

TIPOLOGÍAS DE VIADUCTOS EN LA L.A.V. MADRID-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

TYPES OF VIADUCT ON THE MADRID-BARCELONA-FRENCH BORDER HIGH SPEED RAILWAY LINE

ALBERTO REGUERO MARTÍNEZ. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
 Director de Área de Proyectos. Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (G.I.F.). areguero@gif.es

RESUMEN: Con un carácter más divulgativo que de rigor y profundidad académica, incluye este artículo las distintas tipologías de los viaductos de esta Línea.

Se repasan las acciones más importantes que actúan sobre dichas estructuras, que condicionan las distintas tipologías empleadas. Consecuencia de estas acciones, aunque con unas características generales de uniformidad, se han utilizado diversas tipologías porque diversos son los valles, los ríos, la orografía y el suelo de todo el trazado de estos casi 900 km del nuevo ferrocarril que unirá Madrid con Francia.

PALABRAS CLAVE: TIPOLOGÍA, VIADUCTOS, PLATAFORMA, MADRID-BARCELONA

ABSTRACT: The present article provides a general overview of the different types of viaducts on the new high speed rail line and does not attempt to give an full in-depth study of the same.

The article reviews the most important actions acting on these structures which condition the different types employed. While of generally uniform characteristics, different types of viaducts have been employed in accordance with these actions and as result of the different valleys, rivers, terrain and soil types throughout the course of the almost 900 km of new railway joining Madrid to France.

KEYWORDS: TYPE, VIADUCTS, PLATFORM, MADRID - BARCELONA

1. INTRODUCCIÓN

Los criterios generales que el GIF ha establecido para los viaductos de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera responden a la funcionalidad y calidad que exige una infraestructura por la que se circula a una velocidad de 350 km/h. Se ha establecido con carácter general una tipología y unos procedimientos constructivos consolidados y se ha intentado conseguir la mayor uniformidad posible.

No obstante, el elevado número de viaductos de esta Línea, más de 300, cuya longitud total se aproxima a los 60 km y cuyo coste de ejecución se aproxima a los 150.000 millones de pesetas (1 millardo de euros aproximadamente), exige la utilización de tipologías diversas, porque diverso es el entorno de cada una de estas obras de fábrica.

2. ACCIONES SIGNIFICATIVAS

Se indican en este apartado los valores que pueden alcanzar las acciones más significativas que actúan sobre un

viaducto. No se mencionan otras como las debidas al viento, impactos, acciones sísmicas, etc.

Como característica a resaltar aparece la robustez de estas obras, entendiéndose ésta como la relación entre el peso de los trenes y el peso de la estructura. Si un tren de viajeros pesa unas 2 t/m el tablero de un viaducto pesa 20 t/m. La carga vertical de cálculo es de 8 t/m, muy superior al peso real de los trenes.

El peso real que establece la IAPF para algunos trenes representativos de alta velocidad europeos es: EUROSTAR 373/1: 2,11 t/m; TALGO AV: 1,90 t/m; VIRGIN: 2,89 t/m; THALYS: 2,23 t/m; AVE: 2,14 t/m.

Las acciones horizontales más relevantes son las de arranque y frenado. Los máximos valores de éstas son, respectivamente, 100 t y 600 t. En los viaductos de esta Línea, de vía doble, se considerarán simultáneamente las acciones de arranque sobre una vía y la de frenado sobre la otra. Cuando la vía es continua en uno o en los dos extremos del viaducto, sólo se transmite una parte de estas acciones a la estructura.

TABLA 1
DATOS DINÁMICOS SEGÚN LOS TRES CÁLCULOS

VIADUCTO	TIPOLOGÍA	LONG. DE VANOS	VEL. MÁX	CÁLCULO IPF-75		CÁLCULO E.C.-1		CÁLCULO V>200 km/h TRENES 3 y 4	
				Ø	FLEC. DIN. (mm)	Ø	FLEC. DIN. (mm)	FLEC. DIN. (mm)	Ø
HUERVA (ZARAGOZA)	CAJÓN CONTINUO	2x49,5+14 x66+2x 49,5	350	1,09	48,00	1,00	43,00	12,00	1,19
EBRO	CAJÓN CONTINUO	18+6x24+ 42+60+ 120+2x60+42	350	1,10	43,00	1,00	33,00	11,00	1,30
SALT DE LA SUISSA (GELIDA)	LOSA ALIGERADA CONTINUA	27+33+27	350	1,25	9,08	1,06	7,31	5,64	2,92
RIERA DE RUBI (CASTELLBISBAL)	SEMITABLEROS DESPLAZADOS LOSAS ALIGERADAS CONTINUAS	26+4x32+26	250	1,26	23,51	1,04	14,63	9,31	2,47
LLANURA RÍO ANGUERA (MONTBLANC)	VIGA CAJÓN VANOS ISOSTÁTICOS	28 x 34	350	1,25	12,00	1,08	9,00	5,00	1,86

En los viaductos con trazado curvo en planta, la fuerza centrífuga puede alcanzar valores de 3 t/m para radios en torno a 7.000 m.

La acción longitudinal que transmite el carril por dilatación o contracción térmica puede alcanzar un valor de 200 t.

Las acciones dinámicas se introducen con el coeficiente de impacto, que tiene una expresión relativamente sencilla para velocidades inferiores a 220 km/h, si bien el método del coeficiente de impacto no es suficiente en el campo de la alta velocidad ferroviaria, pues no incluye los efectos resonantes.

La tabla 1 refleja los resultados relevantes de los tres cálculos que el GIF exige, en la que se incluye en la tercera columna los resultados del cálculo dinámico que se exige para todos los viaductos en una línea de alta velocidad.

Como puede verse en los resultados anteriores los cálculos realizados con las cargas establecidas en la IPF-75 están del lado de la seguridad en todos los casos. La nueva I.A.P.F. debe simplificar estos procedimientos de cálculo teniendo en cuenta estas experiencias.

La interacción vía-tablero se produce por las acciones longitudinales que actúan sobre los carriles y por las diferencias de deformación entre el carril y el tablero. Las causas concretas son:

- Deformaciones diferentes, por efecto de la temperatura, del carril y del tablero.
- Deformación del carril debida a las fuerzas de frenado y arranque que el tren le transmite al carril.
- Deformación del tablero debida a la retracción y fluencia del hormigón.

Estos desplazamientos diferentes, a los que están sometidos el tablero y el carril, hacen que se transmitan mutuamente unos esfuerzos importantes, que dependen en cada caso de la longitud del tablero continuo y de la disposición de las juntas de dilatación en el tablero y en el carril.

3. TIPOLOGÍAS DE VIADUCTOS

3.1. INTRODUCCIÓN

Todos los viaductos de esta Línea son de hormigón pretensado en el tablero y hormigón armado en pilas, estribos y cimentaciones.

Para las cimentaciones se adopta la solución zapata para cimentación superficial y la de pilotes con encepado para cimentación profunda. Las pilas suelen ser de sección rectangular, macizas o huecas dependiendo de la altura de las mismas.

Para el tablero, casi siempre con una sección tipo cajón, doble artesa o similar, se ha optado por diferentes tipologías, para conseguir la adaptación más adecuada a cada situación particular, teniendo en cuenta los condicionantes orográficos, geotécnicos y medioambientales.

3.2. TRAMO CONTINUO HIPERESTÁTICO

Esta es la tipología de viaducto más utilizada en la línea Madrid-Barcelona. Todos los viaductos de los tramos Calatayud-Ricla y Zaragoza-Lleida se han construido con la tipología de tramo continuo hiperestático.

Es de destacar dentro de ellos el viaducto del Cinca, cuya longitud de 830 m fue la máxima europea para tablero continuo. Otros datos relevantes de este viaducto son: longitud máxima de vano 70 m, canto de la sección 4,85 m, alineación curva de 11.000 m y rampa constante de 20 milésimas.

Esta tipología de tramo continuo, con un punto fijo en un estribo, se ha establecido para longitudes menores de 1.200 m y cuando el procedimiento constructivo más adecuado es el de tablero empujado.

Dentro de esta tipología de tramo continuo hiperestático también cabe situar el punto fijo en una pila intermedia. En el viaducto de Arcos de Jalón se conseguía el punto fijo mediante la disposición de una pila en delta.

En el viaducto sobre el río Francolí el punto fijo se sitúa en el centro del tablero mediante la introducción de cables entre las dos pilas centrales formando una cruz de San Andrés.

Con esta tipología, disponiendo un punto fijo en el centro del tablero, se pueden conseguir longitudes hasta 2.000 m.

En la figura 1 se incluye el viaducto sobre el Huerva, próximo a la ciudad de Zaragoza que con una longitud de 1.122 m es récord en esta modalidad.

En esta modalidad hasta los 100 m de longitud de tablero, con su punto fijo en un estribo no son necesarios aparatos de dilatación. Si el punto fijo se sitúa en la pila central se puede llegar a una longitud de 200 m sin estos dispositivos. El viaducto sobre el arroyo Romaní, próximo a Vilafranca del Penedés, con una longitud de 124 m, se ha proyectado con este criterio y el viaducto sobre el Llobregat en Martorell, de 200 m, se ha proyectado con una pila central en V que, fijando el tablero en su parte central, evita la disposición de aparatos de dilatación.

3.3. VARIOS TRAMOS HIPERESTÁTICOS

Para longitudes que superan los 1.200 m y la solución constructiva más adecuada es la de tablero continuo, se ha optado por establecer varios tramos continuos con puntos fijos en un estribo y en una de las pilas.

Así se han proyectado el viaducto sobre el río Jalón en Plasencia de Jalón (Figura 2), el viaducto de Alhama y el viaducto sobre el río Blanco en Soria.

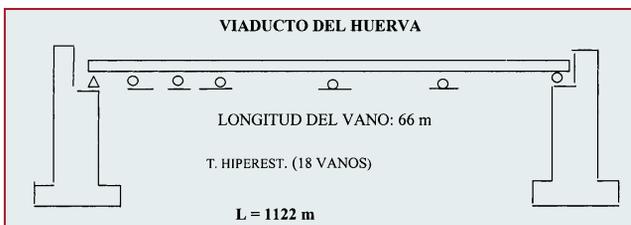


Fig. 1.

3.4. VANOS ISOSTÁTICOS

Si la longitud del viaducto es considerable y la altura de pilas es relativamente pequeña, puede ser adecuada esta tipología que también permite prefabricar parte del tablero.

Así se ha proyectado, por ejemplo, el viaducto sobre la llanura de inundación del río Anguera en Montblanc, formado por 28 vanos de 34 m de cada uno.

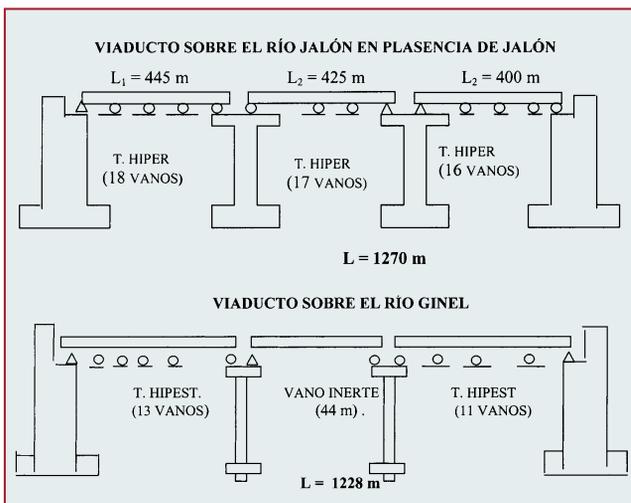
3.5. VANOS ISOSTÁTICOS Y TRAMOS HIPERESTÁTICOS

La longitud máxima de vano isostático se sitúa entorno a los 40 m. Ello obliga a disponer un tramo hiperestático si no se quieren situar apoyos en una zona de unos 60 m por la existencia de un río, autopista u otro bien a proteger.

Esta es la tipología que se ha utilizado en el viaducto sobre el río Jarama y el viaducto sobre el río Jalón en Ateca. En el primero el tramo hiperestático salva el río y en el segundo los tramos hiperestáticos salvan el río y la autopista.

Dentro de esta tipología, podemos incluir la denominada de "vano inerte", consistente en situar un vano isostático entre dos tramos hiperestáticos (Figura 3).

Figs. 2 y 3.



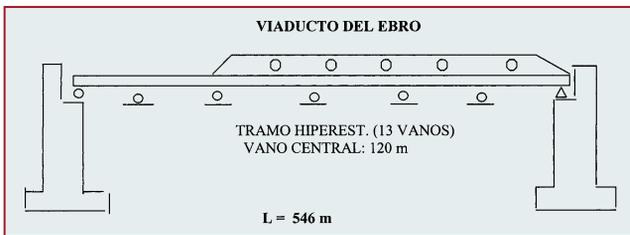


Fig. 4.

Este viaducto exige la instalación de dos aparatos de dilatación en los extremos del vano inerte. Es importante señalar que la longitud de este vano no sea inferior a 38 m para garantizar la estabilidad del tramo de vía situado sobre el mismo.

4. TIPOLOGÍAS ESPECÍFICAS

4.1. VIADUCTO SOBRE EL RÍO EBRO

En el río más caudaloso se sitúa el viaducto más singular.

Para no despertar al Ebro ni a su fauna de ribera, el tren al pasar sobre el río se desliza por un puente-túnel y por las ventanas superiores de esta estructura se van las ondas acústicas al espacio infinito.

El vano central de 120 m exigía a los ingenieros una tipología especial de puente hiperestático con una sección resistente de 9 m de canto. Otro puente ferroviario del corredor mediterráneo, en Amposta, también cruza el Ebro con un vano central de 92 m (Figura 4).

Es éste un puente de 546 m de longitud, de tramo continuo, con un punto fijo en un estribo.

4.2. PÉRGOLAS

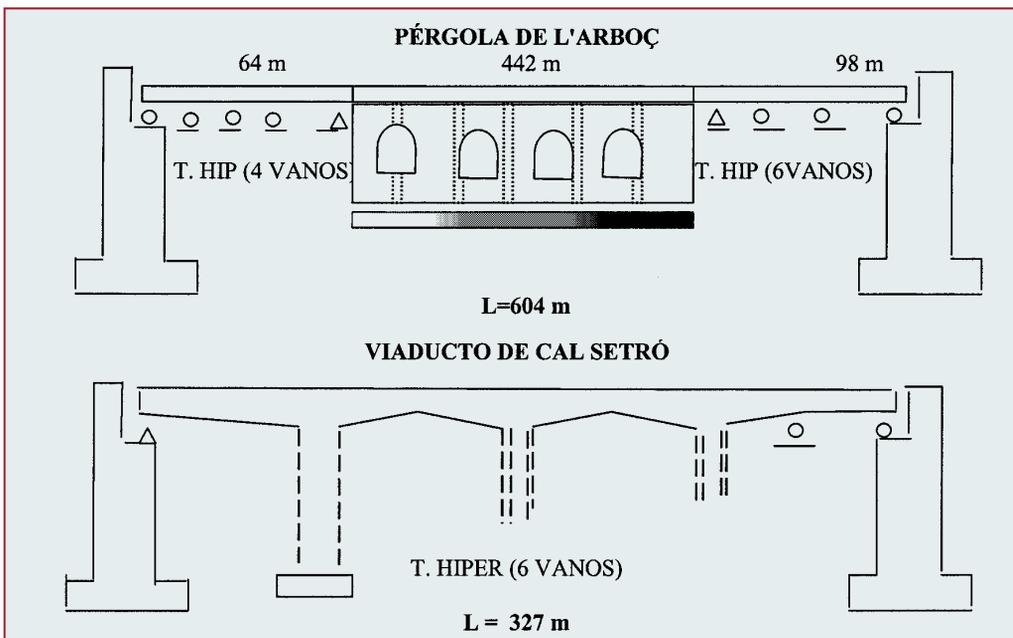
Para el paso sobre carreteras o sobre vías ferroviarias, cuando el ángulo de cruce con la nueva línea es pequeño se deben disponer estas estructuras tipo pérgola.

En la pérgola sobre el ferrocarril en L'Arboç (Tarragona) (Figura 5), las dos líneas se cruzan con un ángulo de esviaje tan pequeño, que obligó a proyectar una estructura específica.

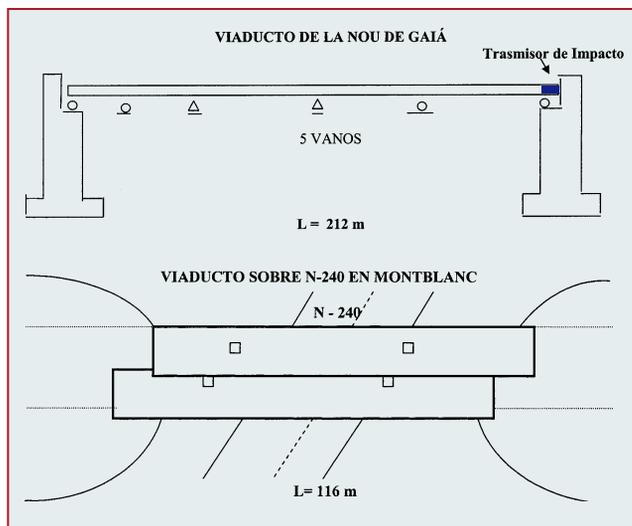
Es ésta una gran obra de fábrica de 604 m de longitud formada por una pérgola en sentido estricto de 442 m y dos viaductos laterales de 64 m y 98 m respectivamente.

Los dos viaductos son hiperestáticos de tramo continuo, con el punto fijo en los estribos en contacto con la pérgola. Se consigue así que no sean necesarios aparatos de dilatación.

En algunos casos se sustituyen las pérgolas inicialmente proyectadas por viaductos en los que se disponen



Figs. 5 y 6.



Figs. 7 y 8.

pilas-arco en la zona de cruce con la infraestructura existente. El viaducto de Vinaixa es un ejemplo de esta solución.

4.3. VIADUCTO DE DOVELAS SUCESIVAS

Esta tipología, adecuada para conseguir vanos de una longitud considerable, se ha utilizado muy poco en la Línea. El viaducto de Cal Sotró en la Roda de Bará está proyectado con esta concepción (Figura 6).

4.4. VIADUCTOS CON TRANSMISORES DE IMPACTO

También se ha utilizado poco en esta Línea la disposición de transmisores de impacto. Estos elementos, situados en los estribos, recogen las fuerzas de arranque y frenado. Se consigue así que el punto fijo se sitúe en una pila intermedia y eliminar, en su caso, los aparatos de dilatación.

Se ha proyectado así el viaducto de la Nou de Gaiá en Tarragona (Figura 7). En este viaducto, de 212 m, se sitúan apoyos sin deslizamientos longitudinales en las pilas intermedias. Los esfuerzos de frenado y arranque se canalizan a un estribo mediante los transmisores de impacto. De esta forma no son necesarios aparatos de dilatación en la vía.

4.5. PUENTES INTEGRALES

Se han construido con esta modalidad 4 viaductos en el ramal de acceso a Zaragoza.

Estos viaductos son estructuras hiperestáticas, cuyo tablero se empotra en las pilas y en los estribos. Se evita así la disposición de aparatos de apoyo y juntas.

Esta tipología se puede utilizar para longitudes relativamente pequeñas para que las deformaciones y desplazamientos del tablero sean pequeños y transmitan a los estribos empotrados esfuerzos asumibles.

4.6. PUENTES CON SEMITABLEROS DESPLAZADOS

Si el cruce con otras infraestructuras lineales, carreteras o líneas de ferrocarril, presentan un ángulo de esviaje elevado, para conseguir el gálibo horizontal libre puede ser adecuada esta tipología. También se emplea en el paso sobre ríos cuando el esviaje es importante. Se consigue así disponer los apoyos de pilas alineadas con el sentido de la corriente.

Estas estructuras consisten en dos viaductos para vía única adosados longitudinalmente. En algunos casos la junta longitudinal de separación de los dos semitableros se disponen a lo largo de todo el viaducto. En otros, en el centro de los vanos, se disponen los dos semitableros sin junta longitudinal en losa.

El viaducto sobre la N-240 en Montblanc (Figura 8), se ha proyectado y construido con esta tipología. Esta obra de fábrica presenta también la particularidad de apoyos de tablero acartelados para disminuir el canto del tablero en el punto de gálibo vertical ajustado. ■

REFERENCIAS

-(1) Proyectos constructivos de la línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera. GIF.

-(2) Instrucciones y recomendaciones para redacción de los proyectos (PLATAFORMA). GIF.

-(3) Jaime Domínguez Barbero. *Tesis doctoral "Dinámica de puentes de ferrocarril para alta velocidad: métodos de cálculo y estudio de la resonancia"*.

-(4) Ramón M^a Merino Martínez. *El fenómeno de interacción carril-tablero en puentes de ferrocarril*.

-(5) Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril. (I.A.P.F.)

-(6) Eurocódigos.