

Construcción del puente sobre el Ebro, en Mequinenza (Zaragoza), en la carretera de Maella a Fraga¹

II

Comenzaron las obras por el estribo derecho, en marzo de 1925. En la excavación para cimientos, practicada en terreno de aluvi6n, hubo necesidad de disponer fuertes entibaciones en las paredes, llegándose a una profundidad de 11,54 m. con los consi-

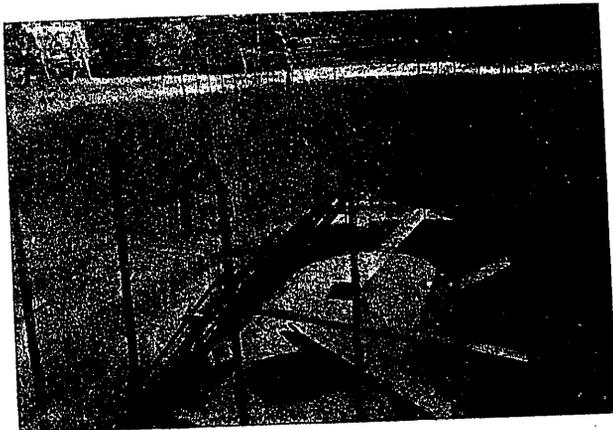


Fig. 7.ª Pila primera. Excavaci6n para el caj6n de fundaci6n.

guientes agotamientos, hasta encontrar un banco de caliza, sobre el que se fund6.

En la pila primera, situada fuera del lecho ordinario, se practic6 una excavaci6n, de 4,25 m de altura, para colocar el caj6n, como indica la figura 7.ª, alcanzándose, adem6s, con la hinca una profundidad de 6,12 m, hasta empotrar el cemento en la caliza. La duraci6n de la hinca fu6 de cincuenta y cinco d6as, a la que corresponde un promedio de hinca diario, contando las p6rdidas de tiempo, de 13 cm;

estar, en general, la roca a poca profundidad (fig. 8.ª)¹ La profundidad de excavaci6n fu6, en la pila segunda, de 7,11 m, y de 7,23 en la tercera, llegándose igualmente a encajar el cemento en la caliza. La l6mina de agua en la pila tercera, el comenzar la hinca, era de 1,48 m, y de 0,48 en la pila tercera.

El terreno atravesado en la pila segunda fu6: arenas y gravas en 4,02 m, gravas muy gruesas y compactas en 1,50 y bancos delgados de caliza, con vetas de lignito interpuestas, en 1,59. An6logo fu6 en las otras pilas, salvo que el espesor de materiales sueltos fu6 mayor en la primera y menor en la tercera.

La duraci6n de hinca fu6, en la pila segunda, de veinticinco d6as, con avance medio 6til de 28 cm; descontando p6rdidas de tiempo, de 31,5 cm, con una hinca m6xima de 70 cm; en la pila tercera la duraci6n fu6 de treinta y cuatro d6as, los avances medios indicados de veinticuatro y treinta d6as y la hinca m6xima de 0,60 m.

La cimentaci6n del estribo derecho se termin6 en

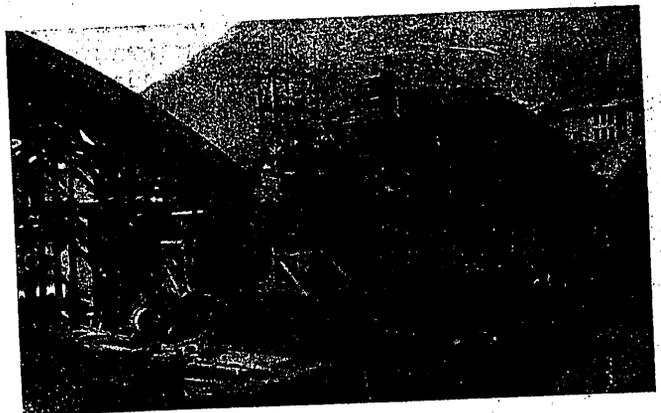


Fig. 9.ª Cimbras de los arcos segundo, tercero y cuarto. Lado de aguas arriba.

julio de 1925; la de la pila primera, en febrero de 1926, y en abril siguiente, la del estribo izquierdo; todas 6stas se pudieron ejecutar sin esperar al estiaje, por estar fuera del cauce ordinario. Las pilas segunda y tercera quedaron cimentadas en agosto y octubre del mismo a6o.

Las cimbras en esta obra, dadas la luz y altura de los arcos, eran de dimensiones poco frecuentes (figura 9.ª). Se montaron tres cimbras de derecha a izquierda; consta cada una de cuatro cerchas, de composici6n cl6sica, montantes verticales y tornapuntas oblicuas, y apoyadas en palizadas sobre pilotes en el r6o y sobre carreras de hormig6n en las m6rgenes. La distancia entre palizadas corresponde a la de los montantes de la b6veda 5,45 m entre ejes. Los planos de descimbramiento eran dos: uno a la altura de arranques y otro a altura intermedia, siendo los aparatos de descimbramiento cajas de arena, de las que siete iban en el plano de descimbramiento superior y seis en el inferior; por consiguiente, cincuenta y dos cajas por cimbra. Adosado a la cimbra y mon-

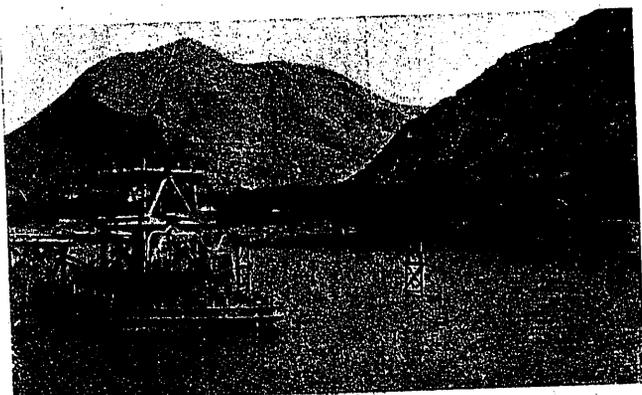


Fig. 8.ª Pila tercera. Caj6n del cemento sobre la isleta.

sin dichas p6rdidas, el avance medio fu6 de 25 cm, y la hinca m6xima fu6 de 60 cm.

En cada una de las pilas segunda y tercera, situadas en el r6o, se construy6 una isleta de tierra y gravas, contenidas en un recinto de pilotes, cuya hinca, y lo mismo sucedi6 en las cimbras, no era f6cil, por lo que se recurri6 a la ayuda de un estribo. Véase el n6mero anterior, p6gina 65.

tado sobre las mismas palizadas iba el puente de servicio.

La altura de la cimbra, en la clave de los arcos segundo y tercero, era, sobre la línea de agua, de unos 20 m, y contando el total, hasta el límite de hinca de palizadas, de unos 24 m. Además, en las

100 de su valor, puesta en obra. En la construcción han entrado 832 m³ de madera en tres cimbras, que son las empleadas, y unos 1 400 kg de herrajes y tornillería por cimbra.

En bóvedas de la importancia que las de Mequenza tienen nos pareció el procedimiento más reco-

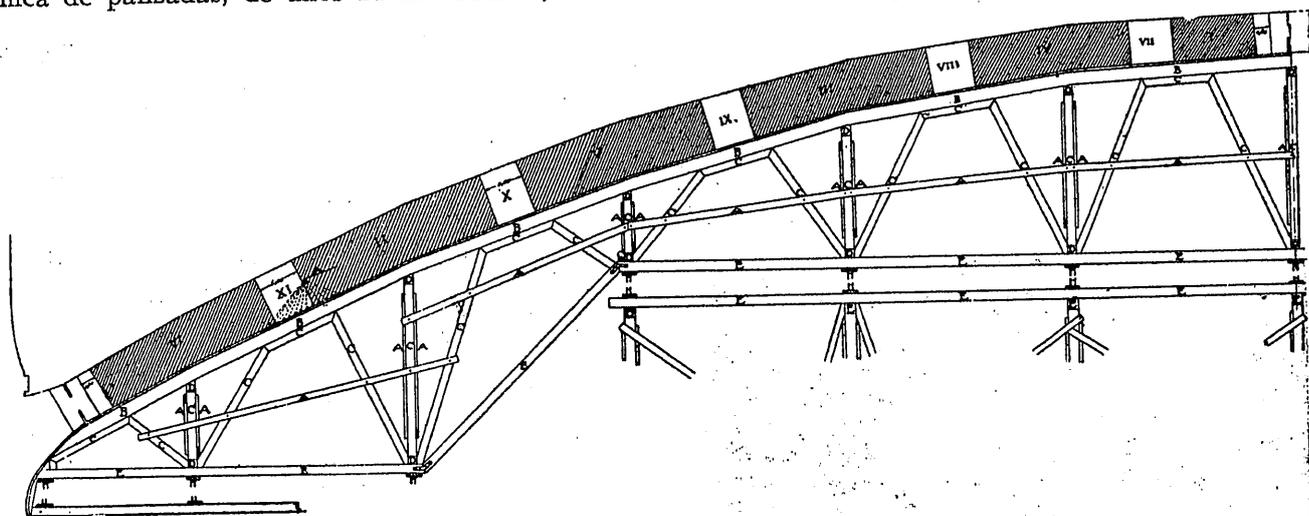


Fig. 10. Esquema del hormigonado de las bóvedas.

cimbras de los arcos segundo y tercero se dejó, junto a la pila segunda, un vano de doble longitud, apoyado en palizadas dobles, por ser la región de río de máxima corriente y por la cual era de temer, en avenidas, el paso de cuerpos flotantes. El aserrado de todas las piezas se hizo en obra, montándose, al efecto, a pie de ella, la sierra correspondiente.

La hinca de los pilotes, como hemos indicado, fué difícil, pues el espesor de la capa de acarreo era pequeño y la roca estaba a poca profundidad. Por lo mismo, el pie de las palizadas se escolló, para más seguridad.

La determinación de la presión de la bóveda sobre la cimbra se hizo por la fórmula de Séjourné, y las dimensiones de las piezas se calcularon asignando a la madera una carga de 80 kg/cm²; en las piezas comprimidas, la carga admisible, teniendo en cuenta la esbeltez resultante de las escuadrías tomadas, se reducía a unos 42 kg/cm².

Fig. 11. Disposición de la armadura de las bóvedas.

En el presupuesto se asignó, para cimbras, andamios y medios auxiliares, la cantidad de 150 000 pesetas, calculada sobre la base de que la cantidad de madera requerida fuese unos 720 m³ y que el aprovechamiento de la madera importase el 25 por

mendable de construcción no el de rosas continuas sino el de bloques a modo de grandes dovelas del total espesor, distribuidas de manera de no cargar desigualmente la cimbra, según el diagrama de hormigonado que acompañamos. Para el constructor ofrecía el inconveniente de que la cimbra se hubo de proyectar para resistir el peso total de la bóveda y, además, la colocación de tableros transversales para contener el hormigón, con el consiguiente aumento de tiempo y coste; pero en éste, como en todos los demás detalles de construcción, cumple declarar que la contrata se amoldó sin dificultad al criterio del personal encargado de la dirección e inspección de la obra.

Cada par de dovelas simétricas se ejecutaban en un día, pues se habían calculado sus dimensiones a este efecto, y en cuanto a las intermedias, de menos volumen, se rellenaron con hormigón más seco, buscando en ellas una contracción menor de fraguado. El volumen de hormigón de cada bóveda era de 360 m³, invirtiéndose diez y ocho días en la primera, trece en cada una de las segunda y tercera y quince en la cuarta, en los meses de abril a octubre de 1927. Hay que tener en cuenta que el relleno de los blo-

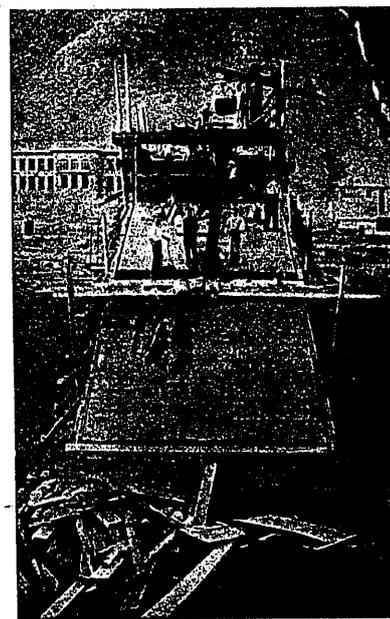
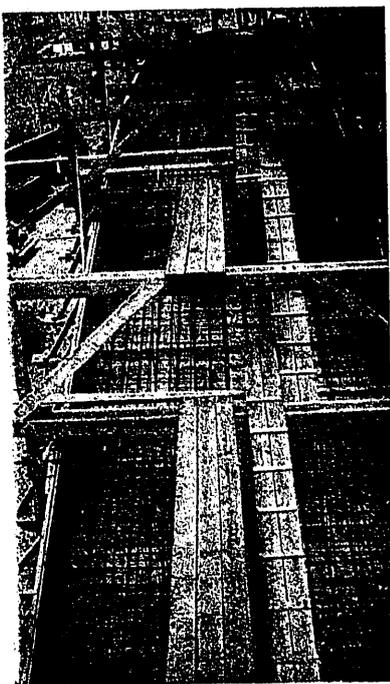


Fig. 12. Hormigonado de las bóvedas por trozos separados.

ques de articulación era entretenido y que llevaba tiempo el traslado de los tabiques transversales, que no podía efectuarse mientras no hubiera fraguado el hormigón. La figura 10 es un esquema de plan de hormigonado. Las hormigoneras, en los arcos situados fuera del río, se colocaron al pie de las torres de elevación, y desde éstas se distribuía por canales, disponiéndose de tres hormigoneras y tres torres. En los arcos del río el hormigón fabricado en la margen se llevaba por vagonetas, por el puente de servicio, a los elevadores, apoyados en las palizadas de la cimbra.

Las fotografías adjuntas (figuras 11 y 12), que corresponden al arco primero, indican la disposición de las armaduras y la ejecución de la bóveda por trozos separados.

Los materiales empleados fueron arena del Segre, grava del Ebro y cemento «Sansón»; en la obra se dió la debida atención a los ensayos de los materiales arena y cemento, determinándose la composición granulométrica de la primera y su densidad, y haciéndose pruebas de constancia de volumen del segundo y de rotura por tracción de probetas de mortero 1 : 3, que siempre dieron resultado satisfactorio. Para mayor garantía, en el curso de la obra se enviaron muestras del hormigón fabricado en las hormigoneras al Laboratorio de la Escuela, tanto para el hormigón corriente como para el de articulaciones, para su rotura por compresión. De este último ya hemos indicado anteriormente los resultados, y el corriente dió cargas de rotura siempre superiores a 340 kg/cm². Recordaremos que se trata de hormigón de 350 kg de cemento.

El cuadro que acompañamos refleja las deformaciones de la bóveda debidas al asiento sobre cimbra y al descimbramiento. Presentamos únicamente las diversas ordenadas de la clave en las distintas fases y las flechas resultantes:

| | ORDENADAS | | | FLECHAS EN MILÍMETROS | | |
|---------------------------------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | Antes de | | Después de descimbrar | Sobre cimbra | Descimbramiento | Totales |
| | Hormigonar | Descimbrar | | | | |
| | M | M | M | | | |
| Arco 1.º | 103,498 | 103,461 | 103,446 | 37 | 15 | 52 |
| Arco 2.º | 103,501 | 103,478 | 103,448 | 23 | 30 | 53 |
| Arco 3.º | 103,506 | 103,440 | 103,433 | 66 | 7 | 73 |
| Arco 4.º | 103,505 | 103,429 | 103,428 | 76 | 1 | 77 |
| <i>Flechas medias</i> | | | | 50,5 | 13,2 | 63,7 |

Como la ordenada teórica de la clave era 103,450 metros, pues a las cimbras se les había dado una contraflecha de 50 mm, los arcos primero y segundo quedaron, puede decirse, a la altura exacta, y en cuanto a los pequeños asientos de los tercero y cuarto, se comprende que se ganaron con toda facilidad en el tablero.

Los resultados obtenidos los consideramos satisfactorios, teniendo en cuenta, sobre todo, la gran altura de las cimbras y los numerosos ensambles que por ello había. Además, los resultados se asemejan a los que menciona Séjourné para puentes articulados, como se ve en el cuadro siguiente, en el que la mayor parte de los arcos citados son de luces menores que los de Mequinenza:

| PUENTE | Luz — M | FLECHAS EN MILÍMETROS | | |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|-----------------|---------|
| | | Sobre cimbra | Descimbramiento | Totales |
| Coulouvrenière . . . | 40, | 26 | 25 | 51 |
| Garching | 44,35 | 39 | 15 | 54 |
| Grasdorf | 40,40 | 55 | 24 | 79 |
| Göhren | 60,60 | 66 | 31 | 97 |
| Walstrasse | 57, | 12 | 7 | 19 |
| Elisa | 43, | 40 | 24 | 64 |
| Illerbeuren | 57,20 | 15 | 9 | 24 |
| Cornelius | 41, | 45 | 22 | 67 |
| <i>Flechas medias</i> . . . | | 37,2 | 19,6 | 56,8 |

En conjunto, puede afirmarse que el asiento sobre cimbra fué mayor en Mequinenza que en los puentes relacionados, y menor la flecha de descimbramiento, punto este último que hace creer en la buena calidad de los materiales y ejecución del hormigón. Bien es verdad que, para conseguirlo, se tuvieron los arcos cimbrados desde su terminación siempre más de cuarenta días.

El descimbramiento se operó siempre con toda felicidad; la arena salió sin dificultad de las cajas, y la bóveda despegó suavemente de la cimbra; se procedió de la clave simétricamente hacia los arranques, con simultaneidad en las cuatro cerchas. El descimbramiento del primer arco tuvo lugar en agosto de 1927; en octubre el de los arcos segundo y cuarto, y en noviembre el del arco primero. Duró la operación por arco más de tres horas, no contando el tiempo anteriormente invertido en suprimir arriostramientos. Los datos anteriores y flechas se refieren sólo a la clave, pero se comprobó, por las oportunas nivelaciones, que el descenso de bóveda fué simétrico.

Terminada la construcción de las bóvedas y descimbradas ocurrió el accidente del arrastre de la cimbra del arco cuarto, a consecuencia de una avenida súbita, cuando comenzaba a desmontarse. El accidente, para la obra, no tuvo consecuencias, pues, como dijimos, ocurrió cuando el arco ya no apoyaba sobre la cimbra; el contratista tuvo la consiguiente pérdida de material, aunque la mayor parte de las piezas pudieron recogerse.

La construcción del tablero ofrece menos puntos interesantes; únicamente advertiremos que va provisto de juntas de dilatación en la clave y sobre las palizadas contiguas a pilas y estribos, para evitar el agrietamiento, que de otro modo se hubiera producido por la flexibilidad del arco. Los moldes empleados tenían la debida resistencia y se mantuvieron el tiempo necesario para evitar deformaciones anormales, cosa que se ha conseguido (fig. 13).

Terminada la construcción del puente, a falta de pequeños detalles de la barandilla, se realizaron las pruebas, los días 15 y 16 de noviembre último, aun cuando la recepción provisional no ha tenido lugar todavía. El tren de pruebas se componía de una apisonadora de 15 toneladas en paralelo con una camioneta de 3, y de la carga estática de 400 kg/m² extendida al ancho total; sólo se hicieron pruebas estáticas.

El primer arco se cargó en el tercio central de la luz con la carga aislada en la clave; el segundo arco,

en un semiarco, y el tercero, en toda la luz, colocándose siempre la carga concentrada en la clave. Las flechas se apreciaron con nivel.

En la primera prueba no se apreció flecha sensible en la clave; en la segunda, la flecha medida en la clave fué de 8 mm, que se redujo a 3 inmediatamente de retirada la carga, y en la tercera, la flecha, de 5 mm, se redujo a 2 al retirar la carga; sobre las palizadas, las flechas medidas fueron, como es lógico, menores; en el cuarto arco, la prueba se refirió a la flexión propia del tablero, cargando dos tramos no contiguos, uno con la sobrecarga aislada y otro con

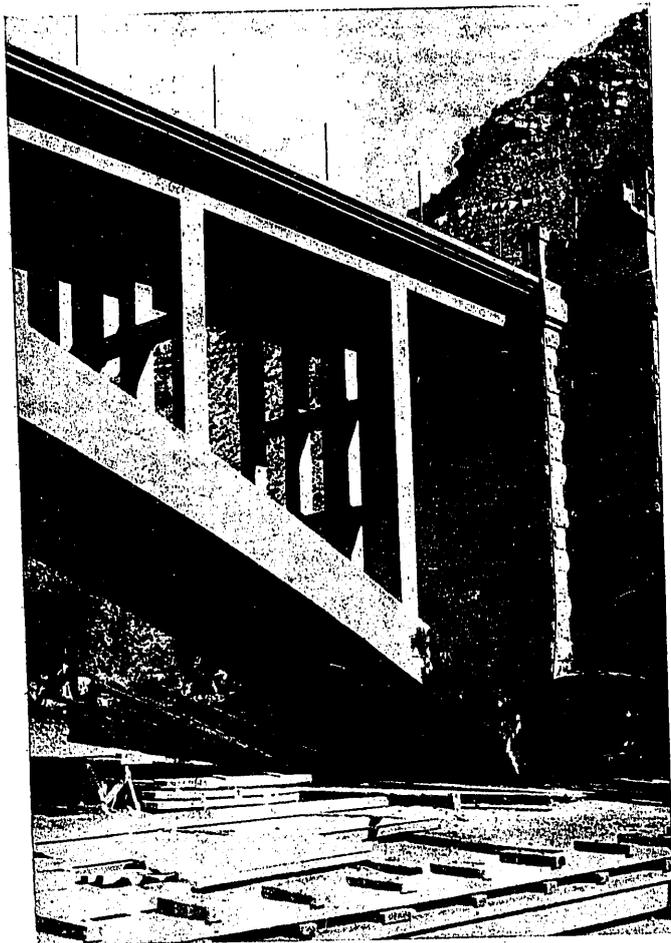


Fig. 13. Tablero y palizadas del arco primero.

la uniforme, pues la existencia de la junta de dilatación sobre la primera palizada suprime la continuidad más allá de cuatro tramos. En el tramo más cargado, la flecha medida fué de 2 mm, y desapareció al levantar la carga.

Las flechas apreciadas son menores que las que da el cálculo para la flexión del arco aisladamente; pero es natural, pues el tablero y las palizadas, con su deformación propia, disminuyen la flecha total, y la determinación de ésta para el conjunto elástico de arco, palizadas y tablero no nos hemos atrevido a abordar. Por lo demás, no se produjo en ningún caso señales de agrietamiento ni fisuración, y consideramos satisfactorios los resultados obtenidos.

si se hubiera elab... lo no... es... con...
para el... la... de...
si no...

En cuanto al coste de las obras daremos los siguientes datos, que son definitivos, salvo algún pequeño aumento en los arcos, debido a refuerzo de la barandilla:

| | Pesetas |
|---|---------------------|
| Estribo y muro de la margen derecha..... | 131 316,74 |
| Pila primera..... | 99 432,73 |
| Pila segunda..... | 97 909,29 |
| Pila tercera..... | 103 205,48 |
| Estribo y muros de la margen izquierda..... | 71 055,46 |
| Cuatro arcos a 103 684,94..... | 414 738,96 |
| Cimbras y andamios..... | 150 000 |
| SUMA..... | 1 057 658,66 |

En cuanto al coste de las cimentaciones de las pilas, ha sido el siguiente:

| | Pesetas | Metros cúbicos | Costes por metro cúbico |
|----------------------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| Pila 1. ^a | 88.995,58 | 303,766 | 292,97 |
| Pila 2. ^a | 74.628,44 | 352,538 | 211,69 |
| Pila 3. ^a | 79.924,63 | 358,861 | 225,50 |
| | 243.548,65 | 1.015,165 | 240 |

Como la excavación se abona a 90 pesetas por metro cúbico, quedan 150 pesetas, por término medio, para el coste del cajón y su relleno por metro cúbico de cemento.

En cuanto a los precios principales del proyecto, no citados hasta ahora, son los siguientes:

| | Pesetas |
|---|---------|
| Mampostería ordinaria hidráulica (200 kg de cemento por m ³ de arena)..... | 34,72 |
| Mampostería concertada hidráulica..... | 39,22 |
| Hormigón hidráulico en masa (200 kg de cemento por m ³ de hormigón)..... | 50,39 |
| Hormigón hidráulico moldeado..... | 67,39 |
| Hormigón para armar (300 kg de cemento)..... | 116,86 |
| Idem en bóvedas (350 kg de cemento)..... | 125,07 |
| Kilogramo de acero en armaduras..... | 1,20 |
| Idem de acero laminado..... | 1,40 |
| Idem de acero en chapa..... | 1,60 |

Por lo demás, en las cifras consignadas no se incluye ni el tanto por ciento de contrata ni la baja de subasta, que fué del 8,1 por 100.

El presupuesto de la obra total es bastante mayor de 1 730 494,66 pesetas (cifra de contrata), pues el enlace del puente con los trozos construídos de carretera ha exigido obras muy costosas para el paso de Mequinenza.

Indicado queda que la entidad constructora ha sido la Sociedad Aragonesa del Cemento Armado, Ramón Ríos y Comps, Hermanos, habiendo estado al frente de las obras el inteligente constructor D. Emilio Larrodere, en las que ha demostrado una vez más su laboriosidad y competencia.

Joaquín CAMÓN
Ingeniero de Caminos

si se hubiera elab... lo no... es... con...
para el... la... de...
si no...