

# PLANTEAMIENTO GENERAL DEL DISEÑO ACTUAL DE PUENTES

*Javier Manterola - Ingeniero de Caminos*

Estamos viviendo una época intermedia en la concepción de puentes. En los años 60 del siglo XX no había dudas, había que trabajar y desarrollar los puentes de vigas prefabricadas para las luces pequeñas y medias y puentes contruidos en avance en voladizo para las luces medias y grandes, y ambas de hormigón. Al final de los sesenta se empieza a trabajar en los puentes atirantados y ya en los años 70 se produce el renacimiento de los puentes arco. El espectador atento veía como se sucedían procesos creativos de gran potencia y utilidad. No se podía, no se debía estar en otra cosa que no sea conseguir saltar los 100 m. de luz con un puente de hormigón pretensado que seguía más o menos de cerca al puente de Bendorf sobre el Rhin o penetrar en el “intrínquilis” de las losas aligeradas, en sus versiones diferentes para saber como funcionaba con suficiente rigor un puente oblicuo o curvo, la presencia de apoyos únicos, etc.

En construcción “in situ”, todo venía de Alemania, si la construcción era prefabricada de Francia, y los demás nos esforzábamos en seguir la huella. Aun tardó algo en venir con fuerza la estructura mixta.

Mientras las configuraciones de hormigón se fueron optimizando, los sistemas de pretensado se fueron unificando y los procedimientos de puesta en obra mejorando, las configuraciones en estructura mixta empezaron a ofrecer sus ventajas tanto para las luces cortas y medias como y sobre todo para las grandes luces.

Todo esto fue un proceso que ocupó décadas, en las cuales se llegó a optimizar casi todas las configuraciones y en conocer que era lo adecuado para cada caso. Se podría decir que para cada problema había una solución optima y se conocía desde el principio, al enfrentarse con cada problema.

Se podía decir que el mundo de los puentes estaba cristalizado, fosilizado. Todo se reducía a conocer bien el catalogo de morfologías y de procesos constructivos para proyectar y construir bien.

En aquellos, no tan lejanos años, los puentes normales se nos empezaron a ir de las manos a los diseñadores de puentes. Era difícil competir con una casa de prefabricación que te servía modelos bien diseñados y acoplados, rectos, curvos, apoyados o continuos, para todos los puentes de luces medias. Así los pasos superiores

empezaron a salir de nuestras manos para convertirse en modelos que había que comprar en el supermercado de las diferentes casas de prefabricación. El puente de autopista se compraba y se compra “...mándame 25 pasos superiores de autopista y en cuanto tiempo los tendré montados”.

Con las luces medias y grandes los diseños optimizados no eran tan fáciles, sobre todo porque había menos puentes a hacer de esos tamaños. El puente mixto empieza a cubrir gran parte de este espacio, luces de 60 a 100 m., pues era un puente que te lo montaban y construían, aunque en este caso aun necesitaba un diseñador.

Y podríamos seguir en este proceso de construcción de un gran catalogo de los puentes con los que uno se encontraban y que la tarea del ingeniero era la de ser un buen conocedor del mismo y por tanto un buen elector del puente más adecuado para el sitio que se tenía.

Para las luces, mayores de 70 m. u 80 m. el diseñador aun era importante, sobre todo cuando la presencia de los puentes arco y atirantados no era tan general como para que se pudiese encontrar en un catalogo y resolver cualquier problema.

¿Es esta la situación actual? Si no exacta, bastante parecida. Sabemos lo que hay, como se construye y lo que cuesta.

Si estuviésemos hablando de un estilo arquitectónico, de una tendencia artística, se diría que habíamos coronado la fase del clasicismo y nos encontramos claramente en el manierismo. Aparece “a la manera de... “. La ortodoxia resistente no se cumple, se evita desde muchos puntos de vista. Lo estricto, lo mínimo, lo más barato, aquello que ha configurado nuestro entendimiento de los puentes durante muchos años se cuestiona. Varias veces ha puesto este ejemplo. Cuando en el siglo XVI se están construyendo en estilo gótico tardío las catedrales de Plasencia, la nueva de Salamanca y de Segovia, se conocía y bien la catedral de León, la de Burgos, etc. Las buenas catedrales góticas españolas y las francesas, y sin embargo sólo se podía hacer lo que hicieron. No pensaron en repetir la catedral de León en Salamanca. Los tiempos te impelen a realizar soluciones menos puras y algo decadentes, pero nuevas.

Y a esta parte voy a dedicar el resto de mi ponencia a esos puentes diferentes, más sofisticados, que serán recordados como ejemplo de lo que se hacía en un tiempo de decadencia, el existente entre el apogeo de la construcción en hormigón pretensado y la construcción mixta y aquel otro en que aún los nuevos materiales y las formas derivadas de su utilización no habían abierto el camino de lo nuevo.

## PUENTES HETERODOXOS

Lo heterodoxo es difícil de clasificar, simplemente hay que exponerlo, pensando además que generalmente, mucho de ello, está lleno de talento.

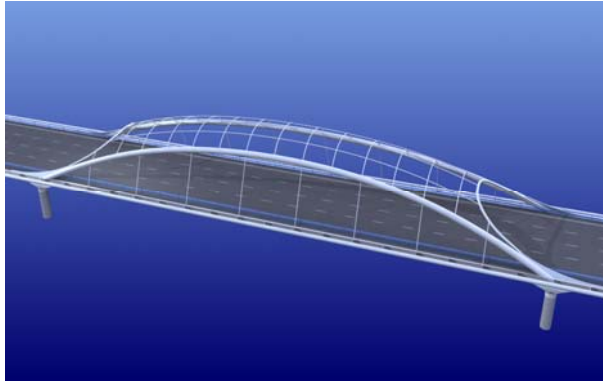
Y los hay de muchos tipos, por ejemplo los que enfatizan lo monumental dentro de una ortodoxia resistente. El puente de la Barqueta es un puente algo heterodoxo pero clásico, el puente del Milenio de Zaragoza es claramente heterodoxo, se busca lo monumental, exagerando la luz, la anchura y las calidades. Esto se ha hecho muchas veces en la historia, enfatizar lo clásico para monumentalizarlo y no está mal siempre que no se quiera confundir el legado de lo exagerado con lo ingenieril. Este puente no habría sido posible en los años 70. De cualquier manera es un viaducto esplendido. Fig. 1

Dentro del planteamiento de configuraciones resistentes ortodoxas hechas heterodoxas por circunstancias ajenas, presento un proyecto que estamos en ello ahora con Dragados y que parece que va por buen camino para un puente en Miami. Fig. 2



*Fig. 1*

La forma del puente es totalmente clásica, un tablero metálico soportado por dos arcos superiores. Hasta ahí todo normal. Pero a mí siempre me han parecido desamparados los arcos superiores sueltos, razón por lo cual lo hemos inclinado uno con otro. Aquí 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 por la corcha la bóveda que configuramos. Es lo monumental lo que le proporciona aquí el carácter de heterodoxia. Posiblemente en el próximo futuro se utilicen bastantes más estas características ajenas.



*Fig. 2*

formal y resistente. El atirantamiento, al colocarse por encima del tablero, para resistir no le va bien, estéticamente hablando a un puente tan alto que sólo lo salva el hecho de que todas las configuraciones son iguales, cualquiera que sea la altura de las pilas.

Dos 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. 3*

En otro tramo de este mismo proyecto, la planta 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.

Podría decirse que otra obra espléndida como el viaducto de Millau, Fig. 3 es una obra heterodoxa. Me acuerdo que cuando la vi., después de mi asombro, mi reflexión me llevó a la conclusión de que este puente era el fin de algo, más que el principio de algo. Todo en este puente está bien, al acoplamiento de la altura con la continuidad longitudinal, su diseño

Son puentes colgados, con cuelgue curvo bajo el tablero, hormigonado en el caso del puente de San José, Fig. 4 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



Fig. 4

del tablero propiamente dicho más a la correspondiente elemento de cuelgue que es tanto mayor conforme menos flecha tengan los cables. Fig. 5

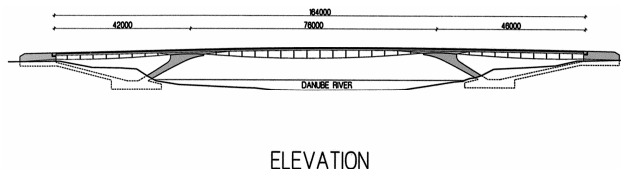


Fig. 5

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 y por otro lado el puente de Obore Argen de Schlaich, 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. 6





*Fig. 6*

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. 7



*Fig. 7*

Christian Menn, un ingeniero clásico, formidable seguidor de Maillart, proyectó dos puentes especiales y muy personales, el puente de Ganter de 678 m. de longitud, 170 m. de luz máxima y 160 m. de altura, un puente atirantado con “velas” de

hormigón como soporte y planta curva (1980) y el 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. 8

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

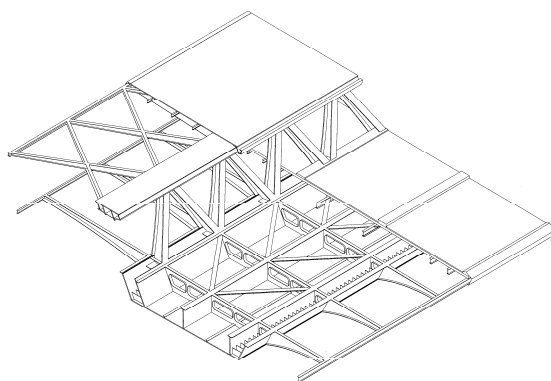


Fig. 8

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. 9



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 que se convierte en torsión del tablero. Fig. 10



PUENTE EUSKALDUNA

Fig. 9

Marc Mimram es un ingeniero y arquitecto francés con realizaciones tan perfectas como la Pasarela de Solferino en Paris. El puente sobre el Mosa es un pequeño puente formado por tres luces 30m+52m+30m. estando la luz central soportada por un arco doble, en una disposición tanto escultórica como resistentemente.

En el viaducto de la Garde Ademar para el TGV Mediterraneo en 1999 hace un doble arco bow string conectados

entre si con un procedimiento que rigidiza los arcos ante el paso de la sobrecarga del TGV con una configuración confusa.



*Fig. 10*