

ORTODOXIA Y HETERODOXIA EN EL DISEÑO DE PUENTES

Javier Manterola Armisén – Ingeniero de Caminos, canales y Puertos

Para mí, es evidente, que las herramientas conceptuales que utilizamos en el diseño de puentes proceden de la interpretación personal que se da al mundo de los puentes, mundo que está constituido por todos los puentes existentes, sus procedimientos de cuantificación y construcción y las personas pasadas y presentes que los han producido. Lo resistente y lo constructivo que desembocan en su interpretación formal.

Toda actividad humana de consistencia, crea su propio mundo. El mundo de la pintura está constituido por toda la pintura, pintores y técnicas que el pintor ha desarrollado en el tiempo. Cada uno lo ajusta a su particular manera de ver, de interpretar la vida y la cultura general existente. Rafael seguro que conocía bien el mundo que le tocó vivir, conocería bien a Masaccio, a Giotto y también a Leonardo, a Miguel Ángel, etc., Sabría como lo hacían, como pintaban, que pintaban y no sólo esto sino todos aquellos otros pintores buenos a los que tuviese acceso.

Estar viviendo en el mundo de la pintura significa eso. Todo el mundo real que le rodea se funde dentro del mundo de la pintura y se produce una forma particular de ver, de interpretar. El mundo y el talento de cada uno crea su propia manera con su particular manera de ver y de entender. Más aún, la técnica que utilizan no es sólo algo que se aprende de un maestro que te enseña, también y principalmente es algo que construyes tú mismo, la herramienta que fabricas para expresarte según tu voluntad. Un buen pintor consigue su propia técnica y su propia experiencia intransferible.

Y esto que hemos dicho de la pintura, podemos decirlo de la escultura, de la arquitectura, de la música. Cada una de estas artes crea su propio mundo, independientemente del de los demás. Es frecuente encontrar a un excelente pintor de talento que no entiende ni le interesa nada la música, o la arquitectura o la escultura. Son como departamentos estancos sin comunicación entre sí.

Se podría objetar que, por ejemplo, Miguel Ángel fue escultor y pintor y arquitecto y hasta un poeta notable y que Bernini además de ser un excelente escultor fue un arquitecto formidable. Ciertamente, pero esto no significa nada más que hombres de un talento excepcional se desarrollaron de varios mundos que he definido como

impenetrables. Lo que también es cierto es que Miguel Ángel se consideraba un escultor y que protestó, con esta afirmación, cuando Julio II le obligó a pintar la Capilla Sixtina. Que era un excelente dibujante está claro pues sus esculturas las iba creando con dibujos y la capilla Sixtina es sobre todo la apoteosis del dibujo nuevo. Pero me gustaría saber cuál era la opinión que sobre Miguel Ángel pintor tenía Rafael.

En la actualidad parece que también empiezan a mezclarse otros mundos independientes. Las instalaciones actuales ni son pintura ni escultura sino el conjunto de las dos y a la vez con Música. Es frecuente también las manifestaciones de artistas del video en conjunción con los músicos contemporáneos para hacer obras distintas a lo actual

Por otro lado la técnica de la escultura, la escultura clásica, la que hacía Donatello, Miguel Ángel, Canova, etc., etc., era muy difícil y compleja lo cual constituía la verdadera impenetrabilidad de la escultura por las otras artes, Pero ya no se introducen esculturas clásicas en las instalaciones, ahora ya no se requiere una técnica difícil, depurada, sofisticada, trabajada y deducida en la escultura actual. Habría que ver que piensan R. Serra ó Tony Smith de estas manifestaciones híbridas pues la verdad es que para estos artistas la relación con el material es una relación encontrada después de mucho esfuerzo y contacto con él. Una chapa de acero de 60 mm., como las que utiliza Serra, no se puede manipular de cualquier manera. También hay que tener su técnica, por ejemplo, la desarrollada al manipularla por el propio R. Serra encontrada después de laboriosas preguntas y trabajos con ese material. Nada tiene que ver una chapa de 60 mm con otra de 10 mm. Lo que sale con una no sale con la otra.

De esta primera aproximación al tema se concluye que salvo casos muy, muy especiales, la pintura ha establecido su propio mundo, lo mismo que la escultura, arquitectura o música. Que es muy difícil establecer el trasvase entre uno y otro mundo. Que las afirmaciones de bueno o malo, estético o no estético dentro de cada mundo es sólo la consecuencia de preguntas y respuestas realizadas dentro de cada uno de los mundos y que no hay reglas o patrones exteriores que puedan calificar la belleza, o fealdad de cualquier obra de un mundo determinado.

LO ORTODOXO

Según mi opinión y desde los parámetros que acabo de definir, las afirmaciones que tantos estudiosos achacaban a la ingeniería del siglo XIX por no preocuparse de la estética de sus obras, se equivocaron gravemente. No existe nada en el exterior del mundo de la ingeniería del siglo XIX que pueda juzgar las obras de este periodo, sólo pueden hacerlo los propios que la realizan y los que empiezan a entender el nuevo mundo formal. Menos mal que no siguieron estas indicaciones y que la ingeniería en solitario, configuró un universo formal, nuevo, absolutamente nuevo, transformador que cambió la manera de configurar el nuevo universo formal.



a) Antiguo



b) Moderno

Fig. 1 Puente de los Nibelungos

del propio mundo de los que viven los puentes, inscritos dentro del mundo de los puentes. Todos y cada uno de los creadores, en función de su cultura y su talento va a interpretar los puentes que ve de una manera diferente, todos ven lo mismo pero todos los interpretan e instalan en su interior y configuran en su manera de hacer, de una manera diferente.

¿Y cuál es el mundo de la ingeniería de los puentes? El mundo de los puentes, lo que aquí interesa está formado por todos los puentes que se han construido desde el principio de los tiempos hasta hoy, de los procedimientos de cuantificación y construcción que han ido alumbrando en el tiempo, de las preguntas y respuestas que se han dado, variando en el tiempo dentro de las muy diversas condiciones culturales con las que les ha tocado convivir, y del resultado formal de esta síntesis.

Afirmo, quizás con excesiva contundencia, que no hay nada que se pueda considerar válido si no proviene

Llamo puentes ortodoxos los que se producen desde los creadores que están sumergidos en lo que he definido como mundo de los puentes, los que se hacen las preguntas que se han hecho siempre los que lo habitan a lo largo de su historia y que sólo es posible hacerlas si las haces desde dentro de este mundo. Cuando, al principio de mi carrera veía el puente de los Nibelungos, el reconstruido después de la guerra, Fig. 1, el conjunto de sensaciones que recibía era incalculable. No sólo era ver un dintel continuo de hormigón pretensado y construido por avance en voladizos y con vanos de alrededor de 100 m. de luz, sino que recibía la creación en formas de toda una manera de construir, de entender y de enfrentarse con problemas nuevos. De manera que dices, esto está bien, esto es lo que es. Y con estas expresiones se te introduce el problema de lo mínimo y lo estricto, de lo justo. Te está diciendo que a partir de este momento los puentes han cambiado algo en tu cabeza. Han añadido algo.



Fig. 2 Zuoz, Tavanosa, Salgina Tobel

Y este camino ha tenido un desarrollo enorme hasta desembocar en la magnífica colección de tipologías de puentes de los años 60 y 70 del siglo XX. La historia de los puentes se interpreta y te construye. Cuando analizábamos la obra de Maillart y comparábamos tres puentes clásicos, Fig. 2, el puente de Zuov, el puente de Tavanasa y el puente de Salgina Tobel, ves una evolución en la eficacia del sistema. Se ve cómo va aligerando los tímpanos, progresivamente, hasta dejarlo reducido a una serie de pilares verticales. Aun le habríamos pedido un paso más ¿Por qué no quitó los

pilares existentes entre la clave y los arranques de los arcos?, que ni morfológicamente ni formalmente tienen sentido y que cumplen su papel sólo distorsionando las patas inferiores de los arcos. Sólo en Salgina Tobel, en su parte izquierda, tiene más sentido formal, pues aparece como una prolongación del viaducto de acceso. Esto también sólo es una interpretación personal con la que se puede o no estar de acuerdo.

Lo mismo pasa cuando hablamos del adorno en los puentes. El adorno, ¿Cual es el sentido del adorno? La ornamentación siempre ha sido consecuencia de la época en que se produce.



Fig. 3 Puente de Badajoz

El puente de los Nibelungos es como es no sólo por una necesidad resistente, sino porque en esos años la austeridad formal era lo que debía ser, intelectual y culturalmente. Si comparamos ahora este puente con el puente de la Autonomía en Badajoz, Fig. 3, vemos en este último una tendencia muy moderada a acentuar determinados detalles, innecesarios, puestos para adornar. Lo cierto es que han pasado 40 años entre los dos y los tiempos suelen exigir sus derechos.



Fig. 4 P. Reina Victoria



Fig. 4 Puente Nuevo - París

En el puente de la Reina Victoria de Madrid de Ribera una ornamentación más exagerada se hace presente, Fig. 4 y si vemos el puente nuevo de París de Androuet du Carceau Baptiste, la ornamentación llega a proporcionar espacialidad al paramento plano de épocas anteriores. En mi opinión hay que adornar, siempre se ha adornado en la arquitectura y en los puentes, pero sin exagerar, cosa que no es tan fácil, pues no hay parámetros a seguir con lo innecesario. La ornamentación cuando está bien hecha, cuando no es forzada y antinatural, está bien, eso pasa en el momento actual.



Fig. 5 P. Alcántara, P. de Lucerna, P. de Lascalles

sido lo propio del trabajo de los ingenieros por necesidad. Debido a la creación de un universo formal nuevo generado por la presencia de nuevos materiales, el hierro y el acero, de problemas resistentes inimaginables, se pasa de los 40 o 50 m. de luz a los 1.000m, donde lo mínimo, mínima cantidad de material dentro de máxima eficacia resistente, era imprescindible.

Tres puentes austeros y formidables, Fig. 5. Se podría argumentar si subir el tajamar hasta el tablero en Alcántara es adornar, yo contestaría que sí, y las pinturas internas en el puente de Lucerna, también. Sin embargo es difícil encontrar adornos en el formidable puente de Lascalles.

Si vamos en sentido contrario, el puente Nuevo de París (1587-1607) está estructurado no sólo por la teoría de los arcos sino también por el tratamiento espacial de tímpano. Una ornamentación que parece fundamental al puente, aunque no lo sea. Si miramos un puente tan adornado como el puente de la Torre de Londres, 1894, Fig. 6 el espanto que produce una decoración excesiva, informa mal sobre la arquitectura Victoriana de la época.

La austeridad formal ha



Fig. 6 Puente sobre el Támesis

Pero esos tiempos heroicos han pasado, para las muy grandes luces, la máxima eficacia estructural sigue siendo imprescindible. Para otros problemas menores, la ortodoxia resistente permite y ha derivado en configuraciones nuevas, que no se deducen necesariamente de las

optimizaciones formales alcanzadas a finales de los 60 y 70 del siglo XX. No se quiere decir con esto que las optimizaciones de los años 50 hayan dejado de tener vigencia, sino que se puede ampliar el repertorio formal dentro de la ortodoxia más exigente. Se sigue caminando en el mundo de los puentes. Varios ejemplos.

En el caso de los puentes atirantados nos enfrentamos en primer lugar con el puente Erasmus de Van Berkel en Rotterdam. Es el primer puente que huye de la compensación de cada cable delantero por otro trasero y la compensación la reduce a un solo cable trasero que controlada de flexiones en la pila, y por esta razón la quiebra. Fig. 7.



Fig. 7 Erasmus de Van Berkel



Fig. 8 Puente de Serrera



Fig. 9 Puente de Dublín

Calatrava coge este ejemplo y lo optimiza en el puente de la Serrera de Valencia y en el puente de Dublín Fig. 8 y 9. Da, a la pila, forma de un arco vertical, conduciendo

los esfuerzos de los tirantes delanteros a los apoyos en la base y al superior, el cual está recogido por los tirantes traseros. La pila toma la forma de un antifunicular de carga.



Fig. 10 Puente de Lleida

En el puente de Lleida hemos adoptado una posición de puente atirantado especial y espacial. Soy de la opinión de que cuando se trata de obras pequeñas, este puente atirantado (atirantamiento extradorsal) tiene dos vanos de 95 y 85 m, lo que se puede y quizás se debe hacer es ensayar son configuraciones morfológicas nuevas. Esa es la razón del soporte principal, constituido por cuatro brazos, dos parejas de brazos en “V” cruzadas, Fig. 10, la primera, lateral al puente, de donde se cuelga el dintel y la segunda

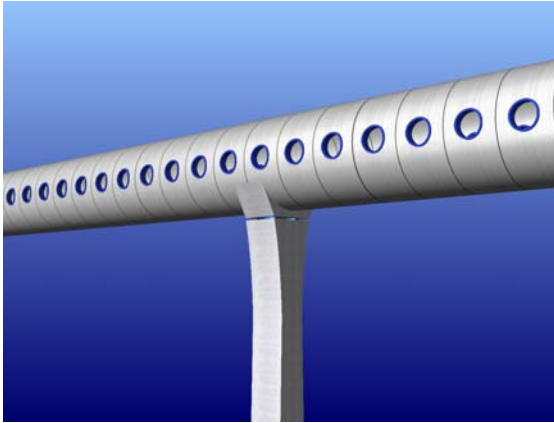
en el eje, que incrementa la rigidez del dintel respecto al atirantamiento y por tanto reduce la oscilación de carga en los tirantes.



Fig. 11 Puente de Gorostiza

Por muy poco habitual que sea esta disposición siempre está dentro del mundo de los puentes, del rigor en el acoplamiento de la forma a la respuesta estructural.

En la Fig. 11 planteo el caso del puente ideal, que salta de una a *otra orilla sin apoyarse*. Es el puente de Gorostiza de 130 m. de luz, estricto, limpio, evidente.



Propuesta de puente de 300 m. de luz



Puente sobre el río Ebro-LAV Madrid Barcelona



Puente sobre el río Miño

Fig. 12

Hacer un puente tubular de más de 300 m. de luz para ferrocarril, Fig. 12, constituye una aspiración buscada, realizar puentes donde se penetre, caso de las celosías espaciales sobre el Miño, el Ticino en Novara, uno de los puentes de Zamora del siglo XIX, o los más actuales del puente para la línea de alta velocidad sobre el río Ebro en Zaragoza o otros varios intentos,

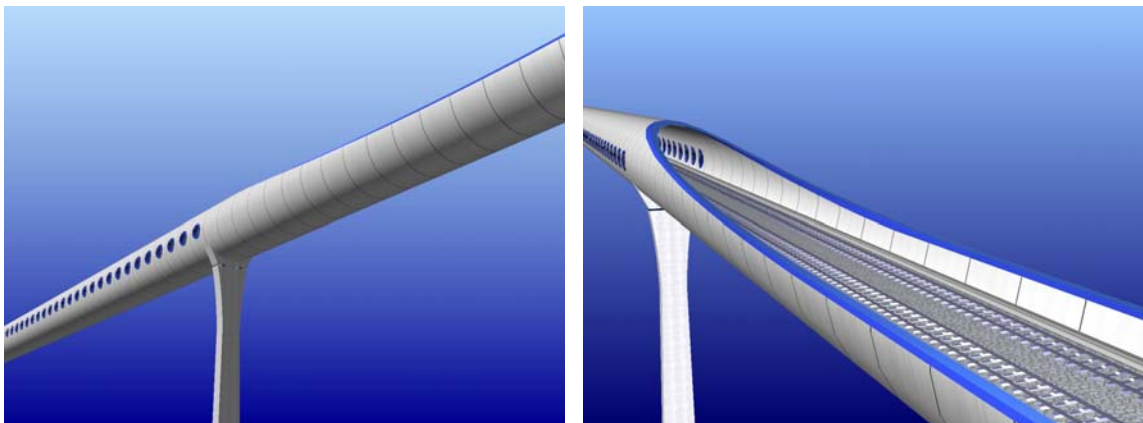


Fig. 13 Transición de luces en el puente de 300 m. de luz

Resistentemente es una disposición perfecta para resolver una gran luz y morfológicamente se acopla perfectamente bien al cambio de luz y de inercia, Fig. 13



Fig. 14 Puente de Endarlatsa



Fig. 15 Puente de Arriondas

En el puente de Endarlatsa, Fig. 14, puente arco de 100 m. de luz, la disposición estructural es de lo más simple, un arco muy plano y ancho (necesita rigidez transversal para recoger las flexiones de eje vertical ya que la planta del arco es ligeramente curva), un dintel con rigidez a torsión en el cajón y pilas elementales, para relacionar arco y tablero. Es otra configuración más compleja que la que aparece en Arriondas, Fig. 15, en que arco y tablero se relacionan por pareja de pilas en un tablero de doble viga longitudinal y doble arco longitudinal. Dos disposiciones diferentes pero en la primera se acentúa más la individualidad de los elementos y la elegancia de su disposición relativa.

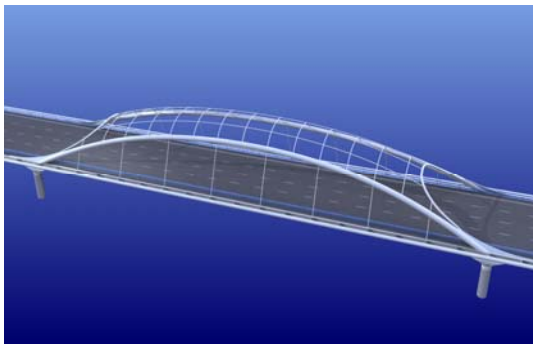


Fig. 16

Dentro del planteamiento de configuraciones resistentes ortodoxas, presento un proyecto que estamos en ello ahora con Dragados y que parece que va por buen camino para un puente en Miami. Fig. 16

La forma del puente es totalmente clásica, un tablero metálico soportado por dos arcos superiores. Hasta ahí todo normal. Pero siempre me han parecido desamparados los arcos superiores sueltos, razón por lo cual lo hemos inclinado uno con otro. Además hemos dispuesto un tejido complementario, con escaso poder resistente pero que constituye con los arcos, un espacio brillante que además puede ser

el soporte de un conjunto de “leds” que iluminan la forma de la bóveda que configuran. Es lo monumental lo que le proporciona aquí el carácter de heterodoxia. Posiblemente en el próximo futuro se utilicen bastantes más estas características ajenas.

En otro tramo de este mismo proyecto, la planta del puente es curva. Lo normal es disponer dos arcos planos que se nota no siguen el trazado de la planta, sin embargo si a este tejido se le proporciona rigidez horizontal, los arcos pueden ser curvos, acoplándose al trazado en planta de la calzada.



Fig. 17

Otros puentes muy parecidos conceptualmente, con la misma configuración estructural y constructiva, pero muy separados en el tiempo y la distancia son el puente de San José, Costa Rica de T. Y. Lin (197) y el puente de Ingolstadt sobre el Danubio de Schlaich (1998) de 164 m. de luz.

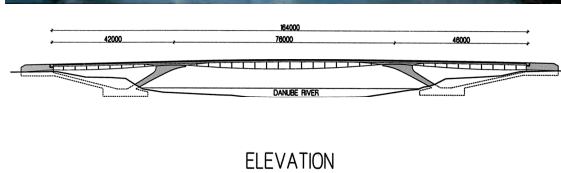


Fig. 18

Son puentes colgados, con cuelgue curvo bajo el tablero, hormigonado en el caso del puente de San José, Fig. 17 y con cables a la vista en el de Schlaich. Sobre ellos por medio de elementos verticales se soporta un tablero recto, cuya rigidez reposa en la del tablero propiamente dicho más a la correspondiente elemento de cuelgue que es tanto mayor conforme menos flecha tengan los cables. Fig. 18

Es a fin de cuentas una banda tesa donde están separados los cables de sustentación de la calzada de rodadura. La pasarelas de peatones son auténticas bandas tesas.

Ahora una pasarela, la del Miho Museum, de 120 m. de luz (1998) con proyecto de I. M. Pei y Leslie E. Roberson Fig. 20 y por otro lado el puente de Obore Argen de Schlaich, Fig. 19 en los que se utiliza el atirantamiento superior e inferior a la manera de una viga continua de dos vanos. Atirantamiento superior el correspondiente al apoyo y el inferior a la zona de momentos positivos. Fig. 19



Fig. 19

En la pasarela del Museo Miho, Fig. 20, se utiliza un arco como soporte de los tirantes en la pila, planteamiento difícil de cumplir en los puentes por la gran rigidización que debe tener el arco cuando la carga de los tirantes de un lado sea superior a los de otro. En el caso de una pasarela, con una sobrecarga mucho mas uniforme se puede, Schlaich, en un puente de autopista de 255 m. de luz utiliza el mismo principio pero con la pila triangular. Los tirantes de la pila se anclan en el dintel, de cuyo punto salen los tirantes situados bajo el dintel. Esta esplendida idea que produce pilas de la mitad de altura que las de un puente atirantado, para la misma eficacia resistente, resulta escasa para el usuario. Este solo ve una pequeña pila y un solo trozo atirantado. No ve el resto y no queda muy bien. El espectáculo que da el arco en la pasarela del museo Miho compensa la falta de la visión inferior del puente. Fig. 20



Fig. 20



Fig. 21

Christian Menn es un ingeniero muy clásico, formidable seguidor de Maillart, en lo que se refiere a puentes arco muy delgados, pero que por otro lado ha proyectado y construido dos puentes especiales y muy personales, el puente de Ganter, curvo en planta de 678 m. de longitud, 170 m. de luz máxima y 160 m. de altura, un puente atirantado con “velas” de hormigón como soporte del dintel (1980) y el muy sofisticado de Sunniberg bridge de 1999 con una longitud de 526 m., vano principal de 140 m. y altura de pilas de 60 m. Es curvo en planta con un dintel muy delgado. Fig. 21

Menn realiza un atirantamiento extradorsal, con pilas cortas sobre el dintel, condición estética imprescindible para que un puente continuo alto quede bien.

Bajo el dintel las pilas son altas alrededor de 60 m. Sobre el tablero la pila tiene una altura cuya relación con la luz del dintel es del orden del 10 al 15%. La forma de la pila es muy rígida con el fin de que las pilas cortas prácticamente sean un anclaje fijo de los tirantes y estos sólo se deformen por elongación del acero. A la vez se reduce el dintel a un espesor de 0,4 m. con dos vigas laterales de 0,8 m. Esta extrema flexibilidad del dintel hace que los tirantes trabajen mucho aún con esa pequeña altura sobre el dintel.

La curvatura en planta, $R=503$ m. le permite empotrar el dintel en las pilas y no necesitar junta de dilatación en el estribo que es un punto fijo (no se si solo fijo o empotrado), la dilatación produce un desplazamiento transversal del dintel curvo, arrastrando a las pilas, cuya



Fig. 22

forma produce una gran flexibilidad transversal (sólo tiene dos riostras intermedias)



Fig. 23

esta configuración, va a ser hora de hacerlo con puentes. Fig. 22

Schlaich ha desarrollado un mecanismo obvio que se concretó por primera vez en la pasarela que existe dentro del Museo del Puente en Munich. La torsión puede ser resistida por dos fuerzas horizontales y opuestas, como se ve en la Fig. 23, la curvatura en planta de los tirantes superiores y del tubo inferior desarrolla las cargas para que la ménsula

elemental no gire bajo la influencia de la sobrecarga ¿Procede todo esto de la portentosa cubierta del estadio olímpico de Munich? Unos simples puntales habrían evitado el cable exterior curvo que introduce la carga horizontal en la ménsula que ellos podrían introducir mucho más simplemente. Esta invención ha resuelto el problema de las cubiertas desde el estadio olímpico de Sevilla, todas las alemanas, y el nuevo de la Peineta en Madrid, hasta todas las cúpulas tensigrity americanas, Fig. 24.

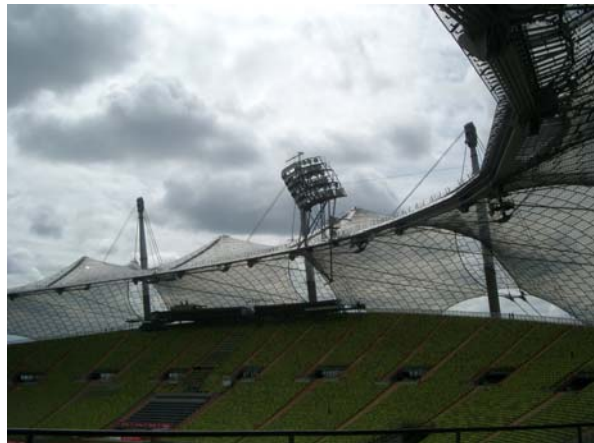
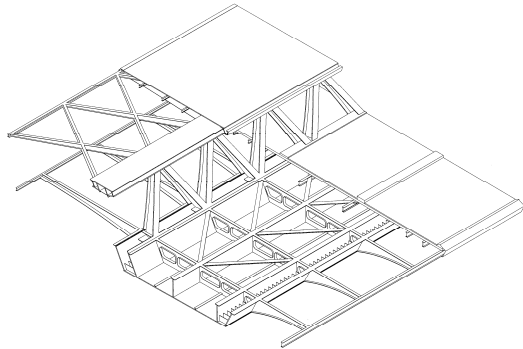


Fig. 24

La ortodoxia de Menn no reside en planteamientos caprichosos que es capaz de resolver, sino en análisis rigurosos de los mecanismos resistentes habituales que cambia cuando le interesa.

Con la torsión, mejor dicho, con el acoplamiento que existe entre flexión y torsión en los dinteles curvos se pueden conseguir estructuras diferentes y diría que formidables. La pasarela atirantada de la Expo 2008 en Zaragoza, de 140 m.+90 m. de luz es un ejemplo de este acoplamiento. Se puede atirantar a un solo borde pues la torsión se convierte en flexión produciendo, carga variable en los tirantes. Nunca hemos salido de las pasarelas en la aplicación de



PUENTE EUSKALDUNA

Fig. 25

De nuestro trabajo presento dos puentes, el puente de Euskalduna y el puente de Galindo, los dos en Vizcaya.

El puente de Euskalduna con tres luces de 75,4 m. + 113 m. + 175,4 m. es una viga en Z constituida por una triangulación superior horizontal, otra vertical y una viga cajón inferior de 2,00 m. de centro. La celosía vertical tiene 6,6 m. de centro total. Su rigidez a flexión se consigue por el conjunto de los tres elementos y la rigidez a torsión como suma de la rigidez de la Z más la del cajón inferior. El puente esta en una alineación recta y otra curva de 120 m. de radio. Fig. 25.

Los problemas funcionales, dar cobijo a los peatones en la intensa lluvia de Bilbao, se convierten en definidores de unos mecanismos resistentes eficaces.

El puente sobre el río Galindo tiene un arco de 110 m. de luz, es curvo en planta con radio de 250 m. La antifunicularidad del arco curvo se consigue por un atirantamiento transversal cuyas fuerzas se convierten en torsión del tablero. Fig. 26



Fig. 26

LO HETERODOXO

He definido al principio de este trabajo lo ortodoxo, como aquello que vive dentro del mundo de los puentes, gobernado por las variables de lo resistente y lo constructivo cuya conjunción desemboca en la forma de los puentes clásicos de finales de los años 60 o 70 del siglo XX y las variaciones que sobre las formalizaciones estrictas se han producido hasta la actualidad y seguro que seguirán produciéndose y que hemos seguido en parte en los párrafos anteriores.



Fig. 27

Heterodoxo era todo lo que no pertenece al mundo de los puentes, que se ha producido desde otros ámbitos, generalmente arquitectónicos, con gran potencia formal y expresiva, muchas veces, pero que poco o nada varía añadir al desarrollo futuro de los puentes. Son obras marginales que se han producido a lo largo de la historia pero sobre todo desde que la ingeniería encontró la manera de resolver cualquier problema que se le presentase y esto ha pasado sobre todo a finales del siglo XX y principios del XXI. Carecen de la tensión que se establece cuando se alumbran nuevas configuraciones resistentes y constructivas, da lo mismo que estén o que no estén pues como mucho deslumbran por su espectacularidad a los ingenuos pero que sumergen en la frialdad más absoluta a aquellos que quieren ver que algo pasa en el mundo de los puentes.

El puente más significativo en esta familia de puentes heterodoxos es el Pabellón-Puente de la feria 2008 de Zaragoza, de la que es autora la arquitecto Saha Hadid. Pocas obras más espectaculares, más caras y con menos sentido. No se puede seguir nada de ella, Fig. 27, una obra, que cuando algo no responde a una estética prefijada, se oculta y se carena. Si su atractiva forma exterior responde a una estructura interna con sentido, de buena gana aplaudiría su realización y no me importaría lo cara que fuera, pero presenta una estructura interna tan falta de sentido como nos ofrecen

fachadas resistentes, arcos internos que no se apoyan gobernados por la forma que determinan. Fig. 28. Que hermosa y que desastre.



Fig. 28

Los arquitectos están muy tentados a hacer puentes. Para ellos no es sino una escultura gigante donde desarrollar su inventiva. Pero ¡ojo! la inventiva no es algo que se tiene, nunca es ajena al mundo que le da sentido y configura. La inventiva surgida para puentes, que van variando determinadas configuraciones porque se les ocurren cosas, es una porquería, no responde a nada y a nada contestan.

En ese sentido son bastante lamentables algunos puentes de la TGV Mediterrane, realizada por arquitectos, supongo que asistidos por ingenieros, estudio Greisch de Bruselas, que se han limitado a resolver los problemas técnicos que presentan.

El viaducto del canal de Donzare, dos arcos continuos en bow-string de 110 m. de luz y unidos en la parte superior por otro arco que se apuntala sobre los dos arcos, Fig. 29. Sus estudios

indican que la presencia del arco superior y los puntales rigidizan los dos arcos bow-string para cargas alternadas, estableciendo la continuidad entre ambos sin resultados espectaculares que no nos inviten a seguir ese camino.



Fig. 29

El puente sobre el Mosa es un dintel continuo de 108 m. de longitud, con dos vanos laterales de 28 m. y 30 m. y un tramo central de 52 m. soportado por un arco doble sin otra conexión que la que iguala corrientes verticales. Fig. 30



Fig. 30

Los viaductos de Mornas y Mondragón del arquitecto Jean Pierre Duval, son dos arcos desdoblados de 84 m. y 121,4 m. de luz principal, en su cruce sobre el Rodano, acompañados de dos largos viaductos de acceso. Los dos arcos desdoblados están asociados por una serie de tirantes verticales, que después se prolongan hasta el tablero y por una gran pieza central rígida en el centro de la luz de los dos arcos. Fig. 31



Fig. 31

ellos.

Se hicieron varios estudios de conexión entre los arcos, desde dejarlo exclusivamente son péndolas verticales, como quería el arquitecto, a establecer una triangulación entre ellos la más eficaz y que vetó el arquitecto por antiestética, hasta llegar a un acuerdo entre ingenieros y arquitecto disponiendo la pieza, desgraciada pieza central, que unía entre si los arcos que a su vez impedía los desplazamientos longitudinales diferentes entre ellos.

El viaducto del Arco del arquitecto Bruno Gaudin se trata de 7 tramos rectos soportado por vigas en celosía en “vientre de pez”, Fig. 32, de 44,0 m. de luz. Este diseño sustituiría a otro preliminar, bijacena. En la Memoria el arquitecto dice: “La visión arquitectónica de la obra quería ser la de un hilo tendido – expresión dinámica de un puente de alta velocidad- como un ala de hormigón perfilado que cruza el valle y desaparece detrás de la vegetación, el ala se apoya sobre un encaje de metal festoneado que deja pasar el aire del valle” El extraño apoyo sobre las pilas

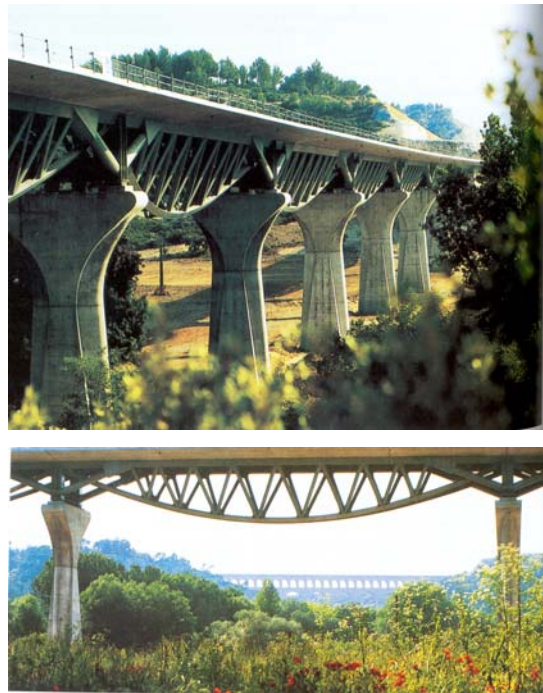


Fig. 32

tiene como misión dar continuidad longitudinal a las vigas en celosía de 43 m. de luz y cantos que varían entre 3,72 m. y 6 m. Mantener este apoyo sobre los estribos fue suprimido pues a los proyectistas les parecía “contra natura.

Otra obra francesa, cuya “heterodoxia” admito con gusto, no como lo que acabamos de ver. Se trata del viaducto Le Corbusier de Lille, Fig. 33, constituido por dos tableros que se apoyan sobre unos arcos inferiores, estructuralmente incorrectos pero que crean un espacio bajo el puente agradable, en un espacio totalmente urbano.



Fig. 33

Finalmente una obra de Calatrava, el puente de Murcia, Fig. 34, no de las más brillantes, pero si la única que tenía a mano. Calatrava no añade ni ha añadido nada al mundo de lo resistente, pero formalmente está a diez años luz de estos puentes



Fig. 34

franceses. Dos puentes que me gustan, el acceso al puente de Alamillo y el puente sobre el Spree en Berlín y el resto, perteneciente desde luego a este mundo de lo heterodoxo, brillantes, pero que para mí presentan el contrasentido de la conjunción entre la brillantez formal y la falta de consistencia resistente nueva. No se puede ser tan bueno formalmente y no añadir nada al mundo de los puentes. Curiosamente, Calatrava, con lo que gusta ha sido muy poco copiado.