equipamiento del territorio.

Prácticamente todas esas estructuras se construyeron a partir de un escaso grupo de perfiles laminados, angulares y chapas, unidos por roblones. Sorprende observar los modestos medios de transporte y ejecución disponibles en la época y la escasa formación de los operarios que, muy probablemente, procedían de la agricultura o de la industria siderúrgica y empezaban a crear oficios que hasta entonces no existían.

Las estructuras de la época eran, por un lado, estructuras prefabricadas que, a partir de un pequeño catálogo de piezas ofrecidas por la siderurgia, permitían construcciones extraordinariamente diversas. La construcción en voladizos sucesi-

vos, la utilización de tirantes provisionales, el desplazamiento de piezas preensambladas por el agua de ríos o dársenas, la utilización de diversos métodos de empuje para llevar en su posición piezas grandes de un puente o el puente en su conjunto.

En ocasiones se utilizaba para ello la tracción animal, produciendo imágenes que han quedado registradas y que nos recuerdan el interés y mérito de unos hombres que con escasos recursos hicieron progresar a la humanidad, en muy pocos años, como no había progresado hasta entonces.

No hay sistema moderno de construcción que no tenga una referencia precisa en las construcciones metálicas de la época: los actuales puentes por voladizos empujados, colgantes y atirantados, nacieron entonces.

El lenguaje estructural que nació al tiempo que las nuevas tecnologías de construcción con acero, y que para algunos autores está impregnado de romanticismo, Rui-Wamba (1995) lo enmarca dentro de un romanticismo activo y creativo, no del romanticismo contemplativo del que participan tantas novelas de la época. Buscando ese romanticismo en el lenguaje estructural del siglo XIX, el autor dice lo siguiente:

*«Tenemos vigas de alma llena y vigas en celosía que son realmente vigas de alma transparente. En castellano, tenemos una bella expresión, la luz de un puente, para denominar la distancia que salva una viga entre apoyos. Con nuestras estructuras volamos de una pila a otra. Nos preocupamos por la fatiga de nuestras estructuras y tratamos de evitar que padezcan inestabilidades locales o generales. A la vibración transversal de almas de esbeltas de vigas, que se produce cuando están cargadas, se denomina la respiración del alma. Un índice de la salud de una estructura es, precisamente, cómo evoluciona su respiración en el proceso de carga y descarga. Así, cuando en un puente de ferrocarril con almas esbeltas se aproxima el tren, las vibraciones (la respiración) del alma anuncian su presencia antes de que el tren haya alcanzado el puente. Es entonces cuando la respiración se hace más intensa, y el jadeo de la estructura manifiesta el esfuerzo que está realizando para sostener la carga. Una vez pasado el tren, el alma va dejando de jadear y la manera con que vuelve a la normalidad es un síntoma de la salud del puente. Hay puentes que por su edad o por defectos de nacimiento tienen asma, que se manifiesta por su jadeo ruidoso e irregular, que perdura bastante tiempo después de haber desaparecido la causa que lo generó».*¹⁷

¹⁷ Rui-Wamba (1995), pp. 35-36.

Capítulo IV

Acero y hormigón posibilitan el dintel para grandes luces

La estructura de las comunicaciones y el emplazamiento de las ciudades siempre han estado influenciados por los rasgos geográficos. Tanto las cordilleras como los grandes ríos sólo podían ser atravesados por donde las circunstancias eran favorables, y era allí, en esos puntos estratégicos, donde se construían los puentes. Y se hacía para cumplir una función muy concreta: *«materializar la plataforma de la carretera cuando ésta se despega del suelo, bien sea por la intersección de otra corriente, que puede ser de agua, o también de tráfico, o bien porque su altura desde el suelo hace adecuada esta separación, que es lo que generalmente se ha llamado viaducto»*¹.

1. Monterola y Trojano (1988) en revista O.P. 7-8 p. 54.

Lo que se remarca en el párrafo anterior, es que el puente es una parte del camino. Pero la relación puente-camino ha ido variando a lo largo de la historia. En épocas anteriores (con el predominio de los puentes en arco esencialmente), las exigencias funcionales del camino eran mínimas y en cambio las dificultades que representaba la construcción de un puente eran importantes, por ello era la construcción de un puente la que organizaba el trazado de la carretera; en el momento actual, esta cuestión ha dejado de ser primordial, siendo la carretera la que organiza el trazado del puente, salvo en casos excepcionales. Ocurre así porque la prioridad la tienen los medios de transporte, el automóvil, que debido a las altas velocidades, impone un trazado uniforme, libre de obstáculos como podrían ser curvas excesivamente cerradas, o rectas demasiado largas, para facilitar los desplazamientos.

Muy distintos son los caminos que, en el ámbito escultórico, propone Patricia **Johanson**, aunque siempre con una finalidad social, un aspecto de su trabajo que le acerca a las intervenciones propias de los ingenieros en las obras públicas. Reactivando un nuevo modo de comunión con la naturaleza, los trabajos de Johanson se inspiran en preocupaciones comunitarias sobre la reconversión de los desperfectos urbanos.

Sus intervenciones abarcan desde la restauración hasta la revitalización de micro sistemas amenazados. La artista crea formas lúdicas y esculturales, también elementos de circulación y mobiliarios de observación. A menudo la configuración de sus obras está inspirada sobre ciertas formas vegetales o animales en peligro de extinción.



Su obra, *Fair Park Lagoon 1981-1986* está situada en Dallas, en el estado de Texas (Estados Unidos). Fig. Esta intervención se ha considerado una solución al deterioro de una serie de diques y de llanos de agua construidos alrededor del año 1930, con el fin de prevenir las inundaciones sobre un lugar particularmente vulnerable. Reintroduciendo las especies vegetales que se encontraban allí originariamente, Patricia Johanson ha contribuido a restablecer la cadena ecológica y animal del lugar y a purificar el agua.

Balizando este paseo, la artista ha creado una serie de esculturas esquematizando la forma de las nuevas plantaciones introducidas, respondiendo siempre a ciertas necesidades funcionales, en este caso, el control de la erosión.

La componente **funcional**, que es una constante en los trabajos de Johanson, conecta con el modo de escultura que Armajani categoriza como **pública**. En uno de los veintiseis puntos que componen su «manifiesto» dice: «Al poner de relieve la utilidad, la escultura pública se convierte en un instrumento de actividad. Así, rechazamos la metafísica kantiana y la idea de que el arte carece de utilidad»². Pero sobre todo, la intervención Fair Park Lagoon enriquece la labor social de esta escultora incorporando a su trabajo la variable de ayuda a recuperar la cadena ecológica..

2. Armajani (1995), p. 37

El avance de la civilización ha permitido que, lo que en épocas prehistóricas fueron unos troncos apoyados sobre pilares de piedras, hoy sean grandes pórticos que vuelan sobre los obstáculos, salvando distancias impensables y con materiales totalmente revolucionarios. El hormigón armado, y más tarde el pretensado, patentado por Freyssinet en 1928, las fibras de alta resistencia (carbono, kevlar y vidrio), son las principales alternativas en nuevos materiales.

Por consiguiente, una característica importante del desarrollo de las comunicaciones en el siglo XIX, y aun más en el XX, ha sido que el progreso tecnológico haya facilitado la superación de estas barreras. Y precisamente en la construcción de puentes se han hecho los avances más notables.

Tanto los sistemas constructivos, basados en la prefabricación y en los sistemas de montaje, como las fibras para pretensado, están abriendo caminos inesperados. En este sentido el siglo XX presentaba, un gran porvenir, ya que se inició una actividad constructiva y una expansión tecnológica insospechada hasta entonces. Los tres grandes puentes construidos en las últimas décadas del siglo anterior -San Loius,

Brooklyn y Firth of Forth- establecieron posibilidades incalculables para la construcción de puentes de gran luz.

No obstante, y aunque el ingeniero estaba capacitado para construir puentes más grandes que en otras épocas, faltaba la oportunidad, la necesidad de construirlos. Esta necesidad surgió gracias a un nuevo invento, el motor de gasolina, que produjo el automóvil y, a su vez, posibilitó una nueva era en el transporte. A medida que aumentaba el número de automóviles, era preciso construir nuevas carreteras y puentes.

Dirigiendo la mirada hacia la escultura, recordemos las piezas del escultor Julian Opie tituladas *Imagine you are driving*; una serie de tres esculturas realizada en hormigón, en 1993.

El trabajo de Opie hay que entenderlo como un cambio en la práctica del arte, una mutación en la experiencia de lo moderno. Para entender su propuesta en escultura, hay que partir de las pinturas sobre experiencias en tres dimensiones. Si en un programa de ordenador de realidad virtual, imagen y espacio son, en principio, supuestamente intercambiables, Opie trabaja en la dirección contraria, colocando aparte imagen y objeto espacial, o integrándolos tanto que ellos mismos invierten sus sitios y empiezan a separarse otra vez. Un ejemplo de ello son sus pinturas de carreteras, que aparecen tan reales como la fotografía o la propia experiencia de conducir.

Estos nudos de carreteras con sus pasos elevados son definidos por Michael Newman como atopia, que significa «ningún lugar»³. Lo contrario de un sitio marcado por la tradición y por la memoria, pero que tampoco es lo mismo que el espacio puro constructivista. La diferencia la explica Newman al relacionar el horizonte de atopia con lo indefinido. Mientras que el descubrimiento del espacio es lo infinito, como puede ser el horizonte, el no-lugar, es decir, lo indefinido, combina movimiento con una reducción a «lo mismo».

Los ejemplos pueden ayudar a entender esta carencia de lugar que, según Newman, se desprende de la obra de Opie. Porque no es simplemente la negación de lugar, sino un tipo de lugar positivo con sus propias características y temporalidad, y con sus experiencias asociadas. Así, estamos en un no-lugar cuando cruzamos el control policial en el aeropuerto y entramos en el área de tránsitos; estamos en un no-lugar cuando circulamos en coche; cuando circulamos por una calle comercial; cuando sentados en una sala de espera, aguardamos para una entrevista. En cada caso, la subjetividad no desaparece sino que constituye una forma de lugar impersonal.



3. Catálogo *Julian Opie*, Director Henri Meuric Hughes. New York: Thames and Hudson, p. 85.

Los no-lugares implican el desplazamiento y destrucción de los lugares desde que estos lo son. Newman se pregunta si la atopia es la verdadera utopía en si misma, que en su doble etimología se refiere a la vez a «*lugar feliz*» y a «*ningún lugar*». Pero como no existe un lugar que no pueda ser apropiado por un no-lugar, tematizado en una palabra, tampoco hay **atopia** que no pueda ser resimbolizada, desplazada y reapropiada. Si la galería anticipa la seducción de la **atopia**, por lo que se convierte en su sitio de reconfiguración, tal reconfiguración genera un significado de entidades.

La interpretación de Newman, se aproxima a una hermenéutica profunda que como tal, es susceptible de otras interpretaciones.

Siguiendo con los nuevos puentes, mucho más ambiciosos en su localización y en sus luces, abandonan definitivamente los materiales tradicionales (la madera y la piedra) conforme avanza el siglo. En apenas treinta años, un nuevo material desplaza irrevocablemente los viejos sillares. Se trata del hormigón, que en dos versiones distintas, armado y pretensado, protagoniza la construcción de puentes.

Los grandes puentes del siglo XX, aun cuando emplean tipologías tradicionales (arcos, vigas y colgados), son objetos singulares que poco tienen en común con los construidos siglos atrás. El acero se consagra como un material idóneo para todos aquellos puentes que han de salvar grandes luces. No obstante, como el acero es más caro que el hormigón, concretamente en España, que las condiciones geográficas no presentan grandes problemas, el hormigón se impondrá al acero.

La clave del desarrollo espectacular de la construcción de puentes está en la tecnología, que interviene decisivamente en cada momento de la realización de un puente. Ya desde el inicio del proyecto, el autor se ciñe a alguno de los tipos existentes, a aquellos cuya tecnología se halla más desarrollada y difundida, que por lo tanto ofrece mayor economía. Tras la selección del tipo de puente, el cálculo matemático perfectamente automatizado, desempeña un papel clave en la agilización de toda la etapa proyectiva. Todo ello ha permitido esa escalada de récords que ha acompañado la construcción de puentes en este siglo.

En la segunda mitad del siglo, dominados el cálculo y los diferentes sistemas constructivos, el ingeniero se vuelve a cuestionar el cuidado de los aspectos estéticos del puente, hasta entonces olvidados en favor de la resolución técnica del problema.

La aparición de nuevos tipos de puentes relacionados con el tráfico rodado, como son las pasarelas sobre carreteras, los viales urbanos o «scalextric», los puentes de nivel sobre las autopistas, etc., exige, además de una nueva concepción técnica, una atención al medio que disminuya en lo posible la agresión que suponen este tipo de estructuras para su entorno.

Desde entonces, parece que los aspectos formales empiezan a recuperar la importancia que les corresponde, no como añadido gratuito, sino como adecuada expresión de la función de un puente y de las soluciones adoptadas. Pero no siempre se cumple esta postura ideal, prueba de ello son las propuestas que pueden verse en los concursos públicos que se organizan para la construcción de nuevos puentes⁴. También se confunde lo verdadero y básico de la forma de un puente con lo anecdótico. Posiblemente, el puente se haya convertido en «un 'mass media' con un envoltorio seductor», o sea, como dice José Ramón Navarro Vera, «una 'golosina visual'»⁵.

Dirigiendo ahora la atención hacia la escultura, y al margen de las consideraciones de orden poético-simbólico implícitas en los trabajos de Richard Fleischner, sus propuestas son comparables por su magnitud a la obra de ingeniería. La analogía se establece por diferentes aspectos:

- Como intervención en el territorio que necesita de la gran escala para manifestarse, desde el inicio del proyecto, la propuesta implica una reordenación del paisaje. Para ello, y al igual que en la obra de ingeniería, se ha de considerar la utilización de mapas a escala 1/50.000, para estudiar de manera global la orografía, curvas de nivel, curso de los ríos, parcelación del territorio, arbolado, etc.
- Cuando los trabajos abarcan semejantes magnitudes, también hay que considerar la repercusión del impacto ambiental de los mismos.
- Todo ello, unido al despliegue de maquinaria imprescindible para el desplazamiento de tierras, implicará a su vez la construcción de una serie de servicios con la provisionalidad propia de una asistencia «puente» entre el proyecto y su ejecución.

Estas consideraciones, son claramente perceptibles en esta intervención de Fleischner en la que el lugar está dividido en dos planos horizontales con una diferencia de altura entre ellos de 300 pies. El mayor elemento de esta propuesta es una gran pieza de forma trapezoidal invertida, construida median-

4. La revista O.P. nº19 Puentes I, recoge las propuestas al concurso de un nuevo puente en Elche (Alicante). El discurso de los proyectos, tanto a nivel conceptual como formal, es, en la mayoría de los casos, una burda imitación de los ingenieros que han demostrado sobradamente su capacidad y que tienen una experiencia.

5. NAVARRO, J.R. (1991). La estética del puente: De Ribera a la «golosina visual». O.P. Puentes III, 21, 14-19. Barcelona: Revista del Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.



te una nivelación de las dos alturas. Esta construcción será a la vez anfiteatro y un sistema de canalización de agua desde el nivel más alto del lago y los alrededores.



En la misma línea de Fleischner podemos situar los trabajos de Herbert Bayer. Su propuesta **Mill Creek Canyon Earthworks**, de los años 1979-82, situada en Kent, en el estado de Washington, supuso, a nivel de ejecución, un despliegue de servicios comparable al que se requiere para la obra de ingeniería.

Mill Creek Canyon Earthworks ocupa varias hectáreas en el seno de un parque público protegido que abarca varias docenas de kilómetros. Los montículos de tierra cubiertos de césped se utilizan como sistema de drenaje y de evacuación de las aguas pero también como lugar donde los visitantes pueden descansar y disfrutar del paisaje.



Esta adecuación a la escala humana está constituida por varios elementos geométricos. Se elevan cuatro montículos con formas circulares, uno de ellos sostiene un puente que, apoyado en estribos de piedras, da continuidad al camino por encima de una ensenada. Otro de los montículos, en forma de anillo partido, da paso al curso de agua que lo atraviesa diametralmente. Las aberturas del anillo se enfrentan a modo de puertas y permiten el paso, no sólo a la canalización del agua, también a un camino que dirige la movilidad de los visitantes. Los cortes del anillo que permiten esta movilidad, están terminados con muros de contención que, en un color blanco, producen un gran impacto como elementos complementarios, aunque, a la vez, perfectamente integrados en el conjunto. La obra ha llegado a ser un lugar lúdico, que ofrece un aire de reposo y un panorama agradable.

El hormigón armado

Como hemos visto en el capítulo I., en el siglo III a.c., los romanos ya utilizaban conglomerantes hidráulicos. Se trataba de una mezcla de caliza y cenizas volcánicas de la región de Pozzuoli, cerca de Nápoles, que tenía las propiedades de un cemento: gran resistencia a compresión, a los agentes atmosféricos y al agua.

Desde los romanos, el cemento hidráulico natural no fue redescubierto por el hombre hasta 1796, cuando un constructor inglés (Parker) encontró dicho material en la isla de Sheppy.

El hormigón armado

Los progresos esenciales no se realizaron hasta principios del siglo XIX, cuando en 1818, Vicat inventó la fabricación del cemento artificial por vía húmeda para la construcción de un puente sobre el río Dordogne⁶. Como consecuencia de ello desarrolló una primera teoría, y poco después, en 1824, el ingeniero inglés Apsidin patentó un cemento artificial que bautizó Portland. Apsidin llamó así a su material porque se parecía en color y textura a unas calizas encontradas en la isla de Portland, en la costa sur de Inglaterra, que eran y son una de las piedras de construcción más empleadas en las islas británicas. La fabricación industrial del cemento portland comenzó hacia 1850 y fue perfeccionada a finales de siglo, gracias sobre todo a las investigaciones de Le Chatelier.

6. El río Dordogne es un afluente del Garona, situado aguas abajo de Burdeos, por su margen derecha, nacido en el Macizo Central francés, al pie del Puy de Sancy.

La historia del hormigón armado es especialmente compleja debido a los numerosos hallazgos paralelos realizados en Europa y Estados Unidos. El hormigón en masa, es decir, la unión de áridos, cemento y agua, tiene escasa resistencia a la flexión, por ello las limitaciones son importantes; pero ello puede ser solventado introduciendo barras de acero en el hormigón y situándolas de modo que la tensión sea soportada por el metal más que por su envoltura. Tal es el llamado hormigón armado.

Los antecedentes de esta idea pueden ser buscados en el empleo de la obra de ladrillo reforzada, que data de finales del siglo XVIII. El inglés William B. Wilkinson fue el primero en aplicar esta idea al hormigón, y en 1854 obtuvo una patente por la inclusión de un emparrillado de alambre grueso en una losa para pavimento, compuesta de un cemento especial al que se habían añadido paja y cenizas⁷.

7. Kranzberg (1981), p. 682.

En este punto, la iniciativa en la evolución del hormigón armado pasó a manos de los franceses. François Coignet obtuvo una patente en 1855 para una losa formada alrededor de un doble emparrillado de varillas de hierro, pero éstas fueron introducidas como ligazón destinada a sustituir los contrafuertes de la pared más que como refuerzo destinado a absorber la tensión en la losa.

La misma idea utilizó Joseph Monier (1823-1906), un jardinero que cultivaba y vendía plantas en París. Con su patente de 1867, en donde describía un método para reforzar tiestos de jardinería y bañeras incrustando telas metálicas en el mortero, se le considera el inventor del hormigón armado, pero tampoco hay pruebas de que Monier comprendiese la auténtica misión de la parte metálica.

Diez años más tarde, el mismo Monier propuso refuerzos de barra para los puentes de hormigón, pero siguió sin darse cuenta de que estas barras de hierro eran necesarias para absorber la tensión. Y es que, todo elemento constructivo sometido a una desviación hacia abajo, como puede ocurrir con una losa o una viga, la mitad superior soporta la compresión y la inferior la tensión, y por tanto es en la mitad inferior donde se deben colocar las barras de refuerzo. Esta cuestión sencilla, que deriva de la resistencia de materiales, condujo, a finales del siglo pasado a infinidad de pruebas de laboratorio.

Cuando el ingeniero alemán G.A. Wayss señaló este hecho, Monier creyó que Wayss estaba en un error e insistió en que las varillas sólo servían para aumentar la fuerza cohesiva general del hormigón.

En 1877, cuando Monier solicitó su segunda patente, la idea de este tipo de refuerzos se había difundido ya en otras naciones europeas y en Estados Unidos. Como en el caso del hierro medio siglo antes, el constructor se encontraba ahora ante la necesidad de una investigación científica de la nueva técnica.

El iniciador fue Thadeus Hyatt, quien realizó sus investigaciones tan a fondo que muchas de sus conclusiones siguen vigentes hoy en día. Aunque nacido en Estados Unidos, Hyatt trabajó en Inglaterra e investigó la mayoría de las formas modernas de barra de refuerzo para una amplia variedad de miembros estructurales, bajo cualquier condición de carga. La publicación de sus resultados en Londres estableció un hito en la historia del hormigón armado, puesto que marcó el inicio de una tecnología científica en lo que es hoy el mayor dominio de la construcción.

Dos años después, Wayss adquirió los derechos de la patente de Monier para Alemania, Austria y Rusia, y seguidamente emprendió sus propias investigaciones sobre los métodos apropiados para el refuerzo. Publicó sus resultados bajo el título de **The Monier System in Its Application to Building**, en 1887, que representó el segundo gran paso en la evolución científica de la técnica de este material.

A pesar de estos avances internacionales, la explotación sistemática de la moderna técnica del hormigón armado tuvo que esperar al genio inventivo de François Hennebique. Este, un constructor francés autodidacta, utilizó el hormigón por primera vez en 1879, y después puso en marcha su extenso programa de investigaciones particulares antes de patentar su sistema en 1892.

Hennebique descubrió el comportamiento favorable de la «sección hueca, cerrada, de cajón» que distribuye notablemente sobre toda la anchura las cargas de tráfico producidas en un lado y actúa como una unidad en dirección longitudinal. Las paredes se comportan aquí como láminas sustentantes; el arco y el tablero están unidos como cordones de compresión y tracción en forma de placas. Este invento supone el nacimiento del arco de cascarón, que pocos años después se convirtió en un importante elemento constructivo.

Antes de Hennebique, el gran problema en el hormigón armado había sido el de encontrar una articulación monolítica. Los sistemas basados en el cemento y el acero, patentados anteriormente, distaban de ser monolíticos. Hennebique superó esta dificultad gracias al empleo de barras de sección cilíndrica que podían curvarse y engancharse entre sí. Era exclusivo de este sistema el doblado de las barras de refuerzo, así como la unión de juntas con aros en forma de estribo a fin de resistir las tensiones locales.

El edificio que Hennebique construyó en hormigón armado para la Exposición de París de 1900 indujo a la adopción de esta nueva técnica en lugares de Europa en los que aún no había sido utilizada. A partir de entonces no tardaría en propagarse a Latinoamérica y Asia.

La influencia combinada de constructores tales como Hennebique y Wayss en Europa, y Ransome y Julius Kahn en Estados Unidos, no tardó en promover ensayos que fomentaban una forma de construcción que todavía era considerada como una novedad por muchos ingenieros.

Precisamente desde el punto de vista de la ingeniería, este período alcanzaría su expresión más sublime en los primeros trabajos de los ingenieros Robert Maillart y Eugène Freyssinet⁸.

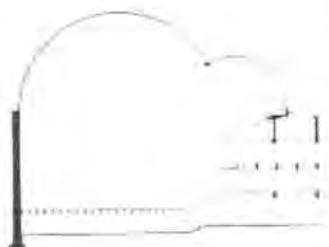
Por su parte Freyssinet, al construir los hangares de Orly, entre 1916 y 1924, fue uno de los precursores en el diseño de estructuras monolíticas. Estas estructuras, por el diseño de sus elementos armados, eran capaces de soportarse a sí mismas.

Este trabajo de Freyssinet culminó en la construcción de dos grandes puentes de cuerda de arco en hormigón armado, construidos en St-Pierre-du-Vauvray (1923) y en Plougastel (1926-29). A partir de estas fechas el hormigón armado era aceptado como el material idóneo para la construcción de puentes. Superada la primera etapa en la que no se sabía apreciar su belleza como cualidad estructural, y se escondía con otros materiales

8. Las aportaciones de Maillart en la construcción de puentes quedan recogidas en el apartado específico.

9. Fernández Ordoñez, J.A. (1979). Introducción. *Catálogo: la modernidad en la obra de Eduardo Torroja*. p. 8

10. Torroja, E. (1979). *Catálogo: la modernidad en la obra de Eduardo Torroja*. Madrid. pp. 70-74.



Puentes de hormigón armado

En España, la obra de Eduardo Torroja (1899-1960) es un ejemplo de dominio del hormigón. «Torroja elevó el hormigón armado a las misteriosas cotas del arte. Fue uno de los ingenieros del siglo XX que más ayudó a la consagración definitiva de este material que amaba profundamente»⁹. Las estructuras que Torroja lleva a su máximo desarrollo se conocen como «formas laminares». Son láminas cilíndricas que a menudo han sido confundidas con la bóveda, pero que «se comportan como una viga longitudinal en el sentido de las generatrices, permitiendo así cubrir un amplio espacio rectangular y superar grandes distancias en la dirección de las generatrices»¹⁰.

Este comportamiento estructural permite sustituir la cubierta clásica de bóveda o de cúpula con una sucesión de láminas cilíndricas, pudiendo originar soluciones como la del Frontón Recoletos, de Madrid. Esta obra de Torroja fue construida en el año 1935 y destruida después por los bombardeos de la guerra Civil.

La asimetría de su perfil se debe a razones funcionales de iluminación y de distribución de los espacios, condicionada además por la asimetría de la planta.

Si en el siglo XIX los ingenieros habían conseguido realizar lo imposible gracias al hierro y al acero; el hormigón iba a permitir que se realizaran las fantasías más atrevidas, que, aunque no se llevaran a cabo en ese momento, se intuían ya como algo posible. En el siglo XX, todas esas audacias se han construido y lo imposible se ha hecho habitual.

A pesar de la expansión rápida que tuvo el hormigón armado, debido a que era un material complejo, diferente de todos los hasta entonces empleados, seguía siendo muy mal conocido. Al principio se desconocía si la armadura reforzaba al hormigón (sin que se supiera muy bien cómo), o si el hormigón sólo servía para proteger a la armadura.

En este sentido, en Estados Unidos se ponía el acento en el interés del hormigón para resistir los incendios y se calculaba la estructura metálica como si ella, por sí sola, asegurara la resistencia.

Cada inventor tenía su sistema, que incluía tanto las disposiciones constructivas como el cálculo, pero no había ninguna teoría general del hormigón armado. Se decidió entonces reglamentar el nuevo método de construcción y susti-

tuir los métodos empíricos empleados hasta entonces por reglas oficiales.

En Alemania, las primeras instrucciones datan de 1904. En Francia, la «Comisión del hormigón armado», creada en 1901, condujo a las *Instructions relatives à l'emploi du béton armé* del 20 de octubre de 1906, que han estado en vigor hasta 1934.

La aparición del puente de arco en hormigón armado fue tardía, debido sobre todo a que los constructores no supieron reconocer el valor de procurar un refuerzo a lo que siempre había sido considerado como una estructura compresiva pura. Sin embargo, llegó un momento en que se constató que esta impresión tradicional era inexacta.

La explicación es la siguiente: «si un arco va cargado uniformemente a lo largo de la curva de su eje, la línea de carga sigue una curva llamada catenaria invertida, es decir, la inversión de la curva trazada por una cuerda flexible libremente suspendida entre sus dos extremos. Los ejes de los tradicionales arcos semicirculares, elípticos y segmentarios se desvían de la catenaria en diversos grados, y cada vez que ocurre una de estas desviaciones, especialmente bajo cargas móviles, el arco está sometido a tensión así como a compresión»¹¹.

«Aunque las tensiones pueden ser absorbidas por una masa de obra de ladrillo, dadas las rigurosas normas de diseño que se imponían alrededor de 1880, esta práctica llegó a ser considerada poco eficiente y antieconómica. Al emplear hormigón en vez de ladrillo y al introducir un refuerzo en los lugares apropiados, el constructor podía crear un arco de diseño preciso y con un mínimo de material»¹².

Los primeros puentes de hormigón siguen las formas de los puentes de piedra. En ocasiones se aplica un revestimiento de piedra, como ocurre en el puente Posadas, sobre el río Guadalquivir (Córdoba) o en el puente Olmedo sobre el río Eresma (Valladolid). Pero el material va ganando terreno y pronto conquista un lugar importante en la construcción de puentes, constituyendo una prueba efectiva de que el hormigón armado, correctamente entendido y empleado, ofrece nuevas posibilidades estéticas.

Tras las experiencias de Hennebique, al descubrir la naturaleza del esfuerzo cortante en el cemento, se comprueba que la verdadera fuerza del hormigón armado no reside en los elementos sustentantes en forma de barra, sino en los de gran superficie. Esto tiene una consecuencia económica: la mano de obra para un encofrado sencillo resulta más barata y se precisa menor cantidad de acero como consecuencia del mejor efecto sustentante.

Arcos de hormigón

11. Kranzberg, M. (1981) *Historia de la tecnología. La técnica en Occidente de la Prehistoria a 1900*, p. 686.

12. Kranzberg, M. (1981), *op. cit.*, p. 686.

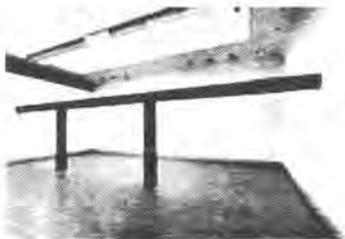
Uno de los primeros en descubrir este efecto en toda su magnitud fue el ingeniero suizo Robert Maillart (1872-1940). Configuración y estructura son para él una unidad necesaria, una totalidad en la que ningún elemento es gratuito, como veremos más adelante.

En España tenemos un magnífico ejemplo de esta tipología, en el viaducto Martín Gil sobre el río Esla. Este puente se construyó con objeto de acortar el recorrido del ferrocarril Zamora-Orense. El ingeniero que lo proyectó, Francisco Martín Gil, murió antes de iniciarse la obra, por lo que el proyecto definitivo corresponde a Eduardo Torroja, quien aportó a la primera idea la solución para construir el gran arco de 209 metros: una cercha metálica que funcionaría a modo de armadura rígida del hormigón.



La excelente solución permitió que las obras se desarrollasen con normalidad pese al huracán de febrero de 1941. Inaugurado al año siguiente, fue récord mundial de luz entre los puentes de su tipología.

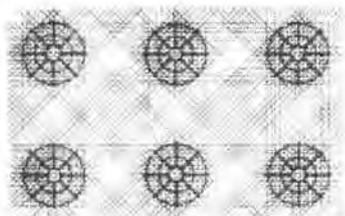
Los puentes de Maillart



La figura del puente como estructura física, es motivo de inspiración en el ámbito escultórico. En el caso del escultor Richard Serra, su propuesta en el tema de los puentes la ha dirigido al autor, al protagonista de los puentes. Su escultura titulada **Maillart** de 1988, es un homenaje al ingeniero suizo Robert Maillart, un recuerdo en el que están simbolizados todos los puentes.

La aportación de Maillart en la construcción de puentes, parece suficientemente importante para considerarla un punto aparte dentro de los arcos de hormigón.

A primera vista, resulta sorprendente que un escultor, Max Bill, dedique una investigación a la obra de un ingeniero de su tiempo, Robert Maillart. Pero no resulta tan extraño cuando miramos las esculturas de Max Bill, concreciones en el espacio con un cierto rigor matemático. Por otro lado, cuando leemos detenidamente el libro de Bill (1969), encontramos un interés y una sensibilidad de artista cuando descubre en los puentes de Maillart un ritmo estético en sus arcos que compara «gestalticamente» con las curvas y líneas de Vantongerloo, y con las composiciones de Piet Mondrian. Para Bill, los puentes de Maillart tienen algo que les hace sobrepasar la técnica, y que él califica como «la intensidad de su expresión estética». Sin duda, estas estructuras tienen, como mínimo, el atractivo de la novedad.



Maillart hace una aportación importante para la construcción arquitectónica que es la **losa-champiñón**. Este sistema, en el que el forjado trabaja de modo total, exige unos capiteles orgánicos de transición a las columnas. El objetivo de Maillart para construir la losa champiñón, es una idea de totalidad en la estructura, de forma que trabajen todos los elementos estructurales y en todos los sentidos. Esta condición del hormigón, de ser un material moldeable, hace posible la idea de Maillart. La madera, el acero, al ser lineales no permiten esta posibilidad.

En la construcción de un almacén en Altdorf, en 1912, Maillart pone en práctica este descubrimiento.

Otra aportación muy importante de Maillart, y esta se refiere exclusivamente a la construcción de puentes, «*es la incorporación de los tímpanos a la bóveda para formar un elemento en U resistente*». La tradición de los tímpanos hasta entonces, había sido exclusivamente transmitir cargas y sobrecargas. Estos tímpanos se aligeran cerca de los apoyos formando la silueta característica de los puentes de Maillart. En 1905, en su puente sobre el Rin, en Tavanasa, Maillart había conseguido ya su característica forma de puente: un arco triple de sección hueca, con aberturas triangulares en los costados para reducir peso, lo que aporta a la estructura un aire ligero y expresivo.

La tercera contribución de este ingeniero es consecuencia de la segunda, «*la incorporación del tablero rígido como elemento activo en la resistencia total de la estructura del puente, y no como simple transmisor de cargas*». Este principio, supone que la bóveda puede adelgazarse hasta cinco veces y se convierte en una verdadera bóveda laminar, siendo el tablero de gran canto quien absorbe las flexiones de las sobrecargas no simétricas.

En su puente Aare, en Aarburg (1911), Maillart consigue articular la plataforma del puente a partir de su arco de soporte mientras confería rigidez a la plataforma a través de las estructuras transversales montadas en el riñón de la bóveda del arco. El paso siguiente fue articular los estribos del puente con respecto a su forma general. Esta fórmula elaborada en el puente Aare, tuvo su mejor expresión en el puente de Arve, construido en Vessey, cerca de Ginebra, en 1936.

«*Maillart consigue que tanto los tímpanos como los tableros, que eran elementos tradicionalmente pasivos (transmisores de cargas), se transformen en activos, es decir, resistentes*»¹³.



13. Fernández Ordóñez. Notas sobre Maillart. Texto inédito.

El hormigón pretensado

Desde principios de siglo se intentaba disminuir e incluso suprimir los inconvenientes de la fisuración del hormigón armado. La fisuración representó un temor para los constructores desde la época de las construcciones de fábrica. Suele ser un índice de mala calidad de construcción y como consecuencia de deformaciones que perjudican la obra, con el riesgo de corrosión.

Los orígenes del hormigón pretensado están perfectamente situados en las patentes de invención obtenidas por Eugène Freyssinet (1879-1962) el 2 de octubre y el 19 de noviembre de 1928.

Freyssinet se sitúa entre los más importantes constructores de todos los tiempos. Aunque su notoriedad se basa principalmente en el hormigón pretensado, su investigación dentro de todas las ramas de la ingeniería civil fue notable, desde la concepción hasta los detalles de ejecución, en el campo del hormigón armado, en el de la construcción de cimbras y en el de los medios auxiliares de obra.

Sus compañeros de profesión ratifican estas aportaciones suyas en el ámbito de la construcción y observan que, *«sus éxitos provienen esencialmente de sus excepcionales cualidades y, sobre todo, del hecho de que dispusiera a la vez de una formación técnica y científica muy amplia y de un conocimiento profundo y concreto de la materia. En todas sus innovaciones aparece una síntesis perfecta entre la teoría y la práctica»*. Así, *«el invento del hormigón pretensado no fue consecuencia de una iluminación súbita sino, por el contrario, el resultado de reflexiones y experiencias desarrolladas por Freyssinet durante largos años»*¹⁴.

14. Gnattessi (1981), p. 112.

En efecto, ya en 1903 Freyssinet concibe por primera vez la posibilidad del pretensado, época en que los ingenieros carecían de experiencia en hormigón armado, y la máxima preocupación era la fisuración del hormigón.

Se ensayaban nuevos sistemas de enlace entre el hormigón y el acero para evitar las fisuras. *«En ocasiones presionaban para que aumentase la proporción de carbono en los aceros laminados para elevar la tensión admisible de los reglamentos, lo que no suponía apenas incremento de precio. Otras veces trataban de imponer a las armaduras alargamientos previos con tensiones pequeñas del orden de un tercio de la máxima»*¹⁵. Las pruebas suponían una lucha para conseguir el equilibrio entre economía y resistencia estructural.

15. Ferrnández Ordóñez (1978), pp. 171-172.

Pero en ninguna de estas pruebas subyacía lo que Freyssinet consideraba esencial, que era mejorar el hormigón cambiando el principio de su funcionamiento. *«Un día tuve la idea de que si*

bien no se podía obligar al hormigón a seguir sin rotura la deformación del acero, se podía al contrario imponer al acero la deformación del hormigón. Para ello bastaría someter el conjunto de las armaduras a una tensión total más elevada que toda tracción ulterior de manera que el hormigón se encontrara permanentemente comprimido»¹⁶. Testimonios como este pueden leerse en las páginas de su diario y dan fe de las inquietudes de Freyssinet, que se remontan muchos años antes de esa patente que obtuvo en 1928.

16. El autor deja constancia del manuscrito de E. Freyssinet, en el que se apoya el capítulo cuarto de su libro. (Fernández Ordóñez, 1978, p. 247)

La investigación en aquellos años se centraba en retrasar la formación de fisuras de retracción, tratando de mejorar el hormigón armado en cuanto tal, pero no reemplazándolo por otro material fundado en un principio diferente y que sólo tenía con aquel un punto en común: la utilización de una mezcla de cemento y agregados.

Lo que les faltó a todos aquellos investigadores que buscaban un hormigón armado sin fisuras fue «la idea de emplear aceros de alto límite elástico como el propio Freyssinet había utilizado en la misma época; la decisión de someter a estos aceros a tensiones iniciales muy fuertes con valores superiores a las tensiones de servicio previstas, ... y por último, la construcción de un elemento de hormigón capaz de oponerse sin deformación excesiva a estas fuertes tensiones»¹⁷.

17. Fernández Ordóñez (1978), p.174.

Parece claro que, desde la aparición del hormigón armado a mediados del siglo XIX, los ingenieros más inquietos fueron conscientes de que esta asociación de materiales funcionaba en muy malas condiciones y que pese a la defensa que se hacía del nuevo material frente a las estructuras metálicas, existían graves defectos inherentes a su propia formación.

Así, la búsqueda generalizada de una solución al problema era algo que estaba en la mente de todos, ya que era sobradamente conocido que «cuando se hace trabajar a flexión una pieza de hormigón siempre rompe por insuficiencia de resistencia del hormigón a los esfuerzos de tracción. De ahí que se incorporasen armaduras de acero para soportar estas tracciones. Pero al incorporar estas barras en la masa se produce, al fraguar el hormigón, el efecto de la retracción, cuya primera consecuencia es comprimir las armaduras. Al utilizar la pieza a flexión, las barras se descomprimen en primer lugar y pasan a continuación a una situación de tracción lo que implica necesariamente un alargamiento que obliga a su vez a romper el hormigón para que las armaduras lleguen a un trabajo efectivo»¹⁸.

18. Fernández Ordóñez (1978), p. 175.

El empleo del pretensado representaba una lucha idéntica a la que sostuvieron los ingenieros pioneros de las estructuras metálicas a comienzos del siglo XIX. Iniciativa y coraje a nivel técnico, comercial y social. Era necesario extender la confianza en la seguridad del nuevo material, de los nuevos tipos estruc-

turales, creando cada vez más referencias en todos los ámbitos, en la ingeniería, la arquitectura, dando una imagen de modernidad y progreso.

En esta lucha, los reglamentos estatales eran peores enemigos que la propia competencia comercial. La asociación entre los materiales era defectuosa. Los inconvenientes se producían por las diferencias entre los respectivos alargamientos del hormigón y el acero:

«el trabajo de las armaduras, al estirarse, suponía un alargamiento diez veces más elevado que el alargamiento que podía resistir sin romper la masa de hormigón. Aparecían las temidas fisuras y con ellas la acción del agua, de los gases, la corrosión, provocando la destrucción progresiva de la adherencia entre las barras de acero y la masa de hormigón y por supuesto sucesivos deslizamientos de las armaduras sobre el hormigón, sin posibilidad alguna de recuperación de los elementos por sí mismos al no existir prácticamente ningún trabajo reconstructor en la estructura molecular»¹⁹.

¹⁹ Fernández Ordóñez (1978), p.176.

Cuando los problemas derivados de la unión de estos materiales parecían insalvables, a Freyssinet se le ocurrió la solución. Fue una solución definitiva a un problema en el que investigaba desde hacía veinticinco años. Y de esta manera, en 1928, Freyssinet bautizaba el nuevo material con el nombre de **hormigón pretensado**. Dos años más tarde escribiría: *«Las piezas de hormigón armado sometidas a fuertes tracciones se fisuran ampliamente, cualquiera que sean las cualidades del acero y del hormigón. No se puede remediar esto mas que por medio de la puesta en tensión de las armaduras, previamente al hormigonado»²⁰.*

²⁰ Fernández Ordóñez (1978), p.176.

Fueron muchas las definiciones que Freyssinet dejó del pretensado, todas ellas están recogidas en el libro que sobre él escribe otro ingeniero, Fernández Ordóñez (1978), donde queda bien patente cómo éste gran ingeniero dedicó su vida y fortuna a la investigación en el ámbito constructivo.

Su invento abría nuevos caminos en la construcción en general y especialmente en la construcción de puentes. A partir de entonces sería posible realizar las formas más insospechadas, dando cabida a lo que Henry Petroski llama **Ingenieros de sueños**. Un libro que cuenta cómo algunos de los grandes puentes han sido diseñados por hombres ingeniosos y calculados por técnicos en estructuras. El peligro, no obstante, radica en intentar escapar de las leyes de la ingeniería en defensa del capricho o de la moda²¹.

²¹ Montgomery, M.R. (1995). "To Get to the Other Side". *The New York Times Book Review*, 15 October 1995, p.22

Puentes de hormigón pretensado y sistemas constructivos

Desde aquellos años treinta en que Freyssinet culmina sus investigaciones con el hormigón pretensado, el material se incorpora paulatinamente a la construcción de puentes, y más tarde a la arquitectura. En la construcción actual de puentes el hormigón pretensado es el material utilizado por excelencia, acompañado del acero y los nuevos materiales que lentamente se van incorporando. Los avances en resistencia de materiales continúan su proceso evolutivo, por lo que hoy podemos hablar ya, referido al hormigón, no sólo de pretensado, también de postensado y tensado exterior.

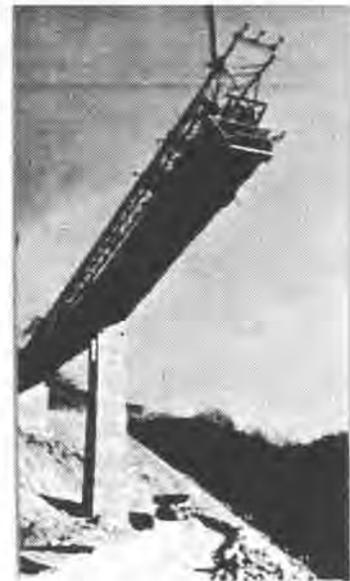
No obstante, ninguna de las tres grandes categorías tipológicas en que se dividen los puentes (arcos, vigas y colgados), es adecuada para catalogar los pequeños y grandes puentes en hormigón pretensado. La tipología la decide el ingeniero en función de la luz que hay que salvar, de las condiciones del terreno y de otros parámetros de orden técnico, prioritariamente el método constructivo, que es el que condiciona la concepción y el cálculo. Hay cuatro procedimientos constructivos que dan nombre a sendos grupos de puentes de hormigón pretensado:

- Puentes de vigas prefabricadas lanzadas
- Puentes empujados
- Puentes empujados sobre cimbras autoportantes y autolanzadas
- Puentes construidos por voladizo

Así, en la actualidad, es fácil encontrar una alusión al sistema constructivo de un puente junto a la tipología que lo define.

En materia económica se puede decir que con el pretensado se consiguen precios de construcción competitivos, sobre todo para grandes puentes, con un proceso de construcción racional, que permita realizar el trabajo por secciones en un ciclo repetitivo. Al prescindir de un andamiaje tradicional, disminuye el riesgo económico.

Los puentes de vigas continuas son quizás los más abundantes, variando el canto de las mismas en función del diseño. Cualquiera de los métodos constructivos mencionados puede ser adecuado para la construcción de estos puentes, pero lo que permite llevar a la práctica la construcción del puente es la cimbra. Hoy las cimbras son andamiajes deslizantes que, cuando se trata de salvar una serie de luces medianas o grandes en sucesión ininterrumpida, permiten la construcción por voladizo haciendo de «puente» entre los pilares. El tablero se va



Vigas continuas

construyendo desde cada uno de los pilares hacia fuera, hasta encontrarse con el extremo opuesto.

Los andamiajes son muy diversos y se construyen en función de las necesidades de la obra, aunque son muchos los sistemas que se han patentado. En muchos casos, las cimbras son recuperables, debido a la estandarización de las construcciones prefabricadas, lo que repercute directa y positivamente en la economía.



El Puente de la Plata sobre el río Guadiana, en Mérida, es uno de los muchos puentes que, dentro del territorio español, ejemplifica la viga continua. El modelo está especialmente seleccionado en este caso. El proyecto corresponde a Santiago Calatrava, ingeniero, arquitecto, escultor y diseñador en el sentido más amplio del término.

En este puente se refleja el proceso interdisciplinar que caracteriza la obra de Calatrava y que surge básicamente de la combinación de las distintas manifestaciones creativas. El Puente de la Plata se revela como un claro exponente de su metodología de trabajo. *«Su esencia radica siempre en la sección: allí donde la escala del espacio dialoga con el alma del aparato estructural», dice Josep Maria Montaner, y sigue: «la sección es la radiografía que desvela la estricta unidad y cohesión interna de cada proyecto, que nos descubre la belleza secreta y oculta de la estructura»*²².

22. Montaner (1994), p. 15

En efecto, en la sección se descubre esa mirada de Calatrava a lo orgánico como marco referencial para canalizar el proyecto. En su metodología *«no parte de la alta cultura o de la teoría sino todo lo contrario, encuentra su base en unos mecanismos puramente empíricos que se inician en el adolescente autodidacta y que culminan en el doctor ingeniero.../...el mecanismo de Calatrava es un poco retrospectivo por la voluntad de recuperar ciertas situaciones neoartesanales típicas de los años cincuenta, solo realizables con una precisión y manualidades artesanales...»*²³.

23. Montaner (1994), p. 15.

Realmente, el método de Calatrava se mueve entre contradicciones que desembocan en resultados genuinamente personales: sus puentes son construcciones de ingeniería que a la vez pretenden ser irrepetibles y personales obras de arte. Pero la ingeniería y la arquitectura se sustentan del trabajo colectivo, en el mismo sentido del que habla Armajani de la escultura pública, como *«una producción en colaboración», porque «otras personas además del artista comparten la responsabilidad de la obra. Atribuir todo el mérito sólo al artista es engañoso y erróneo»*²⁴. Sin embargo, Calatrava se escuda en la figura clásica del genio individual.

24. Armajani (1995), p. 36.

Por otra parte, en la medida que en la búsqueda de Calatrava no existen aspiraciones de crear tipos repetibles, sino que predomina este mecanismo empírico, experimental y subjetivo, antitipológico y no metódico (*«a mí me interesa romper barreras, crear contexto, y no tanto hacer las obras de mi época. Yo entiendo más mi actividad como de proyección hacia un futuro»*²⁵), se vislumbra la consolidación de un estilo propio.

Por lo tanto, en mi opinión, la obra de este ingeniero no puede entenderse desde una lectura que sea estrictamente cultural e historicista, pero tampoco desde una óptica exclusivamente técnica, sino que se ha de entender como una experiencia plural, esencialmente plástica, personal y artística, que explora en el mundo de las formas en un intento de superar convencionalismos.

Volviendo al puente de Mérida, que presenta una solución estructural de viga continua formado por siete vanos de acceso, tres por cada lado de 44, 47 y 47 metros y uno central de 189 metros. El vano central presenta una tipología diferente, un arco del tipo bow-string, constituido por tres cordones principales de acero unidos entre sí mediante montantes y diagonales, conformando una celosía espacial que recuerda las estructuras óseas en las que Calatrava se apoya.

La transición entre la sección triangular del arco y la rectangular del anclaje en el tablero, se resuelve mediante macizos de hormigón, en cuya base se sitúan los pasos abovedados que dan continuidad al paso peatonal, una calzada de 5,5 metros que a modo de mediana enfatiza el carácter netamente urbano del puente y se eleva 1,60 metros sobre las calzadas para el tráfico rodado.

No es preciso ser un técnico en construcción para intuir que el gran arco del vano central no es estrictamente necesario para el funcionamiento estructural del puente, sin embargo, a nivel de signo e incluso a nivel estético, se percibe como un elemento arquitectónico referencial. Cuestionarse el por qué de su existencia es una razón obvia. A continuación, y también de manera obvia, uno intenta imaginar que desaparece el gran «adorno» del tablero y descubre que con ello se perdería todo signo de identidad. La singularidad arquitectónica de este puente contribuye, sin duda, a marcar un hito en el paisaje que focaliza la atención del espectador en la espectacularidad de su tramo central, creando así una jerarquía óptica en relación al entorno inmediato que ordena el conjunto.

Y dentro de esta componente de libertad en que se desarrolla la obra de Santiago Calatrava, puede resultar clarificador

25. Entrevista realizada por Richard Levene y Fernando Márquez en Febrero de 1989 para la revista *Croquis*, n.º 38. Marzo, 1989, pp. 8-9.



el discurso del propio Calatrava referido a este puente. Para él, el arco, que evidentemente está fuera de escala, «es un gran gesto arquitectónico ¡completamente innecesario! Tan innecesario que ni me he preocupado de cambiar de dimensiones el soporte del que arranca. Es como ir en contra de toda esta humildad apriorística, de querer sumarse al contexto de una manera subordinada... El arco de Mérida es un objeto extravagante para hacer un alarde técnico en un contexto de subdesarrollo tecnológico como el de Mérida»²⁶.

26. De la revista *Croquis*, n.º 38, Marzo, 1989, pp. 8-9.

Puentes atirantados

Toda estructura construida con un determinado material y según un determinado esquema estático, tiene una luz límite por encima de la cual no resulta utilizable, por su capacidad para sustentarse por sí misma. En consecuencia, para solucionar los casos en que, siendo necesario salvar vanos de gran longitud, no era posible disponer los apoyos de tipo normal situados por debajo de la estructura, hubo que recurrir a otros procedimientos. Así surgió la idea de sustentar las estructuras por su parte superior, mediante elementos resistentes a tracción; idea que condujo, primero, a los puentes colgantes y, más recientemente, a los puentes atirantados.

Estos últimos, en los que el tablero está sostenido por cables oblicuos rectilíneos, constituyen un tipo de obra relativamente nuevo, que se desarrolla de modo creciente a partir de los años cincuenta. En realidad se trata de una idea muy antigua aplicada ya en algunos puentes primitivos (ver capítulo I), y de la que existen realizaciones en todas las épocas²⁷.

27. Una explicación completa sobre las razones técnicas que conducen al empleo de esta tipología que son los puentes atirantados, se puede encontrar en el artículo firmado por MATHIVAT, J. (1980), *Puentes atirantados para grandes luces. Hormigón y acero*, n.º 135, 109-129. Madrid: Asociación Técnica Española del Pretensado. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

El puente-acueducto de Tempul, construido por Torroja en 1926, es una de las primeras obras de hormigón en las que se utilizó este método. Estaba constituido por varios tramos de 20 metros de luz, separados por un tramo central de 58 metros, en el cual se habían suprimido las pilas. Cada una de ellas se sustituyó por un tirante que se apoyaba sobre un pilón y se anclaba en la pila posterior adyacente. Los tirantes se pusieron en tensión mediante gatos colocados en las cabezas de los pilones y hormigonados después.

Los primeros puentes atirantados construidos, poseían sólo un número limitado de tirantes. Un ejemplo es el puente Maracaibo, en Venezuela. Para los puentes de este tipo no se había desarrollado un método constructivo bien adaptado y, en general se recurría a la utilización de la mayor parte de los procedimientos normales en la técnica del pretensado. Así se utilizaba:

- La construcción sobre cimbra.
- La construcción sobre cimbra con traslado posterior



del tablero hasta colocarlo en su posición definitiva.

- Vigas prefabricadas, previamente apoyadas sobre pilas y castilletes provisionales.
- Voladizos construidos in situ o mediante dovelas prefabricadas.

Por otra parte, como las distancias entre tirantes eran importantes (de 40 a 60 metros), el tablero quedaba sometido a fuertes solicitaciones de flexión, lo que obligó a recurrir a un pretensado interno considerable.

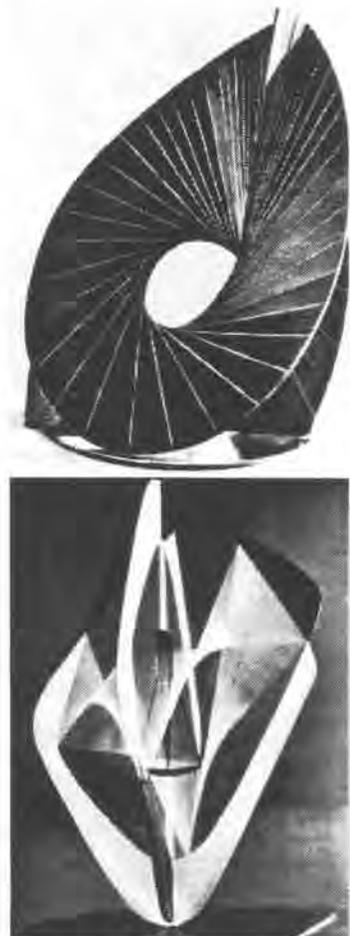
La experiencia siguiente fue generalizar un nuevo tipo de puente atirantado que constituye una lógica extrapolación del sistema utilizado para la construcción por voladizo de grandes puentes pretensados.

En la actualidad, en el campo de las luces comprendidas entre 50 y 150 metros, los puentes tradicionales construidos por voladizos sucesivos, constituyen la solución más satisfactoria a nivel técnico y económico²⁸. Evidentemente, la solución presenta inconvenientes y ventajas que, por el carácter técnico de las mismas escapan de este trabajo. Sin embargo, el rápido desarrollo de este tipo de estructuras, del cual existen realizaciones con luces superiores a 300 metros, justifican el interés económico que demuestran para salvar grandes luces.

Mencionaré, no obstante, las repercusiones que, a nivel estético se aprecian en la contemplación de estos puentes. Desde un punto de vista perceptivo, la imagen del puente con sólo dos tirantes por pilón, cambia sensiblemente con relación a los modelos últimos y más actuales, en donde la abundancia de cuerdas nos marca una analogía a nivel formal con la escultura de Pevsner o Gabo. Analogía que va más allá de lo visible ya que el planteamiento basado en la tradición geométrica que subyace en la obra de estos escultores también guarda un paralelismo con la disposición de los tirantes de los puentes, tanto en los espacios entre tirantes como en la configuración del conjunto del atirantado.

Y aun podemos encontrar un punto de semejanza más en una lectura comparativa entre los puentes atirantados y ciertas esculturas del movimiento constructivista: recordemos que Gabo y Pevsner concretamente, demostraron una especial sensibilidad para integrar en el arte los nuevos descubrimientos de la ciencia. La propuesta, desde este proyecto de tesis, es precisamente la de incorporar algunos de estos modelos de puentes, de esta y de otras tipologías, al mundo de la escultura, ya que su apariencia es precisamente la de macro esculturas poblando el territorio.

28. Mathizant, J. (1980). Puentes atirantados para grandes luces. *Hormigón y acero*, n° 135, 109-129. Madrid: Asociación técnica Española del Pretensado. Instituto Eduardo Torroja de la construcción y el cemento.



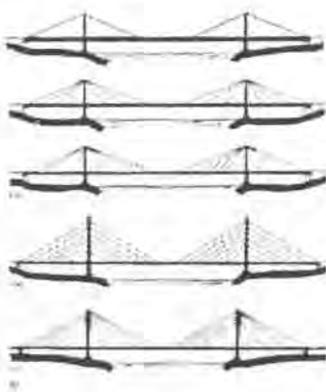
Por otra parte, y volviendo a la imagen que un espectador puede recibir de un puente atirantado, la percepción, en el caso de tirantes concentrados cambia sustancialmente con respecto al puente de tirantes múltiples repartidos. En el primer caso, y desde una cierta distancia, considerando también el grado de luminosidad, el puente se visualiza apoyado exclusivamente sobre el tablero; el diseño del pilón o los pilones se convierte en el protagonista principal de la apariencia formal del puente. No ocurre así en el segundo caso, donde las posibilidades de juego en la disposición de los tirantes presentan un abanico de posibilidades suficientemente amplio para plantear cuestiones de simetría-asimetría, perpendicularidad, equilibrio, que se añaden a los puramente formales referidos al pilón o pilones.

En cuanto a su estructura longitudinal, en los puentes de tirantes múltiples, repartidos, depende del procedimiento elegido para la construcción del tablero y de las características del vano que se vaya a salvar. Existen tres esquemas-tipo principales:

- Puentes atirantados con pilón descentrado.
- Puentes atirantados de dos tramos simétricos.
- Puentes atirantados de tres tramos simétricos.

Algunas de estas estructuras llevan también tramos laterales con apoyos intermedios, próximos unos a otros. Una serie de parámetros geométricos y mecánicos influyen en la distribución de los esfuerzos en la estructura; no obstante, prescindiremos de ellos ya que escapan a nuestra comprensión y por otra parte las repercusiones que pueden transmitir a la apariencia formal del puente no es condicionante.

Cuestión importante en los puentes atirantados es la relacionada con la suspensión. Se refiere a la disposición de los tirantes. En sentido longitudinal son habituales tres tipos de disposiciones para los tirantes:



- Disposición en abanico, según la cual todos los tirantes convergen en la cabeza del pilón.
- Disposición en **semi-abanico**, según la cual todos los tirantes se distribuyen regularmente en la parte superior del pilón. Esta disposición que difiere poco de la precedente, ofrece sin embargo la ventaja de facilitar el anclaje de los tirantes, separándolos unos de otros.
- Disposición en **arpa**, en la cual todos los tirantes son paralelos. Esta disposición disminuye los riesgos de inestabilidad elástica del pilón, como consecuencia de la

distribución de los puntos de paso de los tirantes todo a lo alto del pilón.

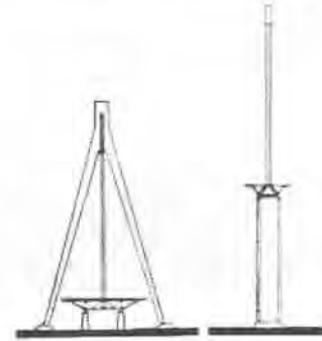
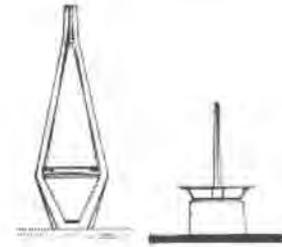
En sentido transversal, los tirantes pueden disponerse, o bien en una capa única situada en el eje del tablero, o bien en dos capas laterales, paralelas o convergentes. En el primer caso se trata de la **suspensión axil**, que se utiliza normalmente cuando el perfil transversal del tablero consta de dos vías de circulación, de sentidos opuestos, separadas por una mediana. Esta solución requiere que el tablero posea una gran rigidez torsional, ya que debe ser capaz de soportar las acciones excéntricas originadas por las sobrecargas de tráfico. Otra modalidad es la **suspensión lateral**, que mejora la estabilidad aerodinámica de los puentes atirantados, aumentando la rigidez a torsión de la estructura.

El diseño de los pilones también guarda relación con el sistema de suspensión. Son elementos de hormigón que se encuentran sometidos a las fuertes cargas de compresión originadas por la componente vertical a que da lugar la tensión en los tirantes y, por consiguiente, pueden estar expuestos a considerables riesgos de inestabilidad de forma.

Su esquema longitudinal puede ser del tipo flexible, con un elemento vertical, o del tipo rígido, con sus diferentes formas. Para el paso de los tirantes sobre el pilón, pueden adoptarse diversas soluciones: desde la interrupción en el pilón y anclaje en el mismo, hasta adoptar una continuidad atravesando el pilón por diversos sistemas.

Me gustaría ejemplificar los puentes atirantados con un modelo que se escapa de lo convencional: el puente de Ruck-a-Chucky, que cruza un profundo cañón en el norte de California. En este caso se han suprimido los pilones, anclando directamente los tirantes en las laderas del valle en que va ubicado el puente. En una panorámica aérea del mismo, se aprecia cómo el arco, en esta ocasión, se materializa en el trazado de la carretera. La solución fue adoptada por el ingeniero T.Y. Lin, evitando la alternativa de construir un puente recto que necesitaba dos túneles en los extremos y que resultaban prohibitivamente caros.

Un caso diferente, aunque no menos peculiar, es el puente de Christian Menn sobre el Ganter, en Suiza. Aquí, tanto el tablero como los tirantes contribuyen a soportar las cargas verticales. Se obtiene así una estructura que podríamos llamar híbrida, ya que posee a la vez las características de los puentes atirantados y de los puentes tradicionales construidos por voladizos sucesivos.



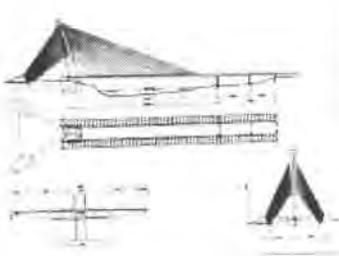
La razón de esto la explica Leonhardt : dado que «*la carretera atraviesa el valle con un trazado en S, y de los 700 metros de puente, solo los 174 metros centrales del vano principal son rectos, pues los vanos laterales de 127 metros, están ya en curva, con 200 metros de radio. No era una tarea fácil, y Menn la solucionó colgando la esbelta viga de cajón, por medio de láminas de hormigón pretensado, de los altos remates de las pilas. Estas láminas admiten curvatura en planta para seguir la curva en los vanos laterales. Las pilas, de hasta 150 metros de altura, se alzan por encima del tablero y reciben las láminas-tirante, y un fuerte dintel cierra el pórtico*»²⁹.

29. Leonhardt (1986), p. 278.

Además, Leonhardt aporta una sugerencia de color para las pilas centrales que consiste en oscurecerlas, dado que las grandes superficies de hormigón cuando son de color claro y están iluminadas por los rayos solares, producen un efecto demasiado impactante en el paisaje. En efecto, mientras que la imagen a contraluz resulta impactante, a pleno sol resulta excesivamente dura.



Un ejemplo español particularmente hermoso es el puente de **Sancho el Mayor**, que cruza el río Ebro en la autopista de Navarra. El puente consta de un vano principal de 140 metros de luz y se prolonga mediante dos vanos de 32 y 25,6 metros. Tiene un solo pylon inclinado con una altura de 60 metros y atirantamiento asimétrico. La torre (o pylon) se fijó en la margen derecha del río por estar formada por un conglomerado cuaternario y ser más estable que la margen izquierda, formada por acarrees naturales que varían con las crecidas.



La utilización de un solo pylon necesitaba unos contrapesos laterales para contrarrestar el atirantamiento del vano principal. Se hizo mediante péndolas ancladas a ellos. La suspensión por tanto queda repartida en tres familias de cables: la que va de la torre al dintel en el plano de su eje, y las dos que van de la torre a los contrapesos, quedando definido el vano principal del puente.



Todo ello organiza un juego de volúmenes que dialogan entre sí; materia, forma, uniones reales entre los diferentes elementos formando una unidad. Espacios insinuados, tirantes que marcan un territorio, el del puente. Y en este territorio, la torre como vigía y protagonista de la construcción. Con la forma de doble flecha se eleva en la mediana de la autopista, reduciendo al mínimo su dimensión transversal en la parte inferior, estilizando su figura, y ensanchándose hacia arriba para poder disponer los anclajes de las tres familias de cables.

La inclinación del pylon no es casual; deriva de unas condiciones de equilibrio vertical: gracias a la doble inclinación se consigue trasladar la carga horizontal del dintel a los cimien-

tos, de forma que la fuerza axil de la parte superior del pilón más la fuerza axil del dintel dan una resultante con la misma inclinación que la parte inferior del pilón.

Finalmente mencionaré uno de los últimos puentes atirantados construidos en España. Se trata del puente del **Alamillo**, diseñado por el ingeniero Santiago Calatrava con motivo de la Exposición Universal de Sevilla en el año 1992.

El puente queda encuadrado en la obra del paso territorial Camas-San Lázaro II, que forma parte de la circunvalación SE-30 de Sevilla. Cruza el meandro de San Jerónimo desde Sevilla a la Isla de la Cartuja. Pertenece a la tipología atirantado con un vano único que salva una luz de 200 metros. El pilón, que se sitúa en el extremo del lado Sevilla, está inclinado con un ángulo de 58° con relación a la horizontal, y alcanza una altura de 141,25 metros desde el nivel del agua.

El atirantamiento está formado por trece parejas de tirantes, dispuestos en forma de arpa entre pilón y tablero y con los anclajes activos en el nivel inferior del tablero. Este, con un ancho total de 32 metros, lo constituye un cajón central metálico en forma de exágono. En la parte superior del cajón y enmarcado por los planos de tirantes, se sitúa el paso peatonal, a un nivel superior al del tráfico rodado.

Los tirantes, dispuestos en dos planos centrales, son paralelos y tienen una inclinación de aproximadamente 25° respecto a la horizontal. Sus longitudes varían desde los 70 metros de la primera pareja hasta los 300 metros de la decimotercera y última. La novedad técnica que introduce el puente está en la vaina que aloja los 60 cordones que componen tirantes. Esta vaina, de propileno de alta densidad, ha sido empleada por primera vez para la ejecución de este puente.

La imagen del puente se percibe entre la elegancia y el orden que aporta la geometría que se deriva de la silueta formada por el tablero, el pilón y los tirantes superiores, sin olvidar el paralelismo de las parejas de tirantes colocados en arpa, y el desequilibrio propio de la inclinación del pilón, que Calatrava lleva al límite. El peso de esta torre inclinada también se siente penetrando en la horizontal del suelo. En el conjunto se observa lo que Marcel Meilli ha denominado «una dimensión exegético-herética»³⁰, refiriéndose a las estructuras de Calatrava. Algo parecido a una inflexión estática límite que las deja en estado de mágica suspensión.

Los dos mecanismos de diseño que son una constante en la obra de Santiago Calatrava: la dualidad y la simetría, quedan patentes en el proyecto inicial de este puente. La resolución del



30. Mencionado en Frampton, K. (1989). Sin mirar la maestría. Santiago Calatrava y la reconstrucción alemporada. Santiago Calatrava, 15-20. Barcelona: Gustavo Gili.

problema se presentaba con una característica inusual, de salvar un río, teniendo que cruzarlo dos veces en línea recta. Esta es la situación que se plantea en el río Guadalquivir a la altura de este puente, y aunque uno de los tramos del río sea más activo que el otro, se percibe como el mismo río, además con unas características dimensionales muy semejantes desde el punto de vista del cauce.

Esta fue la cuestión número uno que Calatrava tuvo que considerar en el proyecto, el aspecto dual, no sólo como mecanismo comparativo a nivel formal sino como cuestión física de proyección de dos puentes que él plantea como gemelos y enfrentados. Resuelve así la segunda cuestión, la simetría; y lo hace igualmente en el doble nivel, atendiendo al elemento único: el puente es simétrico en sentido longitudinal, mientras que, para conseguir la simetría transversalmente, recurre al diseño de los dos modelos que, al estar contrapuestos y utilizar el terreno como plataforma de sustentación, se podrían percibir como elementos simétricos.

En la intención de conseguir un puente cuya fachada se extienda a todo el acontecimiento de la Exposición Universal, Calatrava dice lo siguiente:

...»aparece el fenómeno de la simetría como recurso formal de primera mano, es decir, si conseguimos hacer dos puentes simétricos y que tengan el tamaño suficiente como para ser vistos desde la posición normal de un peatón sobre la isla de la Expo, hemos conseguido que haya una referencia doble puntual sobre el aspecto del puente referido a toda la Isla. Si además se pudiese utilizar algún artilugio luminoso atribuible a la técnica moderna para ligar estos dos puntos, no solamente a nivel de la iluminación longitudinal sino a nivel de las partes más altas del puente, con un haz de luz suficientemente compacto, por ejemplo con un rayo láser, entonces se produciría el milagro de la unión de estos dos puentes situados a más de un kilómetro de distancia en una figura global y plástica»³¹.

31. Conferencia pronunciada por Santiago Calatrava en el Colegio de Caminos, Canales y Puertos con motivo de la presentación de los proyectos ganadores de los concursos para los puentes de la Exposición Universal de Sevilla. Publicada en Sevilla. *Puentes del 92. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, pp. 13-19

Es importante entenderlo así para comprender que, ante la realización de un proyecto, el autor se plantea una serie de reflexiones, que en esta ocasión se derivaban del lugar y del acontecimiento de la Exposición Universal. Profundizar en ello nos llevaría hasta el proceso creativo que subyace en la obra de Calatrava.

Razones presupuestarias dieron prioridad a la decisión administrativa de formalizar el proyecto con uno solo de los puentes diseñados. En cuanto al funcionamiento estructural, el puente se comporta como una auténtica balanza romana, cuyos brazos son el tablero por un lado y el pílón por otro, y cuyos

pesos deben estar equilibrados. Ambos brazos están empotrados rígidamente en el pedestal del pilón, que absorbe tanto el peso de los dos como los momentos originados por las diferencias de cargas en los mismos. El recurso del puente como puerta de entrada a la ciudad lo encontramos en la ciudad de Brisbane, en Australia, con la solución del puente **Gateway**, de 1986.

También en Sevilla, con motivo de la Exposición Universal, el puente de **La Barqueta** se plantea por la necesidad de cruzar en río Guadalquivir entre la isla de La Cartuja y Sevilla. La isla quedaba desconectada de la ciudad por el llamado meandro de San Jerónimo, que las separa físicamente. El proyecto del puente de La Barqueta, soluciona este problema enfatizando la característica de **puerta de entrada a la Exposición Universal**.

Es precisamente la originalidad en el diseño del arco atirantado lo que explica esta solución de puente-puerta, que consiste en abrir el arco en ambos extremos, descomponiéndolo en pares de pies inclinados que, al abrirse, no sólo no caen sobre el tablero sino que lo abrazan. Los autores del diseño, Juan José Arenas de Pablo y Marcos J. Pantaleón, conocedores del objetivo del proyecto: pasarela peatonal que diera acceso a la Exposición, y luego de haber decidido la tipología bow-string, por ventajas económicas y de plazos de fabricación, aportan esta solución final, que además permite un arco único con atirantamiento axial, lo que -según los autores- «conduce a eliminar las barreras ópticas de péndolas que la solución de doble arco hubiera inevitablemente introducido en ambos bordes del tablero, creando un cierto aislamiento psicológico de los peatones respecto del río»³².

La brillante idea de «volar el arco central» a partir de sendos pórticos triangulados, que componen cada par de pies unidos a cada extremo del tablero -aclaran los autores-, «nos conduce de paso a suavizar enormemente el problema de su estabilidad transversal»³³.

Una visión diferente en este contexto del puente como puerta, es la que aporta Antoni Remesar en su artículo **Bridges in the gateway city** (1996). En su visión del puente como elemento fundamental para la articulación de los territorios, de unión entre las diferentes partes del mismo, Remesar habla del «*bridge to fill the black holes which the physical morphology casts against the human endeavour*». El puente, como paso y conexión, «*has its better representation in the topical image of the gates of a mediaeval city or castle*»³⁴.

Volviendo a la idea de dualidad que presentaba el proyecto inicial de Santiago Calatrava para el puente del Alamillo, el escultor Claes **Oldenburg**, realiza un proyecto de puente para



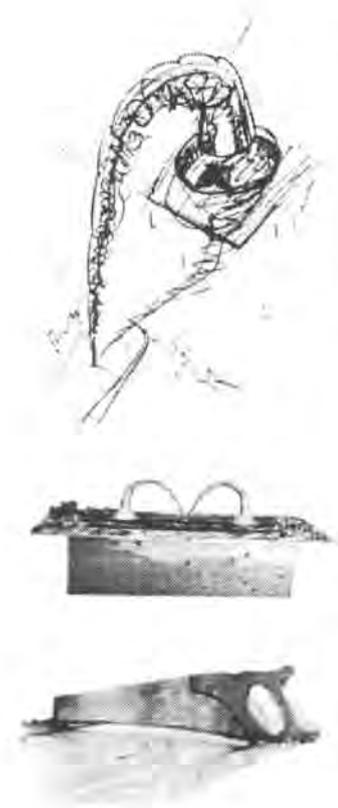
32. Conferencia pronunciada por Juan José Arenas de Pablo y Marcos J. Pantaleón en el Colegio de Caminos, Canales y Puertos con motivo de la presentación de los proyectos ganadores de los concursos para los puentes de la Exposición Universal de Sevilla. Publicada en Sevilla. **Puentes del 92**. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, p. 35.

33. La explicación técnica la desarrollan los autores diciendo:

«Porque, en nuestro caso, el encaje geométrico global correspondiente a buen aspecto inicial del puente, que —lógicamente— se preocupaba de respetar sobradamente los gálibos o alturas libres verticales para el paso de personas y vehículos bajo los pies inclinados, distribuía los 168 m de luz que acordamos al puente en dos segmentos extremos de 30 m cada uno, proyecciones horizontales de los pórticos triangulares, con un hueco central de sólo 108 m donde se desarrolla con libertad el arco único. Pues bien, como todo es estructuralista sabe, la carga crítica que produce el pandeo lateral de un arco y, en general de cualquier pieza comprimida, disminuye con el cuadrado de su luz. Tanto como decir que el diseño en cajado conducía, a igualdad de todos los demás aspectos, a una seguridad frente a inestabilidad lateral casi 2,5 veces mayor que la que hubiéramos tenido con el diseño de arco único, libre desde uno a otro extremo del puente. Estimaciones básicas que se vieron totalmente confirmadas cuando, más adelante, llevamos a cabo el análisis no lineal del puente como estructura espacial, en teoría de segundo orden».

Conferencia pronunciada por Juan José Arenas de Pablo y Marcos J. Pantaleón en el Colegio de Caminos, Canales y Puertos con motivo de la presentación de los proyectos ganadores de los concursos para los puentes de la Exposición Universal de Sevilla. Publicada en Sevilla. **Puentes del 92**. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, p. 36.

34 Remesar (1996), p. 1.



Pretensado exterior

Rotterdam en el que intervienen dos tornillos curvados. El proyecto, como solución tipológica referida a los puentes, se podría calificar de bow-string.

El tema del tornillo aparece por primera vez en la obra de Oldenburg en una maqueta de cartón del año 1969, en la que muestra un tornillo que crece del suelo en tres etapas. Esta maqueta se realiza en Walt Disney Enterprises, donde Oldenburg trabajaba para el programa de Arte y Tecnología del Museo de Arte del Condado de Los Angeles.

El tornillo vertical se desarrolla posteriormente como una escultura a gran escala para ubicarse en unos almacenes de Los Angeles. Se construyó una maqueta e incluso se preparó un molde, pero la escultura no concluyó. Sin embargo, este molde se aprovecha en 1975 para hacer una versión de los tornillos curvados. Dos años después se entera Oldenburg de este concurso de Rotterdam e inicia el proyecto.

No es ésta la única idea que Oldenburg trabaja en relación con el puente. Uno de sus dibujos de 1971 explica un puente sobre el Rin en Dusseldorf. Es un dibujo a lápiz y pastel realizado sobre papel. Una ampliación de escala de un serrucho que marca un salto sobre el río.

El inicio de la técnica del pretensado exterior se produjo en 1934 cuando el ingeniero alemán Franz Dischinger patentó un sistema de dicho pretensado. La motivación que le movió a diseñar un nuevo sistema de pretensado era su preocupación ante las deformaciones diferidas. Sus investigaciones llegaron hasta el punto de proponer el primer modelo matemático para la retracción y fluencia en 1939. Debido a estos estudios creyó conveniente diseñar un sistema de pretensado que permitiera el retesado de los tendones, de forma que se pudiera actuar sobre la estructura en caso de deformaciones diferidas. También consideró la disminución de los efectos de fatiga sobre los tendones y la posibilidad de sustituirlos incluso con tráfico concomitante.

El pretensado exterior se puede definir como *«aquel pretensado constituido por tendones de armadura postesa, anclados mediante anclajes similares a los utilizados en pretensado convencional en determinados puntos de la estructura, donde los tendones, normalmente de acero duro en cordón, discurren entre los anclajes exteriormente a la sección de hormigón del puente, pero sin sobresalir de su canto), dentro de una vaina normalmente de polietileno de alta densidad, contactando con el tablero del puente, además de en los lugares de anclaje, en puntos discretos denominados desviadores,*

ejerciéndose, por tanto, las fuerzas compensatorias del pretensado solamente en estos puntos determinados»³⁵.

35. Aparicio, A.C. (1995). *Presente y futuro de los puentes de hormigón pretensado exterior. Puentes de hormigón. Cemento-Hormigón, n° 748, 840-865*. Madrid: I.E.C.A. (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones). p. 842.

El número de ensayos realizados en todo el mundo sobre el pretensado exterior es reducido. Cabe mencionar los llevados a cabo en el laboratorio del CEBTP en Saint-Rémy-lès-Chevreuse (Francia) y los efectuados en los Construction Technology Laboratories de Dallas (U.S.A.).

Actualmente, en el curso universitario 1995-96, desde la Universidad Politécnica de Cataluña, en el Laboratorio de Tecnología de Estructuras del Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, se realizan investigaciones que evalúan el incremento de tensión en el acero de los cables de pretensado en vigas de hormigón sometidas a flexión. También se analiza el comportamiento resistente de juntas secas en vigas de dovelas sometidas a esfuerzo cortante y a la interacción cortante-flexión.

Esta tecnología presenta algunas ventajas sobre el pretensado convencional que se refieren básicamente a tres conceptos: posibilidades de rehabilitación de estructuras, facilidad de refuerzo frente a estados límites de servicio y a estados límites últimos³⁶.

36. Aparicio, A.C. (1995). *Op. cit.* pp. 842-846. En este artículo el autor desarrolla explícitamente las ventajas e inconvenientes de esta tecnología que es el pretensado exterior.

En España se ha inaugurado recientemente el primer puente moderno con pretensado exterior. Se trata del puente de **Fontejau**, sobre el río Ter en el acceso a Gerona. El proyecto, que se enmarca dentro del Plan de Actuaciones en Medio Urbano del Plan General de Carreteras, presenta una solución formal y tipológicamente clásica de dintel continuo, con 5 vanos de 30, 42, 60, 42 y 30 metros. La plataforma tiene una longitud de 22 metros y los apoyos están esviados con un ángulo de 53,5° en pilas y estribos.



En cuanto a tecnología, este puente presenta características que le confieren una cierta singularidad. A las ventajas que derivan del pretensado exterior, se unen las que derivan de la prefabricación en taller, posibilitando la realización y transporte de piezas de gran longitud y también las de formas complicadas con fuertes esviajes³⁷.

37. Información de la ficha técnica del puente, del proceso constructivo del mismo y detalles de análisis técnico se puede encontrar en la revista *Cemento-Hormigón*, n° 748 pp. 928-940. También en la revista *Hormigón y Acero*, n° 195 pp. 65-78.

Lo que quiero destacar especialmente, es que junto a los avances técnicos, que tienen su correspondencia económica favorable y positiva, el proyecto se aborda con una marcada preocupación por las cuestiones de impacto paisajístico. Por su proximidad al casco urbano, se ha cuidado especialmente la utilización del color (gris claro con uno de los tonos tierra

rosado que se utilizaron en la rehabilitación de las fachadas del río en la pasada década), así como los elementos no estructurales que forman el conjunto y que le dan un carácter unitario.

Así, unas piezas de imposta rematan los alzados, proyectadas con módulos prefabricados, en las que se integran unas balaustradas de corte clásico con albardillas de gran sección, aportando al conjunto una apariencia ordenada y serena. Las farolas forman un tronco de pirámide estriado a lo largo del soporte; son de hormigón por lo que se unifican al conjunto por material y también por diseño, que fue especialmente cuidado por el escultor Eusebio Sempere.

Tableros mixtos

Cuando dos materiales (acero y hormigón), intervienen por igual en la estructura de un puente, se dice que es una estructura mixta. Actualmente, casi la totalidad de los puentes son estructuras mixtas; dado la eficaz colaboración de los dos materiales, que se viene demostrando con el hormigón armado primero y el pretensado después, han surgido estructuras en las que la colaboración del acero y el hormigón se ha exteriorizado, como son los puentes atirantados con tablero de hormigón y los puentes con pretensado exterior. Se puede decir que acero y hormigón son los dos materiales constructivos que representan la contemporaneidad.

Como ejemplo de puente con tablero mixto, quiero citar el Puente del Milenario sobre el río Ebro, en Tortosa. Esta obra recibió el Premio Internacional Puente de Alcántara. Es un proyecto de los ingenieros: José A. Fernández Ordóñez, Julio Martínez Calzón y Francisco Millanes Mato.

«El perfil de la obra es una parábola central y pertenece a la tipología estructural de puente de vigas, tipo pórtico, con empotramientos elásticos entre el dintel y las pilas centrales. Los fustes de pilas están empotrados en la cimentación y los extremos del dintel apoyados en los estribos. Esta disposición estructural poco usual permite lograr, según los autores del proyecto, a través de un incremento en el coste de las pilas y la cimentación, la mejora del dintel, logrando la máxima esbeltez y una intensa unidad estructural y estética de todo el puente, para alcanzar la importancia monumental e histórica deseada para la obra»³⁸.

38. Declaración de uno de los autores del proyecto en entrevista realizada por la autora de este trabajo.



Dos únicos materiales forman la estructura del puente: el hormigón blanco y el acero tipo Corten. El hormigón blanco de pilas y estribos enmarca los elementos longitudinales de acero color siena oscuro, que son las vigas cajón, impostas y barandillas, organizando un juego de alternancia estructural y estética entre ambos materiales. En definitiva, el cromatismo de los materiales como expresión diferenciadora de funciones.

Las dos pilas en forma de T representan un homenaje a la ciudad de Tortosa. Se relacionan con los estribos por el color (blanco) y material (hormigón), y constituyen también un elemento fundamental en la concepción visual del puente. En el extremo de sus brazos se insertan los dinteles mixtos mediante los diafragmas correspondientes. Los fustes presentan una sección variable rectangular que se abre hacia la base y penetra ligeramente en el agua buscando los macizos de la cimentación.



Los estribos constituyen la transición entre el puente y los accesos. Presentan tres zonas diferenciadas:

- La primera, de recepción de las cargas del dintel. Formada por una gran pieza prismática de extraordinaria pureza geométrica.
- La segunda, de continuidad con el dintel, mantiene la forma exterior del cajón y se apoya verticalmente en el terreno, creando un espacio en el que se ubicará el museo del Ebro.
- La tercera, del ancho total de la plataforma, está formada por un frente y los muros de acompañamiento que se acoplan con los taludes y terrazas de los accesos.

Este concepto de alta continuidad orgánica de toda la estructura permite, sin desarticular el conjunto, efectuar la ruptura visual buscada entre pilas y dinteles del pórtico, de forma que se logra una expresividad compleja basada simultáneamente en conceptos muy diversos perfectamente interrelacionados:

Conceptuales: derivados de la sensación de unidad superior y monolitismo, vinculada a su continuidad longitudinal y vertical, y al empleo de una sección monocelular cerrada.

Estructurales: relacionados con la esbeltez, ligereza y dinamismo de sus componentes horizontales.

Formales: los que se refieren a la armonía y proporción entre los diversos elementos del conjunto, que expresan claramente la forma de trabajo de cada uno.

Estéticos: vinculados a la intensidad y aislamiento visual de las pilas; cromatismo de los materiales como expresión diferenciada de funciones; aprovechamiento de los estribos como enmarcado de cierre del puente y a la vez proyección

dinámica del dintel.

No menos interesante a nivel plástico es el paso superior sobre la carretera N-II en Madrid. Se construye con el objetivo de establecer una comunicación entre las dos márgenes de la autovía de Barcelona, prolongando la calle Marqués de Suances y cruzando aquella mediante el puente. El proyecto pertenece a los ingenieros José A. Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón.



Este puente de tablero mixto, pertenece a la tipología de viga continua. La simplicidad es la característica dominante en esta estructura. Una simplicidad que recuerda los planteamientos de economía de la forma propios del arte Mínimal. La estructura se compone de tres elementos resistentes fundamentales: pilas, vigas cajón y losa del tablero.



Las pilas son mixtas, de acero Corten y hormigón y están constituidas por marcos huecos cuadrados de 5 x 5 metros de perímetro exterior y 4 x 4 metros de perímetro interior. Tanto sus elementos horizontales como verticales están constituidos por elementos prismáticos de sección rectangular de 0,9 x 0,5 metros.

Todas las superficies, excepto las interiores de los marcos y las de apoyo de las vigas, están formadas por chapas metálicas de acero Corten, incorporadas estructuralmente al trabajo de la pila.

Las dos vigas cajón, de sección trapezoidal uniforme y continua a lo largo de todo el puente, son de estructura metálica, con chapas continuas de acero Corten en sus superficies.

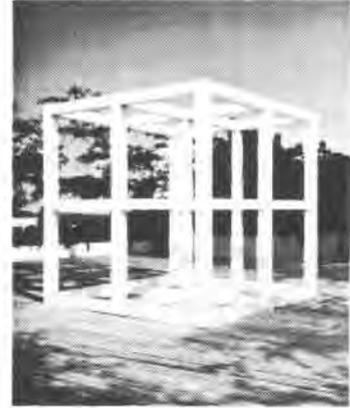
La imposta y la barandilla forman una unidad. La primera, diseñada por una banda continua de 30 centímetros de canto, que remata los extremos de la losa superior del tablero, está formada por un perfil liso, también de acero Corten. La barandilla está modulada por pletinas verticales a 30 centímetros de distancia y terminadas por un pasamanos continuo de 24 centímetros de canto. El centro de la misma lo marca un círculo del mismo material que atraviesa una de las pletinas; a ambos lados del mismo, las tres siguientes pletinas se curvan acompañando el giro del círculo.



El conjunto es de extraordinaria sensibilidad. El orden absoluto de la barandilla, queda mágicamente interrumpido por este elemento central, que a su vez está marcando un ligero peralte en el tablero. Esta sensación de arco de suave tensión, se debe a la inclinación de las almas sumada a un canto de tablero reducido.

Los estribos se proyectaron como parte importante de la apariencia del puente, de forma que la interacción entre el terreno y aquél se logre de forma gradual y con una marcada transición entre el volumen de los terraplenes de acceso y la forma estructural del tablero.

La visión que ofrece el puente visto desde abajo, es claramente escultórica, no solo por la analogía formal que existe entre las pilas del puente y algunas de las propuestas de Sol LeWitt, en las que utiliza la figura geométrica del cuadrado. La idea reduccionista mantenida por Sol LeWitt cuando dice que sus conceptos están relacionados con elementos específicos como líneas, cuadrados y cubos, se mantiene en los pilares de este puente que han quedado reducidos a grandes marcos cuadrados, dibujando y manifestándose en lo esencial, la silueta de una de las caras del cubo.



La prefabricación de puentes y su vinculación con el impacto ambiental

La prefabricación

Actualmente, la prefabricación es el sistema habitual en la construcción de puentes. Puede cambiar el sistema de pretensado, cambia la tipología del puente, pero siempre interviene la prefabricación dentro del sistema constructivo. Las ventajas que ofrece, fundadas esencialmente en la rapidez de ejecución y en la economía hacen que su uso se haya extendido a muchos campos de la construcción.

También en la realización de esculturas de gran formato se emplea el hormigón pretensado. Un ejemplo lo tenemos en la escultura de Roy Lichtenstein titulada La cara de Barcelona y situada en Pla de Palau, en Barcelona. La tecnología utilizada en puentes de hormigón postensado ha hecho posible la construcción de esta escultura de 14 metros de altura.

A partir de una maqueta a escala 1:12 y los bocetos facilitados por el autor, se procedió de la siguiente manera:

- **Definición de la geometría del modelo**

La definición de la geometría se hizo a través de un modelo informático tridimensional configurado mediante programas específicos desarrollados por la Fundación Esteyco³⁹.

- **Material utilizado y proceso constructivo**

Debido a la complejidad de las formas de la escultura se



39. La Fundación Esteyco nació en enero de 1970 y agrupa un colectivo de profesionales ingenieros y arquitectos miembros de Colegios y Asociaciones Nacionales e Internacionales y vinculados a diferentes Universidades y Centros de Investigación.

decidió utilizar hormigón en masa con fibras de acero inoxidable, que mejoraba la resistencia a tracción, aseguraba una óptima durabilidad de la obra que está situada al borde del mar, y facilitaba la adherencia del revestimiento cerámico exterior. Debido al importante peso total de la estructura, resultaba imposible construirla completa en la fábrica para trasladarla posteriormente a su lugar.

Por ello se optó por realizarla a partir de ocho dovelas prefabricadas en taller, con un peso máximo de 20 toneladas y dimensiones máximas de 6 x 2 x 2 metros adecuadas para su transporte y montaje en obra. Siete de las dovelas están separadas por articulaciones horizontales, mientras que la última, correspondiente a la llamada «mano» de la pieza, se une al conjunto a través de una articulación vertical.

La unión entre las dovelas se realizó desde una cámara creada en el pedestal para este propósito. Se utilizaron diez cables con cuatro cuerdas de 0,6 pulgadas, y las juntas entre las piezas se trataron con mortero de resina epoxy.

La base de la escultura es un cilindro de hormigón armado de cinco metros de altura, con un diámetro de 3,15 metros. Está colocada en un agujero de 5 x 5 x 2 metros. El cimiento está formado por cuatro pilas de 90 toneladas cada una, dispuestas en los vértices de un cuadrado de 4 x 4 metros. En el interior del pedestal hay una cámara de 2,15 metros de diámetro y 2,50 metros de altura. Esta cámara se creó para colocar los ganchos de los cables de tensado.

Por último, las dovelas se cubrieron con piezas cerámicas, a excepción de una franja estrecha en la zona de las articulaciones, la cobertura de las cuales fue terminada una vez se acabó el asentamiento de las dovelas y el tensado de los cables.

En síntesis, los rasgos distintivos en la realización de la escultura son:

- Ampliación de la escala a partir de un modelo reducido.
- Utilización del ordenador para la realización de planta, alzados y secciones.
- Utilización del ordenador para definir las dovelas y situar la disposición de los cables de postensado.
- El uso del hormigón con fibras de acero inoxidable para mejorar la resistencia y asegurar la durabilidad de la



pieza.

- Aplicación de una tecnología usada en la construcción de puentes, como es la prefabricación de dovelas postensadas.

En su conjunto, la globalidad del proceso supone, no sólo la constatación de una correspondencia entre los procesos constructivos en la escultura de gran formato y la construcción de puentes, sino también, una aproximación e interdependencia de diferentes colectivos de profesionales para la realización de grandes proyectos.

Derivado de la rapidez de ejecución que la prefabricación proporciona a la construcción, se produce una reducción de los plazos de realización: las piezas llegan a su emplazamiento ya terminadas y con la capacidad resistente necesaria para poder soportar la carga de otros elementos sobre ellas. La disminución de los plazos de una obra representa una importante ventaja económica, puesto que supone entrar antes en servicio y, por lo tanto, comenzar antes su producción. A su vez, un plazo más corto repercute en un ahorro importante de gastos generales.

En general, el uso de moldes y maquinaria especiales permite conseguir piezas de hormigón con menores espesores y formas adecuadas para un mejor aprovechamiento de los materiales, lo que se traduce en menores pesos, disminución de cargas permanentes y, por lo tanto, un menor costo de materiales y mano de obra, que hacen competitivo al prefabricado a pesar del costo adicional del transporte y montaje en obra.

El origen de la prefabricación lo sitúa José Luis Lleyda (1991) en los grandes monumentos faraónicos. En efecto, la construcción de las grandes pirámides de Egipto es un ejemplo primitivo de este moderno modo de construir. *«Preparación de la cantera (taller) de unos enormes bloques de piedra (elementos o piezas), quizás con dimensiones ya determinadas, que, una vez perfilados y controlados, eran arrastrados (transporte) hasta el emplazamiento del monumento, donde se procedía a su elevación y colocación en el lugar de destino (montaje)»*⁴⁰.



40. Lleyda (1991), p. 32

Aunque la técnica constructiva ha desarrollado nuevos materiales y también medios de transporte, ha mantenido y perfeccionado esa forma de construir basada en la utilización en obra de elementos de hormigón u otros materiales elaborados en sitios diferentes de su emplazamiento definitivo, generalmente en taller o factoría, y posteriormente transportados y colocados en obra. Cada elemento prefabricado constituye una

unidad estructural o funcional, o un segmento transportable de una pieza mayor (pilar, viga, tablero, etc.)

Sobre este tema de la prefabricación, quiero mencionar la opinión de los ingenieros Fernández Ordóñez y Martínez Calzón (1991). Los autores entienden la prefabricación como un proceso que, «en sí mismo, define formas y límites», convirtiéndose en «un modo de entender estéticamente la construcción y su expresión formal: grandes bloques con juntas secas, con superficies finales excavadas, nunca añadidas, lo que configura un tablero de enormes piezas organizadas con un orden, al modo de un gigantesco arquitrabe griego»⁴¹.

41. Fernández Ordóñez y Martínez Calzón, (1991), p. 137.

Esta utilización de los materiales y los procesos, suponen para los autores una filosofía del proceso constructivo en el que se unen ética, técnica y estética. Un desarrollo que se aleja de la simplificación que supone el simple despiece y acumulación de masas. También se aleja de todo intento de «decoración» que esconda la esencia de la estructura. Lo que pretende es que afronte los embates del tiempo en su unicidad. Es decir, la integridad de la estructura en diálogo con el proceso de fabricación.

Los ejemplos que podrían citarse de puentes que se construyen en la actualidad mediante la utilización de prefabricados son muchos. Me interesa particularmente el puente del ferrocarril sobre el río Guadalquivir para la variante Sevilla-Huelva. Este puente se visualiza como un gran cajón blanco sustentado por columnas dóricas que se desarrolla en una continua dimensión horizontal, sin principio ni fin visibles. Es este un ejemplo donde la limpieza de líneas y las connotaciones con la arquitectura clásica producen un impacto estético que en ninguna medida está reñido con la prefabricación.



El territorio en el que se asienta es llano, de tonos ocres y verdes, y el viaducto pasa a formar parte del paisaje aportando cierto dinamismo por el color impactante que es el blanco y por la repetición de elementos verticales (las pilas) que marcan el ritmo de la obra y definen un conjunto de vanos, ordenados armónicamente, de luz creciente. Las pilas son secundarias respecto al tablero, cuyos bordes destacan sobre ellas.

El viaducto permite una doble lectura que contrasta con el dinamismo descrito; es la serenidad que aporta el dominio de la horizontal y el orden que se percibe en el conjunto.

La tipología estructural es de puente de vigas, formado por vanos independientes biapoyados. El tipo de elementos que componen la estructura (pilotes, pila, dintel, vigas y losa),

facilita la repetición y el uso múltiple de los medios auxiliares necesarios para la construcción. El proyecto de este puente corresponde a los ingenieros, José A. Fernández Ordóñez, Julio Martínez Calzón y Manuel Burón Maestro.

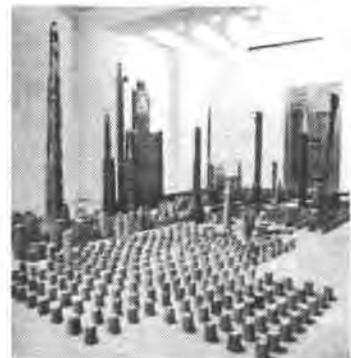
La utilización de elementos prefabricados en la escultura contemporánea, es un sistema de configuración de la obra que tiene sus antecedentes en la pintura sistemática del minimalismo (Marchán Fiz, 1985). El minimalismo apoya la economía de medios como enriquecimiento a través de concepciones inexploradas del objeto, la forma, el color, el espacio, los lazos con el espectador, etc. y sustituye los órdenes de la filosofía cartesiana por la constitución de los órdenes como series empíricas. Utilizan este sistema los escultores que realizan estructuras de repetición.

Carl Andre, Donald Judd, Sol LeWitt, Dan Flavin, Robert Morris, Robert Smithson, resuelven sus piezas entre las formas más simples y económicas y los sistemas de repetición. Un rasgo común en estas estructuras minimalistas es que las unidades idénticas suelen presentarse física y espacialmente separadas. Bajo este supuesto, se potencia la proximidad topológica y se intensifica el valor del todo como algo indivisible.

Más próximo a nosotros, en la década de los ochenta en España, encontramos escultores que, desde diferentes posicionamientos, también se apoyan en la idea de repetición y utilizan elementos prefabricados para configurar la obra. Es el caso de Miquel Navarro; sus obras, formadas por múltiples elementos, establecen una peculiar relación con el espacio. Las formas, más allá de las supuestas evidencias arquitectónicas, contienen referencias a otros mundos mucho más íntimos, personales y humanos.

También quiero recordar la obra de Emilio Martínez, en la que la simultaneidad de la representación es su principal característica. Conjuga dos materiales, hierro y escayola, en un proceso simbiótico. El molde de hierro, como configurador del resultado posterior. Los elementos repetidos, en escayola. Se plantea el tema del equilibrio y la composición, pero este último huyendo del modo armónico que define el concepto clásico de belleza para recrearse en el propio desarrollo del proceso de creación, conjugando el factor de la inestabilidad con la asociación de formas verticales, horizontales y oblicuas.

Citaré por último a otro joven escultor, Pepe Romero, que reivindica el culto a la serie, a la mecánica. Sus esculturas son como un juego basado en la repetición de formas. Influído, probablemente, por las disquisiciones objetuales de algunos



artistas neoyorkinos -me refiero a los que reivindican la creciente mecanización del proceso creativo, como propusiera Warhol, en una serie infinita de dobles- y quizás también por las propuestas metodológicas y procesuales de ciertos escultores europeos (H. Kiecol, H. Kingelholler, D. Snijders...) preocupados por sacar al exterior espacios propios del interior (estructuras-mueble, formas-pared) P. Romero ha elaborado un vocabulario tomando como mera referencia formal el tema del agua, de la cascada, de la ola, que él convierte en eje y en composición.

Se podría citar la obra de otros muchos escultores que, mediante las series y la repetición de elementos utilizan el concepto de prefabricados en la configuración de sus piezas; se trata no obstante de comprobar cómo el concepto de prefabricación, implícito hoy día en la construcción de puentes, se puede aplicar también a la construcción de esculturas.

Impacto ambiental

Cualquier intervención en el espacio, ya sea en el ámbito urbano o en el territorio, supone algún tipo de agresión al medio. Representa una modificación de lo que existe con incidencias a mayor o menor escala en las infraestructuras y en el paisaje.

Las soluciones que aporta la construcción prefabricada permiten un respeto del entorno natural del puente y una disminución de su impacto ambiental, muy superior al que se produciría con un puente construido *in situ*. Sencillamente por la eliminación de los problemas derivados de los accesos de los materiales al lugar de construcción. No es lo mismo transportar las dovelas ya preparadas para su montaje, después de haber sido realizadas en fábrica, que trasladar la fábrica a pie de obra.

Actualmente se ha impuesto este sistema de construcción por una razón económica en su más amplio sentido: economía de materiales, de tiempo y de agresión al medio ambiente. Son aspectos que están muy presentes en los proyectos de obra pública, debido a una conciencia general de que, a igualdad de propiedades mecánicas (resistencia, deformación, durabilidad...), el material y procedimiento constructivo asociado con una mayor componente ecológica, será el que mayor futuro tenga, al menos en los países desarrollados.

Esta componente ecológica se relaciona fundamentalmente, con una menor deforestación, un menor consumo de energía y recursos mineros, y que produzca menor cantidad de residuos no aptos para reciclar y pueda reutilizar y aprovechar la mayor cantidad de productos de desecho (cenizas volantes, humo de sílice, etc).

Cabría preguntarse si la prefabricación supone una vuelta a los orígenes de la construcción. Si la prefabricación se entiende como la unión de elementos existentes, que juntos y bien articulados posibilitan la obra, este hacer constructivo, contrario a la fábrica, es, desde mi opinión, una vuelta a los orígenes. Se entiende así porque guarda relación directa con los primeros puentes, cuando los hombres primitivos utilizaban elementos encontrados en la naturaleza para la construcción de los mismos.

La configuración de los puentes, ¿una cuestión política?

La competencia sobre las obras públicas

En general, las Obras Públicas son, para cualquier nación, un signo de poder y cultura. Con ellas se explica al resto de naciones la política de infraestructuras, de crecimiento, de planificación territorial y urbanística, de transportes, etc. que se lleva a cabo y que está relacionado con los recursos económicos.

La política del equipamiento del territorio se inicia en Francia en el siglo XVIII y en el siglo XIX tuvo su gran esplendor con el establecimiento de las principales redes de comunicación. Al deseo de prosperidad nacional se añadía el de controlar a un sector marginado de la población dándoles trabajo. Por otra parte, se crea en 1847 el llamado «Ejército de las Obras Públicas», un equipo de trabajadores que impediría la subida del precio de la mano de obra y prevendría de las huelgas.⁴²

⁴² Benévolo, (1994), p. 23.

Esta idea sobre el trabajo renace durante la depresión de 1930. En Estados Unidos se inaugura un programa de Obras Públicas, en Alemania se inicia la red de autopistas, y así en todos los países del mundo occidental, las obras públicas comienzan a desempeñar una importante función en los periodos de crisis, ya que ayudan a restablecer la actividad económica del país.

En España, la denominación de Obra Pública y de Ingeniero Civil no se utiliza hasta mediados del siglo XIX⁴³. Antes de la aparición del Estado liberal, se denominaban Obras Reales, ya que correspondía al rey la decisión de realizarlas. Al quebrar el poder absoluto, los trabajos públicos pasan a la iniciativa del capital privado. Aunque parece paradójico, fue a partir de entonces cuando el Estado se ocupó de establecer sus programas, financiación y control con base a los presupuestos oficiales.

⁴³ una explicación más amplia se encuentra en: Bonet, 1979, p. 15.

Actualmente, según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua, se denomina Obra Pública a «*la que es de interés general y se destina a uso público; como camino, puerto, faro, etc.*». La propia definición de las Obras Públicas encierra una problemática que viene del momento en que se establecen las competencias, cuando se crea el Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, en 1835. Según Bonet (1979), la querrela ingeniería-arquitectura, hoy totalmente superada, no fue sólo cuestión de competencias bien delimitadas. Los ingenieros no se resignaban a las limitaciones que el ejercicio de la profesión les imponía.

La polémica continuaba con la reclamación de la «creación artística» por parte del ingeniero, es decir, la construcción de edificios, lo que hoy es competencia exclusiva de los arquitectos. En este sentido hay que mencionar la política que siguió el ingeniero Pablo Alzola y Minondo, solicitando el derecho de construir todo tipo de edificios por parte de los ingenieros.

Alzola era consciente del cambio esencial que supuso la creación del Cuerpo de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en 1835. Quedando separados del anterior Cuerpo de Ingenieros militares, que desde el Renacimiento estaban encargados de la defensa del territorio y de las obras patrocinadas por las monarquías absolutas, con la creación del Cuerpo, constituyeron una élite eficaz y moderna, que dio origen a un nuevo tipo de profesional.

Definitivamente se había producido un desdoblamiento de la figura del constructor que no volvería a recomponerse. El binomio arquitecto e ingeniero como consecuencia inevitable de la división del trabajo, de la especialización, de la organización didáctica; todo ello provocado por la civilización industrial.

Desde entonces, la figura del ingeniero se entiende como *«el realizador de las transformaciones que se concretan en la técnica de las nuevas estructuras urbanas, una figura singular, capaz de crear obras atrevidas y precursoras de adquisiciones futuras y, sin embargo -al mismo tiempo-, incapaz generalmente de comprender, más allá de su sólido positivismo científico, los valores que se esconden tras el ansia de renovación espiritual de la sociedad, tras las transformaciones estructurales que él mismo va operando»*⁴⁴.

⁴⁴De Fusco (1994), p. 37

Los puentes forman parte de la infraestructura general de acondicionamiento, que es competencia del actual Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Cuando estas obras se construyen en el espacio urbano, pasan a ser competencia del Ayuntamiento correspondiente.

Actualmente se percibe una cierta preocupación por la escasa participación del ciudadano en el gasto público, una participación que vaya más allá de la contribución cuatrienal con el voto en las elecciones democráticas. En los ambientes próximos a las obras públicas (gabinetes de ingeniería, colegios profesionales, universidades), el tema surge con relativa frecuencia. En este sentido, quiero mencionar la intervención del sociólogo Mario Nolla en un coloquio celebrado el 5 de diciembre de 1995 en el Colegio de Caminos, Canales y Puertos de Madrid con el título de **La belleza en las Obras Públicas**⁴⁵.

En su intervención, Nolla se cuestiona cómo definir la «Obra Pública» desde la perspectiva administrativa y ciudadana, para establecer el primer canon de belleza de la misma. Se basa en dos puntos:

«-Porque se decide, se contrata, se ejecuta, se paga, se gestiona y se utiliza en el ámbito de lo público, incluido el suelo público.

-Todo ello implica, al menos en teoría, una intrincada red de controles ciudadanos en el entorno de la Obra Pública, que se refleja a través de:

. El control presupuestario (de Plenos, Asambleas y Congreso, según su ámbito). Todo lo dependiente del control Legislativo.

. El control jurídico y de procedimiento administrativo de su contratación y ejecución (que puede ejemplarizarse en la Ley de Contratos del Estado y en los mecanismos de Intervención)

. El control Medio Ambiental de la obra a ejecutar y del impacto de su funcionamiento.

Por todo ello, las Obras Públicas están a veces en el ojo del huracán de los grandes debates nacionales... Y no podía ser de otra manera, ya que:

. Es en la Obra Pública donde se concentra lo sustancial de los presupuestos de inversión de nuestras administraciones.

. Es a través de las decisiones en relación con el cuánto, el qué, el dónde y el quien realiza, que se hace verdadero ejercicio de poder en el país.

. Por último, es por y para influir sobre la capacidad decisoria, por lo que se articulan los más importantes grupos de presión de nuestro país, y con ellos, la «tentación» de la corrupción que amenaza, desde su elección o nombramiento, a nuestros representantes electos y a nuestros cargos públicos»⁴⁶.

⁴⁵ Las notas de prensa que confirman la celebración del «coloquio» *La belleza en las Obras Públicas*, aparecen en:

Diario *El Mundo*, 2 de diciembre de 1995
 Diario *El País*, 4 de diciembre de 1995, p. 23
 Diario *El País*, 5 de diciembre de 1995
 Diario *ABC*, 5 de diciembre de 1995
 Diario *El Mundo*, 6 de diciembre de 1995, p. 76
 Revista *MOPTMA*, enero de 1996, p. 50

⁴⁶ Corresponde a una parte del discurso inédito pronunciado en el Colegio de Caminos, Canales y Puertos de Madrid el 5 de diciembre de 1995, en el coloquio *La belleza en las Obras Públicas*.

Con su discurso, Mario Nolla define de manera acertada lo que es la Obra Pública y el entorno que condiciona su manifestación. Evidencia también la realidad que se vive en las Administraciones Españolas, anunciando el peligro que surge en torno al problema de la custodia de lo público en todas las fases de su proceso de decisión, creación, gasto, función y uso.

Es en estas fases del proceso es donde Nolla sitúa el primer canon de belleza de la Obra Pública. En los criterios, la interpretación e incluso la concreción de este canon de belleza, se encuentra, en su opinión, la primera encrucijada de la Obra Pública en España.

Su propuesta se dirige pues, hacia una reivindicación de lo que él llama «*estética de la democracia y la participación*». En este sentido, cabe una llamada de atención para valorar los parámetros que intervienen en el gasto público. A su vez, esta condición implica la necesidad de desarrollar una conciencia colectiva para llegar a una justa valoración entre necesidades sociales, presupuestos y estética.

Sobre la cuestión estética, las afirmaciones de Fernández Ordóñez van más lejos: «*Si antes existía entre los ingenieros de puentes un menosprecio de la forma, es decir, la convicción de que la belleza de una obra de ingeniería depende sólo de la adecuación a su propósito, lo que dio lugar en muchos casos a la destrucción de lo estético, ahora el peligro puede venir del lado contrario, es decir, del menosprecio de la función, lo que conduce a exageraciones y derroches inaceptables*»⁴⁷.

47. Fernández Ordóñez: Conferencia pronunciada en La Coruña el 16 de noviembre de 1994, p. 3.

Estas afirmaciones abren la polémica del gasto social. Conviene recordar que los ingenieros de caminos, en su cualidad de funcionarios de las Obras Públicas, tienen asumida, desde su profesión, la labor social, con todo lo que ello implica en cuanto austeridad en el presupuesto público. «*De ahí que nada sea más peligroso que ese esteticismo pretencioso y difuso que intenta transformar los puentes en espectáculo y que tantas veces confunde a las Administraciones públicas, que hace homogéneos el rigor y la banalidad, exaltando una sustancia retórica y la ausencia de su significado. Lo que de artístico puede haber en un puente, -lo sepan o no sus constructores, lo intenten o no- nunca puede ser algo efímero y decorativo, sino un valor tan verdadero como los puramente técnicos, los cuantitativos y objetivos que, -junto con ellos- permiten que el puente exprese con toda su belleza la conexión entre vida y forma*»⁴⁸.

48. Fernández Ordóñez: Conferencia pronunciada en La Coruña el 16 de noviembre de 1994, pp. 3 y 4.

Entiendo que las palabras expresadas por Fernández Ordóñez alertan sobre la amenaza del «*todo vale*» que se iniciara años atrás en el ámbito artístico y que en la ingeniería de Caminos repercutió en los años ochenta con una proliferación

de formas en los puentes que no se justifican por su función sino consecuencia de un alarde ornamental.

Sobre la participación del público en la decisión de construir un puente

El interés del ciudadano por participar en todo aquello que le afecta directamente dentro de su comunidad, se evidencia especialmente cuando la forma de gobierno establecida es una democracia. En este sentido, hay que mencionar los proyectos de investigación de **participación del público en la estética de puentes** (Smith, 1990). Una de las experiencias relatadas por P. Smith tiene lugar en un simposio sobre estética de puentes organizado por el Comité de Estética 124 ACI, en Ontario (Estados Unidos), como parte integrante del mismo.

No se llegó a un análisis significativo debido a que la muestra no fue suficientemente representativa. Sin embargo, la experiencia merece ser mencionada por la novedad con que se realiza: una audiencia llevando a cabo su propio proyecto de investigación en el mismo simposio.

Procedimiento utilizado:

Se reunieron algunos ingenieros, personas vinculadas al mundo de los puentes y también algunos profanos, para definir los tipos de puentes, situaciones medioambientales y consideraciones estéticas que formarían los parámetros del experimento. De estas deliberaciones se elaboró un cuestionario que se pasó a los asistentes al simposio. Se marcó un límite de tiempo de treinta minutos para anotar las valoraciones y se determinó que no se utilizarían más de veinte imágenes para valorar.

Resultados:

La muestra resultó insuficiente, por lo que no llegaron a analizarse las deficiencias metodológicas que pudiera haber. Pero un factor a destacar, es sin duda el que los participantes se dividían en cuatro niveles de familiaridad con puentes y en dos por sus conocimientos de estética. Si se hubiera partido de un muestreo más amplio, el análisis, desde un modelo de árbol y aplicando la teoría probabilística normal podría haber sido un éxito.

Los organizadores de la investigación dejaban el campo abierto para que otros lo desarrollaran y concluían con una frase profética: «*We may anticipate that man will one day quantify esthetics, that through the ordely means of research he will develop an esthetic modulus, the psychological measurement of beauty*»⁴⁹.

49. La frase corresponde a Grimm. C.T. Mencionado por Smith (1990), p.251.

Experiencias como esta demuestran que, si bien es cierto que en el campo de la participación ciudadana, para decisiones de orden estético hay mucho por hacer, también es cierto que si se sentaran unos criterios por parte de los organismos competentes, el ciudadano podría tener un mayor nivel de participación. Actualmente se limita a elegir gobernantes, y son éstos los que deciden por el ciudadano.

Con otro nivel de participación, el ciudadano que habita junto a una carretera, y que se convierte en el primer espectador del paisaje que se ve desde su ventana, no permitiría que se realizaran algunas de las propuestas de pasos elevados sobre carreteras y autopistas, que se construyen con demasiada ligereza.

Reflexiones al capítulo

La coherencia formal en el lenguaje del ingeniero

• El recorrido histórico por la construcción de puentes, obliga a detenerse especialmente en la obra de ingenieros como Maillart, ya que del conjunto de sus puentes puede hacerse una lectura en la que se aprecia fácilmente una evolución formal hacia la estilización. El rebajamiento de sus arcos y el dibujo de contornos que se observa en la vista lateral de sus puentes es consecuencia de la economía de material que buscaba en el proyecto.

Es decir, el compromiso del ingeniero con la sociedad, del que se ha hablado en este trabajo, tuvo en la figura de Maillart y en su obra una consecuencia estética evidente.

Pero hay algo más que se evidencia al contemplar la obra de Maillart en su totalidad y es la **coherencia formal**. El término se emplea en la proyectación industrial para definir la relación que debe existir entre las distintas partes y el todo. Pero en la coherencia formal hay grados de parecido o similitud, desde la construcción modular donde los módulos son coincidentes en forma y dimensiones, hasta los diseños que se reconocen de la misma familia por su relación interfigural. A nivel orgánico se puede entender ejemplificándolo con una planta. Todas las hojas son distintas pero se reconoce su pertenencia a la misma familia.

Esta relación es la que se contempla en el conjunto de los puentes de Maillart. Cada uno de ellos diría que es un elemento catamorfo de la misma familia. Y es que, aun siendo distintos, se identifican como de un mismo grupo por su relación interfigural.

Aun siendo un claro ejemplo de coherencia formal en la globalidad de sus puentes, Maillart no es el único ingeniero del que puede hacerse esta afirmación. Actualmente, esta característica se evidencia en la obra de Santiago Calatrava.

Calatrava, como diseñador de muebles, de esculturas, de mobiliario urbano, muestra su poética, un lenguaje que deriva del gusto por lo orgánico y que él ha trabajado elaborando una semántica que le diferencia del resto de los profesionales de estos ámbitos y con la cual sus proyectos adquieren una dimensión genuina.

En sus competencias con la obra pública, Calatrava refleja igualmente la misma poética. Por lo que, observando el resultado final de cualquiera de sus trabajos de ingeniería, el espectador no se percató tanto de la solución aportada por la obra

(sea el puente o la torre de comunicaciones) como de la apariencia formal de la misma. La solución al problema queda implícita en la estructura, esta es la razón de su existencia, pero resuelto este, la condición funcional pasa inadvertida al profano, que valora esencialmente la morfología de obra, es decir, lo genuino del diseño con la personalidad del autor.

En conclusión, las obras de Calatrava pueden identificarse como propietarias de una innegable coherencia formal que posibilita una interpretación de obra innovadora.

El ingeniero ante la estética de su obra

• A lo largo de la historia, los ingenieros han mostrado un interés especial, incluso la necesidad, de justificar los resultados de sus estructuras; por lo que toda propuesta con un contenido poético y una apariencia de alto nivel estético, el ingeniero se veía obligado a explicarla por exigencias físicas. Siempre buscaba una justificación de nivel técnico a su necesidad personal de comunicar determinadas innovaciones formales en las obras.

En la actualidad este principio no se cumple con tanto rigor. Se ha generalizado en los ámbitos industrial y constructivo una terminología que deriva del campo del diseño y que trabaja en una interrelación entre las diferentes disciplinas, y no tan solo a nivel de lenguaje sino de colaboración entre profesionales. Posiblemente sea este intercambio de ideas lo que ha motivado en algunos ingenieros la inquietud estética, anteponiéndola, a veces, al resto de las exigencias y principios que reclama la obra de ingeniería (aspectos técnico-constructivos, económicos, de localización, etc.)

En esta línea sitúo al arquitecto e ingeniero Santiago Calatrava. Dentro de la arquitectura contemporánea y según Baldenou y Capitel (1995), representa una variante del formalismo neo-orgánico. En opinión de estos autores, resulta paradójico que un ingeniero practique su arte en una posición opuesta a la del racionalismo ecléctico, sin embargo -justifican los autores-, la postura es tan propia de arquitectos que se acercan a la ingeniería como de ingenieros que se acercan a la arquitectura.

La explicación a este hecho se justifica «cuando una obra de ingeniería quiere trascender su posición habitual de racionalismo técnico para utilizar valores arquitectónicos, situación en la que suele deslizarse por lo común hacia la intención de volver expresivo el propio hecho técnico, esto es, de trascender su condición originaria para convertirlo en un hecho plástico»⁵⁰.

⁵⁰ Baldenou y Capitel (1995), p. 577.

De esta forma se pasa, del lenguaje elaborado desde la transformación directa del hecho técnico, a forzar la capacidad de la técnica para que haga posible una forma expresiva, plástica, como fin en sí mismo. Dicho de otro manera, se pasa del clasicismo o del racionalismo de la ingeniería española representada por Eduardo Torroja o Carlos Fernández Casado, a una situación próxima a la del organicismo en arquitectura.

Como hemos visto, los puentes de Calatrava representan perfectamente esta cuestión, en la que la ingeniería subvierte en realidad sus fines, para convertirse en escultura a gran escala. *«La ingeniería aparece así, pues, como un valor puro formal y no como satisfacción de un problema, lo que está desde luego muchas veces en la historia de los puentes modernos»*⁵¹.

51. Baldeñou y Capuz (1995), p. 378.

En este sentido, hay que mencionar la opinión del ingeniero José Ramón Navarro Vera (1991), que reconoce en Calatrava una gran habilidad como diseñador, *«habilidad y gracia que ha sabido aplicar a sus puentes, consiguiendo algunas de las mejores -y más caras- 'golosinas visuales' del panorama actual»*. Pero este tipo de soluciones que en los proyectos de Calatrava resultan «geniales» para el espectador, *«resulta patético ver cómo muchos ingenieros que carecen de este talento de diseñadores se lanzan alegremente a intentar imitarle, provocando lo que podríamos llamar 'empachos visuales'»*⁵².

52. Navarro Vera (1991), p. 18.

Capítulo V

Vías de análisis que abren el diálogo entre el puente y la escultura

Hasta aquí se ha realizado un recorrido paralelo entre el puente y la escultura, desde una perspectiva histórica, y con las intenciones de señalar coincidencias «problemáticas conceptuales» entre los dos ámbitos de intervención en el entorno natural. Lo que viene a continuación es una propuesta para estrechar esta relación.

En este caso el intento es afrontar la relación entre estas dos intervenciones desde un punto de vista estético. Para ello planteamos una metodología formalista para acercarnos a esta relación. Se trata en este capítulo de plantear una metodología formalista para «leer» el puente como un «objeto» con cualidades estéticas.

Tres vías nos sirven para construir este modelo de análisis: (a) la psicología de la percepción sobre todo desde la investigación realizada por Neisser (1981) es la que nos sirve de guía; (b) el lenguaje gráfico-visual, en la medida en que el dibujo permite analizar un objeto, en este caso, un puente y (c) un análisis hermenéutico, basado en los momentos comprensivos y de cánones interpretativos, de Betti, que sirven al intérprete para afrontar la tarea de reconstrucción interpretativa.

Nuestra propuesta concluye con la definición de una serie de categorías operativas, en las que se concretan estos tres niveles de análisis. Quede claro, que lo que aquí se presenta es, sobre todo, una hipótesis de trabajo y, a la vez, una de las vías de investigación que nuestro estudio ha planteado.

La percepción es un área de investigaciones teóricas y empíricas de presencia permanente en la psicología, que ha dado lugar a una gran cantidad de modelos teóricos. Algunos de ellos se han aplicado al campo del arte, creando categorías de análisis que pueden ser válidas en la configuración de la metodología que estamos planteando.

Nos apoyaremos en alguna de las concepciones sobre la percepción visual como base conceptual de algunas de las categorías del análisis que se propone. Basándonos en el principio según el cual la percepción constituye un proceso cognitivo, es decir, que requiere un tiempo en la elaboración de su respuesta, comporta una experiencia previa de lo percibido y es susceptible de ser utilizada con diversos grados de habilidad. Ello implica que se pueda estudiar como un proceso de carácter

Percibir para conocer

acumulativo y dirigido internamente por el sujeto.

1. Neisser (1981), p. 33.

De acuerdo con Neisser (1981), consideramos que «*la percepción depende de la pericia del perceptor -de lo que conoce de antemano-*»¹. En el acto perceptivo, por consiguiente, interpretamos lo que vemos en función de lo que sabemos o esperamos; la percepción o es una confirmación de lo esperado o es una negación que nos obliga a volver a escrutar con mayor detenimiento.

Las teorías perceptivas son múltiples, desde la recopilación que hace Allport (1955), una organización de las teorías existentes hasta el momento, las aportaciones de Miller y Johnson-Laird (1976), donde se manifiesta la preocupación aristotélica por el nivel perceptual como primera referencia filosófica sobre el tema, hasta la exposición que hace Bayo (1987) recogiendo gran parte de las mismas.

No se pretende aquí hacer una relación de todas las teorías vigentes. Nos quedaremos con la aportación que hace Neisser (1981), considerando que el proceso de información que propone, con la inclusión del concepto de esquema, puede ser útil en la propuesta de acercamiento al análisis perceptivo de los puentes.

El modelo perceptivo de Neisser

Los trabajos de Neisser son una consecuencia de una evolución conceptual-metodológica que discurre paralela a la historia de la psicología cognitiva en general y, en particular, al campo de los fenómenos perceptivos, en los que confluyen aspectos cognitivos y realidad.

En una primera etapa de su investigación, Neisser fundamenta la percepción en el modelo de «análisis por síntesis», el cual utiliza los datos sensoriales de experiencias pasadas para generar las actuales, como el contexto y las expectativas. Principalmente se basa en el principio de «verificación sucesiva de hipótesis» generadas internamente, pero guiadas por los datos, las expectativas, la familiaridad e incluso las preferencias, que pueden servir para realizar la identificación mediante verificaciones confirmatorias.

En cuanto a la formación de pautas o patrones visuales, plantea dos fases complementarias. En primer lugar opera una fase analítica que corresponde a la codificación simultánea de los rasgos o dimensiones básicas del estímulo sensorial y que tiene lugar automáticamente. Estos análisis preatencionales, globales y totalistas, sirven posteriormente para guiar o dirigir la atención hacia los productos resultantes de esta fase prelimi-

nar, al tiempo que controlan los movimientos corporales y oculares.

Después de esta fase se establece un segundo nivel de análisis que opera sobre los objetos segregados por la primera fase y que tienen lugar según un procesamiento secuencial, a la que denomina fase sintética. El fenómeno perceptivo finaliza cuando se integran los rasgos básicos produciendo una configuración significativa asimilable a los objetos, lo cual requiere atención controlada.

Como decíamos, esta es una etapa del trabajo de Neisser fundamentada en el modelo de «análisis por síntesis», el cual utiliza tanto los datos sensoriales de experiencias pasadas para generar las actuales, como el contexto y las expectativas.

En una segunda etapa de su trabajo, Neisser critica el haberse circunscrito la investigación al laboratorio, ignorando las situaciones ordinarias de la vida real y propone un retorno a las situaciones naturales (perspectiva ecológica, en la que coincide con Gibson, 1974).

Define la percepción en términos evolutivos. La percepción es una actividad que tiene lugar en el tiempo y, por tanto, no ocurre en un instante. El tiempo ha supuesto la evolución perceptiva de la especie y del individuo. El tiempo interviene también en la percepción de una escena y momento determinados; no es, por consiguiente, una respuesta instantánea que magnifica la capacidad de un perceptor independiente, es una decisión interesada del sujeto, comprometido con el ambiente natural y cotidiano.

En contra de la teoría de la Gestalt, concebida como una ciencia de la experiencia directa, en cuanto que la percepción no es el resultado de la síntesis de unos datos de la sensibilidad, sino una experiencia directa y estructurada de la realidad exterior, para Neisser, percibir es una construcción del sujeto que deriva de la relación establecida entre el presente y el pasado; que depende de la habilidad y experiencia del perceptor para manejar esta relación.

Además, Neisser considera necesario suponer que, la percepción se halla dirigida por estructuras de conocimientos pasados denominados esquemas. Para él, los esquemas anticipatorios son los elementos esenciales para la visión, los cuales hacen que algunos tipos de información encajen mejor que otros, determinando, junto con la información exterior pertinente, lo percibido. Es decir, la percepción se concibe como un proceso de construcción de anticipaciones que sean susceptibles de adecuarse a los datos informativos accesibles.

Por consiguiente, la exploración visual es dirigida por los esquemas anticipatorios y la información extraída del medio, como consecuencia de tales exploraciones, se integra en dicho esquema modificándolo. Este conjunto de relaciones es lo que denomina ciclo perceptivo, el cual le permite explicar la percepción del significado, la posición espacial y la forma.

Los esquemas perceptivos son planes para buscar detalles sobre objetos y eventos, para obtener información que complete el formato. En palabras de Neisser «*el esquema es aquella porción del ciclo perceptivo que es interno al perceptor, modificable por experiencia y de algún modo específico con respecto a lo que se percibe. El esquema acepta la información en la medida en que ésta incide sobre las superficies sensoriales y es transformado por esa información; dirige los movimientos y las actividades exploratorias que permiten tener acceso a ulterior información, por la cual resulta nuevamente modificado.*»².

2. Neisser (1981), pp. 67-68

Dado que el esquema puede contener información de todo tipo (visual, auditiva, etc.) y coordina la actividad de varios sistemas sensoriales simultáneamente, tiene una función determinante en la percepción. Neisser sostiene que «*la percepción es el resultado de la interacción del esquema y la información accesible. Más aún, es esa interacción*», concretando más adelante que, «*la percepción es siempre una interacción entre un objeto o evento particular y un esquema más general*». También identifica atención con percepción al afirmar que «*seleccionamos lo que deseamos ver anticipando la información estructurada que proporciona*»³.

3. Neisser (1981), p. 69

Basándonos en la teoría de esquemas, planteamos cuatro variables que pueden ser útiles en el estudio perceptivo de los puentes:

- **Familiaridad.** Es la operación básica para el reconocimiento y se refiere a la experiencia sensorial con el estímulo (desde una concepción ampliada, no restringida como en los conductistas). Es decir, que la identificación de un determinado puente será más rápida y eficaz cuanto mayor sea el tiempo de exposición (visualización, utilización) del estímulo, pero además debe asociarse a esta experiencia de familiaridad la frecuencia y el tiempo invertido en las fijaciones oculares.

- **El intervalo inter-estímulos.** Se refiere al período de tiempo transcurrido entre la exposición secuencial de dos estímulos sucesivos, que permite una codificación de mayor número de detalles, cuanto más prolongado es. La percepción del puente es diferente para quien lo cruza en un transporte móvil, que para quien lo visualiza como parte de su paisaje

cotidiano. La presencia-constancia del puente, en cuanto percepto estable o momentáneo, afecta al grado de percepción que cada individuo tendría sobre él.

- **Similitud inter-estímulos.** La homogeneidad de los estímulos de prueba, hacen disminuir el reconocimiento hasta no ser significativo respecto al azar. Es decir, que la homogeneidad de diversos materiales, la presencia de novedad o no en los aspectos formales, puede influir en el grado de reconocimiento y en la atención que el puente reclame del «espectador».

- **Cambios estimulares.** Se refiere a las transformaciones de detalles en el estímulo original. Cuando no existen cambios el reconocimiento es mucho más alto que cuando los hay. Por ejemplo, una luminosidad diferente o un cambio de color o incluso una modificación en el entorno pueden llegar a cambiar la imagen de un puente.

Conclusión al enfoque perceptivo

No se trata de hacer una lista de cuestiones que determinan la manera de percibir-mirar un puente, sino de las que influyen (o pueden influir) en la relación perceptiva con él.

- **Observación del objeto.** No tanto para reconocer su significado y posición en el espacio, sino su forma. En relación a la forma de los puentes, conviene decir que, algunas de las tipologías más recientes, como son los bow-string y puentes atirantados, son fácilmente reconocibles, pero exigiría una mirada más atenta para localizar si estos puentes son de tablero mixto o si el pretensado pertenece a la variedad de postensado o si es exterior.

- **Recordar.** El reconocimiento es fácil pero para recordar exactamente cómo es el objeto conviene reducirlo o simplificarlo mediante esquemas que funcionan como sustitución del mismo.

- **Los esquemas,** por la simplificación de sus elementos y las reglas básicas de su articulación -basadas en formas geométricas conocidas-, pueden ser aprehendidos y memorizados sin excesivo esfuerzo; pudiendo así ser recordados con una gran comodidad y aplicados al análisis o memorización de obras o estructuras formales más complejas.

- **Mediante el esquema** reducimos el flujo de información que percibimos a través de un código o pauta de memorización que imponemos sobre la realidad del objeto arquitectónico. El esquema nos permite ordenar, articular y seleccionar ese flujo de información, pudiendo especificar el efecto visual y emocio-

nal que nos crea.

- De acuerdo con el proceso mental, la memorización y elaboración de esquemas procede de lo general a lo particular, de las estructuras más simples a las más complejas; y en cualquier caso deben ser flexibles para adaptarse a todo tipo de formas; abiertos al ajuste y a la modificación sucesiva. Como todos los hábitos, los esquemas perceptivos se adquieren por repetición de actos.

- Los primeros esquemas, muy simplificados, recogerán aspectos muy generales (relaciones de tamaño, geometría del conjunto, color) con una gran impresión.

- Unos esquemas más desarrollados nos aportarán detalles más particulares del objeto (tablero, pilares, barandillas, etc.). Así, el esquema o conjunto de esquemas nos puede conducir a una red de categorías con la que clasifiquemos ese puente concreto.

El cómo todos estos aspectos se producen en situaciones reales, y frente a diferentes tipos de públicos que se relacionan con los puentes, es una perspectiva que está por explorar, y que, por sí misma, constituiría el tema de una tesis doctoral. Queda aquí esbozada como hipótesis de trabajo y línea para ser explorada en el futuro.

El lenguaje gráfico como vía de análisis

No cabe duda que el dibujo es un medio de expresión que puede ser útil en diferentes momentos del trabajo proyectual, pero lo que proponemos ahora es su validez como vía de análisis.

Desde la cátedra de dibujo en la Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona, el profesor Manuel Baquero dice lo siguiente: *«el dibujo no debe ser un instrumento neutral de representación, sino que debe entenderse como un eficaz medio para conocer y por lo tanto describir la arquitectura»*. En la misma memoria, se habla del dibujo entendiendo que tiene *«un carácter investigador, un carácter comunicacional y un aspecto retórico mediante el que se podrá hacer énfasis en los aspectos que más interese resaltar, embelleciendo la expresión conceptual»*⁴.

⁴ Memoria del Departament d'Expressió Gràfica de la E.T.S.A.B., referente a los cursos 1983-84 y 1984-85, p. 15.

Croquis, apunte, delineación, esbozo, diseño, línea, alineamiento, etc., son palabras que definen, cada una de ellas, un aspecto muy concreto del dibujo. El profesor Puig, de la Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona, en los apuntes *«Els Dibuixos dels Arquitectes»* define:

- un **croquis** como «lo que se hace cuando se intenta dar una idea de algo ya existente»;

- un **esbozo** o boceto, se realiza con la intención de «configurar una idea»;

- el **apunte**, se toma «para retener una impresión causada por lo que se ha visto o ha sorprendido», aunque esa retención también puede hacerse con unos cuantos «rasgos, líneas que recogen lo esencial de la impresión».

- **Delinear** «es trazar la imagen precisa, minuciosa de una idea, dar presencia a algo que sólo es preciso en el concepto de la mente».

- Mientras que la **traza**, «es la indicación concreta de cómo se ha de convertir en realidad el proyecto delineado»⁵.

5. Puig (1983), p. 7 y ss.

La utilización de los diferentes tipos de dibujo por parte de los arquitectos es bastante particular. Empleando la generalidad del término, el dibujo en arquitectura tiene el papel de predecir lo que el proyecto puede llegar a ser. Algún autor califica los dibujos como «representaciones secundarias del arte»⁶, considerando a la obra arquitectónica la representación primaria.

6. Allen (1982), p. 13

Los primeros bocetos, experimentales y evocadores, pueden dar a menudo una idea muy precisa de la impresión general que se quiere dar al edificio, y suelen darla a pesar de la omisión de muchos detalles. El potencial del dibujo arquitectónico está precisamente en que, al limitar lo que se intenta representar, consiguen hacer más espectaculares ciertos aspectos arquitectónicos ignorando los demás.

Conviene precisar que, entre los diferentes tipos de dibujo que engloba el delinear, a excepción de la perspectiva, representan cosas que en realidad no pueden ser vistas.

- Las **plantas**, son cortes imaginarios hechos horizontalmente en una construcción para revelar sus partes sólidas y vacías.

- Las **secciones**, son cortes generalmente verticales practicados con la intención de mostrar lo mismo, de modo que en sentido estricto, sección es similar a planta. Tanto plantas como secciones no hacen sino atraer nuestra atención hacia relaciones espaciales que sólo podríamos ver con la mente.

- Los **alzados** reproducen mejor lo que el ojo físico puede ver. Es una proyección ortográfica, en la cual las características de una superficie vertical del edificio están proyectadas en líneas horizontales hacia adelante sobre un plano vertical imaginario, el resultado es una imagen del objeto vista teóricamente desde una distancia infinita. Ya que en realidad observamos un puente a distancias más cortas, lo que vemos es naturalmen-

te diferente y solamente más aproximado a las fotografías.

El dibujo **axonométrico** intenta mostrar las formas y espacios de un edificio en tres verdaderas dimensiones. Pero el dibujo así está distorsionado porque las líneas paralelas del objeto real son también paralelas en el dibujo, en contraste con el modo en que el ojo ve un objeto en el espacio. Hay tres tipos de dibujo axonométrico: isométrico, dimétrico y oblicuo.

En el dibujo **isométrico** los tres ejes y los tres planos están representados con igual énfasis a 120°.

El dibujo **dimétrico** es menos rígido y más complejo. Los ángulos entre los tres ejes son variables; sólo pueden darse mediciones paralelamente a los tres ejes y son necesarias dos escalas de medición para producir una representación más realista del objeto.

La característica esencial del dibujo **oblicuo** es que una superficie está representada con su verdadera forma. En un dibujo oblicuo alzado los planos verticales en la misma dirección están representados en su verdadera forma, mientras que en un dibujo oblicuo plano la verdadera forma está en superficies horizontales.

Realmente, la proyección oblicua puede ofrecer una imagen enriquecida del objeto, si se utiliza como lo hace el arquitecto George Ranalli, «para combinar el dibujo conceptual y perceptual». Explicando su proceso de representación gráfica, dice Ranalli:

«En el boceto, la elección deliberada del alzado oblicuo se combina con los elementos de la arquitectura, así como con el paisaje, con el fin de conectar la idea del dibujo con la idea del edificio. El dibujo se presenta entonces con toda una serie de matices, sombras y luces para poder ser interpretado perceptualmente. También se explotan en estas vistas los temas de materialidad, superficie y textura, con el fin de que el dibujo ofrezca una variedad de interpretaciones»⁷.

7. Allen (1982), p. 148.

La intención del dibujo para Ranalli no es una representación literal sino una relación metafórica que dé al observador la sensación del edificio, no su realidad; y esto lo consigue, especialmente, con la proyección oblicua.

Un tipo de dibujo que se acerca más a la realidad -aunque igual que los demás carece de la tercera dimensión espacial, así como de las dimensiones perceptivas hápticas- es la **perspectiva cónica**. Pero incluso en este caso hay variaciones en el grado de fidelidad al mundo real. Se debe a que el dibujo cónico es una construcción de líneas que conectan puntos del espacio. Los

principales elementos son el plano de la imagen, los puntos de fuga en el horizonte, la línea de tierra y el punto estacionario que simula la posición en el espacio del observador. La relación de estos elementos puede ser tal que el dibujo de un objeto resulte natural. Pero también entre estos mismos elementos puede ser alterada de modo que produzca un dibujo cuya imagen resulte rudamente distorsionada en sus dimensiones y forma, creando así un efecto visual espectacular.

Entre todas las expresiones de dibujo que hemos mencionado, el ingeniero suele utilizar la delineación, preferentemente, plantas, secciones y alzados para explicar sus proyectos. La representación axonométrica, tan habitual en el proyecto arquitectónico, no es frecuente en el proyecto de un puente. El dibujo en perspectiva se utiliza en la configuración de un puente, básicamente como boceto, cuando el ingeniero conforma su idea. Es decir, dentro de ese proceso íntimo que es el momento creativo.

Mencionar la palabra diseño se hace inevitable. Tanto el vocablo como la acción de diseñar significaban antes las líneas principales, los contornos de un objeto, la delineación de una figura o de un edificio; hoy se entiende por diseño, principalmente en su grafía **design**, la creación de una forma a partir de una información en la cual se exponen unos objetivos y unos propósitos a alcanzar. Así, el diseño o design es la delineación y traza juntamente, además de la imagen de lo que ha de llegar a ser realmente, lo que ha de ocurrir, gracias al diseño, un objeto concreto.

La diferencia entre dibujo y diseño es radical; *«el dibujo no es transitivo, se agota en él mismo, su sola presencia es conseguida y cumplida, mientras que el diseño implica algo exterior a él y del que el diseño es la causa y razón; diseño versus objeto»*⁸. Son conceptos diferentes que interesa aclarar, ya que ambos intervienen en este punto de la investigación. El diseño como proyecto y creación de un puente y el dibujo como una posible introducción al análisis de los puentes.

⁸ Puig (1983), p. 9.

Como resumen de este área de la representación gráfica, se podrían señalar tres aspectos:

- En primer lugar su carácter **proyectual**. El dibujo sigue siendo el instrumento más efectivo para la investigación y la comprobación del proceso creativo del proyecto.
- En segundo lugar, su capacidad de **comunicación** a través de un proceso de codificación suficientemente generalizado, afirmando que, dentro de la complejidad de la documen-

tación descriptiva de un proyecto, los planos, es decir, lo gráfico, siguen siendo los elementos fundamentales e indispensables.

- El tercer aspecto es en donde reafirma el dibujo su carácter retórico; el dibujo ha de explicar qué sera el proyecto, subrayando cuáles serán aquellos aspectos que por una u otra razón, y a juicio del autor, merezcan destacarse.

El dibujo como medio para un análisis formal

En el punto anterior vemos la utilización que se hace del dibujo como herramienta de trabajo, como representación del aporte de ideas y transformación y evolución de las mismas que hace el arquitecto durante la elaboración de un proyecto. Por consiguiente, la unión entre dibujo y expresión creativa está demostrada.

Por otro lado, hay un hecho tradicional en nuestra cultura occidental, y es que la creatividad siempre ha presupuesto un dominio de la tradición, y ese dominio quedaba garantizado por medio del estudio analítico y la recreación gráfica de las grandes obras del pasado. En los tratados y biografías de los artistas hay testimonios de ese aprendizaje.

Quizá el más significativo de estos testimonios es el que aporta Vasari en su obra *Vidas*, donde habla de la práctica común entre los aprendices a artistas, de comenzar su formación en un taller local, copiando las obras de su maestro. Leonardo da Vinci, recomendaba el estudio y dibujo de las obras de grandes artistas antes de ejercitarse en el dibujo del natural. De él cuenta Vasari que, a pesar de su juventud, pintó un ángel, con tal perfección, que superó las figuras de Verrocchio. De Miguel Angel nos dice que muy pronto asombró a su maestro Ghirlandaio con sus dibujos, que sobrepasaban a los de otros discípulos e igualaban sus propias obras. De Rafael comenta que a base de estudiar el estilo de Pietro Perugino lo imitó tan bien en todo que sus figuras no se distinguían de los originales del maestro y era imposible diferenciar las obras de uno y otro.

De sí mismo, dice Vasari que consiguió su educación artística mediante la copia insistente de obras de arte de la pintura y el levantamiento de edificios antiguos:

«Dibujé cuanto de notable había en Roma y en Florencia y en otros lugares donde residí, y no sólo pinturas sino también esculturas y edificios antiguos y modernos (...) Con objeto de ganar tiempo, Francesco Salviati y yo copiábamos cada uno cosas distintas y durante la noche nos cambiábamos y reproducíamos los diseños de modo que

cada uno tuviera una copia donde estudiar detenidamente; y era tanto el afán que poníamos en el trabajo, que muchas veces sólo almorzábamos de pie cualquier cosa liviana»⁹.

9. Recogido por Montes (1992), pp. 143-144.

Por su parte, Palladio explica en el Proemio de sus **Cuatro Libros**, cómo desde sus primeros años de aprendizaje se dedicó al estudio de las reliquias de los viejos edificios, midiendo cada una de sus partes para poder comprender el todo y reducirlo después al dibujo.

Alberti también dejó constancia de esta tarea en **De re aedificatoria**; explicando cómo se miraba las obras antiguas buscando dónde aprender algo. El proceso que seguía era el de observar, medir y colegir con lineamentos de pintura hasta haber comprendido todo punto.

Entre estas figuras relevantes del Renacimiento, no hay que olvidar a Bramante, quien llegó a Roma en 1500 con la intención de dibujar y medir todos los edificios de la ciudad, y, no contento con estudiar los edificios más notables de la ciudad y sus alrededores, continuó su actividad en Nápoles, Tívoli y Villa Adriana. Sus dibujos servirían de pauta y modelo para otros arquitectos contemporáneos interesados en la antigüedad.

Las preocupaciones y esfuerzos de los arquitectos renacentistas al dibujar los edificios de la antigüedad, no iban dirigidas a fomentar la creatividad, más bien perseguían la finalidad de construir un catálogo gráfico por el cual guiarse en su trabajo, y para alcanzar un conocimiento más exacto sobre la arquitectura clásica que pretendían hacer renacer. Se puede decir que dibujaban para entender, es decir, el dibujo como vía de análisis.

La finalidad práctica de estos levantamientos gráficos queda reflejada en los libros de Palladio, el cual enumera una serie de motivos por los que se dedicó a esta tarea y por los que recomienda el estudio de sus dibujos. *«Los dibujos muestran lo que él consideró de más interés en las ruinas de la antigüedad y las reglas a las que se sujeta su trabajo proyectual; permiten ejercitar el espíritu crítico y, por tanto, evitar invenciones bárbaras; aseguran una sólida construcción, etc.»¹⁰.*

10. Montes (1992), p.145.

Pero también es verdad que el interés por la antigüedad no sólo estaba motivado por motivos eruditos y profesionales. El dibujo «in situ» y la medición de los elementos formales del clasicismo, se consideraban como el único sistema válido para obtener un conocimiento profundo y una correcta asimilación de la arquitectura clásica. Desde nuestra óptica actual, pode-

mos apreciar, en aquel ejercicio de comprensión, una metodología de análisis. La observación de modelos y estudio de los mismos, mediante la reproducción gráfica. El análisis de las partes para entender el conjunto.

Por los estudios de W. Lotz, J. Ackermam y otros autores, sabemos que era práctica común en Roma, el intercambio de documentos gráficos entre los interesados en el estudio de los monumentos antiguos. Sabemos así mismo, que no todos los dibujos de Palladio fueron elaborados y medidos a partir del edificio original, sino que muchos de ellos son copias o calcos de los realizados por otros arquitectos. Este procedimiento debía ser la regla y no la excepción, hasta bien entrado el siglo XVI; lo normal era que un arquitecto dispusiera de una colección de dibujos, bien comprándolos o copiándolos. Con la edición de los tratados y manuales con dibujos, la obtención del material gráfico, de utilidad en el futuro, quedó asegurada.

Con la instauración de las Academias -durante el siglo XVIII- el primer aprendizaje de la arquitectura quedó confiado definitivamente a la copia de dibujos. El alumno debía conocer las reglas básicas de la arquitectura, asimilando sus principios formales mediante el dibujo de láminas, completado con levantamientos gráficos de obras de reconocido prestigio.

Este modelo de aprendizaje fue progresivamente en aumento con la edición de aquellos textos que recogían complejas estructuras arquitectónicas realizadas a partir del repertorio formal del clasicismo. La didáctica de estos textos era tal, que el estudio de sus dibujos podía garantizar el aprendizaje de la arquitectura clásica.

Esta didáctica de la arquitectura fue aplicada en España con la fundación de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

«La imitación de los modelos grecorromanos y de sus reglas de articulación -a través fundamentalmente de la copia de las láminas de Vignola-, se completaba con el estudio de los proyectos realizados por los profesores y por antiguos alumnos. A medida que los estudios académicos se fueron consolidando, algunos estudiantes pudieron obtener una pensión en Roma, para poder estudiar y dibujar las ruinas de la antigüedad, con la obligación de enviar a Madrid periódicamente los levantamientos gráficos que fueran elaborando; los cuales servirían en las aulas para el aprendizaje de otros estudiantes. Junto con ello, la biblioteca de la Academia se fue nutriendo de diversas obras inglesas, francesas e italianas -como las de Piranesi, Gibbs, Adam o Peyre- en las que se ofrecían abundante información sobre arquitecturas antiguas y modernas»¹¹.

11. Montes (1992), p.146.

Prescindiendo de la validez del sistema de aprendizaje, entiendo que no sólo se trataba de asimilar una serie de modelos, sino de aprender los mecanismos del proyecto, a través del análisis de los elementos formales y de sus posibilidades de articulación. Para corroborar esta afirmación, citaré las palabras del arquitecto Louis I. Kahn: «Dibujé Albi desde arriba hasta abajo, como si la construyera. Sentí lo que era el entusiasmo. No necesitaba la paciencia necesaria para construirla pues yo la dibujaba sin preocuparme de correcciones ni de proporciones exactas. Sólo quería captar la embriaguez mental del arquitecto»¹².

12. Norberg-Schulz (1990), p. 77

Actualmente, en las escuelas de arquitectura, y concretamente en la de Barcelona, la asignatura de dibujo tiene una doble finalidad para el alumnado: la que es obvia, de aprender a dibujar y una añadida, que es entender el objeto dibujado. El dibujo, como herramienta de trabajo, ofrece vías de comprensión para llegar a la finalidad analítica. La comprensión, que se inicia con el apunte, continua con el croquis a mano alzada, formando un nexo entre pensamiento y realidad.

Este valor de nexo íntimo y particular que se le atribuye al croquis, entendido como dibujo analítico, ha de reflejar cómo a través de él se ha de indagar en las geometrías que subyacen en la ordenación de los elementos que componen el hecho arquitectónico.

El croquis, es ejecutado con más rigor que el apunte al recoger gráficamente la estructura de la arquitectura representada, es decir ejes de simetría, proporciones, alineaciones, desplazamientos, etc., que necesariamente han de ir acotados, haciendo un estudio crítico de cuales son las dimensiones necesarias y suficientes para definir correctamente y con todo rigor la escala física del objeto a representar, teniendo en cuenta la escala gráfica a la que por los motivos que sean, se habrá de efectuar el dibujo definitivo.

Volviendo al tema del análisis, queda patente que esta metodología de aprendizaje del dibujo utilizada en la E.T.S.A.B. lleva implícito para el alumno, junto a otros objetivos, el desarrollo de una vía de análisis gráfico de la obra arquitectónica, porque en este juego sistemático de entender y describir la realidad de lo tridimensional a la bidimensional, del apunte íntimo a la exposición gráfica rigurosa, no hace otra cosa que analizar.

En este mismo sentido tengo que mencionar el trabajo realizado por J. Seguí y M. de Luxán a través del Departamento de Análisis de Formas de la E.T.S.A. **Interpretación y análisis de la forma arquitectónica**. Basándose en el concepto filosófico de interpretación y en el dibujo como herramienta de represen-

tación ofrece un análisis interpretativo de diferentes obras arquitectónicas. Volveremos a mencionar este trabajo en el punto siguiente.

Análisis interpretativo

Aproximaciones a la interpretación

Proponemos la hermenéutica como una posible vía de análisis para los puentes. Pensamos que al conocimiento profundo del puente, como objeto de análisis, se podría llegar desde una metodología filosófica.

Según el Diccionario de la Lengua Española, **interpretar** quiere decir explicar o declarar el sentido de una cosa, y principalmente el de textos faltos de claridad. Traducir de una lengua a otra, sobre todo cuando se hace oralmente. Explicar, acertadamente o no, acciones, dichos o sucesos que pueden ser entendidos de diferentes modos. Concebir, ordenar o expresar de un modo personal la realidad.

Una aproximación al término se podría hacer considerando el primer punto de la definición del diccionario: explicar el sentido de una cosa. La función interpretativa puede ser relevante frente a cualquier producto cultural, donde, la diferencia de visión entre el profano y el experto es contundente. Allí donde el primero ve un objeto más o menos agradable, vistoso, elegante, colorista, apetecible o rechazable, el segundo, sin dejar de ver lo anterior, además ve un producto realizado a través de un proceso.

Por ejemplo, ante la imagen de un puente, la mirada de un ciudadano cualquiera no será la misma que la del experto ingeniero. El automovilista o peatón que lo atraviese apreciará una estructura funcional y como mucho emitirá un juicio rápido en cuanto a su magnitud, modernidad o elegancia. La persona con un sentido estético educado, podrá hacer un comentario más amplio del aspecto formal del puente, mientras que el ingeniero de caminos no sólo apreciará estos aspectos notorios sino que descubrirá el proceso constructivo de la obra e incluso puede llegar a entender cómo ha sido diseñado. Realizado este proceso intelectual resuelve, mediante un juicio, su posición frente a las actitudes y valores descubiertos como desencadenantes del proceso generador del puente. El ingeniero interpreta el puente.

Una condición importante de la interpretación es que *«se refiere siempre a una producción humana (artificial). Frente a fenómenos naturales sólo se puede interpretar su representación (su descripción); es decir que en los casos en que se habla de posturas, visiones o concepciones de la naturaleza, o del cosmos, etc. (de fenómenos*

naturales), no se puede hablar de interpretación, ya que sólo se puede hablar de interpretación cuando se explica el fenómeno como por el intermedio de una representación de él»¹³.

13. Segal (1985), p. 1

Expresar el sentido de una cosa supone poder apreciar en ella una intención respecto a un valor y describir su génesis en virtud del valor a que se entiende dirigida intencionalmente. Traducir de una lengua a otra supone poder apreciar el significado del producto en el marco de la lengua en que se articula y encontrar, en otra lengua, la articulación que mantiene ese significado. La traducción supone sobrepasar la sustitución literal de palabras descubriendo el significado diseminado en la totalidad del contexto. Sin ese requisito no hay buena traducción.

Por consiguiente, entender una obra, supone descubrir en la producción, tanto el sentido como el significado en relación a la posibilidad y capacidad del intérprete para realizar una producción análoga. Atribuir una acción a determinado fin o causa supone entender el producto como consecuencia de algo que lo ha provocado.

En conjunto, las manifestaciones vienen a indicar una misma funcionalidad intelectual. Interpretar viene a ser, simplemente comprender y manifestar explícitamente esa comprensión. Como entendimiento de algo que ha sido producido por el hombre en unas circunstancias concretas.

Para hacer otra aproximación al término **interpretar** nos apoyamos en el último punto de la definición y su vinculación a la comunicación en general. Partimos del supuesto que siempre se está interpretando ya que la comunicación sólo es posible a través de la interpretación. El ser humano se expresa modificando el medio ambiente por el intermedio de artificios. Lo artificial, medio de expresión, es la cultura. El ser humano se expresa configurando productos, que son organizaciones intencionales de elementos articulados en totalidades concretas. Los productos resultantes, en cuanto objetos de comunicación, son representaciones o descripciones de experiencias por intermedio de sistemas codificados de símbolos. Los sistemas de símbolos (sistemas de artificios) son el fundamento de las culturas.

Frente a la producción, que es una configuración expresiva, u organización simbólica, se produce la interpretación. La interpretación es la situación en la cual un entendimiento recibe un mensaje de otro, a través de la forma representativa que es configuración expresiva. La interpretación es, por tanto, la función que permite la comunicación. Reconocer un producto como objeto corriente en el seno cultural no es interpretarlo.

Siempre se está interpretando, pero no toda la actividad vital ni intelectual es interpretativa. Sólo se interpreta cuando se entiende el producto como portador de un mensaje (o intención), es decir, como objeto generado por alguien en unas circunstancias, con la intención de manifestar algo. Para que se interprete, el interpretante ha de sentirse interesado en el mensaje, verse involucrado en el sentido del producto.

Por consiguiente, desde esta aproximación, interpretar es descifrar. Descomponer el objeto (la representación) en su proceso productivo, descubrir su coherencia y prestar, luego, a los elementos y fases obtenidas, significados intencionales sin perder nunca de vista la totalidad que se interpreta.

La interpretación es procedimiento casi automático en el diálogo. Dialogar supone conocer el lenguaje y los gestos de otro como un reclamo. Lo oído y visto ha de ser reconstruido desde el interior del que lo recibe. Para poderlo integrar, el receptor tiene que retraducir y recuperar el lenguaje y gestos con sus propias categorías mentales. En este esfuerzo, el receptor plantea en hipótesis la intención e idea a que puede responder la expresión que recibe. En este supuesto interpretativo configura su respuesta, que no es más que la expresión representada del efecto que la comunicación del otro ha tenido en él.

Una tercera **aproximación** a la interpretación sería entenderla como procedimiento fundado en la especulación filosófica y en la argumentación científica. Toda acción de teorizar es una representación sistemática, con el intermedio de símbolos lingüísticos, de una concepción de algo, natural o artificial. Cada nueva contribución cultural supone una nueva concepción y una respuesta a alguna o todas las representaciones anteriores.

El autor siempre parte de: una experiencia propia, la reconstrucción de alguna teoría ajena, su análisis, su versión entre su propia experiencia y la visión personalizada de la misma y la correspondiente confrontación entre su propia experiencia y la versión personalizada de la teoría ajena. La crítica es el contextualizar de la experiencia propia en la versión personalizada de la teoría ajena, y viceversa, que le permite la contraposición comprensiva entre ambas. La teoría ajena, así confrontada, opera como referencia cultural de la interpretación, y la interpretación como proceso de aclaración de las propias intenciones en la descripción.

Cuando, en una situación común, una persona emite una opinión o juicio de la misma u otra situación, está interpretando.

En este caso el intérprete, a la vista del comportamiento lingüístico y gestual de una persona o de un grupo en una situación, poniéndose en el lugar de aquellos a quienes observa, busca en su interior los motivos y razones que le impulsarían a él mismo para actuar del modo que contempla. Reconocidos esos motivos y razones, y confrontados con los motivos y razones que habitualmente él se da a sí mismo como valores ideales de su carácter, emite la opinión o juicio que la situación le merece.

Este es el proceso elemental del interpretar. Pero en la interpretación, desde la opinión al juicio de valor, hay grados.

No es lo mismo que el intérprete sea ajeno o esté familiarizado con la situación. Tampoco es lo mismo que el intérprete conozca a fondo o ignore la temática debatida en la situación. Según los casos, el ponerse en el lugar del otro o de los otros puede ser dificultoso.

Con absoluta falta de familiaridad respecto a la situación y en la completa ignorancia del tema tratado, ponerse en el lugar del otro es casi imposible a no ser que se recurra a buscar una analogía con otra situación conocida.

Frente a situaciones familiares y a temas conocidos la puesta en el lugar del otro es fácil, cómoda. En estos casos se pueden llegar a identificar detalles nimios, flexiones muy sutiles.

Pero esto no es todo. Si el intérprete no quiere o no puede colocarse sin prejuicio en el lugar del otro, la interpretación no pasa de ser una confirmación del prejuicio como nuevo juicio. Sólo en el caso en que el intérprete maneje libre y experimentalmente sus prejuicios y sin someterse a su esclavitud, entre a situarse en el lugar del otro, la interpretación es efectiva y genera conocimiento. Nadie puede desprenderse de sus juicios previos que, además, son condición de la experiencia, pero el sometimiento a los mismos reduce la interpretación a etiquetado.

La teoría correspondiente al proceder interpretativo recibe el nombre de **hermenéutica**.

La interpretación, como función del entendimiento se trata en la filosofía, tanto cuando se aborda la facultad intelectual, como cuando se abordan nociones asociadas, como categoría, esquema, etc., o funciones relacionadas, como la perceptiva, la cognoscitiva, la significativa, la imaginativa, etc.

*La interpretación y la teoría
hermenéutica*

Perihermenia es el título de un tratado de Aristóteles que se ocupa de esclarecer los principios de la comunicación, reflexionando sobre los juicios y las proposiciones.

El sentido que hoy tiene el vocablo hermeneútica procede del uso de la palabra hermeneia, desde el siglo XVI, para designar el arte o la ciencia de la interpretación de los textos sagrados: como averiguación del sentido de las expresiones por medio del análisis de las significaciones, como averiguación de los pensamientos contenidos en las doctrinas o como averiguación de lo expresado a través de símbolos.

La interpretación y su correspondiente fundamentación teórica, es el tema específico de una gran cantidad de autores dedicados al estudio de diversos campos.

Enfoques hermenéuticos

Schleiermacher (1768-1834) elabora una hermenéutica aplicada a los estudios teológicos. Indica que la interpretación se inicia desde una perspectiva psicológica, a la búsqueda del impulso inventivo inspirador de la génesis de la obra. La interpretación prosigue desde una perspectiva técnica, para intentar entender los medios con los cuales se ha profundizado y configurado el tema al desarrollar su composición. La interpretación concluye volviendo a la perspectiva psicológica, para buscar el pensamiento accesorio en el que se explica la influencia de la vida colectiva sobre el autor.

Schleiermacher pone en relieve lo que llama **círculo de reciprocidad hermenéutica** que recorre, en una obra, de la unidad del todo al elemento singular. Reciprocidad que permite acometer la interpretación, sea asumiendo la unidad del todo hasta entender la articulación de las partes, sea intentando entender el sentido de las singularidades para concluir en la unidad del todo. La comprensión, que comienza siendo provisional, se va perfeccionando, corrigiéndose e integrándose, con el creciente entendimiento del discurso que va realizando el intérprete hasta que, de golpe, elementos y totalidad aparecen iluminados en un contorno preciso. Schleiermacher asegura que si el intérprete adopta las directrices anteriores, puede alcanzar un entendimiento de la forma mejor que el autor mismo ya que el intérprete acaba manejando conscientemente, secuencias y eventos que el autor ha manipulado instintivamente.

Dilthey (1833-1911) se ocupó del problema general de la hermenéutica. Según él la hermenéutica no es una nueva técnica auxiliar para el estudio de las ciencias del espíritu, sino su propio fundamento metódico. Dilthey piensa la hermenéu-

tica como interpretación, basada en la percatación de uno mismo (autognosis) y en el conocimiento de los datos (históricos, filosóficos, etc.) de la realidad que se trata de comprender. Asegura que la interpretación se organiza como búsqueda de sentido de los datos, por medio de un proceso inevitablemente circular en que los datos son referidos a la interioridad y ésta a los datos. La hermenéutica, dice, se puede enseñar en parte pero se necesita, para su dominio, una perspicacia y actitud especiales y la imitación de los modelos proporcionados por los grandes intérpretes.

Dilthey concibe la conciencia como historia. La hermenéutica se basa en la conciencia histórica: es una comprensión de las manifestaciones en las cuales se fija la vida permanentemente. Permite pasar de los signos a las vivencias que fueron el origen de su nacimiento. Es tratada como método general de interpretación del espíritu en todas sus formas y, por consiguiente, se constituye como ciencia de alcance superior a la psicología, que pasa a ser una forma particular de la hermenéutica.

Heidegger (1889-1976) entiende la hermenéutica como un modo de pensar originariamente la esencia de la fenomenología -mediante una teoría y una metodología-, es decir, lo elaborado en la elaboración.

En su obra *El ser y el tiempo* Heidegger encadena la **comprensión**, la **proyección** y la **interpretación** de la siguiente manera: Comienza enfocando la comprensión como forma de conocimiento que se caracteriza por la buena disposición a conocer, y con esa buena disposición, el sujeto ve a través de sí mismo en diversos modos y grados. El comprender es proyectivo y lo que se proyecta en él es la intimidad del sujeto sobre la significatividad del mundo. En su carácter de proyección, el comprender constituye el **ver**.

Articulados estos conceptos, Heidegger presenta la interpretación como el desarrollo del comprender. La interpretación se funda en el comprender y no al revés. La interpretación no es tomar conocimiento de lo comprendido, sino el desarrollo de las posibilidades proyectadas en el comprender.

Para Heidegger la interpretación se constituye en el desarrollo del **cómo** de algo que se comprende. La explicación de la comprensión viene a ser el poner de manifiesto cómo algo es comprendido. Toda interpretación que implique comprensión tiene que haber comprendido ya lo que trata de interpretar.

Ogden y Richards plantean la interpretación en el seno de la teoría hermenéutica del contexto. Consiste en el hecho de que, al recorrer una parte del contexto, se provoca en nosotros

una reacción con el sentido mismo del contexto entero.

La interpretación es la contextualización, el desvelamiento inductivo del contexto en que una representación tiene su sentido intencional productivo. Todo lo pensado y producido está orientado hacia una entidad más que a otra: esta orientación es llamada referencia, relación lógica, o alusión. El pensamiento referido, se vale de símbolos (formas representativas) con los cuales, a su vez, se relaciona casualmente en cuanto a su producción.

La interpretación es el hecho natural del entendimiento en cuanto intenta plantear concatenaciones (contextos) a partir de la apreciación de símbolos. La interpretación, en esta visión semiótica, queda caracterizada como la especie de proceso mental consistente en el hecho de que la conciencia respecto de algo, se hace consciente de otro algo ligado, implícito en la representación del algo desencadenante.

Pareyson (1918) presenta la interpretación dentro de la teoría de la formatividad artística. Afirma que sólo se consigue la comprensión de la forma artística recorriendo de nuevo el proceso formativo, esto es, captando la forma en su movimiento generador.

Interpretar consiste, para Pareyson, en situarse en el punto de vista del creador, en recorrer de nuevo su labor, hecha de intentos e interrogantes frente al material, de recolección y selección de previsiones y anticipaciones que conducen al resultado. En la interpretación el intérprete no se deja dominar por la obra tal y como se le presenta físicamente una vez concluido el proceso sino que, situándose en el comienzo del proceder, trata de comprender la obra tal y como debería de ser, comparando con esta obra ideal -la forma formante- que va comprendiendo poco a poco, la obra tal como es en realidad -la forma formada- para juzgar sus semejanzas y diferencias.

Para Pareyson la **formación** es ya interpretación y, ésta, como dinámica espontánea, se realiza en el propio proceder formador -creador y contemplador-. La persona forma en su obra su experiencia concreta, su espiritualidad y sus reacciones en el ambiente histórico en el que vive sus pensamientos, sus costumbres, sus ideales, sus ciencias y sus aspiraciones. Conforma y comprende del mismo modo y por las mismas vías.

Cada forma es accesible a infinitas interpretaciones. La interpretación tiene grados, que se extienden desde la simple lectura (descripción) hasta el juicio de valor.

Para Pareyson la interpretación es un modo espontáneo del entendimiento, basado en la afinidad (metafísica) de los comportamientos humanos.

Betti (1890) recopila la casi totalidad de las elaboraciones hermenéuticas. Es un hombre dedicado a las leyes y entiende que su aplicación es un puro proceso interpretativo, por un lado de la ley y la jurisprudencia y por otro del comportamiento objeto de un procedimiento judicial. Funda, en los años 40, una Academia de estudios interpretativos.

Para Betti la interpretación tiene como finalidad el hacer explícito lo que no es manifiesto, pero es supuesto como implícito. Intenta explicar e integrar la expresión fragmentaria o incompleta, lanzar luz sobre los motivos inexpressos, desarrollar el discurso en su coherencia interna, descubrir la ley de formación de los productos humanos. Basa la interpretación en el entendimiento, como facultad que engloba la producción de conocimiento.

Acaba proponiendo la interpretación como método de desarrollo intelectual en cuanto que la interpretación sea aplicada a las propias producciones, convertida en autointerpretación. «La teoría hermenéutica, -dice-, se interesa en el proceso intelectual del entender, con el cual un espíritu pensante responde al mensaje de otro espíritu que le habla a través de formas representativas».

Betti recopila y critica teorías hermenéuticas y, fundamentalmente basado en los trabajos de Schleiermacher y Dilthey, termina por ofrecer un método hermenéutico: «Solo se puede interpretar una representación. El interpretar es explicitar, desarrollado, el entendimiento de un dato de experiencia- en medio de una concepción de la vida y del mundo- en coherencia con las concepciones del intérprete, u encuadrado en la totalidad de un sistema». Interpretar es explicar el entendimiento que se tiene en la comprensión de algo, visto como producto cultural, ubicado en la totalidad del sistema que forman la experiencia y expectativas del intérprete y el mundo histórico en cuanto comprendido por el intérprete. La interpretación, como explicación del entendimiento, pormenorizada en términos culturales, dependerá de la cultura del intérprete. No así en cuanto a su significado intelectual ya que en la actitud abierta de comprender, la interpretación siempre es progreso original en el conocer.

De todas las observaciones hermenéuticas recogidas habla de determinados **momentos comprensivos** y de específicos **cánones interpretativos**, cuyo cumplimiento no sirve al intérprete para eludir, en ningún momento, el esfuerzo que supone

interpretar.

Los momentos comprensivos recogidos por Betti son los siguientes:

- Momento filológico y sintáctico.

Supone el esfuerzo intelectual por penetrar en la forma representativa objeto de interpretación considerándola como articulación de elementos simbólicos.

- Momento crítico.

En él se trata de distinguir lo genuino de lo incierto, la totalidad y la cronología. La crítica cronológica e histórica precede a la interpretación. La crítica posterior a la interpretación es la concerniente a la valoración y justificación.

-Momento psicológico.

No basta con reconstruir en el entendimiento el fundamento lógico y simbólico -momento filológico- o eliminar las incoherencias -momento crítico-. Se llega a una situación en que es necesario reconstruirlos desde el interior del intérprete, desde su personal experiencia, viéndose como autor del producto a interpretar.

-Momento técnico y genético.

El objeto a interpretar, cuando es entendido, ofrece al intérprete su propia coherencia como producto de un proceso en orden a su propia significación y valor que es indiferente a su cronología.

En cada uno de los momentos anteriores, el reconstruir, que es el esfuerzo interpretativo del intérprete debe de seguir una doble dirección: retrospectiva, considerando la forma como transición a configuraciones posteriores.

Descritos estos momentos de la reflexión interpretativa, Betti indica que lo que caracteriza la interpretación, frente a otras formas del entendimiento, es que en la interpretación el intérprete, consciente de su tarea, controla siempre el punto de vista que toma. En función de este control reúne así los cánones de la interpretación:

A. Canon de autonomía.

La forma representativa debe ser entendida autónomamente (en su propia ley de formación).

B. Canon de totalidad y coherencia.

Hay que entender las formas como totalidades no sólo en su texto y su contexto sino, además, encuadradas como unida-

des en otras totalidades -la personalidad del autor, el texto y el contexto cultural donde aparecen-.

C. Canon de actualidad.

El intérprete debe recorrer en sí todo el proceso genético y, así, reconstruir desde su interior, en la propia actualidad del pensamiento, una experiencia de vida (la forma representativa) como hecho de experiencia propia.

D. Canon de correspondencia.

Sólo un espíritu libre y dispuesto a comprender está en situación de entender, de modo adecuado, la intención y el espíritu que transporta una producción humana.

Todo estos aspectos quedan sintetizados en el siguiente cuadro recapitulativo

FUNCION INTERPRETATIVA	MOMENTOS INTERPRETATIVOS	ANALITICA INTERPRETATIVA	CAMPOS ANALITICOS
ACTITUD ABIERTA	MOMENTO COMPRENSIVO	ANALITICA COSMÓGONICA	
EXTRAÑAMIENTO	MOMENTO FILOLOGICO	ANALITICA MORFO-GEOMETRICA	CONSTRUCTIVA COMPORTAMENTAL UBICATORIA
LOCALIZACION	MOMENTO CRITICO 1er ORDEN	ANALITICA CIRCUNSTANCIAL	HISTORICA SOCIOLOGICA POLITICO-ECONOMICA
IDENTIFICACION	MOMENTO PSICOLOGICO	ANALITICA SIMBOLICA	EVOCATIVA PROYECTIVA-DINAMICA ARQUETIPICA
EXPLICACION	MOMENTO TECNICO	ANALITICA PRAXIOLOGICA	PROCESUAL CAUSAL FINALISTICA
CONFIGURACION	MOMENTO CRITICO 2º ORDEN	ANALITICA FORMAL	CONFIGURAL PROPOSICIONAL

Adaptado de TORRENOVA, J.J. (1985). *Interpretación y análisis de la forma arquitectónica*. Madrid; E.T.S.A.

Al percibir interpretamos, ya que supone aventurar una hipótesis previa que, expuesta a la contratación crítica, se va ajustando y precisando mediante un proceso de corrección gradual.

El percibir es el resultado, por tanto, de un complicado proceso en el que conjugamos la información recibida con hipótesis sobre su significado. Proceso que nos exige una constante actividad, fabricando conjeturas que posteriormente

Reflexiones a la vía interpretativa

modificamos a partir del flujo de información captada.

Es también un fenómeno selectivo; por economía de esfuerzo, nuestra mente no puede encontrarse en una continua y agitada actividad, atenta a toda información recibida del exterior, elaborando hipótesis y sometiéndolas a la contrastación crítica para adquirir un conocimiento verosímil de la realidad. *«Percibimos aquello que es vital para nuestra existencia, lo extraño o anormal en nuestro entorno familiar, o aquello que motiva nuestro interés en un determinado momento; mientras que lo normal, regular o habitual lo captamos mediante un acto gnoseológico -basado en hábitos perceptivos y expectativas, firmemente arraigadas- del que apenas somos conscientes, sin requerir un análisis detenido y un esfuerzo continuado»*¹⁴.

14 Montes (1992), p. 162

Así, en la calidad del acto perceptivo influirán, en primer lugar, la actitud o interés del observador que, lógicamente, influirá en las anticipaciones que desarrolla y en las exploraciones perceptivas que realice. En segundo lugar, hay que considerar las suposiciones, inferencias o anticipaciones que toda persona suplementa a la información que extrae del ambiente. La correcta percepción formal dependerá, en gran parte, de la experiencia desarrollada con anterioridad.

Análisis morfológico

Categorías perceptuales abstractas susceptibles de ser consideradas en el análisis de los puentes

La relación entre los niveles de análisis expuestos hasta ahora se hace evidente, así como su génesis en la psicología de la percepción. A partir de aquí planteamos un sistema de categorías que pueden ser válidas en un análisis morfológico. Nos apoyamos, como hasta ahora, en el enfoque perceptivo.

Entendemos por «categoría perceptual abstracta» la cualidad literal, momentáneamente percibida, de una situación estimular concreta. Además de ser adecuada para describir la realidad ambiental, es materia prima de la actividad de esquematización realizada por el perceptor. El cuadro siguiente recoge las categorías que hemos organizado para un posible enfoque de análisis en esta línea.



El concepto de Verticalidad

Tradicionalmente, la altura es símbolo de místico y humano prestigio. En el siglo XIX, los industriales compensaban la crisis religiosa con la fe en el dinero. La torre de Brujas, la catedral de Estrasburgo, Mont Saint-Michel, plasmado todo para exaltar la aguja del templo, ejemplifican la naturaleza trascendente del verticalismo medieval. Corresponde a ello en la época moderna la célebre torre erigida por Gustave Eiffel en París en 1889 y los rascacielos americanos. Y finalmente Frank Lloyd Wright, que en 1910 presentaba sus trabajos a Europa afirmando que estaban «concebidos dentro del espíritu gótico», después de haber proyectado Broadacre City, la ciudad-territorio, esbozó «The Illinois», el rascacielos de una altura desmesurada.

Entre las infinitas direcciones del espacio tridimensional en las que el hombre puede moverse, una de ellas se distingue por la fuerza de gravedad. Es la vertical, que actúa como eje y sistema de referencia para todas las demás direcciones.

Las limitaciones sensoriales del hombre hacen que perciba y experimente el espacio de forma asimétrica. Así, no puede diferenciar que las verticales en diferentes lugares no corren paralelas, sino que convergen en un centro común, el centro de la tierra. Esta es una cuestión de tamaño relativo. Si un objeto esférico es suficientemente pequeño en relación con el tamaño del hombre, o también si está lo suficientemente lejos como para parecer lo bastante pequeño, la estrechez de la experiencia sensorial no entra en juego porque el sistema puede observarse en conjunto.

Esto se aprecia al volver los astronautas a la tierra, que ha de haber un periodo de transición cuando la superficie esférica del planeta se convierte en el plano de base de la vida en la tierra. Estas distancias son percibidas como alturas cuando ascienden y como profundidades cuando descienden. Así como al excavar en la tierra, la sensación no es de movimiento hacia el centro del sistema, sino alejándose de la base.

En geometría no existe diferencia entre subir y bajar, pero física y perceptivamente la diferencia es fundamental. Se aprecia fácilmente al subir por una escalera o trepar a un árbol; se siente el esfuerzo por superar una fuerza contraria que se sitúa en el propio cuerpo como peso. Para Arnheim, escalar es un acto heroico y liberador, y la altitud simboliza espontáneamente cosas de elevado valor. Así, la satisfacción de trepar consiste en la conquista del propio peso inerte para obtener una experiencia dotada de connotaciones simbólicas. Por el contrario,

riencia dotada de connotaciones simbólicas. Por el contrario, excavar bajo la superficie, significa verse envuelto en la materia más que abandonarla. «Excavar es explorar el fundamento en el que descansa toda vida y del cual brota. Excavar crea una entrada al reino de la oscuridad y por tanto simboliza profundizar, es decir, explorar más allá de la superficie. En tanto que elevarse es el medio para iluminarse, excavar hace que la luz brille en la oscuridad»¹⁵.

15. Arnheim (1978), p. 31.

El puente, al elevarse, representa la intrusión del reino de la materia en el espacio vacío, pero cuando su estructura, o parte de ella, penetra por debajo de la calzada, se ve envuelto en la materia. El hecho real de la cimentación, tiene a su vez un efecto visual y es el de **penetrar la tierra**, mediante el cual el puente, como los edificios, parece continuar bajo el nivel del suelo.

Para el ojo humano, las formas de dirección lineal tienden a continuar a menos que encuentren un obstáculo que las detenga. La penetración se produce cuando una de las formas aparece incompleta, y cuando este carácter incompleto genera una tendencia suficientemente vigorosa hacia la terminación. Y se evita cuando la forma aparece completa.

Este efecto de penetración en la tierra puede afectar al diseño de un puente, porque todas las proporciones y distribución de peso estarán influenciadas por el hecho de si el puente, sobre el suelo, es visto como completo o incompleto.

El concepto de Horizontalidad

En la horizontalidad, el pertenecer a la tierra no se realiza por penetración en ángulos rectos sino por paralelismo. Así, en el caso de aplicar esta categoría analítica, resultará fácil descubrir un sentido armónico en la adaptación del puente al paisaje.

Tendríamos una percepción de horizontalidad en la vista aérea de un puente. Desde esta perspectiva, el puente tiende a flotar sobre la superficie de la tierra ya que las paralelas no se unen. El contacto es muy tenue, pues la forma de tal puente socava la dimensión vertical de la fuerza de gravedad. El puente tiene poco peso; no presiona hacia abajo y da la impresión de descansar sobre la tierra o sobre el río.

La categoría de horizontalidad definida por Arnheim, exige para su aplicación al análisis de los puentes, una adaptación a estas construcciones, o bien queda limitada al punto de vista aéreo del que hablábamos. Porque cuando el puente se mira desde un sentido transversal o desde cualquiera de los múltiples ángulos que pueden formarse en una aproximación hacia el mismo, entra en juego una nueva categoría: el peso.

El puente sobre el río Guadalquivir para la variante Sevilla-Huelva, es un ejemplo en el que podríamos aplicar la categoría analítica de horizontalidad. El cajón que configura el dintel se percibe como una cinta horizontal sin principio ni fin visibles, y es la dominante en el conjunto de la estructura. Los pilares marcan un ritmo y definen un orden, pero quedan relegados ante la importancia de la horizontal del dintel.

Existe una relación directa entre el peso visual de un objeto y la altura del mismo. Ello se debe a que la asimetría del espacio de la gravitación no sólo influye en los ejes de dirección de los puentes o cualquier otra construcción, sino que afecta también a nuestra manera de percibir la verdadera distancia a partir del suelo. Por consiguiente, se puede decir que las relaciones de peso entre las distintas partes de un puente depende de su altura.

Tres factores son la consecuencia de este fenómeno: distancia, peso y energía potencial.

En física, la fuerza de gravedad disminuye al aumentar la distancia del centro de atracción, es decir, el objeto pierde peso. A nivel perceptual no siempre sucede así. A mayor altura, sin embargo, los objetos parecen menos sujetos a la atracción desde abajo. La parte superior de la pila central de un puente atirantado, puede dar la sensación de vuelo.

Este fenómeno sucede porque la tierra no es el único centro de atracción; todo objeto dentro de un campo visual constituye un pequeño centro de gravitación por sí mismo. Según su peso visual, tendrá mayor o menor poder para atraer objetos próximos. El centro de atracción más intenso está en el suelo y ejerce atracción gravitatoria sobre todo el puente. Su influencia es más fuerte cerca de la tierra y a medida que aumenta la distancia a partir de la tierra, los centros de peso más débiles aumentan su independencia.

El movimiento despierta una gran atracción en los seres humanos. Respetando la definición de Arnheim, «el movimiento es la incitación visual más fuerte a la atención». Un buen ejemplo de ello lo tenemos en la publicidad móvil; desde los anuncios de televisión o los de neón intermitentes, o las representaciones tipo performances, suponen un mayor atractivo popular frente a la pintura, la fotografía u otro tipo de manifestación artística inmóvil.

Sobre la sensación de peso que se puede percibir

Sobre el efecto de movilidad

Y es que en el ser humano, también en los animales, se ha desarrollado una respuesta fuerte y automática al movimiento. Este implica un cambio en las condiciones del entorno, y ese cambio puede exigir reacción: puede significar desde la proximidad de un peligro hasta un encuentro agradable. Y dado que el sentido de la visión se ha desarrollado como instrumento de supervivencia, está acoplado a esa tarea.

Para hacer operativa esta categoría en el análisis de los puentes, es necesario descubrir cuándo vemos movimiento, en qué condiciones se percibe el movimiento. Siguiendo a Arnheim, la experiencia visual del movimiento puede ser debida a tres factores:

-Movimiento físico. Lo percibimos cuando algo se mueve a nuestro lado, por lento que sea este movimiento. Por ejemplo, una oruga que se arrastra o una tortuga desplazándose lentamente.

-Movimiento óptico. Hablamos de él cuando las proyecciones de los objetos o de todo el campo visual se desplazan sobre la retina. Se produce este desplazamiento óptico cuando los ojos del observador no siguen los movimientos de los objetos percibidos.

-Movimiento perceptual. El movimiento físico puede ser registrado en forma de quietud óptica, por ejemplo cuando mantenemos los ojos fijos sobre una oruga que avanza lentamente, o cuando en un avión vemos la cabina que nos rodea en completa quietud a pesar de que tanto la cabina como nosotros nos estamos moviendo. Esa percepción engañosa se debe al factor cinestésico.

En cada caso concreto, es la interacción de los diversos factores lo que determina el efecto perceptual final. El movimiento físico del objeto sólo contribuye en la medida en que produce un movimiento óptico sobre la retina.

«En los movimientos de un móvil escultórico no hay progresión: sólo revelan variedades de relación espacial dentro de un conjunto de elementos articulados. El orden y coordinación de los desplazamientos a los diversos niveles se dejan al azar, y lo que gusta son las sorpresas de las configuraciones imprevistas»¹⁶.

16. Arnheim (1979), p. 113

El puente, enraizado en el suelo, así como la arquitectura, siempre ha hecho de contrapunto respecto a la movilidad humana. Cuando todo cambia constantemente, el cambio pierde mucho de su poder creativo. La arquitectura ha actuado siempre como un símbolo tangible de lo que es dado, en lo que se puede confiar, pero también de algo con lo que debe contar

como condición constante.

La «movilidad» es una categoría a considerar en cuanto que el entorno no es una constante fija sino que está sujeto a cambios continuos. Los aspectos más específicos del movimiento, tales como la dirección y la velocidad, se perciben según las condiciones reinantes en el campo visual. Hemos visto que, en determinadas circunstancias, la dirección objetiva del movimiento se invierte en la percepción. El ejemplo de las nubes es bastante descriptivo: aunque materialmente vayan hacia el este, puede ser que veamos la luna corriendo hacia el oeste.

El efecto contrario es la **inmovilidad**. Puentes, edificios y construcciones en general se benefician de la dignidad de las cosas que trascienden el cambio. Existe una particular sensación que conmueve frente a las ruinas arquitectónicas, que las dignifica: El Partenón, coliseos, acueductos, etc., son ejemplos que exhiben la mortalidad de monumentos destinados a perdurar.

El cambio de lugar, aunque menos drástico que la destrucción, afecta también a la permanencia de un objeto. Para Arnheim (1978), al cambiar de contexto un objeto cambia de carácter y con ello pierde parte de su identidad constante. Por otra parte, al manejar el objeto a placer, se le priva de parte de su autonomía y se le fuerza a renunciar a su propia iniciativa. El autor lo ejemplifica con la propuesta de Le Corbusier de colocar la estatua de la Virgen de la capilla de Ronchamp en un pedestal giratorio, de modo que la imagen pudiera cambiar del servicio interior al exterior por un giro de 180°. Teniendo en cuenta que la imagen está definida por lo que la circunda tanto como por su propia naturaleza, muestra una variabilidad en cierto modo inapropiada, que seguramente se manifestará también en su aspecto cuando se ilumina por electricidad y velas, o se la expone a la luz del día.

Además, la manipulación de la estatua rompe su autonomía. Podemos comparar con el efecto obtenido cuando una imagen religiosa es llevada en procesión. Sin contrarrestar la evidencia física, la imagen no parece ser llevada de calle en calle por capricho sino que es meramente soportada en su camino por los fieles. Es decir, que la figura está realizando una visita por su propia iniciativa. Así pues, no es el movimiento como tal lo que pone en peligro la integridad del objeto, sino el ser reducido éste a una herramienta pasiva.

Cuando la movilidad es percibida como si derivase de la propia iniciativa del objeto, puede incrementar más que disminuir el poder del objeto. Esto se puede aplicar a la escultura

cinética, que da la impresión de generar su propia acción y por tanto de estar animada por una dinámica más elemental que una pieza inmóvil.

Lo mismo podría decirse de la arquitectura y de la ingeniería de puentes. Existe una energía dominante en el lento avance de un gran barco, y las plataformas giratorias en los edificios altos refuerzan la vitalidad de la estructura dominante. Estas consideraciones, hasta hace poco lejos de las mentes de los arquitectos e ingenieros constructores de puentes, podrían parecer más reales en la medida que la movilidad se hace más factible. Y podría suceder en un futuro no tan lejano, como adelantaba un programa de televisión producido en EE.UU. y emitido por la cadena autonómica catalana. En dicho programa, «Més enlla del 2000», se adelantaba la construcción de grandes estructuras móviles por medio de tensores que cederían cuando el edificio lo necesitara, como podría ser ante un movimiento de tierras.

Otro aspecto del movimiento que recoge Arnheim y puede hacerse extensible a la arquitectura de puentes es debido a su permanencia intemporal; lo que ayuda a complementar las idas y venidas de la gente. Al ofrecer facilidades de acceso, de movilidad por ella y vivir en ella, reconoce en su forma la presencia humana, lo mismo que un puente está incompleto sin la imagen de automóviles o peatones que lo crucen. Se desprende una intensa relación recíproca entre el objeto arquitectónico y sus usuarios.

El sentido de orden

Existe un vínculo entre la percepción y el orden. Percibir supone descubrir anomalías respecto al orden que se presupone. Por tanto, como afirma Gombrich, no aprendemos a percibir a partir de sensaciones, sino a diferenciar esas percepciones. Podríamos decir que percibimos lo inesperado, el contraste entre el desorden y el orden, lo irregular y lo improbable.

Es interesante observar cómo los bocetos previos a la obra evolucionan de lo general a lo particular, a través de un proceso que incrementa la complejidad de las estructuras paso a paso.

La forma final no se obtiene mediante la adición de partes. Los órdenes formales complejos surgen por la manipulación de órdenes formales de menor complejidad y riqueza; a partir de configuraciones formales que predisponen y permiten el orden y la articulación. En consecuencia, la configuración formal se desarrolla en el proceso formante, como cualquier otro organismo de la naturaleza, en el que el crecimiento y evolución supone un enriquecimiento en la articulación y complejidad.

Una posible explicación al hecho de que la obra se presente como totalidad, como estructura compleja regida por unas leyes o principios intrínsecos que la gobiernan, es la tendencia natural al orden que existe en nuestra constitución biológica. Gombrich cree en un sentido del orden que defiende en su teoría de la percepción. Esta teoría rechaza el concepto de la percepción como proceso pasivo; se apoya en la teoría que Karl Popper ha apodado como «teoría cangilón de la mente», una concepción que destaca la constante actividad del organismo al buscar y explorar éste el entorno.

«Para poder sobrevivir, un organismo ha de estar equipado para resolver dos problemas básicos. Debe poder contestar a las preguntas «¿qué?» y «¿dónde?». En otras palabras, debe averiguar qué es lo que los objetos en su entorno significan para éste, si algunos de ellos han de ser clasificados como fuentes potenciales de nutrición o de peligro, y en cualquier caso debe adoptar la acción apropiada de ubicación, búsqueda o huida. Estas acciones presuponen lo que en los animales superiores y en el hombre ha llegado a ser conocido como el mapa cognoscitivo, es decir, un sistema de coordenadas en el que cabe situar a objetos determinados»¹⁷.

17. Gombrich (1980), pp. 15-16.

El sentido del equilibrio es una de las manifestaciones más elementales de nuestro sentido del orden. Por medio de él sabemos lo que está de pie y lo que está invertido. Pero sólo cuando algo no marcha bien nos percatamos de la falta de equilibrio.

El orden como categoría visual, es posiblemente la más adecuada para aplicar en un análisis de los puentes, ya que en su condición de estructuras, que deben cumplir una función estática, esta categoría es un requisito implícito en su configuración. Desde la distribución de los pilares, los tirantes que sostienen el tablero, o la colocación de los elementos de las barandillas, el sentido de orden se hace patente en toda la estructura.

Con la frase «el ornamento no es más que la orilla falaz de una mar peligrosísima», Shakespeare denuncia, en *El mercader de Venecia*, que el mundo vive siempre engañado por el ornamento. Expone la antigua doctrina según la cual lo que importa no es el aspecto exterior, sino el valor interior.

El adorno

Gombrich centra el debate precisamente, en el peligro que supone para la mente el ornamento, porque «*la enajena y tienta para que se someta sin la apropiada reflexión*»¹⁸. Nos advierte sobre el atractivo que suponen el esplendor y la riqueza y cómo deberíamos resistirnos a estos engaños y optar por lo sobrio y racional.

18. Gombrich (1980), p. 44

Porque además, éstos no son valores transmitidos por civilizaciones pasadas, al contrario, tanto la realeza como el poder de lo sagrado han sido proclamados universalmente mediante pompa y despilfarro, pero no existe, según Gombrich, una revulsión estética vinculada a la ostentación, y se puede ejemplificar en infinidad de templos hindús o iglesias barrocas que jamás han sido calificados como excesivamente ornamentados por ningún crítico contemporáneo. Y es que «*el concepto no existía, pues nunca puede haber un exceso de amor y sacrificio invertidos en el respeto y la veneración*»¹⁹.

19. Op. cit. (1980), p. 44.

Por ello, cuando ponemos objeciones a la decoración, a sus fuentes psicológicas e históricas, debemos tener en cuenta diferentes motivaciones. En casos donde la decoración es considerada como una forma de celebración, sólo se puede plantear objeción contra ella cuando es inadecuada. Es decir, la pompa se convierte en pomposidad y la decoración en mera cursilería cuando las pretensiones de decoración son infundadas.

Las apreciaciones de Gombrich, referidas al aspecto moral en cuestiones de gusto, conectan con el discurso funcionalista de los ingenieros que arranca en el racionalismo del siglo XVIII con Lodoli, Blondel, Durand y los ingenieros de Ponce y Chaussées. Durand, por ejemplo, valoraba «la decoración natural», es decir, una aplicación de los materiales en función de sus cualidades y de su finalidad. Sus criterios se basaban en la utilidad y el coste mínimo. «*Desde la cátedra de Arquitectura de la Escuela Politécnica de París, difundía sus ideas, que valoraban construcción y economía con un sentido radical de lo útil, germen del funcionalismo que resurgió en el siglo XX, tras el paréntesis romántico*»²⁰.

20. Fernández Ordóñez (1990), pp. 15-16.

También el adorno, dice Gombrich, significa una modificación de la estructura original, mediante incisión, tallado, pintado o recubrimiento. El rechazo a la decoración como tal no se produjo hasta que la máquina hubo triunfado; por consiguiente existe una clara componente económica en su rechazo a finales del siglo XIX.

El arquitecto Adolf Loos (1870-1934), es uno de los más violentos enemigos de toda ornamentación «superflua». Para él, todo adorno es un delito, como titula en uno de sus escritos de 1908. Su sueño es una ciudad en la que sólo la forma definirá la belleza. El almacén que realiza en Viena en 1898 no lleva ninguna ornamentación y su valor depende del sentido de sus proporciones, de la calidad de los materiales y de sus detalles de realización.

Sensible a todas las artes y también a las dificultades de su época, plantea el problema de la belleza en el plano moral y cultural. Como artista social, Loos piensa que la desaparición del adorno podrá hacer disminuir la duración de la jornada de trabajo.

Situando el adorno como una categoría visual en el análisis de los puentes, la pregunta inicial que podría abrir el discurso sería, ¿es posible el adorno en los puentes?. Desde un planteamiento funcionalista, la respuesta sería, en principio, negativa. En efecto, el puente responde a una necesidad y es esta condición implícita del puente la que le confiere su carácter funcional, de rigor en su utilidad, y esta misma condición le excluye de toda posibilidad ornamental.

Ahora bien, esta afirmación defendida por el colectivo de los ingenieros, resulta desmedida. Consideramos que, el margen de libertad de que dispone el diseñador de un puente, una vez cumplidas las condiciones básicas del proyecto, le permite una configuración de la estructura capaz de contemplar una porción ornamental. Y precisamente en ello radica el adorno del puente.

De acuerdo con J.M^a Martí, *«l'ornament ha de ser ornament superficial per a obtenir la seva màxima eficàcia. No es pot concebre un ornament ocult, car allò no és sinó la pròpia personalitat, que no es mostra de manera descarada»*²¹.

21. Martí (1990), p. 271

Conviene recordar, no obstante, que no consideramos el ornamento de los puentes derivado de los estilos arquitectónicos. Buscamos, si lo hubiera, el adorno que vá más allá de lo anecdótico, y que Martí define como sigue:

*«L'ornament és quelcom d'afegit sobre l'essència de l'artefacte, pero, al mateix temps, també és quelcom afegit des del seu origen. L'ornament és superficial, afegit, però coexistent. En aquest sentit l'ornament és el vehicle del nostre poder sobre els altres; és també el que fa que, com en tot poder, s'estableixi una relació de llunyania i proximitat alhora; el poder ha de mostrar a la vegada un distanciament i un actitud 'paternalista' envers els seus dominats si vol mantenir la seva vigència»*²².

22. Martí (1990), p. 283

En esta línea, en que Martí sitúa la actualidad del ornamento referido al objeto industrial, colocamos nosotros, desde nuestra propuesta de análisis, la posible existencia de una componente ornamental en algunos modelos de puentes contemporáneos. Sin entrar en la profundidad que supondría la aplicación del análisis, esta categoría se podría ejemplificar con el puente situado en la calle Bac de Roda, en Barcelona.

Una estructura en forma de arco metálico que une dos barrios de la ciudad. Es un puente pequeño en el que, desde su origen, el autor no sólo trabaja para resolver un problema funcional, también busca una reafirmación de sí mismo al ofrecer una solución que se acerca al objeto escultórico. El autor, Santiago Calatrava, explica de este proyecto: «Y si no le hago los arcos tan grandes, y tan peraltados; y si no arrancan desde el suelo, y si escalera y arcos no son una unidad, el puente queda pequeño (y se estropea, además, sin posibilidad de salvación). Hubiera sido el mayor error que hubiera podido cometer. Es como poner una escultura pequeña en el centro de una plaza demasiado grande»²³.

23. Calatrava (1989), p. 7

Ya desde la génesis del proyecto, el autor determina que su puente sea una obra objetual, y en este sentido procura que su presencia sea un continuo perceptivo para el ciudadano. No quiere que su obra quede oculta, ni que se perciba solamente desde abajo, desde los jardines que hay a ambos lados del tablero del puente. Calatrava busca y consigue instalar un adorno en la ciudad.

Una situación diferente, pero que guarda relación con la idea apuntada desde esta categoría de análisis, en la que calificamos al puente de adorno, es el caso del puente que ha perdido su razón de ser, convirtiéndose en un objeto inútil, en un adorno en el espacio público. La hipótesis está relacionada con la localización. Un ejemplo de esta situación lo tenemos en el Puente de Serranos y Puente del Mar, en la ciudad de Valencia. En estos casos, el puente nació con la finalidad de salvar el río Turia a su paso por la ciudad de Valencia, pero al cambiar el curso del río, el puente perdió su utilidad.

La misma disposición la encontramos en otras estructuras que, a lo largo del territorio español adornan el paisaje, y que han perdido la razón de su existencia, el río que habían de franquear. El pequeño puente romano de Luco, en la provincia de Teruel, ejemplifica estos casos.

Conclusiones

Finalizada la investigación, dirigimos la mirada a su principio, al punto en el que hipotéticamente situábamos al puente en la categoría de una macro escultura ubicada en el territorio.

Tras el camino explorado, recuperamos la idea para, a partir de ella, exponer las relaciones que hemos encontrado, a) a nivel formal entre la escultura y el puente; b) a nivel de los aspectos utilitarios implícitos en la práctica escultórica y en la generación de obra; c) a nivel de su implicación en la construcción del territorio; d) a nivel del posible paralelismo entre el proyecto de ingeniería y el de escultura.

Si analizamos en detalle el corpus presentado, nos encontramos con una primera mirada analógica que permiten explicar las relaciones entre el puente y las esculturas.

Diversas obras mencionadas a lo largo de este trabajo, (Pino Pascali, Herman De Vries, Joel Shapiro, Richard Serra, Julian Opie) y otras no mencionadas, como es el caso de Angeles Marco o Miquel Navarro, se caracterizan todas ellas por unos elementos constitutivos del paisaje que se ordenan mediante el contraste, la desubicación, la inversión de la escala; en definitiva, lo que podríamos llamar la deconstrucción del paisaje, y que suponen una revisión del lenguaje y objeto de la escultura, al mismo tiempo que toman toda su significación a partir del sistema expositivo de la galería de arte, del sistema espacial implícito a la lógica del museo. La deconstrucción del lenguaje se muestra para establecer la interactividad, el diálogo con el espectador, en un contexto determinado y desde una óptica de discurso tradicional.

Estas esculturas a las que nos estamos refiriendo, se originan desde diferentes poéticas, utilizando elementos constructivos en su configuración, que se ordenan a través de la construcción de lenguaje escultórico que operan sus autores.

Una situación radicalmente distinta la hallamos en un segundo bloque de nuestro corpus. Los trabajos de Bruni y Babarit, Richard Nonas, George Trakas y Patricia Johanson, e incluso los jardines de Isamu Noguchi o los puentes (camino en tres niveles) que realiza Dominique Arel, poseen un nexo de unión que debemos situar en la voluntad de la construcción y no en la óptica de la deconstrucción del lenguaje.

En estos casos, el conjunto de las propuestas supone el paso de la consideración estática del paisaje - adecuada para su exhibición en el sistema museo-galería y buena parte de la

producción del Land-Art- a la consideración del paisaje considerado dinámicamente .

Todos estos trabajos suponen una ordenación del territorio y la emergencia no-dicha, implícita, de un necesario sujeto agente que va actuar sobre el mismo. Estas obras suponen el tránsito de una política del ver a una política del hacer, del actuar. El estar en y el moverse por, se convierten en los leiv-motives de estas actuaciones y de cara a mantener y preservar movilidad necesaria para la significación de la obra, aparecen obstáculos en el paisaje que provocan la aparición y desarrollo de puentes-esculturas vinculadas con una asunción incipiente de los criterios de funcionalidad utilitarista implícitos al desarrollo de este tipo de trabajos

Un tercer nivel de escultura que se estudia es esta investigación es la que se relaciona con la construcción del territorio a una escala superior a la expresada en el apartado anterior.

Las propuestas en este caso, de Richard Fleischner y Herbert Bayer, son un ejemplo de utilización de la figura del puente en la reconstrucción del micro territorio. Son intervenciones que, por su magnitud, se acercan a las obras de ingeniería. Los componentes de, impacto ambiental, escala, parcelación del territorio, arbolado, en definitiva, reordenación del paisaje que ocasiona la utilización del puente.

En paralelo a este tipo de propuestas podemos situar las esculturas vinculadas al puente que plantea el escultor Claes Oldenburg en dos de sus proyectos. Oldenburg proyecta puentes que, en el caso de su materialización supondría, como es habitual en su escultura, una inversión de la escala del objeto. Una de sus propuestas, el puente sobre el Rhin, se explica mediante el dibujo y no pasa a materializarse ni tan solo en maqueta, pero el proyecto de Rotterdam, con el tema del tornillo, es uno de sus trabajos más elaborados, al que el escultor dedica varios años, madurando la idea, perfeccionándola, hasta aportar una solución, aunque ésta no llegue a materializarse más allá de la maqueta.

En ambos casos, sus proyectos aproximan soluciones no pertenecientes al ámbito de la escultura o de la arquitectura del paisaje, si no cercanas a las normales preocupaciones que deben solventar aquellos que operan sobre infraestructuras y planificación urbana, ya que están ubicados en el espacio urbano y es allí donde cumplen su función. Por ello son intervenciones que se acercan a los criterios del ingeniero.

Si nos situamos en una perspectiva temporal, podemos ver como el tránsito de unos planteamientos a otros se produce

entre la década de los años setenta y la de los ochenta. Es bien conocido que estas dos décadas han supuesto el tránsito de las sociedades fordistas a las post-fordistas, tránsito que en el orden cultural ha supuesto la crisis del movimiento moderno y las vanguardias y la emergencia de las actitudes, modos y teorizaciones posmodernas.

El pensamiento posmoderno capta una sensibilidad que recorre la reflexión de todo nuestro siglo y que se traduce en un rechazo a los padres del pensamiento moderno como son Descartes, Locke, Kant, etc. y también a las grandes palabras que movilizaron a los hombres de la modernidad (verdad, libertad, justicia, racionalidad).

El posmodernismo aparece como la revelación de una crisis profunda y como un refugio que preserva una reflexión sobre nuevas orientaciones. Es, esencialmente, negación del periodo precedente sin ser afirmación de un nuevo espacio, en cuanto que ha centrado su actuación en aspectos de-constructivos y no ha sido capaz de rehacer el proyecto históricos a través de planteamientos re-constructivos.

En la década de los años setenta proliferan actitudes que reivindicán ámbitos propios de actuación para cada una de las manifestaciones artísticas. Para Marchán (1987), lo que puede considerarse una recuperación disciplinar, se inicia en la arquitectura y se extrapola a las restantes artes. El declive de las vanguardias artísticas conduce a reflexionar sobre lo «posmoderno», que trasluce un sentir más profundo y menos gratuito sobre ciertas versiones de la modernidad e impulsa una revisión del pensamiento estético a la búsqueda de una nueva identidad.

Posiblemente tengamos que situar en este contexto las manifestaciones escultóricas a que nos referíamos anteriormente, aquellas que, realizadas durante los años setenta y ochenta, cabalgan entre la escultura de Galería y las intervenciones en el territorio.

Nos acercamos a una expresión de la escultura que, no es la que se expone en la Galería. Por el contrario, se desarrolla en el espacio público, participa de la construcción y reconstrucción del territorio, también de la planificación urbana, y tiene un claro componente de utilidad pública. La clarificación del concepto en el que podríamos incluir esta modalidad de escultura la encontramos en la obra de otro escultor: Siah Armajani, quien se considera un artista para espacios públicos.

Lo que diferencia la obra de Armajani de otras es, según Jean-Christophe Ammann, «la idea de colocar a una obra en un

I. Citado en Siah Armajani (1995)
Espacios de lectura, p. 56

contexto solapado que le confiere un significado estético, social, comunicativo y funcional»¹.

La obra de Armajani, que abarca desde puentes que van más allá de la maqueta y que se materializan en una construcción real, como es el puente de Minneapolis, en Minnesota (EE.UU.) y sus proyectos de puentes que Armajani soluciona a nivel de maquetas. Sus obras en el espacio público, implican la construcción y reconstrucción del mismo. Además, por la magnitud de las mismas (en el caso de los puentes construidos), plantean nuevas cuestiones vinculadas al problema de «competencias profesionales», «la firma», «la responsabilidad civil», etc.

El manifiesto en el que Armajani fundamenta sus intervenciones, es clarificador de sus inquietudes y posicionamientos frente a su hacer artístico:

«... la escultura pública intenta desmitificar el arte. En la escultura pública, la autoexpresión y el mito del creador son menos importantes que el sentido cívico. La escultura pública no está basada en una filosofía que busca separarse de la cotidianidad de la vida. El artista ofrece su competencia en la escultura pública y es así, como creador, que encuentra su lugar en la sociedad. Es necesario que lo social y lo cultural apoyen a la práctica artística. La escultura pública representa la búsqueda de una historia cultural que requiere la unidad estructural del objeto y de su entorno social y espacial. Debe ser abierta, útil y común. La escultura pública abre una perspectiva que nos permite entender la construcción social del arte. La escultura pública tiene una cierta función social. Se ha desplazado desde la escultura a gran escala, exterior y específica al emplazamiento hacia la escultura de contenido social. En el transcurso de este proceso, ha anexionado un nuevo territorio para la escultura en el que se amplía el campo para la experiencia social. La escultura pública cree que la cultura debe poseer una identidad geográfica y que el concepto de región debe entenderse como un término de valor. Este es el caso en la política. ¿Por qué no en la cultura? La escultura pública es una producción en colaboración. Otras personas además del artista comparten la responsabilidad de la obra. Atribuir todo el mérito al artista es engañoso y erróneo. El arte en el arte público no es un arte refinado sino un arte misionero. No nos relacionamos con la escultura pública como un objeto situado entre cuatro paredes en un sentido espacial sino como un instrumento para la actividad. El emplazamiento en sí mismo tiene un valor pero debemos limitar al mínimo nuestra preocupación por el emplazamiento. La escultura pública no existe para realzar la arquitectura desde dentro o desde fuera, como tampoco existe la arquitectura para integrar a la escultura pública interior o exterior. Deben entablar una simple relación de vecindad. El entorno público es una noción de referencia al campo en que se desarrolla la

actividad. El entorno público es una implicación necesaria de encontrarse en la comunidad. La escultura pública depende de una cierta interacción con el público basada en algunos postulados compartidos. Al poner de relieve la utilidad la escultura pública se convierte en un instrumento de actividad. Así, rechazamos la metafísica kantiana y la idea de que el arte carece de utilidad. La escultura pública rechaza la idea de la universalidad del arte»².

2. Armajani (1995), pp. 35-37.

Estos son algunos de los 26 puntos en los que Armajani estructura su manifiesto, y que nos sirven de base para calificar de «pública» a esta modalidad de la escultura, y a la vez nos cuestiona el qué es exactamente la escultura.

En el momento actual, cuando todavía la escultura se está recuperando de la crisis sufrida a raíz del Movimiento Moderno, cuando las intervenciones escultóricas en las ciudades se alejaron de lo que anteriormente había significado una prolongación de la actividad museística, es decir, la escultura como monumento.

Sobre este conflicto, comenta Maderuelo: «Desde mediados de los años setenta se ha gestado la idea, cada vez más sólida, de generar una nueva categoría, la de 'arte público', de reconocer un tipo específico de arte cuyo destino es el conjunto de los ciudadanos no especialistas en arte contemporáneo y cuya ubicación es el espacio público abierto. Esta nueva categoría no es un estilo y se desarrolla independientemente de las formas, de los materiales y de las escalas»³.

3. Maderuelo (1990), p. 164.

La palabra monumento indica un objeto concebido de forma que tenga la máxima eficacia simbólica tanto para comunicar a la contemporaneidad como para transmitir a la posteridad el recuerdo o la imagen de una divinidad, de un personaje o de hechos dignos de ser conocidos. Los «Monumenta» eran, o bien conmemorativos, o bien sepulcrales.

Si recordamos la etimología, monumentum es un sustantivo latino que significa recuerdo, o bien, testimonio solemne. Este sustantivo viene del verbo monere, que tiene dos acepciones: la primera recordar, hacer pensar, la segunda advertir, llamar la atención.

Desde las primeras épocas históricas, el monumento se desarrolla al mismo tiempo que la arquitectura y con frecuencia (dólmenes, pirámides, etc.) se confunde con la arquitectura funeraria.

En la antigüedad clásica se trata el tema del monumento de muy diversas maneras, desde el conjunto arquitectónico al grupo estatuario, al arco triunfal, a la columna, a la fuente y a la estela funeraria.

La concepción del monumento pasa en la Edad Media de la esfera del arte sacro y funerario a la civil, donde sólo se han conocido los monumentos intencionados con finalidades didácticas o narrativas. En el periodo renacentista y en el barroco el monumento suele ser símbolo de grandeza; asimismo, en la arquitectura renacentista y neoclásica el concepto de monumento se extiende a buena parte de la construcción civil (fábricas, puentes, etc.).

En el siglo XIX entra en vigor una concepción más positiva, levantándose monumento al progreso y a la productividad (las primeras máquinas, las grandes Exposiciones Universales, la Torre Eiffel, etc.); por otro lado, muchos acontecimientos se convierten en pretexto para levantar monumentos conmemorativos de todo género. Pero en el ámbito escultórico, a finales de siglo se aprecia un gradual desvanecimiento de la lógica del monumento y una apuesta por reconsiderar la tipología del mismo. Asistimos a una paulatina negación de los elementos del lenguaje propio del monumento conmemorativo: la peana, la inscripción, la estatuaria.

Negación que Maderuelo (1992) atribuye a dos factores: *«uno inherente a la propia escultura que, sintiéndose rechazada por la arquitectura moderna, que prescinde de sus servicios en aras del purismo arquitectónico y constructivo, vuelve los ojos hacia la pintura que durante la modernidad cosecha los mayores éxitos desde el Barroco. (...) El segundo problema es ajeno a la escultura. Se trata de la orientación que tomaron la arquitectura y el urbanismo del Movimiento Moderno, y del nuevo carácter que con ellos adquirió el espacio público»*⁴.

⁴ Maderuelo (1992), p. 130-131

En efecto, hay una serie de factores que, actuando desde una disciplina diferente, como es la arquitectura, van a condicionar la escultura en el espacio público; son: el desarrollo de un urbanismo en el que el suelo es calificado en zonas sobre las que se sitúan bloques de viviendas e infraestructuras; la abolición de la manzana cerrada; la renuncia a realizar una arquitectura estilística, con la implantación de un modelo único de construcción basado en la estructura de pilares y dinteles que produce una actuación de más de tres décadas centrada en el desarrollo de un estilo internacional y en los consiguientes efectos de despersonalización y desubicación respecto a los territorios concretos sobre los que se actúa.

Con el desvanecimiento de la lógica del monumento y a partir de Rodin la escultura caería en lo Rosalind Krauss denominaría como *«condición negativa»*. *«Yo diría que en (las Puertas del Infierno y en Balzac) -afirma Krauss refiriéndose a la obra de Rodin- cruzamos el umbral de la lógica del monumento y*

entramos en el espacio que podríamos denominar su condición negativa..., un espacio de falta de sitio o carencia de hogar, una pérdida absoluta de lugar, lo cual es tanto como decir que entramos en el modernismo, puesto que es el periodo modernista de producción escultórica el que opera en relación con esta pérdida de lugar, produciendo el monumento como abstracción, el monumento como puro señalizador o base, funcionalmente desplazado y en gran manera autorreferencial».

«Son estas dos características de la escultura moderna las que declaran su condición y, en consecuencia, su significado y función, como esencialmente nómada. A través de su fetichización de la base, la escultura se dirige hacia abajo para absorber el pedestal en sí misma y lejos del lugar verdadero y a través de la representación de sus propios materiales o el proceso de su construcción, la escultura muestra su propia autonomía»⁵.

5. Krauss (1979), pp. 64-65

Autorreferencia, autonomía, ensimismamiento, términos todos que indican la conquista de una libertad negativa que, en cierta manera, es asimismo una liberación: libertad frente a los preceptos clásicos que le asignaban un lugar, una función y un símbolo precisos, pero también libertad frente a cualquier contenido posible o, lo que es lo mismo, conquista estética de lo indefinido.

En la actualidad, el espacio público que genera la arquitectura moderna, por su impersonalidad, no sólo no requiere de monumentos sino que los rechaza, ya no se construyen monumentos aislados si no encajan en un marco urbano previamente ordenado. Con la evolución de los medios de dominación, el carácter propagandístico de los conjuntos monumentales se va debilitando y se reinstaura paulatinamente el momento pendular de la no-especialización, del la necesidad de cooperación, del instinto de proyectar en relación a unos claros objetivos a cumplir que, a su vez, están perfectamente anclados en el contexto concreto de la realidad local y no en la utopía del espacio neutro de la globalidad estetizante.

Si contemplamos ahora el puente desde al ámbito de la ingeniería, el desarrollo histórico que hemos realizado nos muestra cómo los cambios estructurales se producen en paralelo a las innovaciones en el campo de los materiales.

Una constante se mantienen a lo largo de todo el recorrido, y es el debate en torno a si existe ornamentación en los puentes. Como se ha dicho ya en este trabajo, el puente es una estructura funcional cuya misión consiste en salvar un obstáculo para permitir la continuidad del camino. Si esta estructura permite o no algún grado de ornamentación va a depender del momen-

to histórico en el que el puente se desarrolle.

Desde los postulados del Funcionalismo moderno, «que arranca con el racionalismo del s. XVIII con Lodoli, Laugier, Milizia, Blondel, Durand y los ingenieros de *Ponts et Chaussées*, en la enseñanza de los ingenieros de Caminos quedó arraigada la idea de introdujera Durand valorando lo que llamaba «la decoración natural», es decir, una aplicación de los materiales en función de sus cualidades y finalidad. Sus criterios se basaban en la utilidad y el coste mínimo. Desde la Cátedra de Arquitectura de la Escuela Politécnica de París, Durand difundía sus ideas, que valoraban construcción y economía con un sentido radical de lo útil, germen del funcionalismo que resurgió en el siglo XX, tras el paréntesis romántico»⁶.

6. Fernández Ordóñez (1990), pp. 14-16

Desde nuestra investigación, y paralelamente a este discurso que se vive en las Escuelas de Caminos hasta la actualidad, encontramos en los puentes de todas las épocas, desde los arcos de sillería hasta la época contemporánea, algún grado de ornamentación, bien sea exterior a la estructura, es decir, aplicado en los elementos complementarios, como pueden ser barandillas, farolas, etc. y en este caso hay que considerar el momento histórico en el que el puente se construye, o bien sea un adorno, implícito en la estructura, con lo cual devendría de la propia configuración, como es el caso del ingeniero Santiago Calatrava, que hemos señalado en los capítulos precedentes.

Me parece importante considerar aquí la opinión de Fernández Ordóñez en cuanto a la posible relación entre el puente y el monumento. Su reflexión parte de la segunda acepción del sustantivo latino *monumentum* que él considera la más importante hoy día: llamar la atención; esto hace referencia a la imagen. «La imagen es manipulada no sólo por los políticos sino por los propios ingenieros ante los medios de comunicación, tratando a priori de presentar un puente como si -ex nihilo- fuera ya un monumento»⁷.

7. Fernández Ordóñez. *El puente, ¿monumento u obra funcional?* Conferencia pronunciada el 16 de noviembre de 1994, p. 1.

Por otra parte, es muy diferente lo que el tiempo convierte en monumento, como en el caso del Puente de Alcántara o del Puente de Brooklyn en Nueva York. Es el paso del tiempo quien les ha dado la categoría de monumento; ya que lo monumental no fue allí deliberado. «La presencia de lo monumental y de la belleza -continúa Fernández Ordóñez-, posee el carácter del enigma y ningún código ni fórmula conseguirá encerrar su verdad. Pretendiendo lo contrario, lo único que se introducirá es el engaño en su nombre. La belleza es una palabra alta y arriesgada que no debe utilizarse en vano. Nunca han cabido en este campo ni los dogmatismos ni los doctrinarios». Y sigue afirmando tajantemente: «No es posible, pues, racionalizar las percepciones o los sentimientos, ni objetivar lo subjetivo. La cualidad misteriosa de la belleza le permite atravesar todas las épocas y todos los espacios, y permanecer intacta»⁸.

8. Fernández Ordóñez. *El puente, ¿monumento u obra funcional?* Conferencia pronunciada el 16 de noviembre de 1994, p. 1.

Efectivamente, coincidimos con el autor en que la elevación del objeto a un estatus superior que lo sitúe en la esfera artística, no depende del deseo de quienes lo realizaron sino de lo que piensen las generaciones venideras.

Pero las afirmaciones de Fernández Ordóñez van más lejos: «*Si antes existía entre los ingenieros de puentes un menosprecio de la forma, es decir, la convicción de que la belleza de una obra de ingeniería depende sólo de la adecuación a su propósito, lo que dio lugar en muchos casos a la destrucción de lo estético, ahora el peligro puede venir del lado contrario, es decir, del menosprecio de la función, lo que conduce a exageraciones y derroches inaceptables*»⁹.

9. Fernández Ordóñez. *El puente, ¿monumento u obra funcional?* Conferencia pronunciada el 16 de noviembre de 1994, p. 3.

El autor está avisando sobre una tendencia actual que se dirige hacia una estética «pretenciosa», intentando transformar los puentes en espectáculo. Esta manera de configurar los puentes, se basa en una «exaltación retórica» del lenguaje constructivo, con total «ausencia de significado».

Las afirmaciones realizadas arriba abren la polémica del gasto social. Conviene aclarar que, los ingenieros de caminos en su cualidad de funcionarios de las Obras Públicas, tienen asumida, desde su profesión, el papel social, con todo lo que ello implica de responsabilidad, en cuanto a la austeridad que debe caracterizar sus intervenciones, en la medida en que éstas dependen del presupuesto público. «*De ahí que nada sea más peligroso que ese esteticismo pretencioso y difuso que intenta transformar los puentes en espectáculo y que tantas veces confunde a las Administraciones públicas, que hace homogéneos el rigor y la banalidad, exaltando una sustancia retórica y la ausencia de su significado. Lo que de artístico puede haber en un puente, -lo sepan o no sus constructores, lo intenten o no- nunca puede ser algo efímero y decorativo, sino un valor tan verdadero como los puramente técnicos, los cuantitativos y objetivos que, -junto con ellos- permiten que el puente exprese con toda su belleza la conexión entre vida y forma*»¹⁰.

10. Fernández Ordóñez. *El puente, ¿monumento u obra funcional?* Conferencia pronunciada el 16 de noviembre de 1994, pp. 3-4.

Las palabras expresadas por Fernández Ordóñez alertan sobre la amenaza del «todo vale» que se iniciara años atrás en el ámbito artístico y que en la ingeniería de puentes repercutió en los años ochenta con una proliferación de formas en los puentes que no se justifican por su función sino consecuencia de un alarde ornamental. En este sentido, la autora sólo puede transcribir el documento de las personas autorizadas en la materia.

El desarrollo de este trabajo ha supuesto, en el momento de su conclusión, el hallazgo de direcciones inexploradas que pueden ser abordadas en próximos trabajos de investigación.

Quisiera destacar alguno de los puntos que considero más

importantes en esta apertura del trabajo hacia el futuro.

1. Desde mi modesto punto de vista, considero ineludible profundizar en el paralelismo de las series históricas procedentes de campos disciplinares diversos como ha sido el caso de la actual: el puente en el paisaje del arte, y la escultura «de puentes».

2. El modelo de análisis formal esbozado requiere de desarrollos sistemáticos y extensos, a poder ser y de modo prioritario, mediante el establecimiento de programas de cooperación interdisciplinar que permitan una focalización de la problemática desde perspectivas diversas.

3. Este trabajo ha desembocado en el territorio de lo público. La investigación y desarrollo de esta noción, vinculada al entorno que «crean» el puente y las esculturas, es otra de las ampliaciones que vuelven a requerir la cooperación interdisciplinar.

4. Como consecuencia directa de lo antes expresado, se abre la necesidad de abordar estudios empíricos de impacto, analizando la valoración y posicionamiento del público frente al interés estético de un puente

5. Por último una nueva posibilidad que se abre al entorno educativo en el que estoy ubicada. Es necesario abordar la comparación del proceso creativo que sigue el ingeniero en el diseño de un puente, con el proceso creativo del escultor ante su obra. Durante muchos años el artista ha negado valor creativo a la metodología proyectual del ingeniero. También durante muchos años el ingeniero ha olvidado las implicaciones estéticas y creativas necesarias en el desarrollo del proyecto. Es posible que una revisión de los planteamientos docentes vinculados a ambas disciplinas nos descubra la necesidad de abordar seriamente el dispositivo proyectual en el contexto de la enseñanza de la escultura, al mismo tiempo que la necesidad de abordar el dispositivo estético en la enseñanza proyectual del ingeniero.

A

AMARRES:

Anclajes.

ANTIFUNICULAR:

En cualquier estructura, se llama antifunicular a la disposición geométrica que contrarresta las acciones de peso.

ANCLAJE:

En una construcción de hormigón pretensado, dispositivo que permite mantener un cable en tensión transmitiendo su fuerza de pretensado al hormigón.

APARATO DE APOYO:

Dispositivo que transmite a las pilas las acciones debidas al peso del tablero y su a sobrecarga.

APEO:

Dispositivo provisional destinado a soportar una estructura mientras no sea estable o autoportante.

APOYO:

Parte del puente que transmite a la cimentación las acciones debidas al tablero: pila o estribo.

ARCADAS:

El uso común del término arcada se refiere a la repetición de arcos con función estructural o decorativa en una composición arquitectónica.

ARCO:

Construcción en forma curvada que cubre un espacio entre dos muros o entre dos pilares. El arco se puede construir con piedras, ladrillos, y recientemente también con hormigón armado. 2.Elemento portante que, con fibra media curva, transmite empuje horizontal a los apoyos.

ARCO ADINTELADO:

Arco de directriz rectilínea horizontal, que, pese a su forma adintelada, trabaja como verdadero arco empujando sobre sus estribos.

ARCO BIARTICULADO

Arco hiperestático de dos articulaciones fijas, o con una de ellas móvil, enlazada a la fija mediante un tirante.

ARCO CARPANTEL:

El formado por varios arcos de mocheta. Según su número, se denominan de tres, cinco, siete centros, siempre en número impar, dada la horizontalidad de su tangente en clave.

ARCO ATIRANTADO:

Arco bi o triarticulado, con un apoyo móvil vinculado al fijo por un tirante.

ARCO ESCARZANO:

Arco circular rebajado, cuyo intradós tiene su centro en el vértice del triángulo equilátero que tiene por base la línea de arranque.

ARCO ARMADURA:

Conjunto de barras de acero embebidas en el hormigón, que se encargan de resistir los momentos flectores de la carga del tablero, la cual el hormigón en masa no es capaz de resistir. Al conjunto del hormigón y de la armadura se la llama hormigón armado.

ARCO DE MEDIO PUNTO:

Aquel cuyo intradós está definido por una semicircunferenci

ARCO OJIVAL:

Arco ojivo.

ARCO OJIVO:

El que une, en diagonal, dos ángulos de una bóveda por arista o en rincón de claustro.

ARCO OJIVO ÁRABE:

Arco apuntado de herradura.

ARCO PERALTADO:

Tradicionalmente, aquel cuya altura es mayor que la mitad de su luz. 2. Aquel cuya flecha es mayor que un quinto de su luz. 3. El de medio punto, cuyos arranques se hallan por encima de las impostas y en su misma vertical.

ARCO REBAJADO:

Tradicionalmente, aquel cuya altura es menor que la mitad de su luz. 2. Aquel cuya flecha es igual o menor que un quinto de su luz.

ARCO TRARTCULADO:

Arco que tiene articuladas tres de sus secciones, generalmente la clave y los dos arranques.

ARMADURA:

Estructura plana, corrientemente metálica o de madera, en que se apoyan las correas que soportan una cubierta. 2. En hormigón armado, conjunto de barras de acero que se colocan en el interior de la masa de hormigón, para ayudar a éste a resistir los esfuerzos a que está sometido.

ARMADURA DE PRETENSADO:

Armadura, generalmente de acero de alta resistencia, que se utiliza en la técnica del hormigón pretensado.

ARMADURA DE REPARTO:

Armadura secundaria que se dispone transversalmente a la principal, para distribuir sobre esta última el efecto local de las cargas.

ARMADURA TRANSVERSAL:

En una pieza de hormigón armado, armadura (conjunto de cercos, horquillas, estribos y barras levantadas) que se dispone para absorber los esfuerzos transversales.

ARRANQUE:

Extremo de una bóveda o arco.

ARQUIVOLTA:

Elemento moldurado que ornamenta el paramento exterior de un arco y sigue su forma..

ARTICULACIÓN:

Unión de dos piezas que permite el giro de una respecto a la otra, pero que no permite el desplazamiento relativo.

ATRANTAMIENTO AXIAL:

Cuando los anclajes de los tirantes van al eje del tablero, en la mediana.

AXIL:

Fuerza aplicada en la dirección del eje de la pieza. En los puentes, los elementos más solicitados a esfuerzo axil son las pilas.

B

BARANDILLA:

Defensa a modo de antepecho que se coloca en los bordes de los puentes u otros sitios altos o peligrosos para evitar caerse.

BÓVEDA:

Elemento estructural de fábrica u hormigón, en forma de techo curvado, el equilibrio del cual se consigue por la transición de empujes inclinados a las paredes laterales. Es la forma del intrados de la bóveda la que define y da nombre a los diferentes tipos, bóveda esférica o cúpula, bóveda de cañón, bóveda vahída, etc..

C

CAJÓN DE AIRE COMPRIMIDO:

Cajón de hormigón, acero u otro material, con techo y sin fondo, formando en su parte inferior una ampana, que inyectada de aire a presión, permite a los obreros trabajar, en seco, en su interior, excavando las tierras y extrayéndolas a través de una esclusa, con lo que se incha el cajón y es posible cimentar.

CABEZA:

Zonas extremas de una viga en T, en doble T o en cajón. También se denominan alas o cordones en construcción metálica y tablas en hormigón.

CABEZA DE COMPRESIÓN:

Pieza horizontal que enlaza a otras piezas verticales entre sí, transmitiéndoles cargas verticales. En una sección de puente, en centro luz corresponde al forjado superior, y en apoyos corresponde al forjado inferior.

CAJÓN:

Viga de sección tubular. Dispositivo de cimentación masivo y celular que resulta más eficaz.

CAMISA:

Envoltura metálica que sirve para la ejecución de ciertos pilotes excavados, pudiéndose dejar perdida en el terreno.

CANTILEVER:

Se llama así a una viga continua hecha isostática por medio de articulaciones. Generalmente, un puente cantilever se compone de ménsulas en prolongación de un tramo, o bien empotradas en una pila, y de tramos simples apoyados sobre ellas.

CANTO DEL TABLERO:

Altura de la sección que configura el tablero del puente. El tablero de un puente tiene canto variable cuando tiene más altura sobre apoyos que en centro luz.

CAPA:

Revestimiento de poco espesor, de mortero o de hormigón, que asegura la estanqueidad.

CARTABÓN:

Recrecido triangular en el enlace entre dos piezas perpendiculares. Tornapuntas. Jabalcón.

CAUCE:

Lecho de río o arrollo.

CELOSÍA:

Conjunto de barras que constituyen una estructura de triangulación múltiple, capaz de resistir importantes luces.

CERCHA:

Disposición triangular de un conjunto de vigas de madera o de acero, convenientemente enlazadas, que sirve, con su repetición, para cubrir una nave a dos aguas. ARMADURA A CUCHILLO

CIERRE EN CLAVE:

Acción que consiste en solidarizar dos partes de obra construidas independientemente.

CIMBRA:

Armazón provisional que permite soportar estructuras de hormigón (con intradós curvo o recto) hasta que se alcanza una resistencia suficiente.

CIMENTACIÓN:

Parte de la obra que pone en contacto los apoyos con el terreno, de manera que los esfuerzos que bajan por estos apoyos se trasladen al terreno de la forma más adecuada a la resistencia y a la rigidez de ambos sistemas.

CIMBRA EN ABANICO:

Cimbra en la que los puntales forman grupos radiales partiendo cada uno de ellos de un punto de apoyo común.

CIMBRA RECOJIDA:

Cimbra cuyos únicos apoyos eestán adosados o muy próximos a los elementos sustentables de arcos o bóvedas, permitiendo el paso libre bajo ella durante la construcción.

CIMBRAR:

Colocar las cimbras de una obra. 2. Arquear un element flexible.

CLAVE:

Dovela central con que se cierra un arco o una bóveda.

CONECTADOR:

Elemento metálico que asegura el enlace entre una pieza de acero y una losa de hormigón en una estructura mixta.

CONSTRUCCIÓN EN VOLADIZO:

Sistema de construcción por trozos sucesivos formando ménsulas de longitud creciente.

CONTRAFUERTE:

Machón perpendicular a un muro, que sirve para reforzarlo ante los empujes horizontales que recibe de la bóveda que sostiene.

CORDÓN:

Elemento de pretensado compuesto por hilos enrollados helicoidalmente.

CORONACIÓN:

Extremo superior de un muro o, en general, de una obra.

D**DESAGÜE (LINEAL O SUPERFICIAL):**

Canal o superficie de desagüe dispuesta bajo un puente.

DIAFRAGMA:

En un tablero nervado o celular, elementos rígidos transversales destinados a transmitir cargas a las vigas longitudinales, distribuyéndolas y limitando sus deformaciones de flexión y torsión.

DINTEL:

Cualquier pieza de madera, acero, u hormigón armado, colocada en sentido horizontal y apoyada en sus extremos sobre pilares o muros.

DOVELA:

Cada una de las piezas trapezoidales de piedra que forman un arco. Siempre trabajan a compresión. También se llaman dovelas las piezas que se tesan en una obra de hormigón pretensado.

E**EMPARRILLADO:**

Tablero de puente diáfano compuesto por vigas cruzadas sin piso superior. Recibe también el nombre de puente-pérgola.

EMPOTRAMIENTO:

Sustentación de un extremo de una pieza de manera que dicho extremo no

igualmente cuando cuarta no sólo el giro, sino también los corrimientos.

EMPOTRAMIENTO ELÁSTICO:

Sustentación de un extremo de una pieza, de manera que el giro de dicho esté coaccionado elásticamente por el elemento sustentante, es decir, con reacciones proporcionales a los movimientos respectivos.

EMPOTRAMIENTO IMPERFECTO:

Empotramiento que no logra impedir totalmente el giro, y, normalmente, no permite un conocimiento preciso del que puede producirse.

EMPOTRAMIENTO RÍGIDO:

Empotramiento que impide totalmente el giro del extremo de la pieza empotrada; y, en general, que impide todo movimiento.

EMPOTRAR:

Constituir un empotramiento. 2. Meter una cosa en la pared o en el suelo, asegurándola debidamente con fábrica o similar.

EMPUJE:

Componente horizontal de una resultante.

ENCACHADO:

Revestimiento de hormigón con que se fortalece el cauce de una corriente que pasa bajo un puente, alcantarilla, etc..

ENCEPADO:

Pieza maciza de hormigón armado que transmite las cargas que recibe de los pilares a los pilotes de cimentación.

ENCOFRADO:

Molde de madera o de metal, destinado a contener el hormigón hasta su endurecimiento o fraguado.

ENTABLADO:

Piso de madera de los puentes y pasarelas antiguas.

ESBELTEZ:

Parámetro estético que define la relación entre la flecha y la luz. Por ejemplo, cuando se dice que la esbeltez es de 1/10:

$$f=10 \text{ m.} \quad \frac{1}{10} = \text{esbeltez}$$

$$l=100 \text{ m.} \quad 10$$

ESCOLLERA:

Obra realizada a base de depositar grandes bloques de piedra en el fondo del mar, o de un río, bien para formar un dique, bien para servir de cimentación a un muelle.

ESTANQUEIDAD (DISPOSITIVO DE):

Sistema de protección contra el agua de una obra.

ESTRIBO:

Apoyo extremo de un tablero, bóveda o arco.

ESTRUCTURA:

Elemento o conjunto de ellos que forman la parte resistente y sustentante de una construcción.

ESTRUCTURA ATORNILLADA:

Estructura metálica cuyos enlaces se hacen mediante tornillos.

ESTRUCTURA COLGADA:

La que confía su sustentación a cables o tirantes, de los que cuelga, puestos en servicio sis tesado previo.

ESTRUCTURA EN ABANICO:

En Geología, disposición complicada de pliegues en que los planos axilares convergen en forma de varillas de abanico; es la disposición normal de los pliegues en un anticlinal.

gues en un anticlinal.

ESTRUCTURA PLEGADA:

La formada por la unión de varios elementos resistentes planos, de diferentes inclinaciones y pequeño espesor, que forman un conjunto estructural en el que los esfuerzos principales, en cada elemento, actúan en su plano medio.

ESTRUCTURA ROBLONADA:

Estructura metálica cuyos enlaces se hacen por soldadura.

ESTRUCTURA SOLDADA:

Estructura metálica cuyos enlaces se hacen por soldadura.

ESTRUCTURAL:

Perteneciente o relativo a la estructura.

EXTRADÓS:

Superficie convexa o exterior de una bóveda o de un arco.

F

FÁBRICA:

Construcción realizada con piedra o con ladrillo. Por extensión, obra hecha con elementos que se vayan repitiendo.

FLECHA:

Distancia entre la clave de una bóveda o arco y la línea que une los ejes de arranques. Descenso de una viga bajo el efecto de las cargas.

FLEXOCOMPRESIÓN:

Referido a un material, se trata de la repercusión que tiene sobre el mismo las cargas que soporta.

FORJADO:

Superficie horizontal apoyada en todo su contorno. Si recibe directamente las cargas del tráfico, se trata del forjado superior. Cuando no recibe directamente las cargas del tráfico, se habla de forjado inferior.

FRISO:

Parte del entablamento colocada entre el arquitrabe y la cornisa.

G

GALERÍA:

Paso establecido en el interior de algunas obras para permitir su visita o para colocar instalaciones.

GÁLIBO:

Columna con buenas proporciones. Grado de esbeltez.

GÁRGOLA:

Caño de desagüe que sobresale respecto a la fachada, y adornado generalmente con una figura quimérica.

GATO:

Aparato que permite ejercer esfuerzos importantes de compresión o de tracción. En el primer caso es un mecanismo utilizado en el procedimiento constructivo de algunos puentes mediante empuje de dintel. En el segundo caso, un gato de tracción, es un aparato para tesar los cables del hormigón pretensado.

GOTERÓN:

Ranura longitudinal practicada en la superficie inferior de la imposta, destinada a provocar la caída de las gotas de agua que, de este modo, no llegan a discurrir sobre los paramentos.

H

HORMIGÓN ARMADO:

Unión del hormigón en masa con armaduras pasivas de acero.

HORMIGÓN PRETENSADO:

Unión de hormigón y armaduras activas, en el cuál el hormigón nunca sufre tracciones.

I

IMPOSTA:

Hilada de sillares, algo voladiza, a veces con moldura, sobre la cual va sentado un arco. 2. Salediza que corona un pilar sobre el cual reposa la primera dovela de un arco.

J

JÁCENA:

Viga maestra. Viga que sostiene a otras vigas, elementos, o grandes cargas.

JUNTA:

Corte o separación que se establece entre dos partes contiguas de una construcción. 2. En una obra de fábrica, cada una de las líneas que el mortero acusa en su paramento, que se denomina llagas si son verticales y tendeles si son horizon-

tales. 3. Material, en general plástico, interpuesto entre dos piezas para cerrar el espacio libre que queda entre ellas 4. Empalme, unión.

JUNTA A TOPE:

La que se realiza colocando las dos piezas en contacto, una a continuación de otra, sin que se medie separación entre ellas o la una monte sobre la otra.

JUNTA AISLANTE:

La que aísla contra un determinado efecto, térmico, sonoro, eléctrico, etc.

JUNTA ARTICULADA:

Unión enter las piezas de una estructura en la que los momentos no son transmitidos de una pieza a otra, por permitir el giri relativo de aquéllas.

JUNTA DE CONTRACCIÓN:

La destinada a permitir la libre contracción del material.

JUNTA DE DILATACIÓN:

La destinada a permitir la libre dilatación del material.

L

LANZAMIENTO:

Procedimiento de puesta en obra de un elementp prefabricado, generalmente vigas en el caso de puentes, consistente en correrlo logitudinalmente sobre carretones o bicicletas y hacerlo avanzar en voladizo hasta que alcanza el apoyo

LARGUERO:

Viga longitudinal del tablero de un puente.

LUZ:

Distancia entre dos aparatos de apoyo sucesivos, o entre los centros de gravedad de las dos secciones de empotramiento de un vano.

M

MAMPOSTERÍA:

Obra hecha con mampuestos que se colocan y ajustan unos con los otros sin sujeción a determinado orden de hiladas o tamaños.

MAMPOSTERÍA CAREADA:

Aquella cuyos mampuestos se labran por una sola cara, que define su frente o paramento.

MAMPOSTERÍA CONCERTADA:

La careada cuyos mampuestos tienen todas sus caras labradas en forma poligonal, más o menos regular, para que el asiento se verifique sobre superficies sensiblemente planas.

MAMPOSTERÍA EN SECO:

La que se hace colocando los mampuestos a hueso, sin mortero ni argamasa.

N

NEOPRENO:

Elastómero sintético semejante al caucho o a la goma elástica natural. Por su gran elasticidad y su inmensa resistencia al envejecimiento, al calor y a los

agentes químicos, es de gran utilización en la construcción, sobre todo en las difíciles uniones entre el tablero y la pilas.

P

PANDEAR:

Doblarse una pieza por efecto de la compresión longitudinal que soporta.

PANDEO:

Fenómeno de inestabilidad que se presenta en piezas comprimidas, producido al alcanzar la carga un cierto valor crítico. El término **luz de pandeo** se aplica en puentes a las pilas. Se trata de la altura de las pilas multiplicada por un cierto factor que considera la posibilidad de movimientos en coronación y en cimentación. 2. Acción y efecto de pandear o pandearse. Carga crítica de pandeo. Longitud de pandeo. Tensión crítica de pandeo.

PÉNDOLAS:

Varillas verticales que sostienen el tablero en un puente colgante.

PILAR:

Elemento constructivo vertical de apoyo, está aislado y suele ser macizo.

PILA/S:

En un puente, elementos de apoyo que reciben las cargas verticales que les transmite el tablero.

PILONOS:

Mástiles que retienen los cables en puentes colgantes o atirantados.

PILOTE DE CIMENTACIÓN:

Elemento constructivo vertical es-

belto. Suele ser cilíndrico o prismático, de madera, acero u hormigón armado. Introducido o pre-formado dentro del terreno, en los casos en que el terreno superficial no es capaz de recibir las cargas, las transmite del encepado a tierras más profundas que sean más resistentes, o las disipa por fregamiento.

PÓRTICOS:

Elemento formado por dos pilares y una viga, empotrada a los pilares. El puente pórtico de un vano es en realidad un arco cuya directriz se aparta bastante del funicular de las cargas, sean permanentes o sobrecargas. Estructura con nudos rígidos.

PUENTE:

Fábrica de piedra, ladrillo, hormigón, madera, hierro u otro material que se construye y forma sobre los ríos, fosos y otros sitios, para poder pasarlos. 2. Cualquiera de los maderos que se colocan horizontalmente entre otros dos transversales, o entre un madero y la pared.

R

REBAJAMIENTO:

Disminución de la flecha del arco.

RETESAR:

Volver a tesar las armaduras postesas de un elemento pretensado, para corregir las pérdidas de tensión que se presentan, transcurrido un cierto tiempo, a consecuencia del acortamiento elástico del hormigón, fluencia del acero, etc.

RIGIDIZADORES:

En puentes mixtos, elementos que dan rigidez a las chapas que conforman el cuerpo de un tablero.

RIOSTRA:

Viga o pieza de hormigón dispuesta de tal manera que sólo tiene la función de evitar el movimiento relativo horizontal de dos elementos constructivos.

ROBLÓN:

Clavo de hierro dulce o de otro metal maleable, con forma cilíndrica y con una gran cabeza, al cual, una vez metido dentro de su correspondiente agujero, se le conforma una segunda y opuesta cabeza comprimiendo el conjunto. Se usaba a principios de siglo para unir piezas de hierro. Su inconveniente es la irreversibilidad de la unión. REMACHE.

S

SILLERÍA:

Obra de fábrica construida con piedras talladas según dimensiones dadas, para que den buenas juntas en la unión de sus superficies de contacto. 2. Paramento de piedras rectangulares o de losas de poco espesor, dispuestas en hileras con juntas muy pequeñas, empleado para revestir paredes de ladrillo o mampostería.

SILLERÍA ALMOHADILLADA:

La constituida por almohadillas.

SILLERÍA APAREJADA:

La que presenta sus llagas alternadas según una cierta ley, definida por el tipo de aparejo.

SILLERÍA APLANTILLADA:

Aquella cuyo despiezo presenta elementos de caras curvas, molduras, baquetones, etc., y cuyos sillares, por tanto, no tienen forma prismática recta.

SILLERÍA AVERRUGADA:

La almohadilla cuyas caras salientes se han tratado con labra tosca, contrastando con los chaflanes lisos de los bordes.

SILLERÍA RECTA:

Aquella cuyo despiece puede hacerse en prisma recto.

SOLDADURA:

Unión sólida entre dos piezas metálicas fundiendo el material de las superficies que se ponen en contacto, generalmente por calor. La unión es irreversible.

T

TORNILLO:

Elemento de fijación que consiste en un perno provisto de un resalte continuo en su superficie en forma de hélice, que encaja en un cilindro con el mismo dibujo en su interior. Es reversible.

TÍMPANO:

En un puente de fábrica, espacio que queda entre el arco, el tablero y los apoyos. El tímpano puede ser macizo o aligerado.

U

VANO:

Parte de un tablero comprendida entre dos apoyos consecutivos.

VIGA:

Pieza o elemento sobre dos o más

apoyos, destinado a trabajar principalmente en flexión.

VIGA CAJÓN:

La que tiene sección transversal en cajón.

VIGA CANAL:

Viga con sección transversal en forma de canal o de U.

VIGA CARRIL:

Viga que constituye al mismo tiempo en carril de una vía o que corre directamente por bajo de él y lo soporta.

VIGA CONTINUA:

Viga apoyada en varios puntos sin solución de continuidad.

VIGA DE AIRE:

La apoyada únicamente en sus extremos.

VIGA DE ALA ANCHA:

Viga en simple o doble T cuyas alas tienen gran desarrollo. 2. Perfil de ala ancha.

VIGA DE BORDE:

Viga lateral de un emparrillado o conjunto de vigas solidarizadas transversalmente, y que, por su posición extrema, suele recibir los mayores esfuerzos.

VIGA DE CINTURA:

Elemento de atado -generalmente metálico o de hormigón armado- destinado a rigidizar un edificio. Para ello, se dispone abarcando todo su perímetro de una manera uniforme.

VIGA DE CONTRAVIENTO:

Viga con su mayor rigidez en un plano horizontal, destinada a transmitir a los apoyos el empuje horizontal del viento.

VIGA DE GRAN CANTO:

La que tiene un canto superior al tercio de la luz.

VIGA DE REPARTO:

Cada una de las que constituyen un conjunto destinado a repartir una carga concentrada sobre otras vigas.

VIGA DE RIGIDEZ:

Viga que contribuye, principalmente, a la reducción de las flechas de un cierto elemento, o conjunto de ellos, sea para conseguir un mejor reparto de cargas sobre otro u otros elementos resistentes.

VIGA EN CELOSÍA:

Viga triangulada; especialmente las de triangulación múltiple o densa, formando una celosía de barras en dos direcciones.

VIGA EN K:

Viga triangulada, formada por montantes y diagonales que enlazan los extremos de los montantes impares con el centro de los montantes pares, contando a partir del centro del tramo.

VIGA EN U INVERTIDA:

La que tiene su sección transversal en forma de esa letra invertida, de manera que el travesaño horizontal actúa de cabeza de compresión.

VIGA EN VIENTER DE PEZ:

Aquella cuya cabeza inferior es en curva o en panza, dando lugar a un mayor canto de viga en el centro que en los extremos.

VIGA GEMELA:

Cada una de las dos vigas iguales y paralelas que constituyen un conjunto estructural.

VIGA GERBER:

Viga sobre varios apoyos, compuesta de distintos tramos unidos por articulaciones, que lo hacen estéticamente determinados.

VIGA HOWE:

Viga triangulada, con montantes y diagonales, y en la que, contrariamente a lo que ocurre en la Viga Pratt, las diagonales se disponen con sus puntos más bajos en el extremo más próximo al apoyo. Las diagonales trabajan así en compresión y los montantes en tracción.

VIGA INTERMEDIA:

Viga transversal.

VIGA LATERAL:

Viga de borde.

VIGA MAESTRA:

Viga principal.

VIGA MIXTA:

La formada por elementos de materiales diferentes; como, por ejemplo, perfiles metálicos en las barras de tracción y elementos de hormigón armado en la cabeza de compresión.

VIGA NIELSEN:

Arco atirantado con tablero inferior, en el cual las péndolas, en vez de ser verticales, forman triangulación.

VIGA POLONCEAU:

Cercha Polonceau.

VIGA PRATT:

Viga triangulada, con montantes verticales y diagonales inclinados como las barras levantadas de una viga de hormigón armado, con el punto más bajo situado en el extremo más próximo al centro de la pieza. Bajo cargas verticales, los montantes trabajan en compresión y las diagonales en tracción.

VIGA PRINCIPAL:

Viga sobre la que apoyan las otras y soporta el conjunto.

VIGA SECUNDARIA:

Viga apoyada en la principal.

VIGA SEMI-PARABÓLICA:

Aquella en que los extremos de la cabeza parabólica quiedan a una cierta altura o distancia de los de la otra cabeza.

VIGA TRANSVERSAL:

Viga que cruza transversalmente el sistema principal de sustentación.

VIGA TRIANGULADA:

Viga formada por dos cabezas y unas diagonales, o diagonales y montantes, formando triangulación.

VIGA VIERENDEL:

Viga formada por dos cabezas y montantes entre ellas, sin diagonales que la triangulen.

VIGA WARREN:

Viga triangulada, con alma formada únicamente por diagonales alternativamente inclinadas en una y otra dirección, simétrica respecto a la vertical, formando triángulos isósceles iguales.

Z

ZAPATA:

Cimiento que recibe las cargas del pilar, y que gracias al ensanche de su superficie en planta, reduce la presión sobre el terreno, adecuándose a su resistencia.

ZUNCHO:

Riostra.

Bibliografía:

Diccionari Manual de la Construcció. (1986). ITEC

FULLANA, M. (1974). *Diccionari de l'art i dels oficis de la construcció*. Palma de Mallorca: Editorial Moll.

GARCIA MESEGUER, A. (1962). *Léxico de la construcción*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

ZORITA, J. (1974). *Diccionario de la construcción*. Barcelona: Ediciones CEAC, S.A.

Dado que esta Tesis se presenta en la Facultad de Bellas Artes, y la terminología técnica referida a los puentes puede resultar, si no desconocida, como mínimo poco habitual, este apartado lo considero necesario. Se han consultado diferentes manuales y finalmente la clasificación se articula como sigue:

Definiciones

Acueducto

Es una obra de forma cilíndrica que permite el paso de un riachuelo o de una vía de circulación de poca importancia a través de un terraplén.

Pasarela

Es una obra reservada a los peatones.

Puente

Es una obra que permite franquear un obstáculo natural o una vía de circulación terrestre, fluvial o marítima.

Viaducto

Es una obra que cruza a gran altura una brecha, o que se compone de gran número de vanos sucesivos. La distinción entre puente y viaducto no es muy precisa y, en muchos casos, se utilizan ambos términos para la misma obra.

Todos los puentes comprenden esencialmente **elementos portantes** y **apoyos**. Los primeros transmiten a los segundos los esfuerzos provenientes de las diferentes cargas que se ven obligados a soportar, mientras que los apoyos envían tales esfuerzos al suelo a través de las **cimentaciones**.

Se distinguen los elementos portantes principales (vigas principales, arcos, etc.) y los demás elementos (diafragmas, nervios transversales, nervios longitudinales secundarios, etc.), que sirven para repartir las cargas entre aquellos. El conjunto de los elementos portantes recibe el nombre de **esqueleto resistente**.

El **tablero** es la parte, sensiblemente horizontal del puente que, situada bajo la calzada, comprende los elementos portantes en el caso de un puente de vigas, o que está soportada por ellos en el caso de los puentes de arco o de los colgantes.

Tablero

El **forjado superior** es la cubierta del tablero que incluye el conjunto de los elementos destinados a soportar las cargas engendradas por la circulación y transmitidas al esqueleto

Forjado

resistente. El forjado superior recibe directamente la sobrecarga vertical.

El tablero comporta también todos los **equipamientos** indispensables para la utilización, el funcionamiento y la durabilidad del puente.

Apoyos

Entre los apoyos, hay que distinguir los **estribos** que son los apoyos extremos y las **pilas** que son los intermedios. En los puentes en arco, los estribos soportan siempre acciones horizontales importantes, engendradas bien por el puente, bien por el terraplén que ejercía la función de muro de contención, bien por ambos.

Estribos

Los estribos de los puentes de vigas comportan, por encima de las cimentaciones, **muros extremos: muro frontal**, que soporta el tablero, y **muros en vuelta** (paralelos al eje del puente) o **muros-aletas** (perpendiculares a dicho eje o bien oblicuos) que contienen las tierras.

En la mayor parte de los puentes de tipologías actuales, los apoyos extremos son simples palizadas, enterradas en el terraplén en toda su altura o en la mayor parte. En estos casos reciben el nombre de **pilas-estribos**. También se llama **pilas-estribos** a las pilas, o sea, a los apoyos intermedios, que han de soportar una resultante muy inclinada, con fuerte componente horizontal.

Vano

La parte del puente comprendida entre dos apoyos, recibe el nombre de **vano**. La distancia entre dos puntos de apoyo consecutivos de los elementos portantes principales es la **luz** del vano. No hay que confundirla con la **luz libre**, que es la distancia entre los paramentos de los apoyos, ni con la longitud del puente o **luz total**.

Clasificación de los puentes

El arco, la viga y el colgado posibilitan las tres tipologías de puentes que se vinculan al funcionamiento mecánico, pero hay otros factores que intervienen en una clasificación de los puentes y que guardan relación con la propia utilidad del puente, con los materiales configuradores, con la movilidad o no del tablero, su disposición en planta y con respecto al nivel de la vía y también considerando su durabilidad.

Según la naturaleza de la vía soportada

Se distinguen, según su destino, los puentes de carretera y los de ferrocarril. Los puentes-canal soportan una vía de navegación interior, mientras que los puentes acueductos sirven para hacer pasar canalizaciones. Existen también puentes para aviones en los aeropuertos.

Según el material principal constitutivo

Se habla de puentes de madera, de fábrica, de fundición, de hierro, de acero, de hormigón armado, de hormigón pretensado, de tablero mixto, según la naturaleza del material constitutivo de los elementos portantes principales. Los puentes metálicos incluyen los de fundición, hierro y acero, y también algunos raros ejemplos de aleaciones de aluminio.

Según su funcionamiento mecánico

Los puentes se clasifican en tres grandes categorías, según la disposición de sus elementos portantes principales: **Puentes vigas, puentes arco y puentes colgantes.**

Los **puentes vigas** están constituidos bien por **tramos simples**, bien por **tramos solidarios**. Estos últimos pueden ser **continuos** o **cantilever**.

Las **vigas principales** (y los **nervios longitudinales secundarios**) son paralelos al eje del puente. En sentido transversal quedan enlazados por vigas transversales o diafragmas. Soportan el forjado superior cuyos elementos resistentes pueden constituir el ala superior de las vigas.

Las **vigas cajón** son vigas tubulares cuyas almas, verticales o inclinadas, están unidas por alas superiores, forjados o cabezas.

Caso particular es el de los arcos **bow-string**. Al estar equilibrado el empuje del arco por el tirante, las reacciones de apoyo son verticales, de modo que este tipo de obra algunos manuales lo clasifican entre los puentes de vigas.

Otro caso particular es el de los **puentes atirantados**, en los que los elementos portantes configuran el tablero sostenido por cables oblicuos rectilíneos.

Los **puentes losa** deben clasificarse en la misma categoría que los puentes vigas al ser sus reacciones de apoyo verticales, a pesar de que el funcionamiento de una losa sea diferente del de una viga o del de un conjunto de vigas.

Los **puentes arco**, de muy diversas formas, se caracterizan por el hecho de que sus reacciones de apoyo incluyen una componente horizontal llamada **empuje**. Hay arcos empotrados y arcos articulados con dos o tres articulaciones. Los **puentes bóveda** de sillería se incluyen entre los puentes arco.

El puente se llama de tablero superior cuando el tablero está por encima del arco; de tablero intermedio o inferior, cuando aquél se sitúa dentro de la altura del arco o por debajo de éste.

Ciertos arcos están equilibrados por ménsulas que les sirven de prolongación hasta los estribos.

Los **puentes pórtico** con pies verticales o inclinados funcionan como arcos compuestos por elementos sensiblemente rectilíneos. Los pórticos pueden ser abiertos o constituir un marco cerrado. En este último caso, la losa inferior forma un tirante que equilibra el empuje.

Cuando el tablero está empotrado en las pilas verticales, la obra es, en realidad, un pórtico o una sucesión de pórticos. Pero, si aquéllas son suficientemente flexibles (o lo que es igual: delgadas, esbeltas) para no introducir reacciones horizontales importantes, el funcionamiento del dintel apenas se ve afectado por ellas, y se acostumbra a clasificar este grupo de puentes entre los puentes de vigas.

Los **puentes colgantes**, cuyos elementos portantes principales son **cables** metálicos anclados en **macizos de anclaje**, que pasan por la cabeza de los pilonos y sostienen el tablero por medio de tirantes de suspensión, son, casi siempre, de tres vanos. Los tramos laterales que, generalmente, son tramos colgados, se plantean algunas veces como tramos independientes.

Según que el tablero sea fijo o móvil

La mayoría de los puentes son **fijos**. Pero existen puentes móviles empleados básicamente para cruzar un paso navegable cuando el camino soportado no puede elevarse suficientemente para permitir el paso de los barcos.

Los **puentes móviles** son de diferentes tipos y ofrecen muy diversas disposiciones:

En los **puentes levadizos** el tablero se equilibra por medio de contrapesos a los que se enlaza mediante cables que pasan

por la cabeza de dos pilonos situados en las orillas.

En los **puentes giratorios** el tablero pivota alrededor de un eje vertical.

En los **puentes basculantes**, el tablero, provisto de un contrapeso, bascula girando bien alrededor de un eje horizontal, bien rodando sobre una plataforma. Los puentes basculantes pueden ser de una sola hoja o de doble hoja con cerrojos de enclavamiento en el centro.

En algunos países existen todavía **puentes transbordadores**, en los que los vehículos se sitúan en una plataforma suspendida de un elemento portante para pasar de un lado a otro del corte. A esta categoría pertenece en España el puente transbordador de Santurce, sobre la desembocadura de la ría del Nervión en Bilbao.

Existen también **puentes flotantes** cuyo tablero está apoyado sobre barcas. Se trata, en general, de puentes provisionales, aunque hay alguno de tipo permanente (por ejemplo, el puente Galata sobre el Cuerno de Oro en Estambul).

Según su disposición en planta

Los puentes se clasifican en rectos, esviados o curvos, según su planta.

Se define convencionalmente al ángulo de esviaje como el valor en grados centesimales de ángulo formado por el eje longitudinal de la obra y las líneas de apoyo transversales. Así, un puente recto es un puente con 100 grados de esviaje.

Según su posición respecto a la vía considerada

Cuando se construye una nueva vía de comunicación, los puentes de tipo corriente que obliga a realizar se clasifican en **pasos superiores** y **pasos inferiores**, según estén situados por encima o por debajo de la misma.

Según el tiempo de vida previsto

Se distinguen los puentes **definitivos** y los **provisionales**. También se emplea el término **semidefinitivo**, sin que sea posible precisar a qué duraciones corresponden los calificativos. Abundan los puentes provisionales que siguen en funcionamiento durante mucho tiempo después del período de servicio que, inicialmente, se les había asignado. La vida probable de los puentes definitivos es muy variable, su durabilidad ahora es objeto de análisis en el proyecto y en la ejecución.

Bibliografía de puentes

- AA.VV. (1988). **Catálogo de puentes anteriores a 1936**. León. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Biblioteca CEHOPU.
- AA.VV. (1993). **Calatrava bridges**. Zurich: Artemis.
- AA.VV. (1995). Puente de Fontejau sobre el río Ter, en Gerona, con postesado exterior. **Hormigón y acero**, n° 195, 65-84.
- ABAD, T. y CHIAS, P. (1994). **Puentes de España**. Madrid: Fomento de Construcciones y Contratas, S.A.
- ALVARADO BLANCO, S. (1989). **Puentes históricos de Galicia**. Madrid: Col. Ing. Caminos.
- ALZOLA, P. (1979). **Historia de las Obras Públicas en España**. Madrid: Turner.
- ALZOLA, P. (1993). **La estética en la Obras Públicas**. Madrid: Fundación Esteyco. (1881).
- ARENAS DE PABLO, J.J. (1982). **El puente, pieza esencial del mundo humanizado**. Santander: Universidad de Santander.
- ARENAS DE PABLO, J.J. (1991). El sentido del diseño en Ingeniería. **O.P. Puentes I**, 19, 84-89. Barcelona: Revista del Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.
- ARENAS DE PABLO, J.J. (1995). El arte y la estética en el diseño de puentes: ¿puentes monumento u obra funcional? **Revista de Obras Públicas**, n° 3.344, 27-89. Madrid: Revista del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- ARREDONDO, F. y otros. (1977). **La obra de Eduardo Torroja**. Madrid: Instituto de España.
- BATLLE, M. (1988). El Mobiliario Territorial. **Obra Pública**, 7-8, 116-125. Barcelona: Revista del Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.
- BEYER, E. (1969). **Carreteras elevadas**. Barcelona: Blume.
- BILL, M. (1969). **Robert Maillart**. New York: Frederick A.

Praeger, Publishers.

BILLINGTON, D. (1963). **The tower and the bridge**. New York: Publishers.

BILLINGTON, D. (1979). **Robert Maillart's bridges. The art of engineering**. New Jersey: Princeton University Press.

BILLINGTON, D. (1991). Bridges and the New Art of Structural Engineering. **Bridge Aesthetics. Around the world**, 67-79. Washington, D.C.: Transportation Research Board National Research Council.

BURKE, M. P. (1989). Bridge Design and the «Bridge Aesthetics Bibliography». **Journal of Structural Engineering**, vol. 115, n° 4, 883-899. New York: American Society of Civil Engineers.

BURKE, M.P. (1990). Bridge Aesthetics -Rules, Formulas, and Principles- the Negative View. **Esthetics in Concrete Bridge Design**, 71-79. Detroit: American Concrete Institute.

BURON, M. y GÓMEZ, L. (1991). Valoración estética de los puentes. Aplicación a puentes prefabricados. **O.P. Puentes I**, 19, 92-97. Barcelona: Revista del Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.

BURON, M. y FERNÁNDEZ-ORDÓÑEZ, D. (1989). La prefabricación de elementos estructurales. Aspectos funcionales y estéticos. Realizaciones. **Cemento-hormigón**, n° 550, 3-16. Madrid, Septiembre 1989.

CATÁLOGO DE LA EXPOSICION CELEBRADA EN EL COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS (1979). **La modernidad en la obra de Eduardo Torroja**. Madrid: Turner.

COHEN, E. (1990). In the Eye of the Beholder. **Esthetics in Concrete Bridge Design**, 1-11. Detroit: American Concrete Institute.

COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS (1989). **Sevilla. Puentes del 92**. Madrid: Col. Ing. Caminos.

DEMARET, J. (1948). **Esthétique et construction des ouvrages d'art**. Paris: Dunod.

- DESIDERI, P. (1981). **Pier Luigi Nervi**. Barcelona: Gustavo Gili.
- DIESTE, E. (1988). Estética y diseño en ingeniería. **O.P. El diseño en ingeniería civil**, 7,8, 79-93. Barcelona: Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Cataluña.
- ELLIOTT, A. (1991). Creating a Beautiful Bridge. **Bridge Aesthetics. Around the world**, 215-229. Washington, D.C.: Transportation Research Board National Research Council.
- FERNÁNDEZ CASADO, C. (1970). **Historia del puente en España. Puentes romanos**. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- FERNÁNDEZ CASADO, C. (1971). Puentes y pasos elevados para carreteras y vías urbanas. Barcelona: Editores técnicos asociados.
- FERNÁNDEZ CASADO, C. (1972). **Acueductos Romanos en España**. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.
- FERNÁNDEZ CASADO, C. (1977). **Puentes I**. Madrid: Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.
- FERNÁNDEZ DE VILLALTA DEHESA, M. y otros (1977). **Puentes III**. Madrid: Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J. A. (1978). **Eugene Freyssinet**. Barcelona: 2ª Ediciones.
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J. A. (1988). Puentes en España. Estética, historia y naturaleza. **O.P. El diseño en ingeniería civil**, 7,8, 26-51. Barcelona: Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Cataluña.
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J. A. (1989). Acerca de los Ingenieros y la Naturaleza. **O.P. El impacto ambiental**, 11, 6-15. Barcelona: Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura y Baleares.
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J. A. (1989). **El Puente**. Madrid: Cuadernos de San Benito, 1. 1er. Seminario Internacional Puente de Alcántara.
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J. A. (1995). **Tres puentes, tres**

ciudades. Madrid: Instituto de Estética y Teoría de las Artes.

- FONT SOLÁ, X. (1991). El puente: forma, espacio y lugar. **O.P. Puentes, III, 21, 4-13.** Barcelona: Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura y Baleares.
- GLOYD, C.S. (1990). Some Thoughts on Bridge Esthetics. **Esthetics in Concrete Bridge Design, 109-117.** Detroit: American Concrete Institute.
- GOTTEMOELLER, Fr. (1991). Aesthetics and Engineers: Providing for Aesthetics Quality in Bridge Design. **Bridge Aesthetics. Around the world, 80-88.** Washington, D.C.: Transportation Research Board National Research Council.
- GRANT, A. (1990). Beauty and Bridges. **Esthetics in Concrete Bridge Design, 55-65.** Detroit: American Concrete Institute.
- GRATTESAT, G. (1981) **Concepción de puentes. Tratado general.** Barcelona: Editores técnicos asociados, S. A.
- KRUCKEMEYER, K.E. (1990). Bridge Design Process - Achieving the Goal of Aesthetic Quality. **Esthetics in Concrete Bridge Design, 13-27.** Detroit: American Concrete Institute.
- LACROIX, R. (1990). Fundamental Principles of Bridge Esthetics. **Esthetics in Concrete Bridge Design, 29-31.** Detroit: American Concrete Institute.
- LEMOINE, B. (1986). **Gustave Eiffel.** Barcelona: Editorial Stylos.
- LEMOINE, B. (1987). Les ponts catastrophes. **Ouvrages d'art, 150,151.** Paris.
- LEONHARDT, F. (1986). **Puentes. Estética y Diseño.** Lausanne: Presses polytechniques romandes.
- LEONHARDT, F. (1988). Sobre el significado de la estética en la construcción. **O.P. El diseño en ingeniería civil, 7,8, 94-97.** Barcelona: Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Cataluña.
- LIEBENBERG, A.C. (1990). The Controversy About Rules for the Aesthetics Design of Bridges. **Esthetics in Concrete Bridge Design, 47-53.** Detroit: American

Concrete Institute.

- MANTEROLA ARMISEN, J. y otros (1976). **Puentes II**. Madrid: Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.
- MANTEROLA, J. (1988). Carlos Fernández Casado. **Hormigón y Acero**, 167, 9-17. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento (C.S.I.C.).
- MANTEROLA, J. y TROYANO, L. F. (1988). Criterios de diseño en puentes. **O.P. El diseño en ingeniería civil**, 7,8, 52-59. Barcelona: Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Cataluña.
- MARREY, B. (1990). **Les ponts modernes 18^e-19^e siècles**. París: Picard éditeur.
- MENN, Chr. (1991). Aesthetics in Bridge Design. **Bridge Aesthetics. Around the world**, 177-188. Washington, D.C.: Transportation Research Board National Research Council.
- MOCK, E. B. (1949). **The architecture of bridges**. New York: Museum of Modern Art.
- MOLINA COBOS, A. (1987). **Descripción de seis puentes de Málaga**. Madrid: Turner.
- MOUTON, B. (1987). L'architecte, l'ingénieur et le patrimoine. **Ouvrages d'art**, 150,151. Paris.
- MULLER, J.M. (1991). Aesthetics and Concrete Segmental Bridges. **Bridge Aesthetics. Around the world**, 18-31. Washington, D.C.: Transportation Research Board National Research Council.
- MURRAY, J. (1991). Visual Aspects of Short -and Medium-Span Bridges. **Bridge Aesthetics. Around the world**, 155-166. Washington, D.C.: Transportation Research Board National Research Council.
- NAVARRO, J.R. (1991). La estética del puente: De Ribera a la «golosina visual». **O.P. Puentes III**, 21, 14-19. Barcelona: Revista del Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.
- REMESAR, A. (1996). **Bridges in the gateway city**. Conferencia "Designing in Public", Roma 1996.
- REVERDY, G. (1987). Les ponts suspendus. **Ouvrages d'art**,

150,151. Paris.

REVISTA DEL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (1987). **Guía de los puentes de España**, 345. Madrid: MOPU.

RIBERA, J. E. (1985). **Puentes metálicos en arco. Puentes de hormigón armado**. Madrid: Revista O. P.

RIBERA, J. E. (1934). **Puentes de Fábrica y Hormigón Armado**, vol. I y II. Madrid: Graf. Herrera.

RIBERA, J. E. (1936). **Puentes de Fábrica y Hormigón Armado**, vol. III y IV. Madrid: Graf. Barragan.

RIBERA, J. E. (1897). **Grandes Viaductos**. Madrid: Revista O. P.

RUKWIED, H. (1933). **Bruckenaesthetik**. Berlin: Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

RUI-WAMBA, J. (1995). Viaje estructural en el Transbordador. Retazos de una historia de la ingeniería del acero. **En torno a Leonardo Torres Quevedo y el transbordador del Niágara**, 11-45. Madrid: Fundación Esteyco.

ROIG, J. (1990). El puente como espacio público. **Arquitectura**, 285, 112-117. Madrid: Revista del Colegio Oficial de Arquitectos.

SANTARELLA, L. (1933). **Arte e tecnica nella evoluzione dei Ponti**. Milano: Ulrico Hoepli Editore.

SEJOURNE, P. (1913). **Grandes Voutes**. Tome 1-5. Paris: Vve. Tardy.

SEJOURNE, P. (1916). **Grandes Voutes. Appendice. Pratique**. Paris: Vve. Tardy.

SORIA Y PUIG, A. (1989). El territorio como artificio. **O.P. El impacto ambiental**, 11, 30-39. Barcelona: Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura y Baleares.

SOURIAU, E. y otros (1952). **Esthétique industrielle**. Paris: Presses Universitaires de France.

STEADMAN, Ph. (1982). **Arquitectura y naturaleza**. Madrid: Blume.

- STEINMAN, D. (1979). **Puentes y sus constructores**. Madrid: Turner.
- STEVENS, D. and KOPETZ, J. (1990). Integration of Function, Form, and Materials in Today's Bridges. **Esthetics in Concrete Bridge Design, 81-99**. Detroit: American Concrete Institute.
- TRACHTENBERG, A. (1965). **Brooklyn bridge fact and symbol**. New York: Oxford University Press.
- TORROJA, E. (1960). **Razón y Ser de los Tipos Estructurales**. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.
- VIRLOGEUX, M. (1987). Tradition et création. **Ouvrages d'art, 150,151**. Paris.
- WATSON WILBUR, J. (1927). **Bridge Architecture**. New York: William Herbur.
- WILSON, F. (1988). Bridge Desing Through the Years. **Architecture. December 1988, 115-118**. New York: AIA.
- WITTFOHT, H. (1975). **Puentes: ejemplos internacionales**. Barcelona: Gustavo Gili.
- YISHENG, M. (1980). **Puentes en China, antiguos y nuevos**. Beijing: Ediciones en Lenguas Extranjeras.

Bibliografía general

- AA.VV. (1971). **Los objetos**. Buenos Aires: Editorial Tiempo Contemporaneo, S.A. (1969).
- AA.VV. (1972). **La significación del entorno**. Barcelona: Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares.
- AA.VV. (1984). **Arquitectura, técnica y naturaleza en el ocase de la modernidad**. Un curso de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Madrid: MOPU.
- AA.VV. (1985). **La posmodernidad**. Barcelona: Editorial Kairós.
- AA.VV. (1986). **Más allá del Posmoderno**. México: Ediciones Gustavo Gili.
- AA.VV. (1987). **El Paisaje**. MOPU.
- AA.VV. (1991). **A propósito de lo otro**. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad.

- AA.VV. (1993). **El vol de la fletxa**. Barcelona: Editorial Electa.
- AA.VV. (1993). **Naum Gabo y el concurso para el Palacio de los Soviets, Moscú 1931-1933**. Valencia: IVAM Centre Julio González.
- AGUILERA, V. (1985). Postindustrialismo, postmodernidad. *Cimal*, nº 26, 4-6. Julio, 1985.
- ALBRECHT, H. J. (1981). **Escultura en el siglo XX**. Barcelona: Blume.
- ALEXANDER, Ch. (1971). **Ensayo sobre la síntesis de la forma**. Buenos Aires: Ediciones Infinito.
- ALEXANDER, Ch. (1971) **La estructura del medio ambiente**. Barcelona: Tusquets.
- ALGER, J. y HAYS, C. (1969). **Síntesis creadora en el diseño**. Mexico: Herrero Hermanos, Sucesores.
- ALLEN, G. y OLIVER, R. (1982). **Arte y proceso del dibujo arquitectónico**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1981).
- ÁLVAREZ, Ll. (1986). **Signos estéticos y teoría**. Barcelona: Anthropos.
- ÁLVARO, M. I. y otros (1974). **Saber ver el arte**. Zaragoza: Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza.
- AMO, J. (1993). **Elementos de teoría de las artes visuales**. Cuenca: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- ARAUJO, I. (1976). **La forma arquitectónica**. Pamplona: EUNSA
- ARMAJANI, S. (1995). **Espacios de lectura**. Barcelona: Museu d'Art Contemporani de Barcelona.
- ARNAU, J. (1988). **La teoría de la Arquitectura en los Tratados**. Madrid: Tebas Flores.
- ARNHEIM, R. (1978). **La forma visual de la arquitectura**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- ARNHEIM, R. (1979). **Arte y percepción visual**. Madrid: Alianza Forma. (1954, 1974).
- ARNHEIM, R. (1982). **El poder del centro**. Madrid: Alianza

Forma.

- ARNHEIM, R. (1986). **El pensamiento visual**. Barcelona: Ediciones Paidós. (1969).
- ARNHEIM, R. (1992). **Ensayos para rescatar el arte**. Madrid: Ediciones Cátedra.
- AZNAR, J.A. (1991). **Alternativas teóricas en percepción: Raíces, orígenes y actualidad**. Valencia: NAU llibres.
- BAILLY, A.S. (1979). **La percepción del espacio urbano**. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- BAIRATI, C. (1952). **La simmetria dinamica. Scienza ed arte nell'architettura classica**. Milano: Libreria Editrice Politecnica Tamburini.
- BAKER, G.H. (1988). **Le Corbusier. Análisis de la forma**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1985, 86).
- BAKER, G.H. (1991). **Análisis de la forma**. México: Ediciones G. Gili, S.A. de C.V.
- BANHAM, R. (1985). **Teoría y diseño en la primera era de la máquina**. Barcelona: Ediciones Paidós (1960, 77, 82).
- BAQUERO, M. (1984). Dibujos disciplinares. **Els dibuixos dels arquitectes**, 23-47. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Arquitectura.
- BARASCH, M. (1991). **Teorías del arte. De Platón a Winckelmann**. Madrid: Alianza Editorial. (1985).
- BAUDRILLARD, J. (1969). **Le systeme des objets**. París: Ed. Gallimard.
- BAUDRILLARD, J. (1972). La moral de los objetos. Función-Signo y Lógica de clase. **La significación del entorno**, 53-85. Barcelona: A.T.E. Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares. (1969).
- BAXANDALL, M. (1989). **Modelos de intención**. Madrid: Hermann Blume. (1985).
- BAYO, J. (1987). **Percepción, desarrollo cognitivo y artes visuales**. Barcelona: Anthropos.

- BAYON, D. C. (1965). **Construcción de lo visual**. San Juan de Puerto Rico: Edición de la Universidad de Puerto Rico.
- BEARDSLEY, M. y HOSPERS, J. (1986). **Estética. Historia y Fundamentos**. Madrid: Ediciones Cátedra.
- BENÉVOLO, L. (1994). **Historia de la arquitectura moderna**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1974-75-77-79-80-82-87-90).
- BENSE, M. (1973). **Estética**. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión. (1954).
- BLUMENBERG, H. (1992). Aproximación a una teoría de la inconceptuabilidad. *Revista de Occidente*, n° 132, 5-24.
- BOLLNOW, O.Fr. (1969). **Hombre y espacio**. Barcelona: Editorial Labor.
- BONSIEPE, G. (1985). **Diseño industrial. Artefacto y proyecto**. Madrid: Alberto Corazón Editor.
- BOROBIO NAVARRO, L. (1988). **El arte, expresión vital**. Panplona: Ediciones Universidad de Navarra.
- BROADBENT, G. y otros (1971). **Metodología del diseño arquitectónico**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- BURKE, E. (1985). **Indagación Filosófica sobre el origen de nuestras ideas acerca de lo sublime y de lo bello**. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.
- CAHN, W. (1989). **Obras maestras. Ensayo sobre la historia de una idea**. Madrid: Alianza Forma.
- CALABRESE, O. (1987). **El lenguaje del arte**. Barcelona: Ediciones Paidós. (1985).
- CALINESCU, M. (1991). **Cinco caras de la modernidad**. Madrid: Editorial Tecnos. (1987).
- CALVO SERRALLER, F. (1984). «La nueva dimensión de la escultura». *El País*. Madrid, 25 Febrero, 1984.
- CALVO SERRALLER, F. (1987). **Imágenes de lo insignificante**. Madrid: Taurus.
- CALVO SERRALLER, F. (1988). **Del futuro al pasado**. Van-

guardia y tradición en el arte español contemporáneo. Madrid: Alianza Editorial.

- CALVO SERRALLER, F. (1992). **Escultura española actual: una generación para un fin de siglo.** Madrid: Fundación Lugar C
- CALLE, R. de la (1981). **En torno al hecho artístico.** Valencia: Fernando Torres-Editor.
- CARDELLACH, F. (1916) **Las formas artísticas en la arquitectura técnica.** Barcelona: Librería de Agustín Bosch.
- CARTERETTE, W.C. (1982). **Manual de percepción.** México: Editorial Trillas. (1974).
- CASARES, J. (1990). **Diccionario Ideológico de la Lengua Española.** Barcelona: Gustavo Gili. (1959).
- CASSIRER, E. (1987). **Antropología filosófica.** México: Fondo de Cultura Económica. (1945, 1944).
- CIRLOT, J.E. (1955). **Morfología y arte contemporáneo.** Barcelona: Ediciones Omega.
- CIRLOT, J.E. (1990). **El mundo del objeto a la luz del surrealismo.** Barcelona: Editorial Anthropos (1953) (1986).
- CLARK, R.H. y PAUSE, M. (1984). **Arquitectura: temas de composición.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1983).
- COHEN, J. (1976). **Sensación y percepción visuales.** México: Editorial Trillas.
- COLLINS, P. (1977). **Los ideales de la arquitectura moderna; su evolución (1750-1950).** Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1965, 1970).
- CORRAL, C. y BECKER (1989). **Lineamientos de diseño urbano.** Mexico: Editorial Trillas.
- CULLEN, G. (1978). **El paisaje urbano. Tratado de estética urbanística.** Barcelona: Editorial Blume. (1971, 1974, 1977).
- CHECA CREMADES, F. y otros (1980). **Guía para el estudio de la Historia del Arte.** Madrid: Ediciones Cátedra.
- CHING, Fr. (1989). **Arquitectura: forma, espacio y orden.** México: Ediciones Gustavo Gili.

- DE GRACIA, F. (1992). **Construir en lo construido**. Madrid: Editorial Nerea.
- DE LA IGLESIA, F. (1991). Significación Arquitectónica. El lugar del lenguaje. **A propósito de lo otro**, 41-50. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad.
- DE LA IGLESIA, F. (1991). El espacio privado. La casa. Algunas consideraciones sobre el habitar. **A propósito de lo otro**, 107-118. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad.
- DE SETA, C. y LE GOFF, J. (1991). **La ciudad y las murallas**. Madrid: Ediciones Cátedra. (1989).
- DREXLER, A. (1981). **Transformaciones en la Arquitectura Moderna**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1979).
- DI GENOVA, G. (1985). El «cadáver exquisito» del llamado post-moderno. **Cimal**, n° 26, 11-13. Julio, 1985.
- DORFLES, G. (1968). **El diseño industrial y su estética**. Barcelona: Editorial Labor.
- DORFLES, G. (1971). ¿A favor o en contra de una estética estructuralista? **Estructuralismo y Estética**, 7-46. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión.
- DORFLES, G. (1972). **Naturaleza y artificio**. Barcelona: Lumen (1968).
- DORFLES, G. (1974). **Las oscilaciones del gusto. El arte de hoy entre la tecnocracia y el consumismo**. Barcelona: Lumen (1970).
- DORFLES, G. (1975). **Del significado a las opciones**. Barcelona: Lumen.
- DORFLES, G. (1984). **El intervalo perdido**. Barcelona: Lumen (1980).
- DREXLER, A. (1981). **Transformaciones en la arquitectura moderna**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- DUFRENNE, M. (1982). **Fenomenología de la Experiencia Estética. vol I. El Objeto Estético**. Valencia: Fernando Torres-Editor. (1953).
- DUFRENNE, M. (1983). **Fenomenología de la Experiencia Estética. vol II. La Percepción Estética**. Valencia:

- Fernando Torres-Editor. (1953).
- ECO, U. (1985). **Obra abierta**. Barcelona: Ariel (1979).
- ECO, U. (1985). **La definición de arte**. Barcelona: Ediciones MARTÍNEZ Roca. (1970).
- ECHAIDE, R. (1966). **El origen de la forma en arquitectura**. Madrid: Ediciones Rialp.
- EHRENZWEIG, A. (1973). **El orden oculto del arte**. Barcelona: Editorial Labor, S. A.
- FERNÁNDEZ ALBA, A. (1983). **Neoclasicismo y postmodernidad**. Madrid: Hermann Blume Ediciones.
- FERNÁNDEZ ALBA, A. (1990). **Velada memoria**. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- FERNÁNDEZ ARENAS, J. (1986). **Teoría y Metodología de la Historia del Arte**. Barcelona: Editorial Anthropos. (1982, 1984).
- FERNÁNDEZ, M. y ARANDA, F. (1989). **Arquitectura y ornamento**. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- FERRATER MORA, J. (1979). **Diccionario de Filosofía**. Madrid: Alianza Editorial.
- FLECK, L. (1986). **La génesis y el desarrollo de un hecho científico**. Madrid: Alianza.
- FOCILLON, H. (1983). **La vida de las formas**. Madrid: Xarait Ediciones.
- FONATTI, Fr. (1988). **Principios elementales de la forma en arquitectura**. Barcelona: Gustavo Gili. (1985).
- FOSTER, H. (1985). Introducción al posmodernismo, en **La posmodernidad**, 7-17. Barcelona: Editorial Kairós.
- FRAMPTON, K. (1989). Sin mirar la maestría: Santiago Calatrava y la reconstrucción atemperada. **Santiago Calatrava**, 15-20. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- FRAMPTON, K. (1993). **Historia crítica de la arquitectura moderna**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1991, 1989, 1987, 1983, 1981).

- FRANCASTEL, P. (1971). *Arte, Forma, Estructura. Estructuralismo y Estética*, 67-97. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión.
- FULLAONDO, J.D. (1972). *Arte, arquitectura y todo lo demás*. Madrid: Ediciones Alfaguara.
- FUSCO, R. de (1970). *Arquitectura como «mass medium»*. Barcelona: Editorial Anagrama (1967).
- GABLIK, S. (1987). *¿Ha muerto el arte moderno?* Madrid: Hermann Blume. (1984).
- GADAMER, H. G. (1991). *La actualidad de lo bello*. Barcelona: Ediciones Paidós (1977).
- GHYKA, M.C. (1927). *Esthétique des proportions dans la nature et dans Les Arts*. Paris: N. R. F. (1953).
- GHYKA, M.C. (1968). *El número de oro. I Los ritos*. Buenos Aires: Editorial Poseidón.
- GIBSON, J.J. (1974). *La percepción del mundo visual*. Buenos Aires: Ediciones Infinito.
- GIBSON, J.J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers (1979).
- GIEDION, S. (1963). *Las raíces de la expresión simbólica. La situación actual de las artes visuales*, 43-58. Buenos Aires: Ediciones 3.
- GILBERT-ROLFE, J. (1986). Joel Shapiro. Una obra en marcha. *Entre la geometría y el gesto. Escultura Norteamericana 1965-75*. 161-162. Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Archivos. Centro Nacional de Exposiciones. Palacio de Velazquez. Parque del Retiro. Madrid 23 Mayo-31 Julio.
- GOMBRICH, E.H. (1968). *Meditaciones sobre un caballo de juguete*. Barcelona: Editorial Seix Barral. (1967, 1963).
- GOMBRICH, E.H. (1979). *Arte e ilusión*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1959).
- GOMBRICH, E.H. (1980). *El sentido de Orden*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1979).
- GOMBRICH, E.H. (1992). *Lo que nos cuentan las imágenes*.

Madrid: Editorial Debate.

- GÖSSEL, P. Y LEUTHÄUSER, G. (1991). **Arquitectura del siglo XX**. Benedikt Taschen.
- HALL, E. (1976). **La dimensión oculta**. Madrid: Siglo XXI Editores.
- HAMMACHER, A. M. (1988). **La sculpture**. París: Editions Cercle d'Art.
- HAMMER, M. y LODDER, Ch. (1993). El proyecto de Gabo para el Palacio de los Soviets. **Naum Gabo y el concurso para el Palacio de los Soviets, Moscú 1931-1933**, 15-34. Valencia: IVAM Centre Julio González.
- HANEMAN, J.Th. (1985). **Elementos de composición arquitectónica**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- HEGEL, G.W.F. (1987). **La arquitectura**. Barcelona: Editorial Kairós.
- HEIDEGGER, M. (1994). **Conferencias y artículos**. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- HERNÁNDEZ, J.M. (1990). **La casa de un solo muro**. Madrid: Editorial Nerea.
- HESKETT, J. (1985). **Breve historia del diseño industrial**. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- HESSELGREN, S. (1964). **Los medios de la Expresión de la Arquitectura**. Buenos Aires: EUDEBA. (1954).
- HESSELGREN, S. (1973). **El lenguaje de la Arquitectura**. Buenos Aires: EUDEBA. (1969).
- HESSELGREN, S. (1980). **El hombre y su percepción del ambiente urbano. Una teoría Arquitectónica**. Mexico: Editorial Limusa. (1975).
- HILDEBRAND, A. von (1988). **El problema de la forma en la obra de arte**. Madrid: Visor Dis.
- HUISMAN, D. y PATRIX, G. (1971). **La estética industrial**. Barcelona: Oikos-tau. (1965).
- INSA, J.J. (1990). **Método para la lectura de obras de arte**. Madrid: Editorial Bruño.

- IRACE, F. (1985). Postmoderno: una etiqueta contradictoria que abandonar. *Cimal*, nº 26, 7-10. Julio, 1985.
- JENCKS, Ch. (1982). **Movimientos modernos en arquitectura**. Madrid: Hermann Blume Ediciones (1973).
- JENCKS, Ch. (1986). **El lenguaje de la arquitectura posmoderna**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1977, 1978, 1984).
- JOHNSON, Ph. y WIGLEY, M. (1988). **Arquitectura deconstructivista**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- JONES, Ch. (1976) **Métodos de diseño**. Barcelona: Gustavo Gili.
- KAHLER, E. (1978). **La desintegración de la forma en las artes**. Madrid: Siglo XXI. (1969).
- KANDINSKY, W. (1983). **Cursos de la Bauhaus**. Madrid: Alianza Editorial (1975).
- KANT (1964). **Lo bello y lo sublime**. Madrid: Espasa Calpe.
- KEARNEY, H. (1970). **Orígenes de la ciencia moderna. 1500-1700**. Madrid: Guadarrama.
- KEPES, G. (1969). **El lenguaje de la visión**. Buenos Aires: Ediciones Infinito.
- KLEE, P. (1981). **Bases para la estructuración del arte**. México: Premiá Editora, S. A. (1980) (1978).
- KLINCKOWSTROEM, C. von (1965). **Historia de la técnica: del descubrimiento del fuego a la conquista del espacio**. Barcelona: Labor.
- KNOBLER, N. (1970). **El diálogo visual. Introducción a la apreciación del arte**. Madrid: Aguilar. de Ediciones.
- KOHLER, W. (1972). **Psicología de la forma**. Madrid: Biblioteca Nueva.
- KRANZBERG, M. (1981). **Historia de la tecnología. La técnica en Occidente de la Prehistoria a 1900**. Barcelona: Gustavo Gili.
- KRAUSS, R. (1979). La escultura en el campo expandido, en **La posmodernidad**, 59-74. Barcelona: Editorial Kairós. (1985)

- KRAUSS, R. E. (1989). **Passages in Modern Sculpture**. Cambridge, Massachusetts, and London, England: The MIT Press.
- LAFUENTE FERRARI, E. (1985). **La fundamentación y los problemas de la historia del arte**. Madrid: Instituto de España.
- LANGER, S. (1966). **Los problemas del Arte**. Buenos Aires: Ediciones Infinito. (1957).
- LE CORBUSIER (1973). **El Modulor**. Buenos Aires: Editorial Poseidón. (1953) (1961).
- LE CORBUSIER (1973). **Modulor 2**. Buenos Aires: Editorial Poseidón. (1953) (1962).
- LE CORBUSIER (1993). **El espíritu nuevo en arquitectura. En defensa de la arquitectura**. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos. (1983).
- LEDRUT, R. (1972). La imagen de la ciudad. **La significación del entorno**, 33-51. Barcelona: Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares. (1970).
- LEMAIRE, G. (1982). L'adieu a l'architecture moderne». **Opus international**, n° 84, 12. Printemps, 1982.
- LEMOINE, S. (1986). **Dada**. Paris: Fernand Hazan.
- LOOS, A. (1980). **Ornamento y delito y otros escritos**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1972).
- LOOS, A. (1984). **Dicho en el vacío 1897-1900**. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos. (1921).
- LÓPEZ-CANTI, J.E. (1991). Elementos y composición: una visión desde el presente. **A propósito de lo otro**, 9-25. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad.
- LURIA, A.R. (1986). Sensación y percepción. Barcelona: Ediciones Martínez Roca. (1975, 78, 81, 85).
- LYNCH, K. (1974). **La imagen de la ciudad**. Buenos Aires: Ediciones Infinito. (1960, 66, 70).
- LYNCH, K. (1975). **¿De qué tiempo es este lugar?** Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1972).

- LYOTARD, J. Fr. (1987). **La posmodernidad (explicada a los niños)**. Barcelona: Editorial Gedisa.
- LLOYD WRIGHT, Fr. (1978). **El futuro de la arquitectura**. Barcelona: Editorial Poseidón. (1957) (1953).
- MADERUELO, J. (1990). **El espacio raptado**. Madrid: Mondadori.
- MADERUELO, J. (1990). «Interferencias en el espacio escultórico». **Madrid. Espacio de interferencias**. Círculo de Bellas Artes.
- MALDONADO, T. (1977). **Vanguardia y racionalidad. Artículos, ensayos y otros escritos: 1946-1974**. Barcelona: Gustavo Gili.
- MAIR, L. (1981). **Introducción a la Antropología social**. Madrid: Alianza Editorial. (1973) (1974) (1977) (1978) (1980).
- MARANGONI, M. (1973). **Para saber ver**. Madrid: Espasa-Calpe. (1947) (1951).
- MARCHÁN, S. (1974). **La arquitectura del siglo XX**. Madrid: Alberto Corazón Editor.
- MARCHÁN, S. (1986). **Del arte objetual al arte del concepto**. Madrid: Akal. (1974) (1972).
- MARCHÁN, S. (1986). **Contaminaciones figurativas**. Madrid: Alianza Editorial.
- MARCHÁN, S. (1987). **La estética de la cultura moderna. De la Ilustración a la crisis del Estructuralismo**. Madrid: Alianza Editorial.
- MARCHÁN, S. (1995). **La vanguardias artísticas y sus sombras (1917-1930)**. Enciclopedia Summa Artis, vol XXXIX. Madrid: Espasa Calpe.
- MARGARIT, J. y BUXADE, C. (1969). **Introducción a una teoría del conocimiento de la arquitectura y del diseño**. Barcelona: Editorial Blume.
- MARÍN-MEDINA, J. (1978). **La Escultura Española Contemporánea (1800-1978). Historia y evaluación crítica**. Madrid: Edarcón.
- MARTÍNEZCARO, C. y RIVAS, J.L. de las (1985). **Arquitectura urbana. Elementos de teoría y diseño**. Navarra:

Ediciones Universidad de Navarra.

- MENNA, F. (1977). **La opción analítica en el arte moderno**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1975).
- MERKERT, J. (1993). Naum Gabo: Constructivista y Constructor o La escultura abstracta como proyecto realista de una utopía concreta. **Naum Gabo y el concurso para el Palacio de los Soviets, Moscú 1931-1933**, 9-14. Valencia: IVAM Centre Julio González.
- MERLEAU-PONTY, M. (1970). Lo visible y lo invisible. Barcelona: Seix Barral.
- MIES VAN DER ROHE, (1993). **Escritos, diálogos y discursos**. Murcia: Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos.
- MILIZIA, F. (1987). **Arte de saber ver en las Bellas Artes del Diseño**. Barcelona: Editorial Alta Fulla (1823).
- MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA (1985). **El diseño en España. Antecedentes históricos y realidad actual**. Madrid: Ministerio de Industria y Energía. ADGFAD. ADIFAD. ADP. BCD.
- MOINEAU, J.-C. (1969). **Mathématique de l'esthétique**. Paris: Dunod.
- MOLES, A. (1971). Objeto y comunicación. **Los objetos**, 9-35. Buenos Aires: Editorial Tiempo Contemporáneo. (1969).
- MOLES, A. (1974). **Teoría de los objetos**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- MONTANER, J.M. (1994). Santiago Calatrava: Hueso, Rótulas y Ramas, Lianas, Hojas y Trenzas. **Santiago Calatrava**, 3-16. Madrid 21 Septiembre-6 Noviembre. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- MONTES, C. (1992). **Representación y Análisis Formal. Lecciones de Análisis de Formas**. Valladolid: Secretariado de Publicaciones Universidad.
- MORALES, J. (1991). Malleaturas. El lugar del público en el espacio colectivo. **A propósito de lo otro**, 173-204. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad.
- MORPURGOTAGLIABUE, G. (1971). **La estética contemporánea**.

- nea. **Una investigación**. Buenos Aires: Editorial Losada. (1960).
- MORRIS, W. (1977). **Arte y Sociedad Industrial**. Valencia: Fernando Torres Editor.
- MOURE, Gl. (1994). **Configuracions urbanes**. Barcelona: Edicions Polígrafa.
- MUNARI, B. (1968). **El arte como oficio**. Barcelona: Labor.
- MUNARI, B. (1985). **Diseño y comunicación visual**. Barcelona: Gustavo Gili.
- MUNARI, B. (1983). **¿Como nacen los objetos?**. Barcelona: Gustavo Gili.
- MUNIR, M. (1973). **La lectura del ambiente**. Barcelona: Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares.
- MUNTAÑOLA, J. (1974). **La arquitectura como lugar**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- MUNTAÑOLA, J. (1978). **Topos y logós**. Barcelona: Editorial Kairós.
- MUNTAÑOLA, J. (1979). **Topogénesis Uno. Ensayo sobre el Cuerpo y la Arquitectura**. Barcelona: Editorial Oikos-tau.
- MUNTAÑOLA, J. (1979). **Topogénesis Dos. Ensayo sobre la Naturaleza Social del Lugar**. Barcelona: Editorial Oikos-tau.
- MUNTAÑOLA, J. (1981). **Poética y arquitectura. Una lectura de la arquitectura postmoderna**. Barcelona: Editorial Anagrama.
- MUNTAÑOLA, J. (1990). **Retórica y arquitectura**. Madrid: Hermann Blume.
- NEISSER, U. (1981). **Procesos cognitivos y realidad**. Madrid: Ediciones Marova.
- NEUFERT (1983). **Arte de proyectar en arquitectura**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- NEWMAN, M. (1993). **Operation Atopia. Julian Opie, 76-87**. New York: Thames and Hudson.

- NICOLIN, P.L. (1989). Cuestiones sobre Santiago Calatrava. **Santiago Calatrava**, 21-23. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- NISBET, R. (1981). **Historia de la idea de progreso**. Barcelona : Gedisa.
- NORBERG-SCHULZ, Chr. (1972). La significación en arquitectura. La significación del entorno, 11-24. Barcelona: A.T.E. Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares. (1969).
- NORBERG SCHULZ, Chr. (1975). **Existencia, espacio y arquitectura**. Barcelona: Editorial Blume.
- NORBERG SCHULZ, Chr. (1979). **Intenciones en arquitectura**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- NORBERG SCHULZ, Chr. (1981). **Genius Loci**. Liège: Pierre Mardaga Editeur. (1979).
- NORBERG SCHULZ, Chr. (1984). La pirámide. **Ricardo Bofill. Taller de arquitectura**, 119. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- NORBERG SCHULZ, Chr. (1990). **Louis I. Kahn, idea e imagen**. Barcelona: Xarait Ediciones. (1981).
- OCHOTORENA, J.M. (1986). El espacio arquitectónico como lugar construido. *Arquitectura y postmodernidad. Revista de Occidente*, nº 66, 49-55.
- PACIOLI, L. (1959). **La divina proporción**. Buenos Aires: Editorial Losada. (1509).
- PACHT, O. (1986). **Historia del arte y metodología**. Madrid: Alianza Editorial. (1977).
- PALLADIO, A. (1988). **Los cuatro libros de arquitectura**. Madrid: Ediciones Akal.
- PANOFSKY, E. (1979). **El significado en las artes visuales**. Madrid: Alianza Editorial. (1955).
- PATETTA, L. (1984). **Historia de la Arquitectura. Antología crítica**. Madrid: Herman Blume.
- PEDOE, D. (1979). **La geometría en el arte**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili . (1976).
- PEREZ GUERRA, A. (1980). **El proceso de creación arquitectó-**

- nica. **Metodología para una crítica**. Barcelona: Nueva Sociedad 2000.
- PIQUER CHANZA, J.S. (1983). **El proyecto en ingeniería y arquitectura. Estudio. Planificación. Desarrollo**. Barcelona: Ediciones CEAC.
- PIRSON, J.F. (1988). **La estructura y el objeto**. Barcelona: Promociones y Publicaciones Universitarias.
- PLAZAOLA, J. (1987). **Modelos y teorías de la historia del arte**. San Sebastián: Cuadernos Universitarios (E.U.T.G.-Mundaiz).
- POPPER, Fr. (1989). **Arte, acción y participación**. Madrid: Ediciones Akal. (1980).
- PORTOGHESI, P. (1981). **Después de la arquitectura moderna**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- PRINCENTHAL, N. (1991). Alzando el equilibrio: la escultura de Joel Shapiro. **Joel Shapiro, 11-17**. Valencia: IVAM Centre Julio Gonzalez.
- PUIG, A. (1984). Del dibujo y del diseño, a manera de prólogo. **Els dibuixos dels arquitectes, 7-21**. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Arquitectura.
- RAGON, M. (1968). **Esthétique de l'architecture contemporaine**. Neuchatel: Editions du Griffon.
- RAGON, M. (1974). **El arte ¿para qué?** México: Editorial Extemporaneos. (1971).
- RAMIREZ, J. A. (1983). **Edificios y sueños. Ensayos sobre Arquitectura y Utopía**. Málaga: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Málaga y Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Salamanca.
- RAMIREZ, J. A. (1983). **Construcciones ilusorias. Arquitecturas descritas, arquitecturas pintadas**. Madrid: Alianza Editorial.
- RAMOS, L. (1994). **Arte para espacios públicos**. Tesis Doctoral dirigida por el Dr. Fernando Hernández. Facultad de Bellas Artes de Barcelona.
- REDON, J. (1988). Lo falso en arquitectura. **Cuadernos del Norte, n° 50, 46-49**.

- REMESAR, A. (1985). El entorno y la recepción. En torno al entorno, 115-130. Barcelona: Els Llibres de Glauco.
- RETI, L. (1991). **The Unknown Leonardo**. New York: Harry N. Abrams, Inc. (1974).
- RIEGL, A. (1987). **El culto moderno a los monumentos**. Madrid: Visor. (1903).
- RISEBERO, B. (1986). **La arquitectura y el diseño modernos. Una historia alternativa**. Barcelona: Herman Blume. (1982).
- RIVAS, J.L. (1992). **El espacio como lugar**. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Valladolid.
- ROMEU DE ARMAS, A. (1980). **Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada**. Madrid: Turner.
- RUBERT DE VENTOS, X. (1969). **Teoria de la sensibilitat, 2. Els fonaments d'una nova estètica**. Barcelona: Edicions 62.
- RUBERT DE VENTOS, X. (1984). Del post-modernismo a Ricardo Bofill. **Ricardo Bofill. Taller de arquitectura, 7**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- RUBERT DE VENTOS, X. (1993). **El arte ensimismado**. Barcelona: Ediciones Península. (1963, 78).
- RUSKIN, J. (1987). **Las siete lámparas de la arquitectura**. Barcelona: Editorial Stylos. (1849).
- SALVADORI, M. (1987). **Estructuras para arquitectos**. Buenos Aires: CP67.
- SCHOLFIELD, P.H. (1971). **Teoría de la proporción en arquitectura**. Barcelona: Editorial Labor.
- SCRUTON, R. (1985). **La estética de la arquitectura**. Madrid: Alianza Forma. (1979).
- SITTE, C. (1980). **Construcción de ciudades según principios artísticos**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. (1965).
- SOSTRES, J. M^a. (1983). **Opiniones sobre arquitectura**. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.
- SOURIAU, Et. (1947). **La correspondance des arts. Eléments d'esthétique comparée**. Paris: Flammarion.

- SPREIREGEN, P. (1971). **Compendio de arquitectura urbana**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- SUMMERSON, J. (1974). **El lenguaje clásico de la arquitectura**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili . (1963).
- TAFURI, M. (1977). **Teorías e historia de la arquitectura. Hacia una nueva concepción del espacio arquitectónico**. Barcelona: Editorial Laia. (1970, 72).
- TATARKIEWICZ, W. (1991). **Historia de la Estética III. La estética moderna**. Madrid: Ediciones Akal.
- TATARKIEWICZ, W. (1987). **Historia de seis ideas**. Madrid: Editorial Tecnos.
- TEDESCHI, E. (1982). **Teoría de la arquitectura**. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión.
- TIMM, A. (1971). **Pequeña historia de la tecnología**. Madrid: Guadarrama.
- TORRE, G. (1963). **Minorías y masas en la cultura y el arte contemporáneos**. Barcelona: E.D.H.A.S.A.
- TORRES MODERNIDAD, J. (1984). **Universalismo constructivo**. 2 vols. Madrid: Alianza Editorial.
- TRÍAS, E. (1988). **Lo bello y lo siniestro**. Barcelona: Editorial Ariel.
- VAIZEY, M. (1990). **Christo**. Barcelona: Ediciones Polígrafa.
- VALVERDE, J. M. (1987). **Breve Historia y Antología de la Estética**. Barcelona: Editorial Ariel.
- VAN LIER, H. (1971). Objeto y estética. **Los objetos**, 129-152. Buenos Aires: Editorial Tiempo Contemporaneo. (1969).
- VATTIMO, G. (1986). **El fin de la modernidad**. Barcelona: Gedisa. (1985).
- VATTIMO, G. y otros (1990). **En torno a la posmodernidad**. Barcelona: Editorial Anthropos.
- VÁZQUEZ AVELLANEDA, J.J. (1991). Cuatro notas sobre espacios y arquitecturas. **A propósito de lo otro**, 151-163. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad.

- VEN, C. van de (1981). **El espacio en arquitectura**. Madrid: Ediciones Cátedra.
- VENTURI, R. (1978). **Complejidad y contradicción en la arquitectura**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A. (1972,74).
- VIÑUALES, J. (1986). **El comentario de la Obra de Arte**. Madrid: U.N.E.D.
- WAISMAN, M. (1972). **La estructura histórica del entorno**. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión.
- WEISBERG, R.W. (1987). **Creatividad. El genio y otros mitos**. Barcelona: Editorial Labor.
- WILLIAMS, T. (1987). **Historia de la tecnología. Desde 1900 hasta 1950**. vol. 5. Madrid: Siglo XXI.
- WOLF, L. (1972). **Ideología y producción. El diseño**. Barcelona: A. Redondo.
- WOLFFLIN, H. (1985). **Conceptos fundamentales en la Historia del Arte**. Madrid: Espasa-Calpe, S.A. (1924).
- WOLFFLIN, H. (1978). **Renacimiento y Barroco**. Madrid: Alberto Corazón-editor (1888).
- WOLFFLIN, H. (1982). **El arte clásico**. Madrid: Alianza Editorial (1968).
- WONG, W. (1987). **Fundamentos del diseño bi y tri-dimensional**. Barcelona: Gustavo Gili.
- ZAERA, A. (1989). La estructura viviente. **El Croquis, de Arquitectura y de Diseño**, n° 38, 174-179. Madrid
- ZANOLETTI, G. (1981). **Estética española contemporánea. Eugenio D'Ors, José Camón Aznar, José Ortega y Gasset**. Zaragoza: Museo e Instituto de Humanidades «Camón Aznar».
- ZEVI, Br. (1978). **El lenguaje moderno de la arquitectura**. Barcelona: Editorial Poseidón.
- ZORIO BLANCO, V. (1989). Simetría y ornamentación en el plano. **Revista de Obras Públicas**, 3.282, 553-573. Madrid: Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Índice

Presentación	
Introducción	13
Justificación de la tesis	13
Esbozo de un recorrido investigador	13
Capítulo I	
De la prehistoria al nacimiento del arco	19
<i>Notas previas</i>	19
<i>De la prehistoria al nacimiento del arco</i>	20
<i>Los primeros puentes: El hombre se inspira en la Naturaleza</i>	21
<i>Evolución de la pasarela que funciona como viga</i>	25
<i>Construcción en voladizo</i>	26
<i>La falsa bóveda</i>	27
<i>El descubrimiento del arco: uno de los avances más significativos en la historia de la humanidad</i>	28
<i>Puentes militares</i>	29
<i>Puentes de madera</i>	30
<i>Características de la madera</i>	30
<i>Vigas de celosía</i>	31

Reflexiones al capítulo 34

Capítulo II

El desarrollo del arco 35

Puentes romanos 36

*Iglesia y monarquía protagonizan
la construcción de puentes en
el medioevo* 44

*La privatización del puente.
Puentes medievales en España* 45

*Ciencia y arte se reúnen.
Puentes renacentistas* 47

Puentes renacentistas en España 51

*La fundación de la Escuela de los
Ingenieros de Caminos y los
avances del s.XVIII* 53

Puentes de sillería del s.XIX 56

El movimiento neogótico en construcción 59

El siglo XIX en España 60

Reflexiones al capítulo 63

Capítulo III

La generación de una nueva estética 65

*La arquitectura del hierro.
Exposiciones Universales* 67

*La utilización de nuevos materiales
en edificios comunes* 71

<i>La unión de las artes y los oficios artísticos</i>	73
<i>La influencia de la industria en el origen de las vanguardias</i>	74
<i>El constructivismo</i>	82
<i>La figura del ingeniero como propuesta del idealismo socialista</i>	85
<i>Arte e industria en Alemania a principios de siglo. La Bauhaus</i>	87
<i>Puentes metálicos</i>	88
<i>Puentes de fundición</i>	88
<i>Puentes de hierro</i>	90
<i>Puentes colgantes</i>	90
<i>Puentes de vigas</i>	94
<i>Puentes de arco</i>	94
<i>El acero en todas las tipologías</i>	96
<i>Arcos de acero</i>	96
<i>Puentes cantilever</i>	97
<i>Puentes colgantes de acero</i>	103
<i>Puentes de arco remachados</i>	104
<i>Reflexiones al capítulo</i>	106

Capítulo IV

Acero y Hormigón posibilitan el dintel para grandes luces	111
<i>El hormigón armado</i>	117
<i>Puentes de hormigón armado</i>	120
<i>Arcos de hormigón</i>	121
<i>Los puentes de Maillart</i>	122
<i>El hormigón pretensado</i>	124
<i>Puentes de hormigón pretensado y sistemas constructivos</i>	127
<i>Vigas continuas</i>	127
<i>Puentes atirantados</i>	130
<i>Pretensado exterior</i>	138
<i>Tableros mixtos</i>	140
<i>La prefabricación de puentes y su vinculación con el impacto ambiental</i>	140
<i>La prefabricación</i>	143
<i>Impacto ambiental</i>	148
<i>La configuración de los puentes, ¿una cuestión política?</i>	149
<i>La competencia sobre las obras públicas</i>	149
<i>Sobre la participación del público en la decisión de construir un puente</i>	153
<i>Reflexiones al capítulo</i>	155

*La coherencia formal en el
lenguaje del ingeniero* 155

El ingeniero ante la estética de su obra 156

Capítulo V

**Vías de análisis que abren
el diálogo entre el puente y la escultura** 159

Percibir para conocer 159

El modelo perceptivo de Neisser 160

Conclusión al enfoque perceptivo 163

El lenguaje gráfico como vía de análisis 164

El dibujo como medio para un análisis formal

*Análisis interpretativo
Aproximaciones a la interpretación* 168

La interpretación y la teoría hermenéutica 175

Enfoques hermenéuticos 176

Reflexiones a la vía interpretativa 181

Análisis morfológico 182

*Catgorias perceptuales abstractas
susceptibles de ser consideradas
en el análisis de los puentes* 182

El concepto de verticalidad 183

El concepto de horizontalidad 184

*Sobre la sensación de peso
que se puede percibir* 185

Sobre el efecto de movilidad 185

<i>El sentido de orden</i>	188
<i>El adorno</i>	189
Conclusiones	193
Anexo I	
Vocabulario técnico	203
Anexo II	
Definiciones y clasificación de puentes	215
Bibliografía de puentes	221
Bibliografía general	227

Debido a cuestiones de compaginación, en la versión que tienen ustedes no figuran las siguientes reseñas bibliográficas:

- AGUILÓ, M. (1979). Introducción a la edición española. **Puentes y sus constructores**, 17-19. Madrid: Ediciones Turner.
- APARICIO, A.C. (1995). Presente y futuro de los puentes de hormigón pretensado exterior. **Cemento-Hormigón**, n° 748, 840-865. Madrid: IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones).
- BALDELLOU, M.A. y CAPITEL, A. (1995). **Arquitectura española del siglo XX**. Madrid: Editorial Espasa Calpe.
- BONET, A. (1979). El ingeniero Pablo de Alzola y Minondo o las obras públicas, como política regeneracionista. **Historia de las Obras Públicas en España**, 11-21. Madrid: Turner.
- CALATRAVA, S. (1989). Disertaciones. Conversaciones con Richard Levene y Fernando Márquez. **El croquis, de Arquitectura y de Diseño**, n° 38, 4-11. Madrid, marzo 1989.
- CATÁLOGO ANDY GOLDSWORTHY. (1994). **Stone**. New York: Harry N. Abrams, Inc. Publishers.
- CATÁLOGO DIFFERENTES NATURES. **Visions de l'art contemporain**. Ministère de la Culture et de la Francophonie. Exposition à La Défense 25 juin-26 septembre 1993.
- DELONY, E. (1993). **Landmark American Bridges**. New York: Published in association with American Society of Civil Engineers.
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ y MARTÍNEZ CALZÓN, J. (1991). El puente del Centenario en Sevilla. **OP**, n° 21, 134-149. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Cataluña. Otoño, 1991.
- FUSCO, R. de (1994). **Historia de la arquitectura contemporánea**. Madrid: Ediciones Celeste. (1975, 81, 92, 93).
- LLEIDA, J.L. (1991). La prefabricación: posibilidades actuales. **OP**, n° 21, 32-45. Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos de Cataluña.

- MARSHALL, R. (1991). Catálogo **Joel Shapiro**. 29 noviembre 1990-10 febrero 1991. Valencia: IVAM Centre Julio González.
- MARTÍ, J.M^a. (1990). **Aportacions a l'estètica de l'artefacte contemporani: model, tipus i ornament en la metodologia de la projectació**. Universitat de Barcelona. Facultat de Filosofia. Tèsi Doctoral dirigida pel Dr. Antonio Aguilera Pedrosa.
- MATHIVAT, J. (1980). Puentes atirantados para grandes luces. **Hormigón y acero**, n° 135, 109-129. Madrid: Asociación Técnica Española del Pretensado. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.
- MEYRIC, H. (1994). Catálogo **Julian Opie**. Great Britain: Thames and Hudson.
- MICHELI, M. de (1979). **Las vanguardias artísticas del siglo XX**. Madrid: Alianza Editorial. (1966).
- PAGE, S. (1991). Catálogo **Pino Pascali**. París: Musée d'Art Moderne de la Ville. Mars-mai 1991.
- SEGUÍ, J. (1985). Introducción a la interpretación y el análisis de la forma arquitectónica. **Interpretación y análisis de la forma arquitectónica**, 1-84. Madrid: E.T.S.A.
- SMITH, P. (1990). An audience participation research project on bridge esthetics. **Esthetics in concrete bridge design**, 247-255. Detroit: American Concrete Institute.
- TORRENOVA, J.J. (1985). **Interpretación y análisis de la forma arquitectónica**. Madrid: E.T.S.A.
- ZORZI, G. (1966). **Le chiese e i ponti di Andrea Palladio**. Venezia: Neri Pozza.

Aclaraciones:

Del libro de L. Benevolo, **Historia de la arquitectura moderna**, se han utilizado dos versiones, (1974) y (1994).

Igualmente, del libro de R. de Fusco, **Historia de la Arquitectura Contemporánea**, se han utilizado las versiones (1992) y (1994).