

EL VIADUCTO DE MILLAU



Reseña Histórica del Proyecto

El viaducto de Millau constituye el último eslabón que asegura la continuidad del nuevo enlace autoviarario entre Europa del Norte y España. Situado a unos 200 kilómetros al oeste del valle de Rhône, este trazado conecta las ciudades de Bourges, Clermont Ferrand, y enlaza con Béziers en la autopista A9 con destino a Barcelona. De esta manera la autopista A75 permitirá acortar en más o menos una hora el trayecto entre Béziers y París, y será menos costoso que la vía actual (autopista A7, vía Lyon). Este enlace comenzó a funcionar a partir de la segunda quincena de diciembre de 2004.

En 1987 comenzaron los estudios preliminares del trazado con el propósito de unir la Meseta calcárea de Larzac, en el sur, y la Meseta calcárea Roja, al norte, y de esta manera evitar el difícil tramo del Tarn y la travesía de Millau, famoso por sus atascos estivales. El trazado finalmente definitivo se desarrolló al nivel de las Mesetas calcáreas, es decir alrededor de 270 metros por encima de la cuenca del Tarn y el tramo que hay que atravesar alcanza 2460 metros.

El Estado francés y el Ministerio de Fomento organizaron un concurso, al que concurrieron asociados varios grupos de oficinas de proyectos y arquitectos. Éstos elaboraron varias propuestas en torno a diferentes soluciones técnicas sugeridas por la Administración: puentes atirantados, puentes en arco, puentes de vanos continuos, puentes colgantes...

En 1994, un jurado internacional aceptó la solución multi-atirantado (ver anexo nº 1), propuesta por el ingeniero francés Michel Virlogeux y el arquitecto británico Lord Norman Foster (entonces Sir Norman). Esta propuesta permitió la realización de la travesía del valle del Tarn con la ayuda de una sucesión de tramos atirantados, de 342 metros de vano cada uno, reposando sobre 7 pilas y apoyado en sus dos extremos finales (ver anexo nº 2).

En 1999, el Estado decidió dar este viaducto en concesión privada, es decir implantando un peaje, para garantizar la financiación y asegurar una realización más rápida, para hacerlo coincidir con la finalización de la puesta en servicio de los últimos tramos de autovía a la altura de Béziers. Se pidieron ofertas a compañías europeas de Ingeniería Civil capaces de proponer soluciones para la construcción y la concesión.

La Elección de la Compañía: CEVM (Compañía Eiffage du Viaduc de Millau)

El Grupo Eiffage respondió ofreciendo elegir entre una solución en acero y una solución en hormigón, y asegurando la financiación de la construcción (estimada en 320 M€ cualquiera que fuera la opción elegida) con sus propios fondos. Otro grupo próximo a Bouygues y a sociedades financieras propuso una única solución en hormigón.

El Grupo Eiffage y su solución en "acero" fue el elegido por las comisiones financieras y técnicas del Ministerio de Fomento y del Ministerio de Finanzas. En febrero del 2001, el Ministro de Fomento, Juan Claude Gaysot justificó su elección, apoyándose en las conclusiones de los expertos, en la garantía del plazo de 39 meses de construcción (a partir del 5 de octubre de 2001) que ofrecía la solución del Grupo Eiffage, que asumía además el riesgo del coste de la construcción.

De esta manera, al no depender de los bancos, Eiffage no se exponía a los elevados tipos financieros que estos habrían impuesto para cubrir el riesgo de la obra. La Compañía Eiffage du Viaduc de Millau, CEVM, operador de la concesión se reservó la posibilidad de refinanciar posteriormente esta obra bajo condiciones evidentemente más ventajosas, cuando los riesgos de la construcción quedaron eliminados, y los del tráfico mejor conocidos. La concesión durará 75 años, el precio de peaje es del orden de 5 euros para los vehículos ligeros y de 20 euros para los camiones. Este precio se doblará durante los períodos de vacaciones.

La Solución Técnica

Obras Simultáneas para Acelerar la Planificación

A continuación de los trabajos preliminares encargados por el Estado: realización de un puente (en acero) sobre el Tarn a la derecha de la obra, la construcción de vía de acceso bajo las pilas de la obra y las plataformas norte y sur, Eiffage comenzó las operaciones de construcción sobre varios frentes simultáneamente.

La construcción de los apoyos extremos y las siete pilas de hormigón, realizadas como siete obras independientes, se realizaron con la técnica de encofrados deslizantes y/o trepadores. La más alta de estas pilas alcanza una altura de 245 metros por encima del Tarn. Es Eiffage TP, filial de Eiffage, quien realiza esta parte de la obra.

Entre cada dos pilas definitivas, se construyeron apeos provisionales, utilizando 6 800 toneladas de tubos de acero; izados telescópicamente desde el suelo (técnica idéntica a la utilizada para el montaje clásico de las grúas de obra, pero a gran escala).

Por encima de las pilas, todo el tablero es de acero (ver anexo nº 3): placas, laminados en caliente, y vigas. Estos productos sirven para realizar el tablero metálico de 2 460 metros y que pesa 36 000 toneladas, los pilonos por encima del tablero utilizan 4 600 toneladas, y 1 500 toneladas los tirantes (cables realizados a base de hilos de acero elementales). Es la sociedad Eiffel Construction, filial de Eiffage, quien lleva la dirección de obra de estos componentes.

Los elementos del tablero fueron fabricados en la fábrica de Eiffel en Lauterbourg. Los elementos del cajón central fueron enviados en conjuntos del orden de 70 toneladas, a Eiffel en Fos sur Mer, para el pre-montaje, y más tarde enviados en camiones especiales por carretera hasta las plataformas norte y sur de la obra.

Los elementos que constituyen « las alas de avión » fueron directamente enviados a obra. Estos componentes se soldaron en obra, se realizó el control de las soldaduras, y finalmente el cajón fue pintado exteriormente (el interior del cajón no necesita ser pintado, la ventilación asegura su protección). Cuando los 171 metros de tablero (1/2 vano) fueron montados, se empujaron de pila definitiva a apeo provisional, y de apeo provisional a pila definitiva, siguiendo el procedimiento descrito más adelante.

Los pilonos por encima del tablero, de una altura de 90 m, y de peso aproximado de 700 toneladas cada uno sirven para el reenvío de las fuerzas transmitidas por los tirantes que soportan la

resistencia a la flexión del tablero. De cada lado del valle, el primer vano lanzado iba equipado con su pilono y tirantes con vistas a aliviar la obra durante las fases de construcción, en particular cuando la obra se apoya en los apeos provisionales a 171 metros.

La Técnica del Lanzamiento

El lanzamiento de un puente consiste en construir su tablero sobre las plataformas de acceso y empujarlo con la ayuda de gatos hidráulicos horizontales hasta que alcance su posición definitiva. Este procedimiento es muy conocido, eficaz y seguro, para vanos pequeños o medianos. Naturalmente empujar un puente crea esfuerzos horizontales en la parte superior de las pilas y puede producir deformaciones importantes en el tablero. Para prevenir estas deformaciones, utilizamos como se ha indicado antes los pilonos con un atirantado provisional. Teniendo en cuenta la importante altura de las pilas, se comprende que todo esfuerzo horizontal es susceptible de provocar una deformación, por tanto las técnicas usuales de empuje, adaptadas a las pilas de pocos metros, deben ser mejoradas.

Es aquí donde el desarrollo tecnológico es más notable en esta obra. En lo alto de las pilas, en las pilas provisionales, en el lugar de empuje y sobre la plataforma, fueron instalados 64 «dispositivos de traslación» sincronizados con ayuda de la informática (ver foto nº 4). Su papel es el de proceder con cadencia precisa a las fases de empuje del tablero desde sus soportes y al desplazamiento (a la velocidad de 6 metros/hora, y avances de 90 cm.). El tablero reposa así en sus soportes, y el sistema de dispositivos de traslación retrocede 90 cm. con vistas a empezar de nuevo el ciclo. Visualmente, es la misma operación que se realiza cuando se desplaza un carril de ferrocarril a mano de los operarios: levantamos, avanzamos, apoyamos, retrocedemos, etc... También llamada "la rueda cuadrada". Esta técnica es idéntica a la utilizada para la construcción del viaducto de Garabit (Eiffel en 1886) pero en aquella época la sincronización se hacía al sonido de sirenas. Eiffel debió llevar a cabo algunas investigaciones históricas para repetir esta técnica.

Los tramos de la obra, lanzados desde el norte y desde el sur se unen por encima del Tarn ("cierre del puente") donde no era posible construir un soporte provisional, el tablero es soldado y puesto en continuidad. De esta manera sólo quedan las operaciones de acabado:

- colocación de los pilonos, llevados sobre trenes de ejes y levantados por grúa, y más tarde soldados sobre el tablero.
- colocación, uno por uno, de tirantes y tensionado: puesta en tracción por gatos para enderezar el tablero y repartir de una manera equilibrada las fuerzas en los cables.
- desmontaje de los apeos provisionales con el mismo método telescópico. El acero empleado se achatarra con vistas a ser reciclado.

Por último se realizan las protecciones laterales contra el viento y las barreras de seguridad. La capa de rodadura es ejecutada con un espesor de 6 cm. por Appia, filial del Grupo Eiffage. Y Forclum, otra filial del grupo Eiffage que realiza la iluminación de la obra y de su calzada. En el norte del viaducto se construye una barrera de peaje en hormigón de alta resistencia, reforzada con fibras de acero (CERACEM).

Los éxitos del acero

Vista la experiencia, la elección del acero permitió no sólo cumplir con el plazo establecido, sino reducirlo permitiendo de esta manera beneficiarse todos. La regularidad del ritmo de aprovisionamientos y la calidad de las entregas fueron subrayadas por CEVM.

La solución en acero del tablero presenta numerosas ventajas en cuanto al desarrollo sostenible:

Para el planeta:

- Respeto al medio ambiente:
 - Obra "seca", ya que no se consumió agua del río
 - Ninguna explotación excesiva de canteras regionales (para producir el cemento)
 - Preservación de la naturaleza: obra limitada a la zona autoviaría, ya que la obra "metálica" se realiza en el tablero
 - Reducción de los daños y del mantenimiento del tablero: las 42 000 toneladas de acero utilizadas tienen una duración prevista de 120 años, con un mantenimiento reducido (pintura cada 25 años)
 - El acero como material "verde" puede ser reciclado indefinidamente
 - Optimización posible (y realizada) de las necesidades en acero: planos de despiece de placas optimizados.
 - Reducción de la cantidad de material utilizado: el tablero de hormigón habría pesado cuatro veces más. Reducción por tanto de daños tales como la circulación de camiones, polvo, ruido etc. pero también residuos si un día el viaducto debe desaparecer (pensemos en las generaciones futuras). El tablero de acero podrá ser desmontado y su material reutilizado, mientras que si hubiera sido de hormigón debería ser demolido.
 - Reducción del número de tirantes (a la mitad) que alivia visualmente la estética del puente.

Para la humanidad:

- Comodidad y seguridad del personal: el 96 % de las horas trabajadas fueron realizadas en el suelo, esencialmente en taller, o bajo la protección del tablero, minimizando así los riesgos de accidente debidos al trabajo en altura. Lo que no habría sido el caso con un tablero de hormigón, para el que habría sido necesario « la técnica del voladizo » (ver anexo nº 5): se hubiera necesitado realizar 7 obras (1 por pilar) para desarrollar el tablero a una y otra parte de cada pilar.
- Formación del personal: el trabajo con acero necesita una formación (soldadores, montadores, lanzadores, pintores.). Estas exigencias permiten emplear mano de obra más cualificada, más acorde con las aspiraciones del ser humano.

Para la economía:

Es de destacar:

- El acortamiento del plazo de la obra (mencionado anteriormente)
- Recuperación más rápida de la inversión (reducción de retrasos y de los tipos financieros ya que el riesgo de una obra en acero es menor que el de una obra tradicional)
- Una obra en acero está menos sometido a los azares meteorológicos (recordemos que tanto el frío como el calor, dificultan la « realización de la masa» de hormigón), y por lo tanto menos riesgo de que el personal quede inactivo
- Poca exigencia de revisión medio ambiental de la obra

El Acero en el Viaducto, las cifras claves:

Tablero:	- 36 000 toneladas de placas S355 K2G3 y S355 N: 23 500 toneladas S460 M y S460 ML (termomecánicos pudiendo alcanzar 100 mm de espesor para una anchura de 4 110 mm.): 12 500 toneladas - 1 000 toneladas de laminado en caliente
Pilonos:	4 600 toneladas S355 K2G3 y S355 N: 3 200 toneladas S460 M y ML: 1 400 toneladas
Tirantes:	cables de 1 800 Mpa 1 500 toneladas
Pilas:	13 650 toneladas de acero de refuerzo para el hormigón
Apeos provisionales:	6 400 toneladas de tubos S355 K2G3 3 200 toneladas S460 M 3 200 toneladas Diámetro: 1 016 mm

ANEXOS

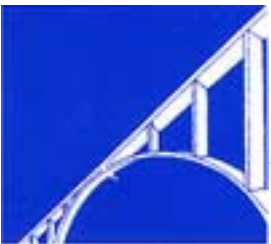
1) Las soluciones estudiadas:



Viaducto de canto constante



Viaducto de canto variable



Viaducto con arco central

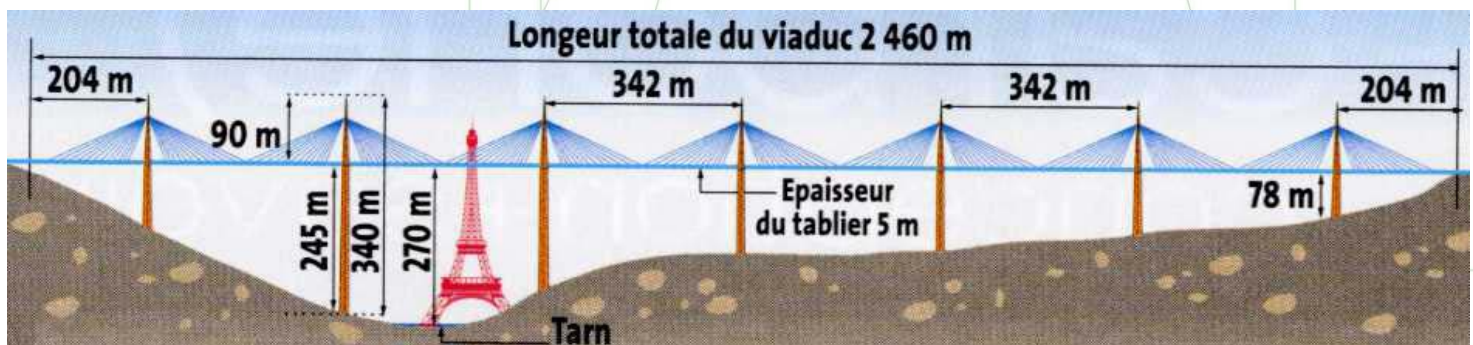


Viaducto con arco invertido



Viaducto multi-atirantado (solución)

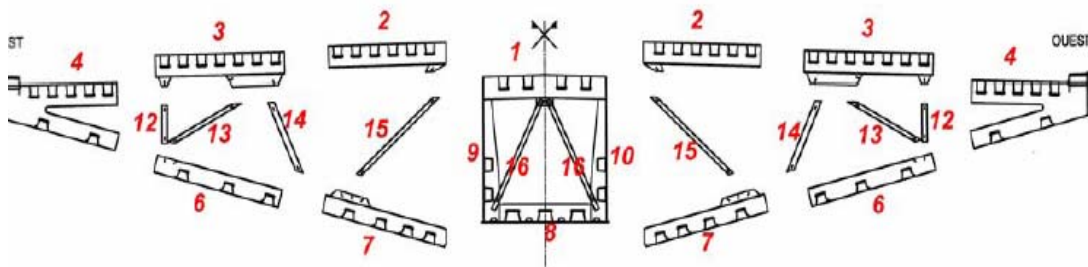
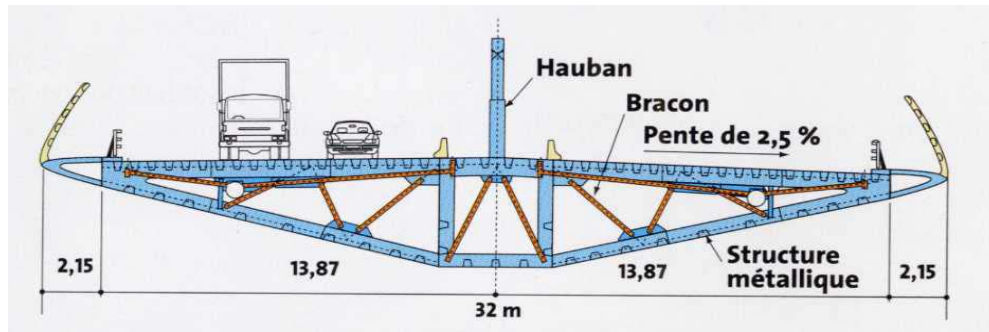
2) Sección longitudinal:



Norte

Sur

3) Sección del tablero:



Está diseñado teniendo en cuenta la posibilidad de prefabricación en taller, transporte, montaje in-situ y lanzamiento.

La parte principal es por tanto transportada a obra en forma de conjuntos que consisten en:

- La viga cajón central, de 4 m de ancho y 4.20 m de alto
- Paneles intermedios rígidos de ancho variable entre 3.75 a 4.20 m (paneles superiores e inferiores)
- dos cajones laterales de 3.84 m de anchura
- los puntales en perfiles UPN que constituyen el diafragma en celosía transversal del tablero

El principio de la construcción del tablero seguía el siguiente esquema:

- Fabricación, en la fábrica de Eiffel de Lauterbourg, de los elementos 1, 8, 9, 10, del cajón central; 2, 3, 6 y 7 de los paneles y 4, de los cajones laterales;
- Transporte desde los talleres de Lauterbourg:
 - directamente a pie de obra en Millau de los elementos 2, 3, 6 y 7, de los paneles y 4, de los cajones laterales;

- a los talleres de Eiffel, en Fos-sur-Mer, de los elementos 1, 8, 9 y 10, de los cajones centrales;
- Ensamblaje de los cajones centrales en Fos-sur-Mer;
- Transporte de los cajones centrales desde Fos-sur-Mer a Millau.

4) Sistema de control de lanzamiento con dispositivos de traslación:



5) **Técnica de voladizo**



