

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES

LOS PUENTES MODERNOS

Conferencia del Sr. D. JOSÉ EUGENIO RIBERA,

Ingeniero Jefe de Caminos, Canales y Puertos.

Señores y queridos compañeros y colegas:

Requerido por el ilustre D. Federico Rivero y por la Junta directiva de este Instituto para que diera una conferencia el año pasado, hubé de retrasarla hasta el presente año, por creerla entonces inoportuna, y hoy tenéis forzosamente que perdonarme si, después de los eminentes colegas que me han precedido en esta misma Mesa, me atrevo yo, que no tengo condiciones oratorias, á distraer vuestra atención.

No habiendo podido eludir el compromiso, valga por lo que valiere, desarrollaré un tema que, por lo mismo que conozco un poco, es el único que me he decidido á presentar ante vosotros. Me refiero al problema de los puentes modernos.

Los sistemas de construcción de estas importantes obras han sufrido en los diez últimos años una transformación tan radical, que creo oportuno y conveniente exponeros, á grandes rasgos, el estado de la cuestión, señalando la importancia grande que tiene la elección acertada del sistema, y presentaros, por último, algunos ejemplos característicos de las obras recientemente ejecutadas, que evidencian, de un modo innegable, que en la construcción de puentes se ha producido, puede decirse, una verdadera revolución, por virtud de la cual tenemos, poco á poco, que prescindir de los clásicos modelos en que todos nos hemos amantado, para adoptar con resolución y franqueza soluciones que, si parecían atrevidas hace algunos años, hoy están sancionadas por los resultados de la experiencia.

Indeterminación del problema de los puentes.—El problema de la construcción de los puentes, aunque parece que es uno de los problemas más concretos que se presentan al estudio del Ingeniero, es, como la mayor parte de los problemas de ingeniería, completamente indeterminado. Tan es así, que si cien Ingenieros se dedicaran al estudio del mismo puente, presentarían cien soluciones diferentes, tal es la variedad de los tipos que se consideran como clásicos. Y si bien desde el punto de vista técnico pudieran reunir todas esas soluciones idénticas garantías de resistencia, desde el punto de vista económico se observan en seguida enormes diferencias.

Yo he tenido ocasión de hacer el estudio de un proyecto en

el cual, entre las diferentes soluciones que se presentaban, todas ellas inspiradas en modelos clásicos, en tipos que todos hemos estudiado en los libros de texto, se llegaba á diferencias de presupuestos tan extraordinarias como las que hay entre 300.000 y 2 millones de pesetas.

Para evidenciar esta indeterminación me bastará presentar los dibujos alzados de las doce soluciones que tuve la paciencia y curiosidad de estudiar, con motivo del puente viaducto de Pino sobre el río Duero, cuyo proyecto tuvo á bien encomendarme la Dirección general de Obras públicas allá por el año de 1896.

Y pude dedicar á este trabajo todo el tiempo necesario, porque no tenía entonces más que esa comisión, y no me ocurría lo que á la mayor parte de los Ingenieros, que tienen que redactar los proyectos de puentes con apremios de tiempo y á ratos perdidos, sin poder muchas veces digerir lo que han pensado en los pocos momentos que les deja libres el servicio ordinario. Así es, que, disponiendo de tiempo y de tranquilidad de espíritu, se me ocurrió ir estudiando todas las soluciones que más se asemejaran á los tipos clásicos que pudieran aplicarse al emplazamiento del puente.

Se trataba de un viaducto sobre el río Duero, y el problema era algo difícil, por sus condiciones y por su magnitud. La rasante estaba á 100 metros sobre el río, muy caudaloso en aquel emplazamiento próximo á Portugal. La distancia entre los dos puntos extremos era de 190 metros, y comprendí desde luego que el estudio de las diferentes soluciones me llevaría á resultados de presupuestos muy distintos. Empecé, como era natural, por el estudio de la solución de fábrica, porque, sobre todo,

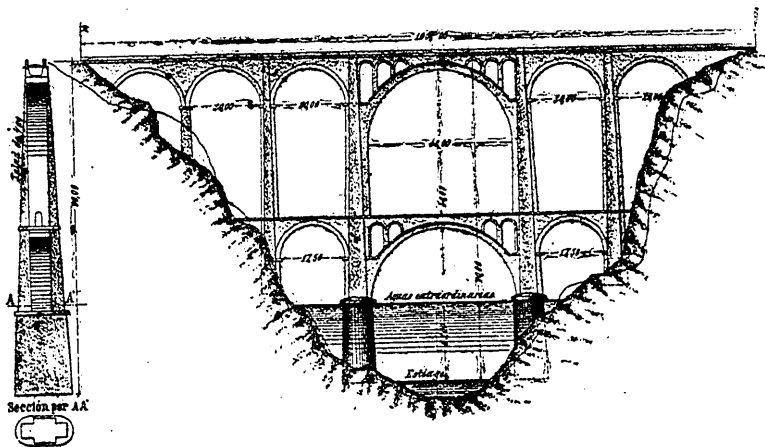


Fig. 1.

tratándose de carreteras, la piedra es el ideal, por su duración casi eterna y la economía de su conservación, y en este orden de ideas proyecté la disposición que representa la figura 1.*

La luz de los arcos centrales es de 40 metros, para poder cimentar las pilas en seco; los arcos laterales son de 20 metros, los tímpanos se han aligerado transversalmente, y en conjunto las proporciones de la obra se asemejan algo á las de los viaductos de Goelzschthal y Roquefavour, únicas obras de fábrica que conocemos que alcancen alturas de 80 metros.

Pero á pesar de que las dimensiones de los elementos son las precisas para su estabilidad, el presupuesto de esta solución asciende á la cifra de 1.986.455 pesetas, ejecutándose la obra con sillerías y mamposterías, cuya cifra se reduciría á la mitad (983.746 pesetas), empleando el hormigón en masa para toda la obra, material que ya por aquel entonces se consideraba como preferible para obras de esta importancia.

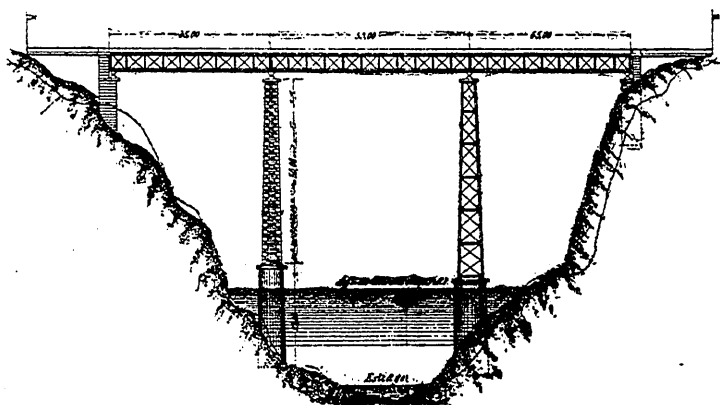


Fig. 2.ª

La segunda solución más clásica que puede proyectarse es la que estudié á continuación, que consiste, como se ve en la figura 2.ª, en tres tramos rectos continuos de 45 y 55 metros, que no tienen nada de excesivo, cuya solución se emplea frecuentemente en viaductos de ferrocarriles, como los de Friburgo y Castellaneta, y en España en el famoso viaducto del Salado en la línea de Linares á Almería y el recientemente construido en Alcoy.

Dentro de esta solución caben variantes que alteran sensiblemente su coste. Así, por ejemplo, este tipo de viaducto con pilas de sillería alcanza un presupuesto de 1.265.931.

Sustituyendo esta sillería por hormigón rebájase el coste á 697.348 pesetas; y, por último, habiendo estudiado también otra variante con pilas metálicas desde el nivel de avenidas extraordinarias, se reduce aún el presupuesto á 651.904 pesetas.

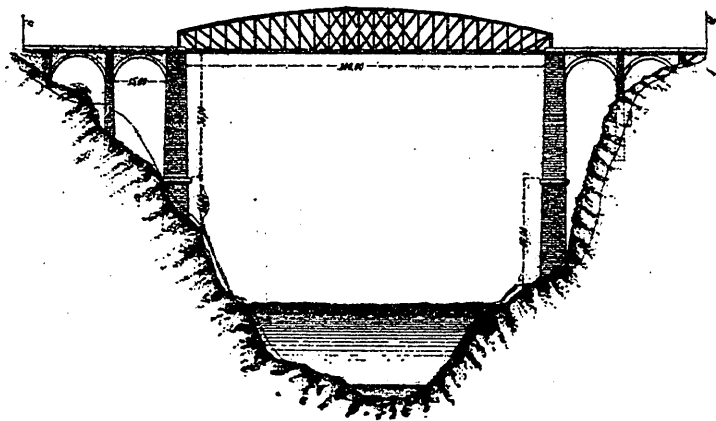


Fig. 3.ª

Tercera solución.—Vigas parabólicas.—La solución que viene después por orden de presupuesto y que tanteamos también, es la de vigas parabólicas de tipos parecidos á los puentes de La Rance y Moerdick, que se describen en todos los tratados de puentes, con lo que obtuvimos la disposición representada por la figura 3.ª, adoptando la luz de 100 metros, que es la máxima que se ha aplicado en estas vigas.

Pero, aun así, el presupuesto de ejecución material de este tipo alcanza la cifra de 655.034 pesetas, que se reduce á 532.320, sustituyendo la sillería por hormigón.

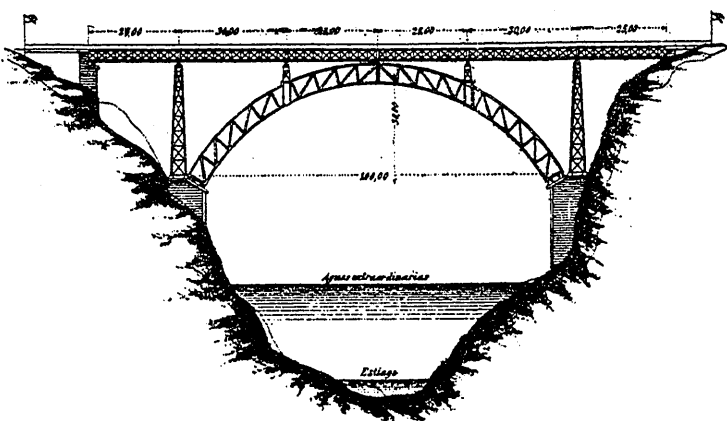


Fig. 4.ª

Cuarta solución.—Grandes tramos sobre arcos empotrados, tipo suizo.—Inspirándome en los notables viaductos de Kirchenfeld (Berna) y Padermo (Italia), hicimos también el cálculo de una disposición parecida aplicada al emplazamiento de nuestro proyecto.

El presupuesto así obtenido asciende á 653.561 pesetas.

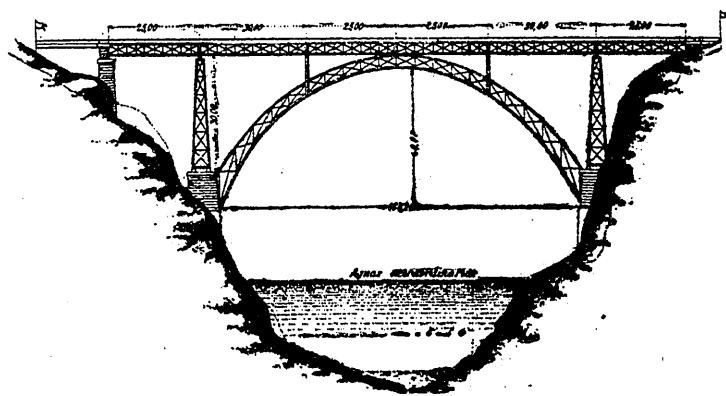


Fig. 5.ª

Quinta solución.—Grandes tramos sobre arcos articulados, tipo Seyrig.—El notable Ingeniero Mr. Seyrig, colaborador de Eiffel en sus grandes trabajos, y conocido autor de una estática gráfica, ha sido el constructor del puente de Don Luis, en Oporto, y proyecté para Pino una solución inspirada en tan reputado puente, con lo que obtuve la disposición representada por la figura 5.ª, con un presupuesto de 635.000 pesetas.

Sexta solución.—Grandes tramos sobre arcos articulados tipo Eiffel.—Los dos puentes que quizá han llamado más la atención de los Ingenieros europeos, son: el viaducto de Oporto, en Portugal, y el famoso viaducto de Garabit, en Francia, ambos construidos por Eiffel.

Estos tipos de puentes se presentaron durante muchos años como modelo de elegancia y de economía. La fama de Eiffel era entonces universal; las disposiciones que él empleaba se consideraban como indiscutibles, y todos hemos estudiado en los libros de texto el arco parabólico de gran flecha, tipo Eiffel.

Las razones con que Eiffel apoyó su original disposición, fueron las siguientes:

Cuando hay que atravesar valles de considerable altura y longitud, tiene importancia extraordinaria la reducción de la luz, pues es sabido que los momentos aumentan como los cuadrados de las luces.

La luz se reduce muy fácilmente aumentando la flecha.

Los grandes peraltes de los arcos disminuyen la altura de

sus estribos, que pueden entonces apoyarse directamente en las laderas, determinando esta disposición una importante economía.

Por último, Eiffel dió á sus arcos la forma de media luna con curvas parabólicas articuladas en sus extremos, con lo que no sólo conseguía aumentar el momento de inercia de los cuchillos allí donde los momentos de flexión resultan máximos, sino que se ceñía más con sus hierros á la posición de las curvas de presiones, que se asemejan más á parábolas que á arcos de círculo.

Son tan convincentes las razones en que Eiffel apoyaba su nueva forma de puentes en arco, que no es extraño se hayan considerado durante muchos años como axiomas por los más afamados autores é Ingenieros.

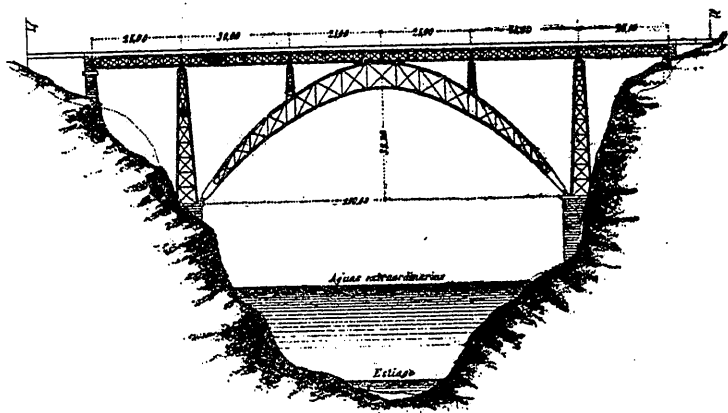


Fig. 6.ª

Así es que no vacilé en aplicar esas ideas al emplazamiento del puente de Pino, proyectando la disposición de la figura 6.ª, en la que, como se ve, se reproducen las mismas proporciones de los puentes de Oporto y Garabit. ¡Cuál sería mi asombro al ver que el presupuesto subía á la cifra de 654.000 pesetas; es decir, que el tipo de puentes tan preconizado por Eiffel no ofrecía las ventajas que él había señalado como inconcusas, puesto que con otras soluciones por mí estudiadas, sólo alcanzaba un coste de 300.000 pesetas, menos de la mitad del tipo Eiffel!

Estudiando las causas de estas diferencias de presupuestos tan enormes, comprendí bien pronto que los Ingenieros habían sufrido una alucinación por efecto del respeto que el nombre de Eiffel les producía. Este era, sobre todo, un constructor de obras metálicas; su interés principal era el de que sus puentes pesaran lo más posible con apariencias de ligereza, y, efectivamente, lo consiguió, puesto que su tipo de puentes pesa el doble de lo necesario.

La explicación de esta aparente paradoja es, sin embargo, bien sencilla.

Con arcos de gran flecha, los tímpanos, y por ende las pilas, resultan de gran altura y obligan á reducir el número de pilas; lo que á su vez lleva consigo la adopción de tramos de gran luz para el tablero, y resulta de aquí un círculo vicioso, porque estos grandes tramos pesan mucho y á su vez requieren pilas muy resistentes, obteniéndose un conjunto muy pesado que obliga dar al arco gran resistencia, lo que á su vez aumenta el peso propio de éste, y, por lo tanto, impone la adopción de secciones y pesos exagerados.

Se ve, pues, en definitiva, que este famoso tipo Eiffel, tan careado por los autores, franceses sobre todo, tiene un vicio de origen que le hace, si no inaplicable, por lo menos costoso; y perdone el ilustre Eiffel, ilustre y genial á pesar de todo, que me haya permitido desde esta tribuna criticar obras de reconocido mérito, sin más título para ello que el resultado comparativo de mis estudios (1).

(1) Los lectores á quienes esta cuestión interese pueden verla más desarrollada en mi libro *Grandes viaductos*, primer tomo de la biblioteca de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

Séptima solución.—Vigas americanas.—Estudié también una solución con unas vigas americanas tipo Linville, de 120 metros de luz, con disposición muy parecida á las de los puentes de

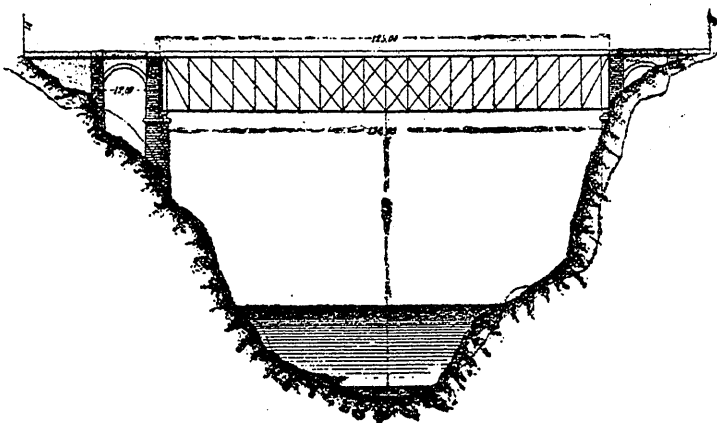


Fig. 7.ª

Cincinnati sobre el Ohio y el de Kentucky River, y obtuvimos así un presupuesto de 574.800 pesetas.

Verdad es que en esta cifra entra la parte de fábrica por un valor de 205.300 pesetas, que podría reducirse bastante aumentando á 150 metros la luz del tramo, pero no me decidí á proyectar estas vigas porque se habrían aumentado muy considerablemente las dificultades de montaje y el coste del andamio y cimbras necesarias para unas vigas tan colosales á 80 metros de altura sobre un río caudaloso.

Octava á undécima solución.—Arcos metálicos de pequeña flecha.—Decidí entonces estudiar los arcos metálicos inferiores con pequeño peralte, y con objeto de utilizar la piedra abundante de las márgenes proyecté las avenidas de fábrica.

Seducido por la economía con que se habían construido en Suiza los viaductos de Javroz y Schwartzwasser, y que su autor el Ingeniero Mr. Probst atribuía casi exclusivamente al empotramiento de los arcos, fui á visitar personalmente aquellas obras y otras de Alemania é Italia, y, sobre todo, á discutir con sus autores las ventajas de sus disposiciones, pues consideré que bien valía la pena de hacer un viaje un problema de tal importancia.

Ventajas del empotramiento.—Confieso que no me convencieron del todo los razonamientos de Mr. Probst, que pueden resumirse del siguiente modo:

Si consideramos una viga recta, sabemos que cuando está empotrada, el momento producido por una carga aislada actuando sobre su punto medio, es la mitad del que la misma carga produciría en la viga simplemente apoyada.

Si la carga estuviera uniformemente repartida, el momento en la primera sería los $\frac{2}{3}$ de la segunda, deduciéndose de aquí la mayor resistencia que produce el empotramiento, ó una economía, si se quiere igualdad de resistencia.

Lo mismo ocurre con las piezas verticales comprimidas por sus extremos; cuando están empotradas resisten más que cuando están simplemente apoyadas.

¿Por qué no ha de ocurrir, dice Mr. Probst, análoga proporción de resistencia entre una viga en arco empotrada en sus extremos y un arco, apoyándose sencillamente en el estribo por medio de una articulación?

El razonamiento parece convincente á primera vista, y monsieur Probst lo apoya con la ligereza de los viaductos por él contruidos sobre este principio.

Y sin embargo Eiffel, Köchlin, Seyrig y mi eminente Jefe D. Luis Acosta, en su Memoria del puente del Barco en Pontevedra, sostienen las ventajas de la articulación, pues suponen que las ventajas del empotramiento en los grandes arcos metálicos

gado, que parecía ser la más indicada para el caso presente, y proyecté la disposición de la figura anterior.

Su presupuesto es de 264.000 pesetas, y como la economía obtenida sobre la solución de arco articulado es sólo de 40.000 pesetas, no hemos vacilado en proponer esta última solución que, por su rigidez y condiciones de seguridad, ofrece mayores garantías y ventajas que los puentes colgados, únicamente aplicables en casos excepcionales.

Conveniencia de la sustitución de sillerías y mamposterías concertadas por hormigones y mamposterías ordinarias.—Ya en aquella época (hace once años) era yo decidido partidario de los hormigones y mamposterías ordinarias para sustituir á las sillerías y mamposterías concertadas, que casi exclusivamente se empleaban en las obras de fábrica.

Empleando buenos morteros de Portland, pueden obtenerse hormigones tan resistentes y duraderos como la sillería, y las mamposterías ordinarias ofrecen igual homogeneidad que las concertadas.

Hace ya años que se ha iniciado la reacción contra el inútil empleo de las grandes piezas de sillería, costosas de arrancar, de transportar, de labra y asiento, y que en los grandes puentes del extranjero se sustituyen casi exclusivamente por el sillarejo.

Autores eminentes (1) aconsejan ya, para bóvedas, el empleo de la mampostería ordinaria, que constituya una masa homogénea que asiente por igual. Más homogéneo aún debe ser una masa de hormigón ejecutada con morteros de fraguado lento, puesto que después de fraguado constituyen esas bóvedas verdaderos monolitos.

¿Es que ofrece alguna ventaja la sillería? Casi estamos por afirmar que no tiene ninguna sobre el hormigón bien ejecutado, pues que ni tiene mayor dureza, ni mayor resistencia á la acción de los agentes atmosféricos.

Y aun examinada la cuestión desde el punto de vista estético, ninguna superioridad ofrece la sillería en la mayor parte de los puentes, alejados de grandes poblaciones, que no requieren efectos artísticos de detalle, sino satisfactoria proporción de sus elementos y los relieves necesarios para separarlos, todo lo que se obtiene perfectamente con el moldeo en masa.

¿Quiérese ornamentación, porque así lo aconseje su emplazamiento? Pues recórrase á la piedra y mármoles artificiales, que con tanta perfección se ejecutan hoy día, y que se prestan mejor que ninguna sillería, y á poco precio, á toda clase de adornos y efectos de coloración variados.

Y para poder apreciar lo que puede influir en el coste de una obra el empleo de uno ú otro material, á continuación presentamos un cuadro comparativo de los presupuestos de ejecución material de las doce soluciones estudiadas para el viaducto de Pino, de que nos hemos ocupado, y en los que hemos calculado el coste de cada una de ellas, empleando para la parte de fábrica, ya sean sillerías y mamposterías concertadas, ya hormigones en masa rellenos de mampostería ordinaria:

Número de las soluciones.	Número de las figuras.	SOLUCIONES ESTUDIADAS	CON FÁBRICAS DE	
			Sillerías y mampostería concertada. Pesetas.	Hormigones y mampostería ordinaria. Pesetas.
12. ^a	12	Puente colgado.....	307.000	264.000
4. ^a	11	Viaducto metálico de pequeñas luces sobre arco articulado.....	333.000	303.000
1. ^a	10	Viaducto metálico de pequeñas luces sobre arco empotrado.....	346.000	317.000

Número de las soluciones.	Número de las figuras.	SOLUCIONES ESTUDIADAS	CON FÁBRICAS DE	
			Sillerías y mampostería concertada. Pesetas.	Hormigones y mampostería ordinaria. Pesetas.
3. ^a	9	Arco metálico articulado con avenidas de fábrica.....	443.000	352.000
2. ^a	8	A. co metálico empotrado con avenidas de fábrica.....	505.000	409.000
9. ^a (bis)	2	Tramos rectos continuos sobre pilas metálicas.....	652.000	412.000
11. ^a	7	Viaducto de tramo recto, tipo americano (Linville).	575.000	474.000
5. ^a	6	Viaducto metálico de grandes luces sobre arco, tipo Eiffel.	614.000	532.000
7. ^a	5	Viaducto metálico de grandes luces sobre arco, tipo Seyrig.	635.000	551.000
6. ^a	4	Viaducto metálico de grandes luces sobre arco, tipo Suizo.....	654.000	570.000
10. ^a	3	Viaducto con vigas parabólicas (bow-string).....	655.000	582.000
9. ^a	2	Tramos rectos continuos sobre pilas de fábrica.....	1 101.000	697.000
8. ^a	1	Viaducto completamente de fábrica.....	1.727.000	964.000

Importancia del estudio detenido de los puentes.—El examen de las doce soluciones que os he presentado, todas ellas inspiradas en modelos clásicos, por decirlo así, y que, sin embargo, presentan tan enormes diferencias en coste, demuestran de una manera palpable la conveniencia para el Estado de que los Ingenieros puedan dedicar á dichos problemas todo el tiempo y tranquilidad que su importancia requiere. Un trabajo de algunos meses para tantear reposadamente todas las soluciones posibles, que al Estado sólo cuesta algunos miles de pesetas de sueldos, puede reportarle economías de cientos de miles de pesetas.

Y puede también el Estado proceder, como en el extranjero se hace ya en la mayor parte de los casos análogos: someter el problema de los grandes puentes á concursos de proyectos, en los que, sin compromiso ni desembolso alguno, obtiene un gran número de soluciones estudiadas por casas ó Ingenieros especialistas, entre los que puede escoger la que más le convenga (1).

Progresos en la construcción de puentes.—Todos los ejemplos que he presentado se estudiaron hace once años, y hay que tener muy en cuenta que desde esta fecha ha habido, como he dicho antes, un progreso muy sensible en estos estudios de construcción de puentes. Por diferentes caminos se han estudiado disposiciones que tienden á favorecer los intereses de los Estados que los construyen, y aquí en España, quizá más que en ninguna parte, estos problemas revisten mucha importancia, porque si bien hay construidas ya muchas carreteras, faltan muchos puentes por construir. Además hay muchos caminos vecinales y sendas donde se puede pasar en carro; pero en cambio existen muchísimos ríos que no se pueden atravesar por falta de puentes. Éstos son, pues, casi siempre más necesarios que las

(1) Este sistema de concursos de proyectos de obras públicas se está generalizando de tal manera, que hasta la ejecución de obras fáciles de calcular se somete á concursos de proyectos. Puedo citar, por ejemplo, los muros del muelle del puerto de Amberes, que los Ingenieros de aquel puerto, bien especializados, sin embargo, en esta clase de obras, sometieron á concurso de proyectos y ejecución. Los constructores presentaron 23 proyectos, diferentes todos. Así lo ha comprendido nuestra Dirección general de Obras públicas, y son ya varios los puentes de importancia cuyos proyectos y ejecución ha sacado á concurso, entre los que citaré el puente de Valencia de Don Juan (León), el viaducto de Barranco Hondo (Canarias), el nuevo puente Reina Victoria (Madrid), y en estos días el puente de Carrizo (León).

(1) Croizette Desnoyers, pág. 70 del tomo II.

carreteras, y el coste de los puentes que faltan en España alcanzan muchos millones.

El empleo de las disposiciones nuevas, no digo sólo de las de hormigón armado, sino de todas las disposiciones nuevas que los Ingenieros han estudiado, proyectado y realizado con éxito, pueden producir al Estado algunos millones de economía. Es, pues, un problema de actualidad el daros cuenta de los progresos realizados en los puentes modernos.

Desde hace diez ó quince años, sobre todo en carreteras, hay cierta reacción contra el empleo, contra el abuso de los puentes de hierro; se había visto que los puentes de fábrica eran mucho más costosos que los de hierro, y, sin embargo, los puentes de hierro en carreteras tienen el gran inconveniente de su conservación, pues como la oxidación es muy rápida, sobre todo en el tablero en contacto con el firme, exigen un gasto constante de pintura.

En los puentes metálicos de ferrocarriles, donde los entramados de tableros están al descubierto, su conservación y pintura es más fácil y económica que en los puentes de carreteras.

Así es que los Ingenieros se han preocupado de buscar soluciones que pudieran, si no alcanzar la economía de los puentes de hierro, por lo menos reducir en proporciones muy sensibles el coste de los puentes de fábrica.

Exceso de resistencia de los puentes de fábrica.—En la inmensa mayoría de los puentes de fábrica las dimensiones que se les dan son casi exclusivamente para que se resistan á sí propios, porque la influencia de las cargas y sobrecargas, tanto estáticas como dinámicas, es inapreciable; así es que resulta que se dan dimensiones extraordinarias á las bóvedas por el peso colosal que alcanzan sus propios arcos, los tímpanos y todos los elementos secundarios de la construcción.

Y, sin embargo, en la mayor parte de los puentes de fábrica, la presión máxima á que están sometidos los sillares no excede de 25 á 30 kilogramos por cm.², y alcanza raras veces 40 kilogramos por cm.², siendo así que la piedra y los buenos morteros de cemento que hoy se emplean pueden tener fácilmente resistencias de 400 á 500 kilogramos por cm.² (1).

¿Por qué, pues, no se alcanzan en estas obras los coeficientes de seguridad que suelen adoptarse para el hierro, por ejemplo, de $\frac{1}{4}$ de la carga de rotura, haciendo trabajar la piedra y el mortero á 100 kilogramos por cm.²?

Porque en la práctica no es posible.

Parecería que reduciendo los espesores se aumentarían á voluntad las presiones en la bóveda, y, sin embargo, esto no ocurre.

La presión media por unidad en la clase es la suma de dos empujes:

el empuje debido á la carga sobre la bóveda (tímpanos, relleno, impostas, sobrecarga);

el empuje debido á la bóveda propiamente dicha, que representa siempre más de un 40 por 100 (y hasta un 80 por 100 en los arcos muy rebajados); y cuyo empuje no es función del espesor en la clave (2); de aquí las diferencias considerables de espesores en bóvedas de iguales luces y rebajamiento.

Pero hay otra circunstancia, y es que la curva de presiones, sobre todo en los arcos elípticos y de medio punto, tiende á salir del núcleo central, y con objeto de evitar el peligro que llevaría consigo las tensiones en la bóveda, se refuerzan los espesores de ésta en proporciones muy superiores á lo que exigiría la resistencia.

Verdad es que en estos últimos tiempos se han atenuado al-

gún tanto estos excesos de peso muerto, con el paliativo de aligerar los tímpanos longitudinal ó transversalmente, y todos conocemos los viaductos de *Lavaur*, *Marie-Antoinelle* y otra porción de puentes de gran importancia, en los cuales se disminuye, efectivamente, el peso muerto de los tímpanos en un tercio ó una mitad á lo sumo, de lo que cargarían los tímpanos macizos.

Pero de todos modos siempre se ha seguido el sistema de dar á las bóvedas un ancho igual al del camino.

Teoría de Sejourné.—Un Ingeniero eminentísimo, que no es ni inventor ni constructor, M. Sejourné, que es nada menos que el Ingeniero Jefe de vías y obras del ferrocarril de Paris-Lyon-Méditerranée, ha imaginado una disposición que aplicó con gran éxito en el puente Adolphe en Luxemburgo, cuyo proyecto le había sido encomendado.

El razonamiento que condujo á M. Sejourné á adoptar semejante disposición es el siguiente:

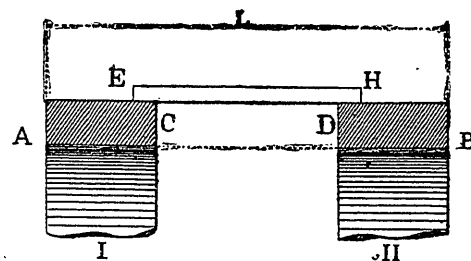


Fig. 13.

Supongamos que hay que proyectar un puente de un ancho L.

En lugar de una bóveda continua, construyamos dos bóvedas independientes AC, DB y apoyemos sobre estas dos bóvedas un piso de hormigón armado EH.

Este criterio es el mismo que se sigue para construir una casa.

Para ésta se construyen primeramente los muros, que se cimientan con cuidado y se construyen con materiales elegidos. En ellos se dejan puertas y ventanas. Es como si fueran dos puentes gemelos con sus grandes bóvedas y sus arcos de aligeramiento.

Y encima de estos muros se construyen los pisos ligeros, calculados para las sobrecargas que han de soportar.

¿Por qué no se ha de proceder en un puente como en una casa?

Se conseguiría entonces lo que no puede obtenerse en el sistema actual de puentes de fábrica.

Se reduce el peso muerto inútil, aumentando la proporción en que actúan las sobrecargas con relación al trabajo total.

Al concentrar las cargas sobre bóvedas de ancho reducido AC, BD, se aumenta á voluntad el trabajo por unidad, utilizándose mejor la resistencia de materiales que las componen.

Se suprimen todos los materiales del intervalo CD. Estos materiales se utilizaban mal; se sustituyen por un piso ligero, que trabaje al máximo. Se suprimen sobre todo una buena parte de los materiales caros, que son los de la bóveda y cimientos.

Por último, se reducen las cimbras, cuyo coste aumenta con el cuadrado de la luz. La segunda bóveda puede construirse sobre la cimbra de la primera, transportada fácilmente de un emplazamiento á otro.

Estas son las ideas, tan originales como científicas, que llevaron á M. Sejourné á proyectar el puente Adolfo en Luxemburgo, del que presentamos varias vistas.

Este puente es uno de los más notables construidos hasta la fecha; su luz en los cimientos alcanza la cifra excepcional de 84,65 metros y su altura sobre el talweg es de 44 metros.

La distancia entre las dos bóvedas gemelas es de 6 metros y el ancho total del puente de 16 metros; es decir, que cada una de las dos bóvedas tiene 5 metros de ancho.

(1) Los morteros de 1 X 3 con cementos Portland de Tudela Vequin, Rezola, Asland y Cangrejo, dan resistencias á la compresión superiores á 500 kilogramos por cm.².

(2) Del mismo modo que en una columna sin carga, con el espesor solamente necesario para no flechar, la presión media en la base es independiente de su diámetro.

Posteriormente se celebró un concurso de proyectos para la construcción de un gran puente sobre el Garona en Toulouse, y



Fig. 14.—Vista general del puente de Luxemburgo.

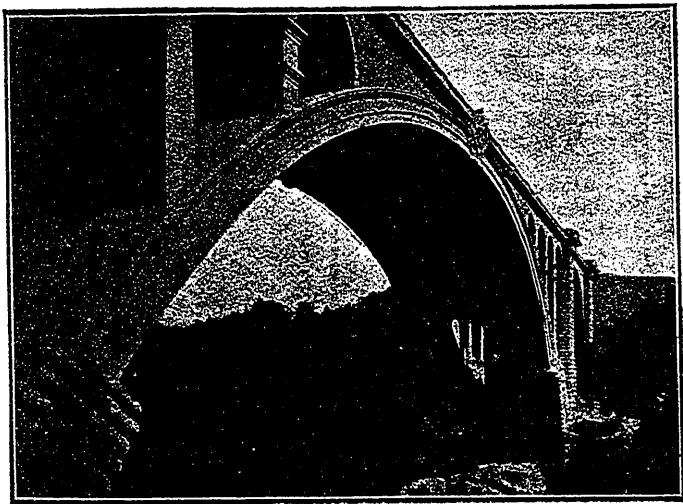


Fig. 15.—Vista de costado del puente de Luxemburgo.

fué adjudicado al autor del proyecto que representamos á continuación, concebido sobre las ideas de M. Sejourné.

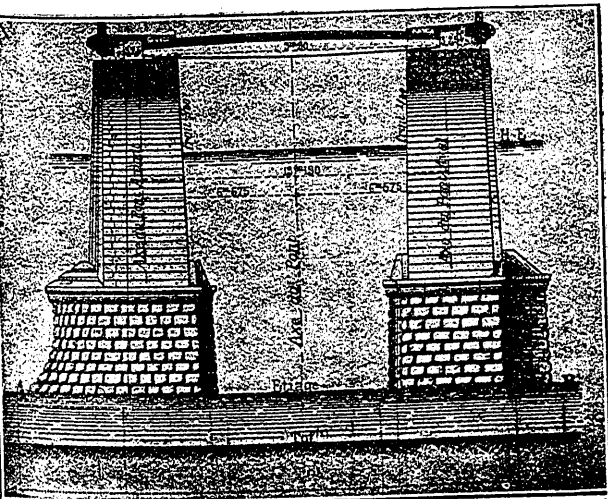


Fig. 17.—Sección del puente des Amidonniers, sobre el Garona, en Toulouse.

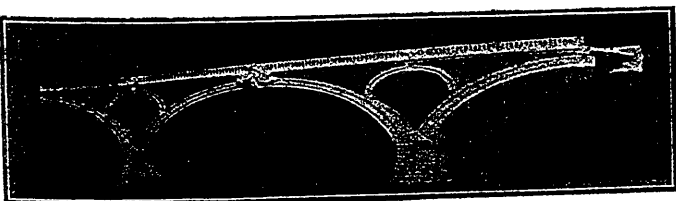


Fig. 16.—Puente des Amidonniers, sobre el Garona, en Toulouse.

Pero aquí se ha disminuído el ancho de las bóvedas gemelas de 5 á 3 metros, con lo que la luz del piso, que también es de hormigón armado, aumenta de 6 á 10 metros.

Verdad es que las luces en el puente son menores, pues está construído por cinco arcos elípticos de 46, 42 y 38,50 metros de luz.

Los dos puentes que acabo de citar tienen sus bóvedas y paramentos construídos con sillarejo, pues, como dijimos ya, este es el material que en el extranjero casi ha venido á sustituir á la sillería, por ser más económico de adquisición y sobre todo de manejo, y únicamente se ha recurrido al hormigón armado para los tableros centrales.

Pero si se quieren alcanzar economías aun mayores, sin perder las ventajas propias de los puentes de fábrica, entonces forzoso es recurrir al empleo del hormigón en masa, ó mejor aun del cemento armado, no sólo para el tablero sino también para todo el resto de la obra.

Ya indicamos anteriormente las ventajas que ofrece la sustitución de la sillería por el hormigón. Así como el inconveniente de las obras en hierro y madera son los empalmes, así la junta es el peligro de la sillería, y el hormigón suprime la junta, puesto que transforma una obra en un verdadero monolito.

Pero el hormigón resiste mal á los esfuerzos de tensión, y en los grandes puentes, cuando se aligeran sobre todo, puede el paso de los vehículos producir cambios en la dirección de los esfuerzos que originen tensiones en algunos puntos.

Por otra parte, aunque se ha llegado ya á un grado de perfección completa en la fabricación de cementos y en la manipulación de hormigones, puede aún haber algún defecto que entrañe un punto débil en la obra.

Todos estos inconvenientes se salvan con la adición de armaduras metálicas que den nervios ó fibras á la piedra, como decía el insigne Echegaray, con lo que se evitan los únicos inconvenientes que al hormigón en masa pudieran achacarse, y de aquí el favor creciente que han adquirido los puentes de hormigón armado, y su empleo ya casi general en el mundo entero.

No es pues, extraño, que aceptando yo la originalísima disposición de M. Sejourné, la haya aplicado en mi proyecto del puente Victoria, que, en sustitución del llamado puente Verde, voy á construir en Madrid, por haberme sido adjudicado recientemente en concurso de proyectos.

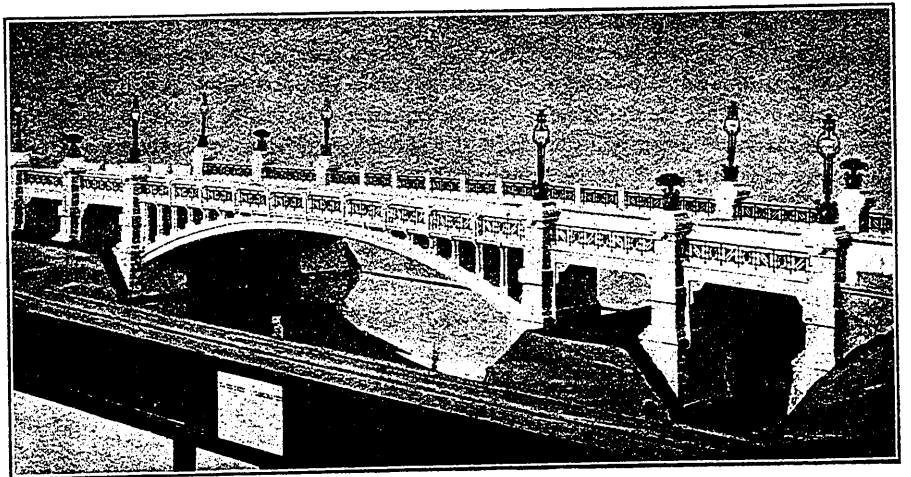


Fig. 18.—Puente Victoria, sobre el Manzanares, en Madrid.

Pero en este puente he aplicado el hormigón armado, no sólo en el tablero como lo ha hecho M. Sejourné, sino en los dos arcos de frente y en los tableros de los tramos de avenidas, pues en Madrid, el empleo de sillería ó sillarejo me hubiera llevado á mayores espesores, y, sobre todo, á un coste bastante más elevado.

(Se continuará.)