EL PUENTE DE TORTOSA

POR CÉSAR VILLALBA GRANDA, INGENIERO DE CAMINOS

Como se trata del primer puente soldado para carreteras construído en España, creemos indicado el ofrecer a nuestros lectores una información detallada acerca del mismo, que amablemente nos facilita el autor del proyecto. Esta información se divide en dos artículos, siendo este primero el que describe las características de la obra y expone muy documentadamente todas las consideraciones que decidieron la elección de tipo y sistema.

I

CONSIDERACIONES GENERALES Y DESCRIPCION DE LA OBRA

El puente sobre el río Ebro, en Tortosa, que el día 4 del pasado mes de abril fué inaugurado solemnemente por el Excmo. Sr. Ministro de Obras Públicas, además de terminar con la solución de continuidad de una de las vías de más intenso e interesante tráfico de nuestra red de comunicaciones, tiene el interés para la técnica de ser el primer puente soldado que, para carreteras, se construye en España, por cuyas circunstancias, especialmente por esta última, creemos interesante dar a conocer esta obra en la presente información.

Descripción del puente anterior.

El puente anterior, que correspondía a la carretera de Castellón a Tarragona, fué volado por los rojos, siendo tal la intensidad de la voladura, que resultó completamente destruído en sus tramos y en gran parte del alzado de las pilas, además de destrozos importantes en las rampas de acceso. Precisaba, pues, la total reconstrucción de los tramos y la reconstrucción de alzados de pilas y accesos.

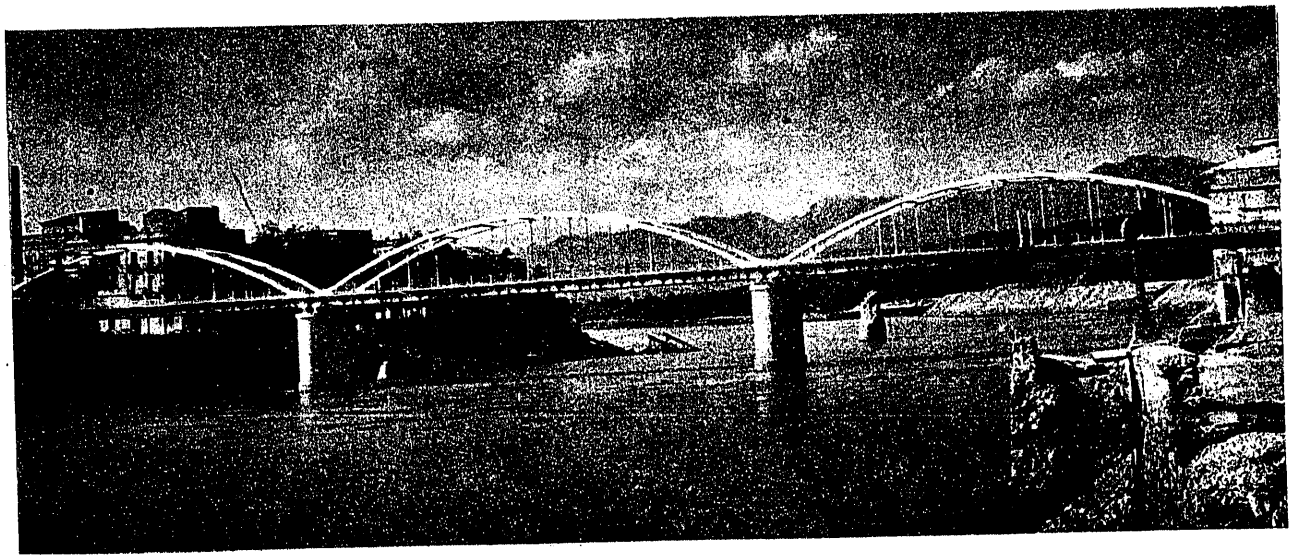
Encargado el nuevo proyecto a la Jefatura de Puentes y Estructuras, en 30 de junio de 1939, fuí designado por la misma para redactar el nuevo proyecto, en el más breve plazo posible.

El puente anterior consistía en tres tramos de vigas metálicas, sistema Linville, de 54,90 m. de longitud en cada cuchillo, con pilas de paramentos de sillería y relleno de mampostería hidráulica, cimentadas por aire comprimido mediante cajones metálicos, con 20,23 m. de altura total de bloque para la pila izquierda, y 18,29 m. para la derecha. La distancia entre ejes de pilas es de 55,20 m. (según se apreció después, ésta es la distancia media, pero no es única), y de 10,10 m., la altura total, en alzado, de éstos.

Los estribos, también con igual sistema de cimentación, tienen para altura de sus bloques 20,285 m., el de la margen izquierda (lado de Tortosa), y 15,025 metros, el de la derecha (lado del barrio de Ferrerías).

Tanto los bloques de las pilas como los de estribos van enclavados en la marga azul, atravesando la capa de arena que en ésta insiste.

En elevación, la altura del estribo izquierdo es



de 10,10 m. hasta asiento de tramos, y 5,15, el de la derecha. Sus fábricas son: paramentos de sillería y relleno de mampostería concertada.

Adosadas a estos estribos van las rampas de acceso, con unos 100 m. de longitud cada una, de mampostería con elementos de sillería, llevando la rampa de la margen izquierda un paso inferior de 6 m. de luz, con bóveda de ladrillo y juntas de sillería.

El ancho útil de calzada era, en los tramos, de 5,06 m.; entre planos interiores de cuchillos, 5,50. Las aceras iban en ménsula, con 1,5 m. entre paramento exterior de cuchillos y ejes de barandilla.

El peso total de cada tramo, en su parte metálica, era de 222,5 toneladas.

La longitud de obra, incluso estribos, pero sin rampas, era de 165,47 m., y el importe de la liquidación, también sin las rampas, fué entonces de pesetas 763 454,13.

Situación al comenzar los trabajos del nuevo puente.

Como consecuencia de las voladuras llevadas a cabo por los rojos, actuando simultáneamente sobre cada pila, por el fuego de cañón y ataques de aviación durante las acciones de guerra que se desarrollaron entre ambas márgenes del Ebro, resultó el puente, como dijimos al principio, con los tres tramos destruídos, quedando el de la margen izquierda y el central totalmente hundidos en el agua, emergiendo solamente un trozo del primero y nada del segundo; el trozo correspondiente a la margen derecha quedó empotrado en el lecho del río, por un extremo, y el del estribo, colgado de éste, todo él completamente torsionado y doblado.

En cuanto a las obras de fábrica, las pilas quedaron destruídas hasta dos hiladas antes del nivel de estiaje; los estribos sufrieron solamente la rotura de algunos sillares, y en lo que a rampas de acceso se refiere, resultó el paso inferior con la bóveda destruída parcialmente, en unos 4 m. de cañón, y averías en el pavimento, barandillas, frentes y escaleras, de poca importancia y fácil reparación.

Dada la situación en que se encontraba el puente, se aprovecharon en la reconstrucción las cimentaciones de los apoyos, las primeras hiladas inmediatas a enrase de cimientos, en pilas, y los estribos y rampas de acceso, con las reparaciones necesarias.

Elección de la clase de obra.

Al redactar el proyecto del nuevo puente, después de maduro examen, nos decidimos por una solución de puente metálico, siendo las principales consideraciones que a ello nos resolvieron, las que a continuación se resumen:

En las inmediaciones de la obra no existen materiales adecuados para la construcción de una obra de hormigón, ya que las arenas del río son sumamente finas, no existiendo gravas, y el lugar más cercano para la extracción de gravas y arenas es el denominado Barranco de San Antonio, a 12 km. de distancia.

Por otra parte, el peso de un tramo de hormigón armado, por esbelto que se proyecte, es mucho mayor que uno metálico, y si bien acaso las cimentaciones de las pilas podrían soportarlo, era más seguro la adopción de tramos metálicos, ya que, al fin, para éstos fueron proyectadas. Si agregamos a esto que la estructura que construímos pesa aún menos que la que había, queda asegurada y mejorada la estabilidad de las cimentaciones aprovechadas.

Unicamente la conservación del tramo metálico es más onerosa que el de hormigón. Este inconveniente se salva en gran parte: con la supresión del roblonado, ya que en las estructuras soldadas se establecen superficies unidas, más limpias, y segundo, con el empleo de la pintura al aluminio, que, si es de calidad, por su estructura laminar imbricada produce un resbalamiento de las aguas de lluvia que evita mucho la oxidación.

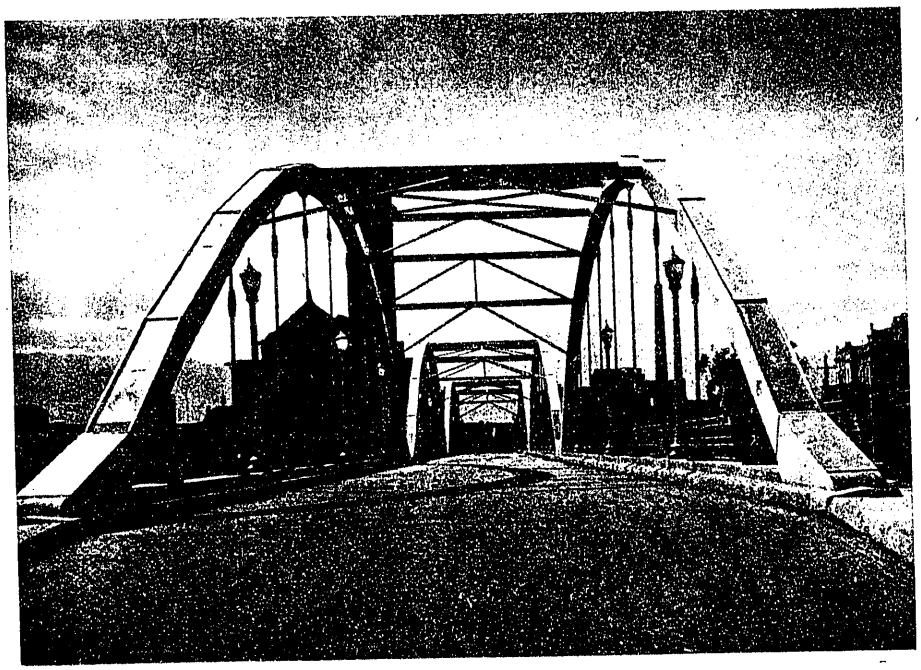
Los puentes metálicos han sido modernamente, en España, bastante abandonados para emplear casi exclusivamente los de hormigón. Permítasenos algunas digresiones a este respecto, aun saliéndonos algo de lo que atañe estrictamente a la descripción del puente de Tortosa, ya que entendemos que aquel criterio es erróneo, prescindiendo, naturalmente, de las circunstancias momentáneas en que nos ha colocado la guerra actual y que obliga a restringir el empleo de materiales metálicos, circunstancias no existentes al proyectar el nuevo puente de Tortosa, pero que durante su construcción ya nos dificultó ésta grandemente. Decimos que en circunstancias normales, en vez de dirigir casi exclusivamente la construcción hacia el empleo de obras de hormigón, lo que hay que hacer es adaptarse a las nuevas formas y métodos de construcción, modernizando los tramos metálicos, que en muchos casos, como en este de Tortosa, tendrían adecuado empleo y aún no limitarse a la estricta separación entre obras de hormigón y metálicas, sino adaptar las estructuras mixtas, como acertadamente ya se está realizando en los puentes del Tordera (Barcelona) y Posadas (Córdoba).

En efecto, así se reconoce en gran número de países, pudiendo citar en apoyo de nuestro aserto que en las publicaciones del *Boletín de la Asociación de Puentes y Estructuras,* en los seis últimos correspondientes a las fechas octubre de 1933, agosto del 34, junio del 35, septiembre del 36, junio del 39 y enero del 41, se insertan monografías de 164 puentes de los más modernamente construídos, y de ellos 98 son metálicos, lo que prueba la tendencia actual a los puentes metálicos, con disposiciones estructurales y constructivas modernas, que permiten mejoras económicas y técnicas.

Elección del sistema de tramos.

Adoptada para el puente de Tortosa una solución de tramos metálicos, debieron rechazarse desde el primer momento los tramos en arco que produjesen empujes oblicuos, ya que se aprovechan las cimenta-

ciones que para tramos rectos se habían empleado. Al tener que adoptar tramos con reacciones verticales, comparamos las soluciones de vigas rectas y de cabeza curva. Las vigas rectas tipo Warren son hoy muy empleadas, y hubiesen tenido adecuado empleo en esta obra, aunque se tiende a su adopción en luces mayores, pero al decidirnos por la utilización de la soldadura eléctrica se obtiene un mejor aprovechamiento del material en los arcos atirantados con vigas de rigidez, sistema Langer.



La viga Langer, empleada por primera vez por el ingeniero austríaco de este nombre, es, en definitiva, un arco atirantado, con vigas de rigidez y montantes de tensión, para dar a la viga de rigidez el trabajo correspondiente al tirante del arco con las cargas permanentes y que soporte los momentos de flexión que producen las sobrecargas.

Es tipo hoy muy adoptado para luces entre 40 y 60 metros, con vigas de rigidez de alma llena, como en Tortosa empleamos, y para mayores luces con viga de rigidez, también de alma llena o bien en entramado. Así, entre los más modernamente construídos se tienen los siguientes tipos Langer, metálicos:

Puente sobre el Bug, en Zegre (*Polonia*). — 4 tramos, con vigas de rigidez en celosía, con 79,80 m. de luz. Anchos, 1,50 + 5,40 + 1,50. Peso por tramo, 315 toneladas. Construído en 1932.

Puente Tyrs, sobre el Elba, entre Podmokly y Decin (*Checoslovaquia*). — Un tramo de 113,70 m. de luz. Anchos: 2,00 + 9,20 + 2,00. Construído en 1933.

Puente Tessin, en Guibasco-Sementina (*Suiza*). Un tramo con viga de rigidez, de alma llena, de 70,70 m. de luz. *Construído con soldadura eléctrica.* Anchos: 0,30 + 4,9 + 0,30. Construído en 1933.

Puente en la autopista de Kaiserberg a Duisberg (*Alemania*). — Un tramo de 103 m. de luz. Ancho, 23,75 m. *Construcción enteramente soldada.* Peso del arco, 1 100 toneladas. Construído en 1935-36.

Puente sobre el Morava, en Tesica (*Yugoslavia*). Tres tramos con vigas de rigidez de alma llena, de 51,20 m. de luz. Ancho: 0,50 + 5,20 + 0,50. Peso, 218,7 toneladas. Soldado en taller y roblonado en obra.

Otros tipos de vigas que pudieran haberse adoptado son menos adecuados, tanto desde el punto de vista mecánico como desde el constructivo, teniendo presente que ha de utilizarse la soldadura, pues al proyectar un puente para ser construído con este sistema, ha de tenerse presente que no se debe limitar el plan de trabajo a proyectar una estructura, prescindiendo del método de ensamble y luego realizar éste con soldadura. El sistema de soldadura permite una gran libertad en la realización de las uniones, pero exige al mismo tiempo la adopción de los adecuados medios de transmisión de esfuerzos. Esta es una de las causas del fracaso de la soldadura en los puentes del Canal Alberto, en Bélgica.

Por las razones anteriores, desechamos algunas soluciones, encontrando muy adecuada, en cambio, la trabazón estructural de la viga Langer para el empleo de la soldadura. Así, la viga Vierendeel, por ejemplo, hubiese exigido, además del inconveniente que para la soldadura acabamos de indicar, importantes trabajos de soldadura o roblonado en los nudos (una viga Vierendeel de 55 m. lleva unos 18 000 roblones); la viga Gerber no es adecuada, al tratarse de tres tramos y todos de igual luz, etc.

Sistema de ensamble con electrosoldadura.

Hemos formado las uniones de los diversos elementos mediante soldadura por arco eléctrico, enlazando el mayor número de elementos antes de la colocación en obra, y el resto en ésta, como detallaremos en la segunda parte de este trabajo al tratar de la construcción del puente.

Indicamos a continuación un resumen de las ventajas que presenta la soldadura respecto al roblonado, y que nos decidieron a la adopción, primero en este puente, y luego, en otros que actualmente estamos construyendo, de la soldadura eléctrica.

Al estudiar los perfiles a adoptar, resultan en éste y en la mayoría de los casos secciones grandes por las dimensiones transversales del puente que se

proyecta y por la cuantía de las cargas móviles. Proyectando una construcción remachada, los numerosos perfiles a unir y la complejidad de la unión, hace necesario perder bastante sección por agujeros, y esta razón fué la que nos hizo primeramente pensar en la conveniencia de proyectar una construcción por soldadura eléctrica, dando así el primer paso en España en este género de construcciones en los puentes, aprovechando las interesantes experiencias sobre construcciones similares en otros países, que nos llevaban más de media docena de años en el empleo de la electrosoldadura en la construcción de puentes metálicos. (El primer puente soldado se construyó en el año 1928 en Chicoppee-Falls, U. S. A., de 41 m. de luz, con 80 toneneladas de peso, para ferrocarril.)

Las razones que en definitiva nos indujeron a proponer una construcción soldada, son, desde luego, las de utilizar las universalmente reconocidas ventajas de este sistema, y que, en nuestro caso, son, esquemáticamente expuestas, las siguientes:

1.ª Trabajar con secciones brutas, lo cual lleva consigo un ahorro de material, entre perfiles y uniones, de un 18 a 26 por 100, según detallaremos en otro lugar.

2.ª Emplear secciones más racionales por la facilidad con que se obtienen los perfiles adecuados a la forma de solicitación de la pieza o unión.

3.ª Uniones y perfiles perfectamente herméticos, lo que evita la corrosión interna, tan importante en los puentes metálicos.

4.ª Economía en la ejecución, puesto que elimina durante la construcción las operaciones de marcado, punzonado y remachado.

5.ª Gran rigidez en las uniones, evitando que las deformaciones periódicas den lugar al fenómeno que se acusa en los puentes roblonados, en los cuales, durante el paso de cargas dinámicas, se producen ruidos causados por las holguras entre el roblonado. Los puentes soldados son absolutamente silenciosos.

6.ª Una gran uniformidad en los perfiles, que se limitan en una obra de esta envergadura a una docena de secciones distintas.

7.ª Uniones rígidas donde son difíciles de conseguir por roblonado, como en el caso de los largueros del puente. Esta rigidez disminuye las deformaciones permanentes y da lugar a deformaciones elásticas.

8.ª Se consiguen construcciones de líneas modernas, de superficies totalmente planas y de acuerdo con las actuales concepciones estéticas.

9.ª Rapidez en la ejecución, si se dispone de un adecuado plan de trabajo, por pasar los materiales directamente desde la fábrica a la soldadura al pie de obra, sin necesidad de importantes operaciones intermedias, ya que el trabajo de preparación para soldar es sencillo. Como los trabajos de soldadura son independientes entre sí, se pueden poner a soldar el número de soldadores necesarios para imprimir la rapidez que se precise.

Por ello es tan utilizado este sistema de construcción en el extranjero, pudiendo, al efecto, facilitar al lector que lo desee monografías de numerosos puentes construídos últimamente con soldadura, mereciendo citarse entre ellos los siguientes:

Puente giratorio de la carretera de Muide a Gante (*Bélgica*). — Dos vigas Vierendeel, de 22,20 y 14,25 m. de luz.

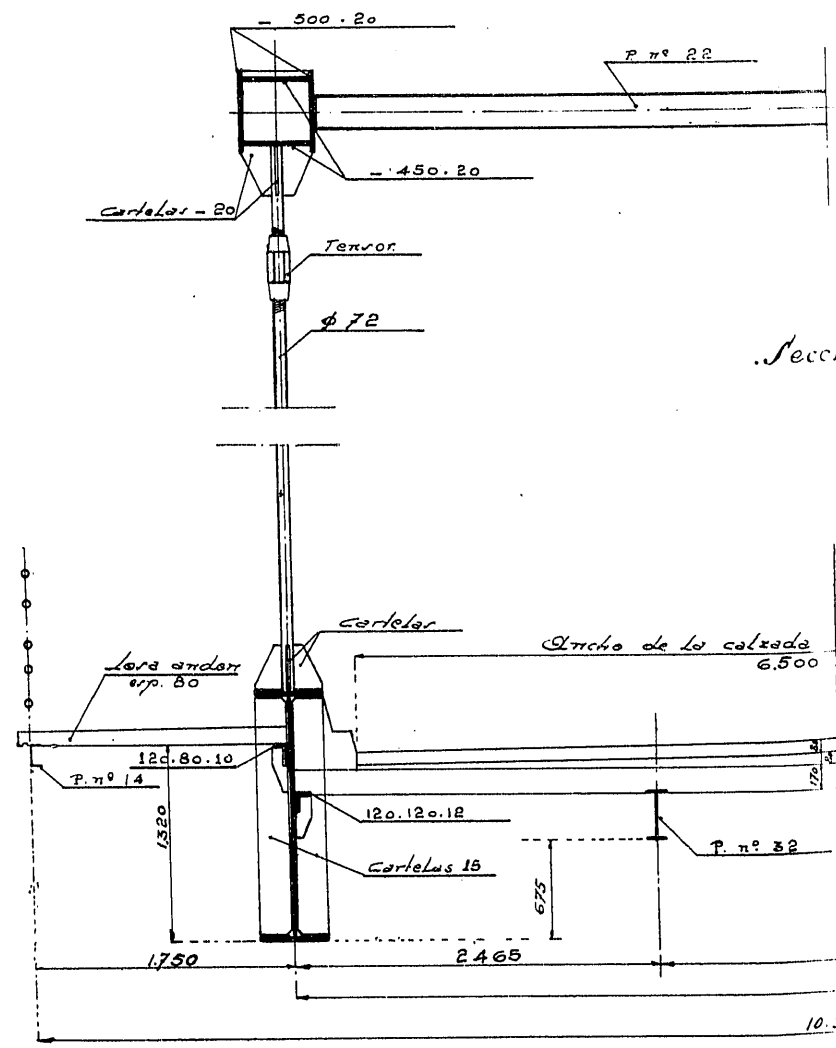
Puente de Tessin, en Giubiasco-Sementina (*Suiza*). — Viga Langer, de 70,70 m. Año 1933.

Puente de Nuth (*Holanda*). — Viga Vierendeel, de 53 m.

Puente de Mälarsee, en Estocolmo (*Suecia*). — Un arco de 168 m. y otro de 204. Año 1935.

Puente Palsund, en Estocolmo (*Suecia*). — Arco de 56 m. Año 1934.

Puente sobre el Radbuza, en Doudlewce, Plzen (*Checoslovaquia*). — Arco de 50,60 m. Año 1933.

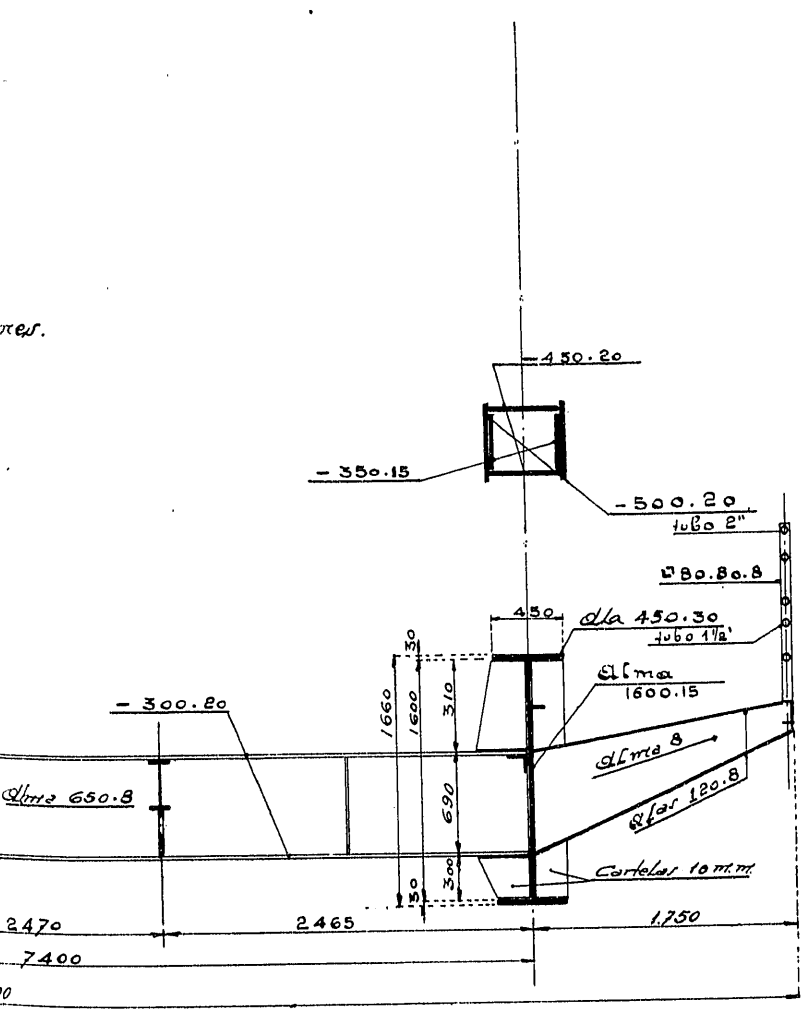


Puente de la autopista Viena-Budapest, en Györ (Hungría). — Viga Warren, de 53 m. Año 1934.

Puente en la autopista de Kaiserberg a Duisburg (Alemania). — Viga Langer, de 103 m. Año 1936.

Puente de Ziegelgraben (Alemania). — Viga de alma llena, de tres tramos: 52, 29 y 52 m. Año 1935.

Puente de Kalsdorff (Austria). — Dos tramos de alma llena, de 37,86 m.



Viaducto de Lorain, en Cleveland, Ohio (EE. UU. A.). — Arcos de 256 pies de luz.

Puente de Zapeb (Yugoslavia). — Pórtico triple, de 24 m.

Puente en el Morava, en Tesica (Yugoslavia). — Tres vigas Langer, de 51,20 m.

Puente de Stara-Pasova (Yugoslavia). — Dos tramos de alma llena de 31 m.

Puente de Lowicz, en el Sludwia (Polonia). — Tramo de 27 m. de luz y 10 de ancho.

Puente de Varden en el Aller (Alemania). — Dos tramos en Cantilever, de 25 m. y uno central de 40.

Y otros muchos.

Por todo lo que antecede, estamos seguros que, construído el puente de Tortosa, se adoptará muchas veces este sistema de construcción, que tan utilizado es hoy fuera de nuestra patria. Es más, después de proyectado el puente de Tortosa, y durante su construcción, se han proyectado y comenzado las siguientes interesantes estructuras soldadas para puentes.

Auto-cimbra para el arco central del Viaducto del Esla. — Arco de 175 m. de luz. (Ingenieros: Señores Torroja, Salazar, Villalba.)

Puente del Tordera (Barcelona). — Vigas en Bow-String, mixtas de hormigón armado y metálicas. (Ingeniero: Sr. Andreu.)

Armadura rígida del arco central del puente del Pedrido, en Betanzos (La Coruña). — Arco atirantado, de 75 m. de luz. (Ingeniero: señor Villalba.)

Puente del Guadalquivir en Posadas (Córdoba). — Cinco tramos de 40 m. de luz, mixtos de hormigón armado y metálicos. (Ingeniero: Sr. Villalba.)

Durante la construcción del puente de Tortosa se han tenido que vencer las dificultades inherentes a ser la primera obra de su clase que aquí se realizaba, lo que se ha traducido en un mayor esfuerzo del personal y disminución en el ritmo usual en esta clase de obra; pero, generalizado el sistema, alcanzará éste la marcha natural que le corresponde. Para ello, es de esperar que, en épocas normales, nuestras fábricas siderúrgicas, al igual que las del extranjero, laminarán perfiles adecuados para las construcciones soldadas, se dispondrá de numerosos equipos de soldadura y de aparatos de comprobación de las mismas, aparatos de los que hoy carecemos en España y que son de necesidad casi imprescindible.

Por lo demás, en nuestro país se fabrican electrodos de excelente calidad, como veremos en la última parte de esta información, y del obrero español, haciendo honor a su conocida capacidad de asimilación, se forman soldadores de gran pericia, reconocidos por técnicos extranjeros como superiores a los de sus países.

Descripción general del puente.

Como ya hemos indicado, está formado el puente de Tortosa por tres tramos metálicos en arco, con tirante-viga de rigidez, sistema Langer, y sus elementos unidos mediante soldadura eléctrica. Soporta un tablero con 6,50 m. de ancho útil de rodadura y aceras voladas exteriores a los cuchillos, de 1,50 metros cada una.

Los anchos adoptados son precisos, dada la circulación que sirve el puente, habiendo llegado al máximo que podía obtenerse al aprovechar las ci-

mentaciones del puente anterior, quedando de todos modos, con los 6,50 m. de calzada, asegurada la perfecta viabilidad del puente y mejoradas sus condiciones respecto al anterior, cuyo ancho de calzada era, según ya dijimos, de 5 metros.

Los tres tramos se apoyaron en los dos estribos, previos los trabajos de reparación y adaptación a la nueva estructura, y en las pilas de hormigón, cuyos alzados se construyeron de nuevo, aprovechando la cimentación actual.

La luz teórica de cada tramo es de 54,00 m. y de 55 m. la total de cada uno, constando de dos cerchas por tramo.

Pilas.

Comenzadas las cimentaciones del puente anterior, cuyas dimensiones en planta son las de un rectángulo de 6,94 × 4,60 m., con tajamares semicirculares; como consecuencia de la voladura había desaparecido la parte superior de las mismas en una altura aproximada de tres metros, y quedaron quebrantadas en toda la altura que sobresale del agua en estiaje, salvo una o dos hiladas.

Se demolieron hasta el nivel de estiaje, esto es, a 1,60 m. sobre el enrase de los cajones que sirvieron para cimentarlos, se extrajo la mampostería que rellenaba el interior del cuerpo hasta el plano de cimientos, conservando el recinto de sillería que forman los tajamares y paramentos, rejuntándolo donde fué preciso para impermeabilizarlo, y sirviendo así de ataguía para el vaciado y nuevo relleno del interior, relleno que se hizo con hormigón de 200 kg., más que suficiente para resistir las presiones a que la pila había de estar sometida, que, como máximo, llega solamente a 5 kg./cm.^{2}.

Por encima de la parte de la pila, parcialmente conservada hasta el nivel del agua, se levantó la nueva, con paramentos verticales, para alcanzar el ancho máximo y de iguales dimensiones que el enrase de cimentación, esto es, sin retallos.

Para mayor sencillez de la construcción, se formó un forro de sillarejo artificial de hormigón, de 250 kg., y relleno de hormigón en masa de 200 kg.

El empleo de paramentos de sillarejo es ventajoso y nos ha permitido evitar encofrado y andamios y constituir, aprovechando niveles del río favorables, un recinto que luego se rellenaba con más tranquilidad, aunque aumentase el caudal del agua, ya que la urgencia de la obra no nos permitía esperar a todo el período de estiaje.

Estribos.

Ya hemos dicho que para los estribos nos hemos limitado a repasar los desperfectos ocasionados por la metralla y por el choque con ellos de los tramos metálicos en su caída, y a los trabajos de adaptación para el apoyo de las nuevas vigas.

Tramos-arcos.

Consta cada tramo de dos cerchas formadas por un arco, cuya directriz es una parábola de segundo grado de 8 m. de flecha. La directriz parabólica de segundo grado es la adoptada en todas las vigas Langer y responde a las condiciones mecánicas de la estructura (Müller-Breslau, *La Ciencia de la Construcción*, vol. II, pág. 280).

La flecha viene a ser de 1/7 de la luz y fué adoptada como más conveniente después de varios tanteos, siendo análoga a la empleada por Müller-Breslau en su proyecto de viga Langer sobre el Ihme.

La sección transversal del arco es en cajón; es conveniente mecánicamente, en especial desde el punto de vista de la flexión lateral, y a la que se presta muy bien la construcción soldada, que además hace perfectamente estanco el recinto.

Está formado el arco por cuatro palastros de 20 mm. de espesor, con refuerzo en las zonas de arranque de dos planos laterales de 350 × 15 mm.

El espesor del arco es constante, dados los esfuerzos a que está sometido, así como su ancho, siendo de 500 mm. el primero y de 490 mm. el segundo.

La separación entre cerchas es de 7,40 m.

Tirante-viga de rigidez.

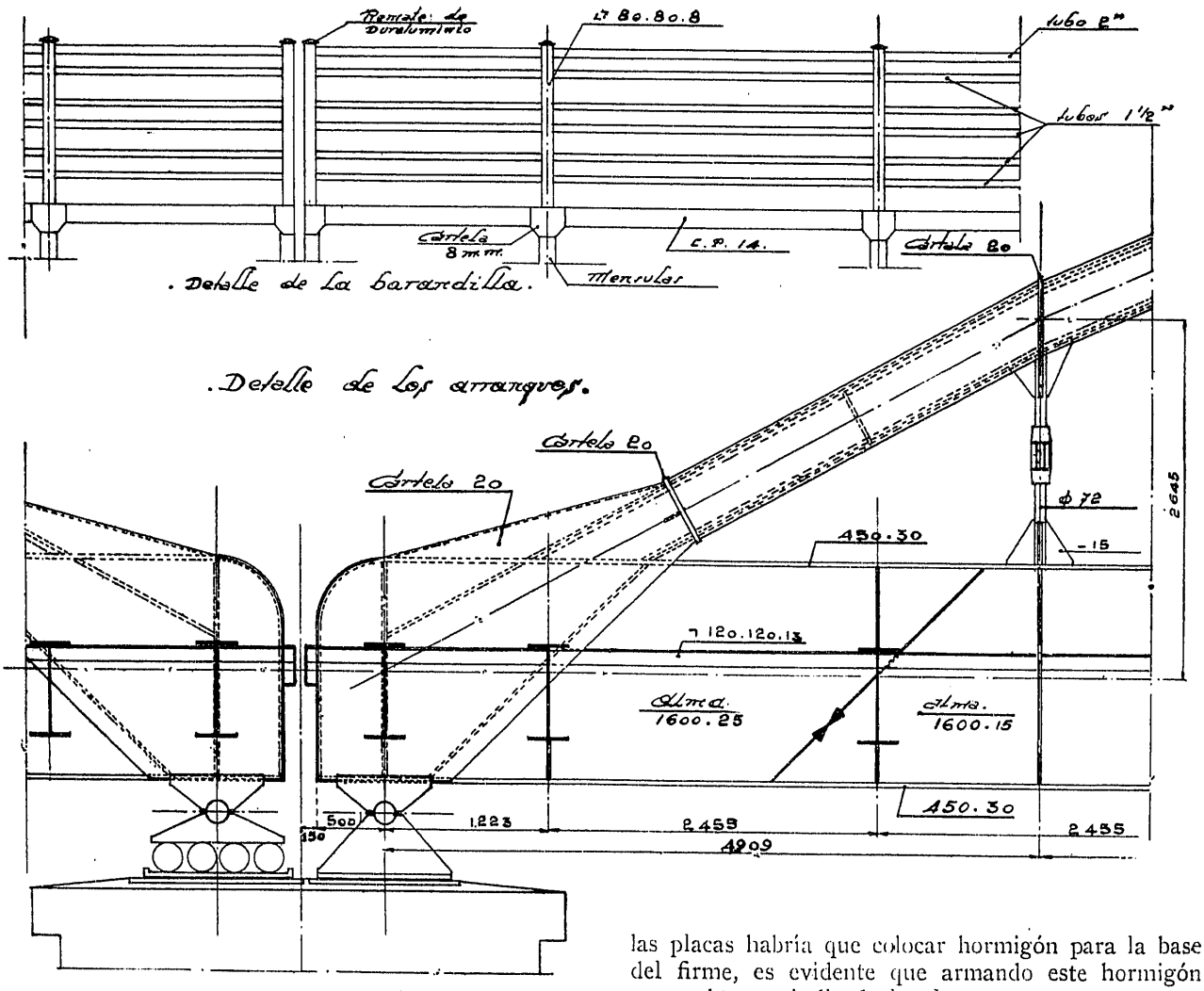
Dada la luz del tramo, era aconsejable una viga de alma llena, de más fácil ejecución. Está formada por una doble T, siendo su altura, aproximadamente, 1/35 de la luz, según norma práctica, resultando 1,66 m. Dada esta altura, es preciso componer la sección, lo que fácilmente se logra con la soldadura, mediante tres palastros, el que forma el alma de 1 600 × 15 mm., y las alas, de 450 × 30 mm. El espesor del alma se aumenta a 25 mm. en los 4,20 metros extremos, para contrarrestar los mayores esfuerzos cortantes y los producidos por su unión al arco.

Péndolas.

Son diez por cuchillo, resultando así espacios de 4,909 m., que se acopla bien a la disposición de viguetas del tablero.

Están constituídas simplemente, cada una, por un redondo de 72 mm., disposición bien sencilla que permite realizar la soldadura, al facilitar su unión con el tirante y el arco, como indica uno de los dibujos adjuntos, evitándose además esfuerzos parásitos de flexión por empotramientos superfluos.

Llevan, además, un manguito, y roscado, con lo que se obtuvo la tensión necesaria, y una vez conseguida, se soldaron los manguitos a los redondos.



Tableros.

Constituímos el piso con el entramado corriente de viguetas y largueros. Las viguetas corresponden a los planos verticales de las péndolas y otros intermedios, resultando 2,455 para la distancia entre ejes de viguetas.

Son las viguetas dobles TT con 690 mm. de altura, por lo cual se realizan componiendo el perfil por soldadura de tres palastros, el alma de 650 × 8 mm., y los de cabeza de 300 × 20 mm.

Los largueros son dos, con cuyo número se forman recuadros próximamente cuadrados, forma conveniente para la resistencia de los elementos de relleno, resultando separados 2,475 m.; y como ya su altura permite el empleo de perfiles laminados, se adopta la doble T del 32.

Los recuadros así formados los recubrimos con losas de hormigón armado, disposición que hemos juzgado superior a los antiguos sistemas de relleno mediante hierros Zores o de placas combadas. Los primeros pesan mucho, y ambos son elementos muy sujetos a la oxidación que, a su vez, se transmite a viguetas y largueros. Como, por otra parte, sobre las placas habría que colocar hormigón para la base del firme, es evidente que armando este hormigón se puede prescindir de la placa.

Por ello se han construído placas de 17 mm. de espesor, de hormigón armado de 300 kg., apoyadas en los largueros y viguetas y armadas ortogonalmente con ϕ de 15 mm.

Arriostramientos.

Dada la disposición de la estructura, el arriostramiento inferior lo constituye el piso. El superior lo formamos constituyendo una viga en K, muy empleada en la actualidad, y que tiene la ventaja de suprimir el cruce que se presenta en las de San Andrés y acortar la longitud de las diagonales. En las bajas se suprime la primera horizontal, con lo que se amplía el gálibo, aunque el mínimo en arranques de piezas es de 4,50 m., superior al que fija la Instrucción de puentes metálicos y muy suficiente en todo caso.

Las barras de arriostramiento están constituídas, para las diagonales, por dos angulares de $\frac{80 \times 80}{8}$, soldados formando cajón, fácil de realizar con soldadura y que permite un aumento en el momento de inercia, y un perfil laminado en doble T, del 22, para los demás.

Ménsulas, aceras y barandillas.

Se propusieron las aceras exteriores a los cuchillos, no solamente por resultar más económicas al disminuir la luz de las viguetas, por ser menor la distancia entre ejes de cerchas, sino porque, conservando el ancho de 6,50 m. de calzada y aprovechando la cimentación de pilas y estribos, no era posible, sin el empleo de ménsulas de apoyo, adoptar los andenes interiores.

La distancia entre el eje de cerchas y el de barandillas es de 1,75 m., quedando 1,50 m. de paso útil, que es lo que tenía el puente anterior.

El voladizo lo constituye una ménsula que corresponde a los planos de viguetas, soportando en su exterior una ⌐ corrida, del núm. 14, en la cual, y en un angular unido a la viga de rigidez, se apoya una losa de hormigón armado, de 300 kg., de 8 cm. de espesor, armada con ϕ de 8 mm.

La barandilla la hemos constituído por montantes formados por dos angulares de $\frac{80 \times 80}{8}$, que forman un prisma, rematados por una virola de duroaluminio, para su decoración, y barrotes de tubos de $1\,1/2''$ los de relleno, en número de 4, lo que permite dejar solamente pequeños espacios de 0,20 m., y el de pasamanos, que es de 2". Armoniza así la barandilla en su construcción y en el predominio de líneas horizontales, con la tónica general de la obra.

Aparatos de apoyo y juntas de dilatación.

Se apoya cada cuchillo en la placa de apoyo mediante el sistema usual de rótulas y rodillos.

El apoyo móvil lo constituye un sistema de 4 rodillos de 200 mm. de diámetro y 620 mm. de generatriz.

El material de los aparatos de apoyo es, siguiendo las Instrucciones, el acero moldeado para las rótulas, sombrerete, rodillo y base, y acero Siemens para las pestañas, tornillos, tuercas, arandelas y prisioneros. Los apoyos fijos son de acero moldeado.

El espacio libre para dilatación, entre extremos de dos arcos consecutivos, es de 200 mm., y la mitad, entre los de origen y las fábricas del estribo.

Afirmado.

Se emplea el adoquín pequeño, de 8 cm. de tizón, para reducir peso, sentados sobre una base de mortero de 300 kg., con espesores variables de 3 a 8 cm.

El perfil transversal del pavimento es el circular, con 5 cm. de flecha.

Otros datos.

El peso del acero laminado empleado en un arco es de 38,753 toneladas; en vigas de rigidez, 59,223, y el total por tramo, incluso barandillas, juntas de dilatación, etc., 152 405 kg., es decir, 457,215 toneladas en todo el puente, siendo 667,639 toneladas el del puente anterior.

El importe de los tramos (parte metálica y tablero de hormigón), fué de 935 322,74 pesetas, y el presupuesto de la obra completa, incluso desguaces, demoliciones, obras de fábrica, reconstrucción de rampas, etc., 1 326 845,54 pesetas para ejecución material. A estas cifras hay que añadir el aumento autorizado posteriormente, del 17,5 por 100, y un adicional de 108 899,64 pesetas.

Comparación económica.

La adopción de soldaduras permite, por reducción de secciones y supresión de cartelas, como dijimos al principio de este artículo, una reducción de pesos que alcanza, a igualdad de estructuras, de un 15 a 20 por 100 en general, pero permitiendo, además, por adopción de estructuras, cuya realización es más factible con soldaduras que con roblonado, una nueva reducción.

Comparemos en este caso el tramo construído, con 54 m. de luz, con el de mayor luz, 60 m., de la Colección oficial de tramos metálicos para carretera, teniendo además en cuenta para el ancho de calzada que el puente de la Colección oficial es de 4,50 m., en el que caben dos zonas de 2 m., o sea 2 trenes, y el de Tortosa es de 6,50 m. de calzada, con tres zonas:

Puente de 60 m. de la Colección oficial:

Peso del tramo sin piso.	175 000 kg.
Peso por metro lineal $\frac{175000}{60} =$ . . .	2 920 kg./m. l.
Id. de sobrecarga.	3 775 " "
	6 695 " "

Puente de Tortosa, 54 m. de luz:

Peso del tramo sin piso.	2 880 kg./m. l.
Sobrecarga'.	6 012 " "
	8 892 " "

Relación, $\rho = \frac{8892}{6695} = 1{,}33.$

A igualdad de tablero, peso del de 60

metros: $p = 2\,920 \times 1{,}33 =$ . . .	3 884 kg./m. l.
Peso del de 54 m.: $p =$	2 880 " "
$\Delta =$ ...	1 004 " "

Relación, a igualdad de tablero, $\frac{1004}{3884} = 0{,}258$

es decir, cerca del 26 por 100 de economía en peso del material.

La misma cuantía hemos visto que se ha obtenido en uno de los más recientes puentes soldados que se han construído: el puente Victoria en el Avón, en Bath (Inglaterra).

Descrita la obra y expuestas las ideas generales que en su concepción han concurrido, dedicaremos la segunda y última parte de este trabajo a todo lo referente al montaje y construcción de los tramos.