

III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro



Realizaciones



PASARELA DE SANT PERE DE TERRASSA

Manuel **REVENTÓS ROVIRA**¹, Albert **MAS SOLER**¹

¹ Ingeniero de Caminos, Ingeniería Reventós, S.L.

RESUMEN

La idea de solucionar el problema del paso peatonal sobre el torrente de Vallparadís mediante una banda tesa obedece a los criterios de conservación y respeto al Parque y su arboleda, así como a la verificación del Código de Accesibilidad de Cataluña. Además, esta pasarela no había que concebirla solo como un paso urbano de peatones, sino que había que considerarla como un pasadizo cultural de conexión entre el conjunto monumental y el futuro “ Museo de las Iglesias “.

Este artículo no solo se centra en el análisis técnico del proyecto y sus condicionantes, sino que hace un repaso histórico y cultural acerca del uso de este tipo de estructuras.

PALABRAS CLAVE

Banda tesa, puente colgante, pretensado, cable portantes

1. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

Terrassa cuida como la niña de sus ojos el parque de Vallparadís de relativa reciente creación y central en el tejido urbano. El parque está formado por el torrente del mismo nombre y los dos que lo alimentan: el de “les bruixes” y el de Moner. En el vértice de la confluencia y a caballo de los dos torrentes generadores se sitúa el conjunto monumental de las iglesias románicas de Sant Pere de Terrassa, lugar sacro con un registro histórico de población humana sin interrupción de unos 2.700 años.

Desde el s XVI el acceso a las iglesias desde el centro urbano se realiza por el “Pont de Sant Pere”, magnífica serie de arcos de mampostería, sobre el torrente de “les bruixes”. El crecimiento urbano ha rodeado los torrentes que discurren a cota sensiblemente más baja que las terrazas fluviales de Terrassa, de ahí su nombre, creando un problema de comunicación entre ambos márgenes, en nuestro caso sobre el torrente de Moner.

En 1995 el Ayuntamiento convocó un concurso de ideas sobre la articulación urbanística de toda la zona, concurso que incluía el tratamiento del conjunto

monumental-arqueológico, la creación de un nuevo museo y, entre otras piezas, la solución del paso peatonal sobre el torrente que no lo tenía resuelto.

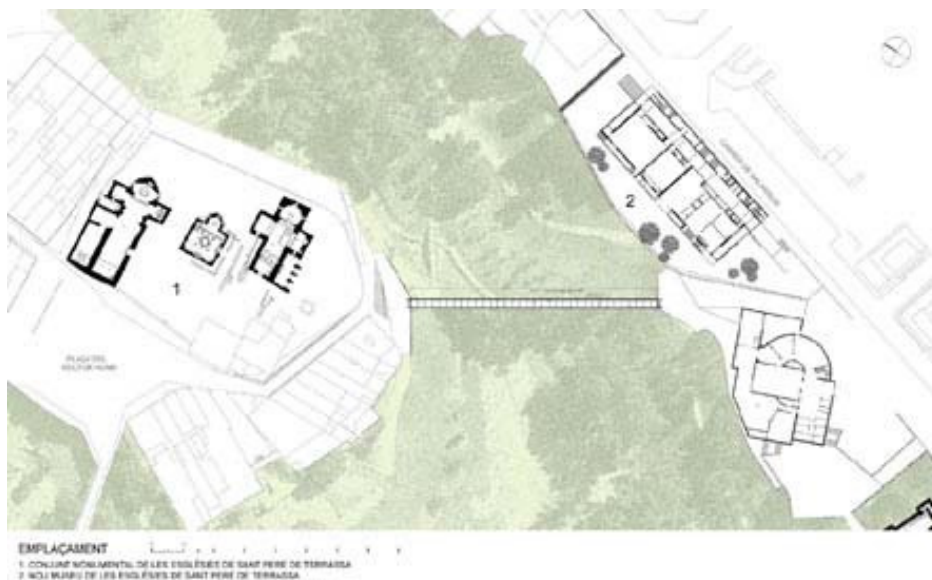


Figura 1. Situación

Dicho concurso multidisciplinar lo ganamos formando equipo con RGA arquitectos, con Pere Riera a su cabeza. De la memoria del concurso extraemos lo referente a la pasarela:

“Los primeros puentes erigidos por el hombre para superar grandes luces seguían la forma de la catenaria, la tipología del puente colgante.

Aún hoy en día cuando es necesario superar una gran luz el único esquema posible es el del puente colgante: San Francisco, Lisboa, ...

Los materiales han ido evolucionando: lianas primero, cuerdas a continuación, cadenas más tarde y finalmente cables; el esquema se ha mantenido invariable.

¿Quien no ha visto la fascinante imagen del puente oscilando sobre el rápido de un río en una foz de paredes verticales? En pleno Himalaya o en los Andes.

¿Hace falta hacer referencia a la multitud de episodios de las historias de aventuras que tienen en el puente colgante su escenario?

Al plantear la construcción a finales del siglo XX de una pasarela situada en el conjunto arqueológico de Sant Pere de Terrassa, parece conveniente utilizar un esquema estructural con tradición y solera: el puente colgante la proporciona.

Al recinto se accede por el Puente de Sant Pere, conjunto de arcos de los siglos XVI-XVII, pieza de gran rotundidad y también exponente de una forma estructural consolidada. Competir con él está fuera de lugar y, como acostumbra a ser recomendable en estos casos, batirse en retirada es lo más prudente. Entonces, la especificidad de la nueva construcción tiene que ser la contraria: la ligereza. El puente colgante nos la nutre.

Contrariamente a los puentes para tránsito rodado, en las pasarelas para peatones se puede unificar en un solo elemento la función resistente y la de plataforma para los usuarios: afortunadamente, los humanos somos menos exigentes que las máquinas para a podernos mover con comodidad y además pesamos bastante menos que cualquier vehículo.

*A las estructuras que utilizando el esquema de puente colgante unifican cable y plataforma se las ha bautizado con el nombre de **banda tesa**. Su característica radica en que no precisan torres de dónde suspender los cables, siendo la propia flecha de la plataforma la que proporciona el brazo mecánico suficiente para resistir las cargas. En Sant Pere la ausencia de torres, conflictivas con el arbolado, es clave para agudizar la esbeltez de la nueva construcción. Como en todos los casos de estructura suspendida, el elemento crítico es el anclaje de las potentes fuerzas horizontales que se generan, hecho que obliga a disponer estribos enterrados de cierta complejidad. Otramente, el procedimiento constructivo es extraordinariamente simple y se puede prefabricar la totalidad del tablero.*

En Sant Pere, tecnología reciente y formas milenarias se pueden dar la mano".

1.2. LAS BANDAS TESAS. INICIOS, CONCEPCIÓN MODERNA Y REALIZACIONES RECIENTES

El origen de las bandas tesas se pierde en la noche de los tiempos; las primeras noticias de puentes colgantes que integran liana y plataforma nos llegan de la vertiente este del Himalaya, donde nacen el Yang-Tzé y el Mekong, en el Sichuan y el Yunnan chinos; probablemente ya en el siglo I y con

seguridad desde el siglo VII existían puentes de cadenas como, por citar alguno, los aún existentes de Tiehong en Shigú (Ciudad del Tambor de Piedra), el de Jihong en Yongping de 57,3 m de luz construido en 1.475 (su antecesor fue calificado por Marco Polo como “terrorífico”) o el de Luding, sobre el río Dadu, que en 1.705 fue el primer puente en el mundo que superó los 100 m.



Figura 2. Puente de Tiehong. Shigú. China

La concepción moderna de las bandas tesas proviene de un concurso de ideas convocado en 1.960 para construir un puente sobre el Bósforo en Istanbul, allí U. Finsterwalder propuso una solución con tres luces de 400 m. El meollo de la propuesta, a parte del cable muy tendido, consistía en unificar cable y tablero dotando al conjunto de una cierta rigidez mediante una losa de pequeño espesor de hormigón (en las modernas pretensado) que embebe al cable; así, por una parte se controla la deformabilidad del tablero, limitándola, y por otra se resisten los esfuerzos ante los cuales la parábola no es la curva funicular de las cargas, la expresión estructural del camino más corto. La propuesta no ganó pero pasados unos años se construyeron algunas bandas tesas de luces moderadas (Expo Osaka, 28 m, 1969 / Karlstreg, Friburg, 30 m, 1970 (el propio Finsterwalder) / Rosenstein, Stuttgart, 29 m, 1977 / Hayahinomine, Japón, 49 m, 1977) en este periodo sobresalen las de Lignon-Löex en Ginebra de 136 m (1971) y la de Holderbak, también en Suiza, de 216 m (1964), ésta última soporte de una cinta transportadora de carbón. La explosión de la tecnología no se produce hasta entrados los años ochenta cuando J. Strasky pone a punto los procedimientos industrializados y se lanza a construir su colección de bandas tesas en Chequia entre las que hay que destacar la de

Troha en Praga (96 m) y de la de Nimbork (102 m) para culminar en 1990 con la de Redding (California) sobre del río Sacramento de 127 m. A partir de ese momento se ha construido una quincena de bandas tesas, las mayores entre las existentes hoy en día son las de Yumetsuri Bashi en Japón con 148 m y la de Plovdiv en Bulgaria de 150 m. La primera y, justo hasta ahora, única realización española es de 1.990 en Almazán (Soria) con 35 m de luz y proyecto del estudio de J. A. Torroja.



Figura 3. Pasarela de Yumetsuri Bashi. Japón. 148 m de luz.

En una breve reseña sobre las bandas tesas hay que hacer un aparte para mencionar el “*punte curvo*” de la Barra Maldonado (Uruguay) construido por Viera y Mondino, tanto su precocidad (1965) como su luz (90 m) hubiesen tenido que granjearle en su momento un lugar honorífico, su ubicación geográfica y entorno cultural le jugaron una mala pasada y tuvo que ser P. Neruda con su poema (*... / une dos soledades separadas / y no pretende ser sino un camino*) quien lo inmortalizara.

Como nota técnica habría que decir que las grandes bandas de los inicios (Holderbak, Lignon-Löex, Barra Maldonado) tienen relaciones flecha/luz (la panza de la banda) mayores que las actuales, del orden del doble o más, lo que les confiere una geometría con pendientes en los extremos que actualmente no sería aceptable y también un comportamiento estructural más cercano al lineal.

1.3. CONDICIONANTES Y DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

Los condicionantes básicos del proyecto eran la exigencia de un respeto exquisito al Parque y su arboleda, con plátanos de hasta 40 m de altura, y verificar el Código de Accesibilidad de Cataluña que no permite pendientes excesivas en los itinerarios marcados como adaptados a personas de movilidad reducida, problema que se agravaba por la diferencia de nivel existente entre los arranques.



Figuras 4 y 5 . La pasarela en la arboleda de Vallparadís

La solución mediante una banda tesa resolvía perfectamente el respeto al Parque ya que no exigía actuación alguna sobre el mismo pudiéndose actuar totalmente desde fuera si se exceptúa el corte de alguna rama y la protección frente caídas de objetos en los caminos sobre los que se volaba. En cambio, la geometría de la banda con una relación flecha/luz cercana a 1/50 se situaba en el límite de la exigencia de pendientes máximas del Código: entre el 8 y el 10% en los 4 m del extremo superior.

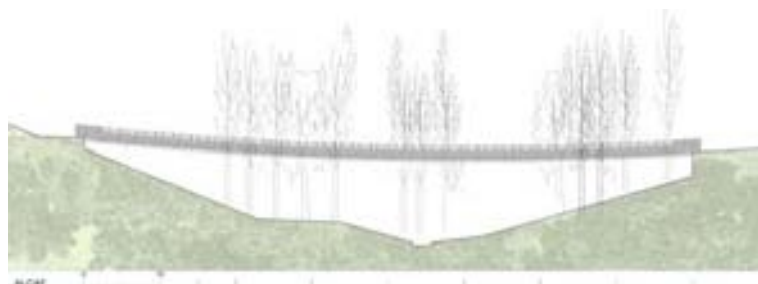


Figura 6. Alzado

Otros condicionantes eran: la concepción mixta de la pasarela, por una parte había que pensarla como un paso urbano sobre el torrente y por otra concebirla como un pasadizo “cultural” de conexión entre el conjunto monumental y el futuro “Museo de las Iglesias” situado en el otro margen del torrente y, también, esta circunstancia ya estrictamente estructural, la baja calidad del terreno en sus capas superficiales.

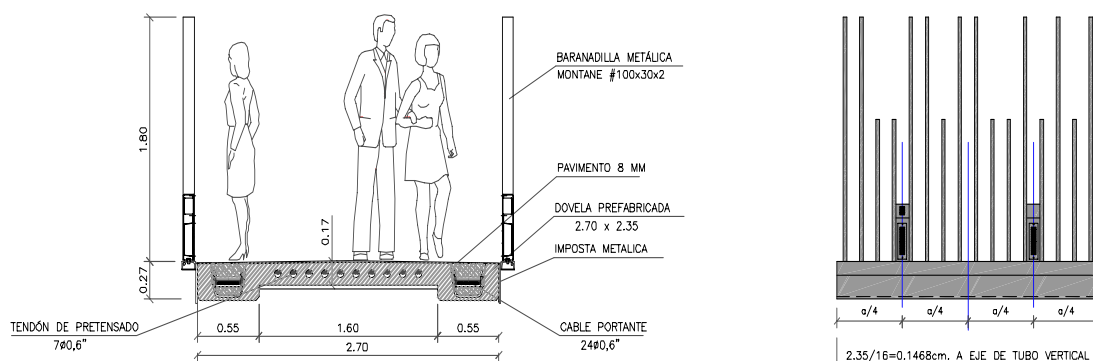


Figura 7. Sección y módulo de barandilla

El paso-pasadizo se proyectó holgado (2,70 m libres), suficiente para que fuese cómodo sin llegar a extremos de lujo asiático y con elementos arquitectónicos algo sofisticados: la barandilla está formada exclusivamente por montantes verticales de alturas desiguales para permitir las visuales del usuario sobre el Parque; en el pie de la barandilla se integra el balizamiento-iluminación y un conjunto de altavoces que permitirán en el futuro, cuando el Museo sea una realidad, convertir la pasarela temporalmente en uno de los centros de interpretación del conjunto arqueológico; por tener la pasarela tiene hasta puertas en ambos extremos (un tramo de barandilla pivotante) que permiten cerrarla en caso de necesidad.



Figuras 8 y 9. Iluminación y balizamiento puertas pivotantes

La debilidad estructural del primer cimiento complicó la solución de los estribos llegando a ser el coste de los mismos superior a la del tablero propiamente

dicho, económicamente otro gallo hubiese cantado de disponer de un estrato rocoso competente. La ventaja es, claro, un tablero muy sencillo y de montaje rapidísimo.

1.4. LA ESTRUCTURA Y SUS TRIPAS

La pasarela salva una luz libre de 80 m, tiene una anchura de 2,70 m y un canto de sólo 27 cm (casi L/300). La flecha central a tiempo infinito es de 1,67 m (L/48) y tiene un desnivel entre puntos de arranque de 1,80 m.

Los cables portantes constan de dos familias de 24 cordones $\phi 0,6''$, de los cables se suspenden las piezas prefabricadas que conforman el tablero. Las piezas son de hormigón HA-45 y tienen una longitud de 2,35 m para poderlas transportar sin permiso especial y que, a su vez, configuran una quebrada suficientemente aproximada a la parábola básica. Las piezas se han prefabricado completamente en planta especializada. El canto del tablero es de 27 cm en los laterales de la losa, donde discurren los cables portantes, y de 17 cm en el centro donde se dispone el pretensado (10 tendones de 7 cordones $\phi 0,6''$).

Los cables portantes se sitúan dentro de dos “canales” longitudinales a ambos lados de la pieza que permiten, mediante pasadores metálicos, colgar las piezas de los cables durante el montaje. Los canales tienen las superficies rugosas para favorecer la conexión entre el hormigón prefabricado y el hormigón de relleno.



Figuras 10 y 11. Montaje de piezas. Ripado y situación final.

En los extremos, en los 4,70 m adyacentes a cada estribo, la pasarela pasa a tener canto variable entre 27 cm y 67 cm para resistir los esfuerzos parásitos del empotramiento. A diferencia del resto del tablero, esta zona se realiza “in situ”. Del mismo modo, las juntas entre losas y los canales se rellenan con mortero u hormigón con la misma resistencia que el hormigón base.

Los estribos, los elementos de mayor complejidad, se resuelven mediante un muerto de anclaje de hormigón HA-25 en cuya cara posterior se anclan los cables portantes y de pretensado. El estribo-muerto se apoya en un bípode enterrado: dos pantallas traseras de 4,50 x 0,60 m situadas a ambos laterales del muerto y frontalmente sobre una familia de 12 micropilotes inclinados que forman un ángulo de 40° con la horizontal. La fuerza horizontal sobre el muerto (aproximadamente unas 1.300 toneladas) se absorbe comprimiendo los micropilotes y por acción conjunta de tracción y flexión de las pantallas que transmiten la tracción al terreno por rozamiento. Las pantallas penetran 9,5 m y 8,25 m en el estrato terciario (una arcilla dura). Los micropilotes están formados por un tubo anular $\phi 120/100$ mm y una barra interior de 40 mm con una carga nominal admisible de 156,2 T, su diámetro de perforación es de 200 mm y el bulbo de anclaje (zona resistente considerada) tiene 15 m, todos ellos dentro del estrato terciario.

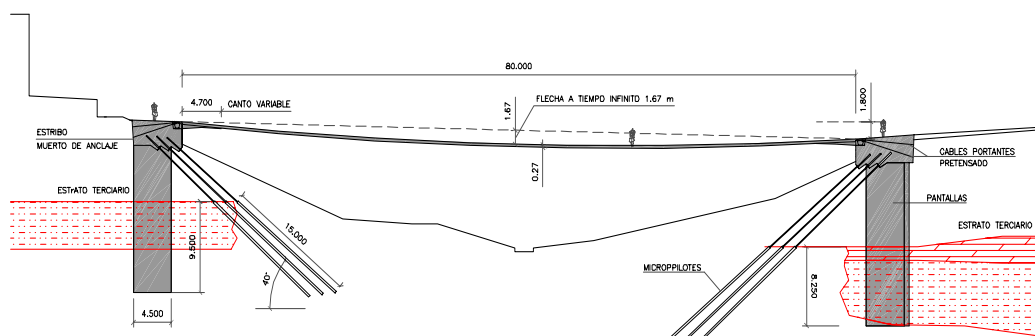


Figura 12. Alzado estructural



Figura 13. Tirolina. Esquema estructural del estribo-muerto enterrado.

El proceso constructivo de la pasarela ha sido el siguiente:

1. Construcción del encofrado para las losas prefabricadas.
2. Prefabricación de losas en taller.
3. Derribos y explanaciones.
4. Ejecución de los micropilotes de los estribos.
5. Ejecución de las pantallas de los estribos.
6. Encofrado, ferrallado y hormigonado de los estribos-muertos de anclaje.
7. Lanzamiento de los cables portantes con dos cabrestantes.
8. Tesado de los cables portantes hasta la posición de partida.
9. Colocación de las piezas prefabricadas sobre los cables portantes en un extremo y ripado de cada pieza hasta su posición definitiva deslizándola sobre los cables portantes por acción de los cabrestantes.
10. Retesado de cables portantes.
11. Enfilado de cables de pretensado, hormigonado de canales, juntas y extremos.
12. Pretensado del tablero e inyección de vainas.
13. Prueba de carga.
14. Acabados: imposta, barandilla y pavimentos.
15. Instalaciones de iluminación y sonido.
16. Inauguración feliz con banda, gigantes y cabezudos, autoridades y fuegos artificiales.

1.5. PRESUPUESTO DE LAS OBRAS

El presupuesto de la obra (IVA incluido) ha resultado de 781.203,50 €. (129.981.326,-PTA). Para una superficie de la pasarela de 216 m² resultan

3.616,68 €/m² (601.765,-PTA/m²) de los que más de un tercio corresponde a los acabados arquitectónicos y parte a los accesos.

1.6. CRÉDITOS DE LA OBRA

Promotor:	Ajuntament de Terrassa Patronat del Pla Director de les Esglésies de Terrassa Agustí Castillo Puértolas Miguel Ángel Pindado Rodríguez
Autores del Proyecto y Dirección de obra:	Enginyeria Reventós, SL Manuel Reventós Rovira Albert Mas Soler RGA, arquitectes Pere Riera Pañellas Josep Maria Gutiérrez Noguera Josep Sotorres Escartín Barto Busom Masjoan
Constructor:	ACSA AGBAR CONSTRUCCIÓN, SA Pilar Tejero Garcia Jaume Alsina Viñolas Cándido Arias Parada
Prefabricación de piezas:	Prenava
Cables y pretensado:	Mekano 4