

PUENTE DE LA HORADADA

SOBRE EL EBRO,

EN LA CARRETERA DE CERECEDA A VILLASANTE POR MEDINA DE POMAR,
PROVINCIA DE BURGOS.

Lámina 19.

El mal estado en que se encontraba el antiguo puente de La Horadada, utilizado con ligeras reparaciones, para salvar el paso del río Ebro en la carretera antes provincial de Sante á Villasante, y hoy á cargo del Gobierno bajo la denominación de Cereceda á Villasante, por Medina de Pomar; hacia necesaria su demolición, que propuso en 1854 el Ingeniero D. Cayetano Gonzalez de la Vega, presentando el proyecto de un puente nuevo, que fué aprobado en el mismo año, pero que no se ejecutó por falta de fondos, hasta que incluido en el proyecto formado en 1860 para la reparación de esta carretera, se ha llevado á efecto con las variaciones que en la clase de fábrica y en la longitud de la bóveda se creyó conveniente proponer en el proyecto de reparación para disminuir el coste y adaptar la obra á las dimensiones asignadas entonces á las carreteras de tercer orden, entre las cuales estaba clasificada la de que se trata. Posteriormente, durante la ejecución se hicieron otras modificaciones y algunas ligeras adiciones exigidas también por la necesidad de disminuir el coste, que sin ellas hubiera sido excesivo en la sillería, por la conveniencia de facilitar la mano de obra y por la falta de algunos detalles de que carecía el proyecto primitivo; resultando al fin la obra, que en la esencia es la del proyecto del Ingeniero Vega, construida como se indica en la lámina y de la que se va á dar una idea.

Tomo XI.

I.

Proyecto.

Formas dimensiones y clases de fábrica.—

Consta el puente de un solo arco de 25,40 metros de luz, 5,62 de flecha y 15 de radio. La bóveda está formada por dovelas de sillería del espesor constante 1,55 metros en los frentes y 1,25 en el resto, sobre las cuales descansa la fábrica de mampostería ordinaria que terminada superiormente por dos planos inclinados, constituye y completa la superficie de trasdos que á su vez está recubierta entre los citados frentes por una chapa de hormigón hidráulico de diez centímetros de espesor. El arco descansa sobre dos estribos, también de mampostería ordinaria, pero con paramentos y tajamares de sillería, apoyados en las rocas que á uno y otro lado del río existen y que á pesar de la distancia considerable que las separa, hacen este sitio el único mas apropiado para emplazamiento de la obra, no solo porque es también el mas estrecho de todos los que el Ebro presenta en el trayecto de una legua en que acompaña á la carretera sino además por la fácil y económica fundación que ofrece encima de las aguas bajas. Sobre la impostilla de arranque del arco se levantan los muros de acompañamiento, hechos con mampostería ordinaria resguardada en las aristas por sillería; y sobre ellos y los senos corren la imposta general y el antepecho, contruidos igualmente con esta clase de fábrica. Por último, como accesorios indispensables, acompañan dos muros de sostenimiento exigidos por la considerable altura de los terraplenes que constituyen las avenidas.

Es evidente, segun se vé en la lámina, que por la profundidad de mas de tres metros que
Madrid 15 de Junio de 1865.

presenta la seccion transversal del rio en este sitio, y por las dificultades y coste consiguiendo á que hubiera dado lugar la construccion de una pila intermedia, la adopcion de un solo claro está plenamente justificada á pesar de la longitud, considerable tambien, que para la luz resulta y que no ha sido posible disminuir por impedirlo la configuracion de la parte de roca cubierta por las aguas bajas; ademas de la conveniencia de facilitar la ejecucion de las fundaciones haciéndolas en seco.

Fijada ya la luz por estas consideraciones y determinada la flecha atendiendo á la altura de las altas aguas y de la rasante de la carretera, restaba deducir el radio para proceder á la determinacion de las demás dimensiones; pero considerando la conveniencia de que este fuera un número que facilitara con exactitud las operaciones sobre la monea, se fijó su valor en los 15 metros ya espresados y se dedujo de este valor y del de la luz, el de la flecha correspondiente que resultó ser el indicado de 5,62 metros sin que fuera necesario hacer alteracion ninguna en la altura de la rasante.

El espesor en la clave deducido de la fórmula de Perronet, debía ser por lo menos en toda la bóveda de 1,57 metros; pero se redujo á 1,25 que era el asignado en el proyecto, dando el de 1,55 á los frentes solamente, y de este modo se consiguió mas economia de material, sin que la estabilidad ni la resistencia de la obra dejen de subsistir, como se dirá despues. Ademas de que aquella fórmula da, como es sabido, espesores excesivos cuando el diámetro del intradós llega á tener un valor de 50 metros como aquí se verifica.

El trasdos determinado primero por la fórmula

$$z = -r + \sqrt{r^2 + \frac{2Q}{\pi \cos^2 \alpha}}$$

en que r es el radio, Q el empuje horizontal, π el peso específico de la fábrica, y α el ángulo que con la vertical forma cada una de las cuatro juntas que se consideraron; se terminó por dos planos inclinados constituyendo chapa, lo cual da exceso de material sobre el que resulta con la curva de la fórmula, pero aumen-

ta en cambio la estabilidad y sobre todo facilita la ejecucion, que es lo que principalmente se ha tratado de conseguir. Determinado de este modo el perfil de la bóveda, se ha construido, como se ha dicho, una faja de silleria de los espesores constantes 1,55 y 1,25 respectivamente en los frentes y en el medio, y el resto de mamposteria ordinaria.

El cálculo del espesor de los estribos era inútil en este caso especial, toda vez que las dos rocas hacen funciones de tales; sin embargo, atendiendo á la configuracion de la de la derecha que aparecia muy separada del paramento á la altura del arranque del arco, y podia ocasionar un exceso indebido de material si se rellenaba todo este intervalo, se calculó el espesor por la fórmula

$$E = r \sqrt{5,8 c}$$

obteniendo por resultado el número 8,55 metros, que es con corta diferencia la distancia que existe en el hueco de que se trata. Para esta determinacion se dedujo c de la relacion

$$C = \frac{Q}{r^2}$$

calculando previamente el empuje por la ecuacion

$$Q = \frac{1}{2} (2re + e^2)$$

en que $e = 1,25$ y $r = 15$.

Los muros de acompañamiento se representaban en el proyecto primitivo prolongando sus aristas hasta el zócalo, lo que daba á la obra mejor aspecto indudablemente; pero la necesidad de ejecutar estas aristas con piedra de buena calidad, para disminuir las probabilidades de que se rompiesen en las avenidas, y el excesivo coste que aquel material ha tenido á causa de la mucha distancia á que se encuentra la cantera que hubo necesidad de adoptar, por ser de mala calidad y poca resistencia la designada en el proyecto; obligaron á suprimir la espresada arista desde los arranques hacia abajo, corriendo la impostilla y constituyendo la obra con dos cuerpos en vez del único que en el proyecto aparecia.

Del resto de esta obra en que, por sus gran-

des dimensiones, se ha procurado emplear todo lo posible la mampostería ordinaria para disminuir así el coste, aparece á primera vista poco justificada la sillería del antepecho y de los paramentos de los estribos. Su empleo, sin embargo, se debe á circunstancias especiales: en el antepecho se ha hecho uso de ella para evitar la dificultad que por sus dimensiones presentaba el construirle bien con mampostería ordinaria, y para aprovechar la piedra que ya se había estraido cuando se propuso la variación de cantera y que era aplicable á las partes de la obra que como esta no exigían mucha resistencia.

Estabilidad y resistencia. Siendo la bóveda rebajada próximamente al cuarto, basta examinar para la estabilidad la condición relativa al resbalamiento sobre la junta horizontal de arranque; es decir averiguar si se verifica la desigualdad

$$fG > Q.$$

siendo $G=68.500$ kilogramos, el peso de la semi-bóveda, $f=0,76$, el coeficiente de rozamiento de la piedra de sillería sobre sí misma y $Q=49.400$ kilogramos (a), el empuje horizontal. Haciendo las sustituciones se obtienen los resultados

$$fG = 51.900; Q = 49.400$$

que satisfacen á la desigualdad.

Respecto á la resistencia del material á la compresión, la de la clave es

$$T = \frac{6 G (K-x)}{5 e (b-y) + 2 e^2}$$

ó sustituyendo los valores

$$G=68.500; K=\frac{23,4}{2} (5,62+6,1,25) = 4,09$$

(Valdés pág. 653);

$$e=1,25; x=0; y=0; b=5,62,$$

resulta

(a) En estos cálculos se ha tomado para el peso del metro cúbico de mampostería ordinaria 2000 kilogramos (Valdés pág. 207) y para el del de la sillería los 2.550 kilogramos que da la densidad 2,53 determinada espresamente para el material empleado en esta obra.

$$T=69.260 \text{ kilogramos}$$

en los 1,25 metros cuadrados correspondientes á un metro de longitud de cañon, ó sean 5,5 kilogramos por centímetro cuadrado, que es algo mas de la 5.^a parte de lo que cómodamente puede soportar el material, suponiendo que no haya de estar sometido á mayor presión permanente que la de 18 kilogramos por centímetro cuadrado.

La presión en la junta de arranque es

$$T = \frac{2 (G \operatorname{sen} \alpha + Q \cos \alpha)}{z}$$

de donde siendo

$$G=68.500; Q=49.400; \alpha=51^{\circ}...16'; \operatorname{sen} \alpha=0,780; \cos \alpha=0,622; z=1,25;$$

resulta

$$T=154.400$$

que son cerca de 11 kilogramos por la misma unidad y en igual supuesto que antes.

Por último en el zócalo, donde el material resiste el peso de toda la semi-bóveda mas el del estribo, se encuentra tambien escaso de resistencia, hallando los correspondientes valores.

La falta de datos sobre la verdadera resistencia del material de que se ha hecho uso no permite aproximarse mas al límite indicado, y justifica estas dimensiones que solo con datos mas seguros y directos hubieran podido determinarse exactamente.

Cimbra. La misma razón que ha hecho imposible construir una pila intermedia ha obligado á emplear una cimbra recogida, no obstante la mucha luz del arco, y los inconvenientes que este sistema presenta siempre durante la ejecución. La cimbra proyectada para esta obra consta de cinco cerchones, distantes uno de otro un metro de eje á eje, y compuesto cada uno de tres semipoligonos cuyos lados de corta longitud en general, han podido formarse utilizando piezas de madera, cortas tambien y de un peso no muy excesivo; circunstancias indispensables para no hacer muy difícil la colocación y disminuir al mismo tiempo el coste. Con este mismo objeto, y con el de asegurar una buena ejecución, se ha procurado que los ensamblages fueran los mas sencillos, reduciéndolos á simples embarbilla-

dos practicados en la péndola que en cada ángulo sirve para establecer la union de las dos piezas contiguas, las cuales se hallan reforzadas por dobles manguetas que, cojiéndolas á media madera, ensamblaje tambien de fácil ejecucion, no tienen otro objeto que oponerse á la flexion que aquellas piezas pudieran sufrir y aumentar la invariabilidad del sistema, ya poco variable por si mismo á causa de los triángulos que en su mayor parte le componen. Tambien se ha procurado economizar todo lo posible el empleo del hierro que solamente se ha utilizado en los pasadores que han servido para mantener fijas en su posicion las dobles manguetas, y en las escuadras construidas para fijar invariablemente á la péndola del vértice las dos piezas que en ella se apoyan.

Todo el sistema de los cinco cerchones descansa, por el intermedio de diez zapatas, sobre cuatro cuñas de una longitud próximamente igual á la del cañon de la bóveda, y de la forma que el detalle manifiesta, las cuales descansan á su vez cada par de ellas y por intermedio tambien de otras cinco zapatas, en diez pies derechos, colocados dos á dos debajo de cada cerchon. Esta disposicion tan conocida permite como se sabe, hacer con facilidad y de un modo uniforme el descimbramiento.

Dimensiones de la cimbra.—Carreras. Las dimensiones de las carreras ó piezas que sostienen inmediatamente á las dovelas, se han determinado considerando la parte de cada una de ellas comprendida entre dos cerchones consecutivos, como una pieza apoyada en sus estremidades y cargada de pesos uniformemente repartidos, y aplicando la fórmula

$$\frac{pL^2}{8} = K \frac{bh^3}{6}, \dots (1)$$

en la que L, distancia entre apoyos ó entre los cerchones, es igual á 4 metro; R, coeficiente de resistencia es igual á 500,000 kilógramos por metro cuadrado; b, base de la seccion transversal de la pieza igual á la mitad de la altura h, y p, el peso que carga en cada metro de longitud. Para determinar esta última cantidad se ha dividido el peso de cada carrera de dovelas, que es de 6942 kilógramos, por la longitud to-

tal de la pieza, que es de 4 metros entre los dos cerchones extremos, y se ha obtenido para p un valor igual á 1736 kilógramos. De este modo hay seguridad de que las dimensiones que dá el cálculo serán mayores que las realmente necesarias, no solo porque se considera á la pieza simplemente apoyada, cuando en realidad resulta empotrada al clavarla sobre los cerchones; sino tambien porque no está sometida al peso total de la carrera de dovelas que la oprimen y si solamente á la componente del peso, tomada en sentido de la junta inferior. Sustituyendo en la fórmula los valores espresados se obtienen los resultados

$$b=0^m,41 \text{ y } h=0^m,22.$$

Pares ó lados del poligono mayor. Del mismo modo se ha considerado cada una de estas piezas como apoyada por las estremidades en las péndolas y solicitadas por pesos uniformemente repartidos, haciendo uso de la misma fórmula, en la que las cantidades tienen los mismos valores que ántes se han indicado, excepto p, que en este caso es diferente y que se ha determinado del modo siguiente.

Se sabe que la presion normal ejercida aisladamente por cada dovela sobre la curva de intradós está representada por la espresion

$$P=G (\cos \alpha - f \operatorname{sen} \alpha). \dots (a)$$

en que G es el peso de la dovela, α el ángulo que con la vertical forma su junta inferior, y f el coeficiente del rozamiento; que esta presion disminuye á medida que sobre la dovela que se considere se van colocando las sucesivas; y que por consiguiente, tomando el resultado que para una dovela determinada dé la fórmula (a), se obtiene un valor máximo de la presion, al cual esta no será nunca superior. En virtud de esto se ha aplicado la citada espresion (a) á las ocho dovelas, consideradas como si formáran una sola, que cargan sobre cada par ó pieza próxima al vértice, punto cerca del cual debe la presion ser la mayor por serlo tambien la inclinacion del plano de junta

en cuya direccion actúa; y siendo entonces $G=10\ 880$ kilogramos; $\alpha=12.56'$; $\text{sen}\alpha=0,22$; $\text{cos}\alpha=0,97$ y $f=0,76$ resulta

$$P=8.704 \text{ kilogramos,}$$

y por consiguiente $p=\frac{8.704}{2,98}=2920$, siendo 2,98 la longitud de la pieza. La fórmula (1) da entonces

$$h=0,56; b=0,28 \text{ ó } 0,50$$

para las dimensiones de la seccion transversal; y no siendo fácil obtener la primera de ellas con maderas de una sola pieza, se ha conseguido sobreponiendo á una pieza recta de $0^m,50 \times 0^m,25$ otra curva de $0^m,25 \times 0^m,25$ que es la que ha de afectar la forma del intradós de la bóveda.

Los demás lados inferiores de este mismo poligono mayor tienen iguales dimensiones que los dos superiores á pesar de que para ellos es evidentemente menor el valor de p ; pero además de que no se tenían datos experimentales sobre la madera empleada, y que conviene por lo tanto, y mientras sea posible, no ajustarse con toda precision al resultado del cálculo, debe tambien tenerse presente que todos los lados inferiores sostienen además la parte de cimbra que está sobre ellos, y cuyo peso no se ha tenido en cuenta.

Las dimensiones trasversales de las piezas que constituyen los lados de cada uno de los otros dos poligonos se han determinado considerando como piezas sujetas á compresiones en el sentido de su longitud, y se han obtenido las dimensiones haciendo uso de la fórmula aplicable á este caso, en la que se ha dado á la presion valores aproximados, pero como en los demás casos, siempre mayores que los que realmente corresponden, y al coeficiente de resistencia los que las tablas indican segun que la longitud de la pieza era ó no mayor que doce veces la longitud de la menor dimension hipotética de la seccion transversal.

Zapatas y piés derechos. En estas piezas se obtiene de $0^m,40$ á $0^m,45$ para mayor dimension trasversal, dando á la presion que car-

ga sobre las primeras el valor que corresponde al peso de un semi-cerchon y de la semi-bóveda en un metro de longitud, y á la que actúa sobre los segundos, este mismo valor mas el peso de la zapata y de la parte de cuñas que sostienen cada par de ellos.

Las dimensiones de las péndolas, las de las manguetas y las de las cuñas no han sido determinadas por el cálculo: para las dos primeras que no tienen mas objeto respectivamente que facilitar la union ó ensamblaje de las dos piezas que se unen en cada vértice, y consolidar las que abrazan, se ha hecho uso de todas las disponibles, que al mismo tiempo no fueran á propósito para otro empleo, y que por sus dimensiones se prestaran á ser colocadas con facilidad: las segundas se han dispuesto de modo que fuera fácil tambien su ejecucion y que las tres partes que á cada una constituyen resultaran con dimensiones prudencialmente convenientes, las cuales deducidas por el cálculo hubieran sido inferiores á las que exige la configuracion particular de cada una de estas tres partes.

La importancia de una obra de estas dimensiones y circunstancias, la falta de otra bastante semejante á que poder compararla con alguna exactitud, y la conveniencia y necesidad de disminuir todo lo posible el volumen de material sin comprometer al mismo tiempo el éxito de la construccion, han sido las causas que han obligado á obtener, por el cálculo aproximado que se acaba de indicar, números que aunque con la vaguedad inevitable y consiguiente á la falta de datos experimentales que tanto se hace sentir entre nosotros, sirvieran de fundamentos algo racionales para determinar resultados mas exactos y convenientes que los que por simples comparaciones se hubieran obtenido.

II.

Ejecucion.

Operaciones previas. Establecido previamente con arreglo á condiciones un puente

provisional de madera para personas y caballerías solamente, porque las dificultades de la localidad se oponían á ejecutarle para carruages sin un gasto excesivo é innecesario además por la poca importancia que entonces tenía la carretera; puente que por su sólida construcción sirvió también para el transporte de materiales, incluso los pesados sillares de los zócalos y sombreretes y bóveda; se procedió desde luego al derribo del puente viejo, operación que se ejecutó por medio de barrenos, y de la que, por las dificultades del emplazamiento, no fué posible aprovechar sino una parte muy pequeña del material, quedando todo el resto sumergido en el río, donde sirvió después ventajosamente para establecer el andamio y uno de los apoyos de la cimbra, que sin esta circunstancia hubiera sido difícil establecer, á causa de la disposición especial que la roca presentaba en la orilla derecha. Hecho el derribo, se procedió al replanteo, señalando primero con una roza hecha en las rocas de las dos orillas, el eje de la construcción, y marcando del mismo modo toda la parte que el contratista debía desmontar para establecer las hiladas de sillares que habían de constituir el zócalo, y para construir la fábrica de los estribos. Este último señalamiento se hizo después de medir toda la altura que había disponible desde las aguas, que entonces se hallaban en su menor elevación, hasta la rasante de la carretera que debía quedar, después de ejecutada la obra, en la misma disposición con poca diferencia en que ya se encontraba, y el resultado de esta medición sirvió, comparado con la altura que había de tener el puente, para fijar la que respecto á las aguas bajas había de tener la primera hilada del zócalo. También se determinó con todo el cuidado posible, tomando el término medio de dos mediciones hechas con un reglen construido espresamente con este objeto, la distancia entre las rocas de las dos orillas; fijando de este modo con exactitud la luz de 25,40 metros que prescribía el proyecto.

Establecimiento de la cimbra. Construida después toda la fábrica hasta los arranques, y

preparadas al mismo tiempo todas las piezas de la cimbra en una monteada hecha á la izquierda del río y compuesta por una plataforma de madera, suficiente á contener el plano de un cerchon entero, se procedió á establecer primero los apoyos de la cimbra, fijando los extremos inferiores de los pies derechos exteriores de la izquierda en unas cajas practicadas en el saliente que la roca presentaba, mientras los de la derecha se establecían sobre un cimiento artificial que consistía en dos sillares puestos inmediatamente sobre los materiales que quedaron en el río procedentes de la demolición, y entre las extremidades del intervalo comprendido entre los dos frentes, y sobre ellos dos vigas longitudinales colocadas en cajas abiertas en los mismos, y que cruzadas por piezas normales que recibían inmediatamente á los pies derechos, constituían una especie de emparrillado. Este cimiento artificial fué exigido como ya se ha dicho, por la fuerte pendiente transversal que la roca de este lado presentaba, y que se hizo constar con unos cuantos sondeos previos.

Colocáronse en seguida sobre los pies derechos y sus cabezales las zapatas y las cuñas á la altura conveniente, ensebando con abundancia estas últimas en la superficie de unión de sus tres partes, y acto continuo se procedió á la colocación en obra de los cerchones. Para esta operación, sobre el andamio general que se había establecido en medio del río sobre los escombros de la demolición, y que sirvió durante la ejecución de toda la obra; se construyó previamente un segundo andamio auxiliar, y sobre él á ambos lados, se apoyaron las cinco piezas *a* después de colocadas en la posición que debían tener; se pusieron en seguida encima de este mismo andamio, pero descansando sobre cuñas las cinco piezas parciales que constituían la central *b* del polígono inferior, haciendo que se encontrasen á la misma altura y se tocasen por los extremos *c* donde habían de empalmarse á junta plana, hecho lo cual se fijaron las tres piezas *d* en su posición respectiva, apoyando las dos inclinadas en las péndolas *f* ya colocadas y sosteniendo á brazo la

horizontal hasta introducir las otras dos péndolas *g*, con lo que quedó terminada por completo la colocacion de las piezas del polígono intermedio. Despues de esto se hizo con toda facilidad la de las restantes y se pusieron todas las dobles manguetas. Cada cerchon, despues de colocado y comprobada su posicion vertical, se sostenia provisionalmente con tornapuntas hasta que establecidos todos, fué posible arriostrarlos. Los primeros que se pusieron fueron los de los frentes, luego el central y en seguida los intermedios. Despues de esta operacion, difícil por la longitud y peso de la mayor parte de las piezas, y que fué llevada á cabo con muy buen éxito por el contratista bajo la inspeccion inmediata de los subalternos afectos á la vigilancia de los trabajos, se procedió á la colocacion de las carreras fijando primero en los cerchones de los frentes la posicion que correspondia á ocho puntos de la curva de intrados, y nivelando en toda su longitud las carreras correspondientes á estos puntos, que fueron las primeras que se colocaron, para que sirviendo de guias y con el auxilio de una cercha ó plantilla apropiado se pudiera dar á la superficie la curvatura del arco.

Por último, para poder examinar los movimientos que se suponía había de experimentar la cimbra durante la construccion, se clavó en el vértice de cada frente un renglon vertical y normalmente á él y á la altura de la impostilla de arranque se clavó tambien un pequeño liston que permitía, aunque exigiendo alguna detencion, conocer por la visual dirigida en el plano superior de las impostillas, si el vértice de la cimbra sufría movimiento alguno.

Construccion de la bóveda. Las dovelas que se iban asentando á un mismo tiempo en cada dos puntos simétricos del arco, se presentaban empezando por las de los frentes; se fijaba definitivamente su posicion por medio de una plantilla de madera, cuya figura era igual á la del frente de la dovela, y que sobrepuesta verticalmente por su lado menor, á la superficie que presentaba la cimbra, indicaba con uno de los lados mayores la direccion exacta del

plano de junta. Un reglon y una plomaba servian para fijar la posicion de la cara exterior en el plano del paramento general, hecho lo cual, se introducía en la junta que quedaba cubierta una lechada de cal comun é hidráulica en partes iguales, y se labraba con toda exactitud la cara de junta que había quedado aparente y sobre la cual había de colocarse la dovela siguiente. Antes de la colocacion y con objeto de evitar ó por lo menos disminuir los desportillos que pudieran tener lugar al descimbrar, se achastanaban muy ligeramente las aristas de intrados que de este modo quedaban separadas con muy pequeño intervalo. Al llegar el asiento de las dovelas á la hilada ó carrera décima se observó una elevacion en el vértice de la cimbra, apenas apreciable, y por pura precaucion solamente se le cargó con los sillares que habían de constituir la clave; sin que despues fuera posible hacer constar ningun nuevo movimiento.

El cierre de la bóveda se verificó midiendo el intervalo comprendido entre las contraclaves, y labrando la clave con arreglo á la plantilla que resultaba; pero sea que esta medicion no se hizo con toda la exactitud debida, ó que los planos de junta no quedaron bien labrados; al introducir las dos últimas dovelas de la carrera de la clave en la parte de aguas abajo, se rompieron las dos contraclaves y fué preciso levantarlas, y reponerlas; prueba de los inconvenientes de golpear la clave como se hizo para introducirla.

Descimbramiento.—A los ocho dias de cerrada la bóveda, durante los cuales se continuó construyendo la fábrica de los muros y acopiando y labrando los nuevos materiales necesarios; se procedió al descimbramiento, para cuya operacion, despues de cargar los dos frentes con la piedra que había de servir para construirlos luego, de quitar todos los obstáculos que el andamio presentaba al descenso de la cimbra, y de limpiar y ensebar de nuevo las cuñas de esta; se dispuso ejecutar la operacion efectuando cuatro descensos parciales. Asi se hizo con buen resultado limitando ántes la amplitud de cada descenso por medio de tacos de la lon-

gitud conveniente introducidos en los huecos que presentaban los dientes de las cuñas. El primero de estos descensos se obtuvo serrando las clavijas que mantenian fijas las pequeñas cuñas centrales, y golpeando ligeramente en las cabezas de las de la cimbra; y para los siguientes despues de efectuado el anterior, se volvian á fijar las pequeñas cuñas del centro, se sacaban de los huecos de entre los dientes los tacos, que aserrados para darles la longitud conveniente al nuevo descenso, se volvian á introducir; se aflojaban las pequeñas cuñas centrales y entonces las de la cimbra corrian por si solas hasta ser detenidas de nuevo por los tacos. Asi se consiguió separar la cimbra del arco unos siete ú ocho centímetros.

Inmediatamente despues de cada descenso parcial, y mientras se arreglaba lo necesario para el siguiente, se examinaba con detencion la bóveda en lo que se podia, y se nivelaba el arco de trasdos tomando cotas en tres puntos de cada frente, que eran el vértice y el medio de cada semiarco. El resultado de estas nivelaciones manifestó que el descenso mayor no pasaba entonces de tres centímetros, y que los frentes quedaban con un desnivel máximo de centímetro y medio, que es enteramente inapreciable á la simple vista; sin que fuera posible hacer constar ningun otro descenso en la nueva nivelacion que se hizo á los ocho dias despues de verificado el descimbramiento (25 dediciembre de 1861) y antes de proceder á desarmar la cimbra, la cual por precaucion y aprovechando el intervalo de los siguientes dias festivos, permaneci6 bajo el arco sirviendo tambien cuando volvieron á empezar los trabajos, para ayudar á las operaciones del recorrido.

Este buen resultado manifiesta desde luego el esmero con que el contratista ha procedido en la construccion del arco así como en la ejecucion y establecimiento de la cimbra, la cual, contra lo que al proyectarla se esperaba por la circunstancia de ser recogida y por la mucha luz del arco no ha experimentado mas movimientos ni alteraciones que la muy pequeña de que se ha hecho mérito y que indujo á cargar el vértice; advirtiéndole que durante toda

la construccion se ha hecho sentir la falta de aparatos, de que el contratista carecia para trasportar los sillares, los cuales fué preciso mover á brazo todos, escepto los de la clave que, por ser indispensable se colocaron con una cabria construida exprefeso, cogiéndolos con dos ganchos de hierro que se introducian en cajas abiertas con este objeto en las caras de junta. Esta falta ocasionó, por el mucho peso de los sillares, que en las dovelas mas pequeñas era de 59 arrobas (685 kilogramos), y mas considerable aun en los zócalos y sobre-retes; choques que originaron en algunas dovelas pequeños desportillos, pero que en la cimbra no produjeron efecto apreciable ni en su forma general ni en los ensamblajes, á pesar de lo fuertes que eran y de su repeticion casi inevitable con tal falta de medios. La cimbra pues tiene en su abono la mejor prueba que es la de una esperiencia en las peores circunstancias, y puede por tanto servir de comparacion para casos análogos como un ejemplo mas con el que hay seguridad de obtener buen resultado.

Del resto de la construccion nada hay que merezca citarse como importante; y solo como detalle puede indicarse la construccion de los mechinales de desagüe, que se ejecutaron haciendo en la clave un barreno de un diámetro igual al de la base mayor del cono de plomo que en él se introdujo, rellenando despues con mortero hidráulico el intervalo comprendido entre las superficies de ambos.

III

Coste.

Atendiendo á que, como obra ejecutada por contrata, la mayor parte de las unidades tenian de antemano fijado un precio inalterable, se indicarán los que en el proyecto se asignaban á aquellas, que son realmente pagados por la administracion; y se manifestará el precio medio á que han resultado las que corresponden á obras no previstas en el presupuesto por haber sido determinadas con poste-

rioridad, ó á las que en el mismo aparecian por cantidades alzadas.

La mamposteria ordinaria se ha pagado á 55,45 reales metro cúbico.

La silleria que se ha empleado en la bóveda y demás partes resistentes ha resultado á un precio algo crecido, por causa de la considerable distancia de mas de 22 kilómetros á que se encuentra la cantera de Cantilatorre de donde, á falta de otras ha sido preciso extraer la piedra: se ha pagado á los precios 417,25 y 452,25 reales metro cúbico respectivamente segun que era recta ó aplantillada. En estos precios entraban las operaciones diferentes del transporte por las cantidades 205 y 220 reales.

La procedente de la cantera de Condado que era la señalada en el proyecto se ha pagado respectivamente tambien á 510,16 y 525,16 reales.

El hormigon hidráulico ha costado 86,82 reales.

Al metro lineal de imposta se asignaron 66 reales, y al de antepecho 150, pero como en este último precio no estaban incluidas las espigas de hierro que han servido para unir unas piezas á otras, hay que agregar el coste de ellos que ha ascendido á 649,44 reales en esta forma:

100 kilogramos de hierro.	447,00
69 id de plomo.. . . .	180,20
Transporte y mano de obra.	22,24
Total.	649,44

lo que da para cada uno de los 75,80 metros lineales de antepecho 8,80, que agregados á los 150 dan un total para el coste del metro lineal de 158,80 reales.

Los mechinales de desagüe, no incluidos tampoco en el proyecto, han costado lo siguiente:

Tubos de plomo.	96,50 rs.
Transporte	12,00
Perforacion y colocacion. .	63,00
Total.	176,50

ó sean 98,25 reales cada uno.

Las diferentes operaciones de la cimbra que se prestan tanto para deducir precios conve-

nientes y utilizables para otras obras han sido ejecutadas por el contratista con muy poca economia á causa principalmente de circunstancias especiales que no son de este lugar y que dificultaron mucho la adquisicion de la madera necesaria, aumentando escesivamente el coste del transporte y retardando la ejecucion de la obra, que segun se ha visto por la fecha del descimbramiento tuvo que terminarse en la peor época del año. Los resultados por consiguiente no pueden servir de términos de comparacion para asignar precios en proyectos análogos; pero, no obstante, sin tener en cuenta el coste del transporte, puede decirse que siendo el volumen de la madera empleada el de 85,12 metros cúbicos, y habiéndose gastado en el trazado, ajuste y colocacion 15,000 reales próximamente, resulta el metro cúbico al precio de 180,46 por la mano de obra solamente. Hay que advertir que esta ha sido bastante esmerada y que en este precio se incluye lo que corresponde por el hierro de los pasadores y escuadras.

Por último las diferentes partes de esta obra han costado:

Fundaciones.	3.576,61 rs
Estribos...	27.860,45
Arco...	97.575,32
Muros.	50.816,58
Imposta, antepechos y pretiles.	16.847,76
Esplanacion y avenidas. . .	4.459,02
Total.	200.915,74

A este total y á los precios ántes indicados hay que añadir el 15 por 100 porque se refieren á la ejecucion material solamente.

JOSE PELOGRA.

REVISTA BIBLIOGRAFICA.

ANUARIO DE LOS PROGRESOS TECNOLOGICOS de la industria y de la agricultura,

por

DON JOSE CANALEJAS Y CASAS.

Año segundo.—Madrid 1865.

En el año anterior inició nuestro amigo

PUENTE DE LA HORADADA

Fig. 1.

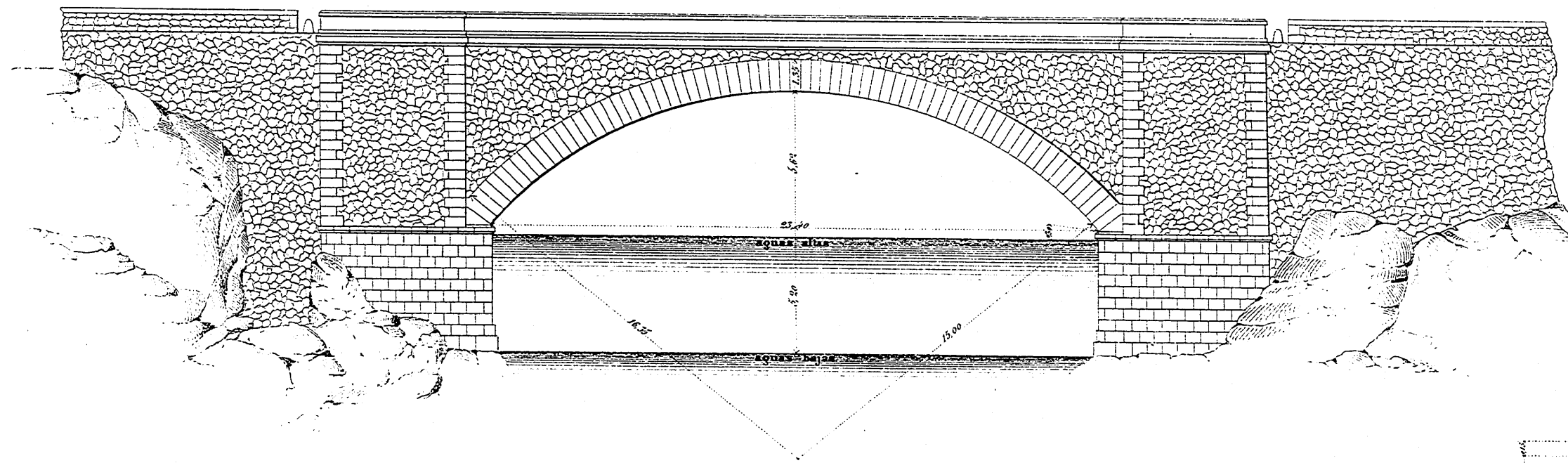
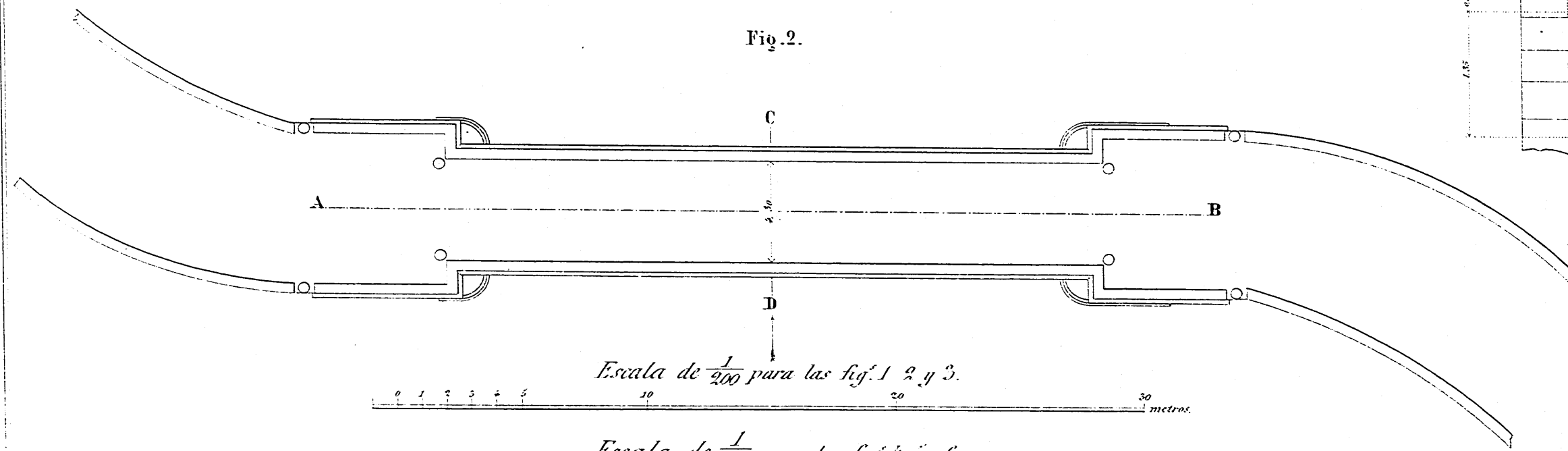


Fig. 2.



Escala de $\frac{1}{200}$ para las fig. 1, 2 y 3.

0 1 2 3 4 5 10 20 30 metros.

Escala de $\frac{1}{50}$ para las fig. 4 y 6.

0.5 1 1.5 2 3 4 5 6 metros.

Fig. 3.

Sección por el plano A B.

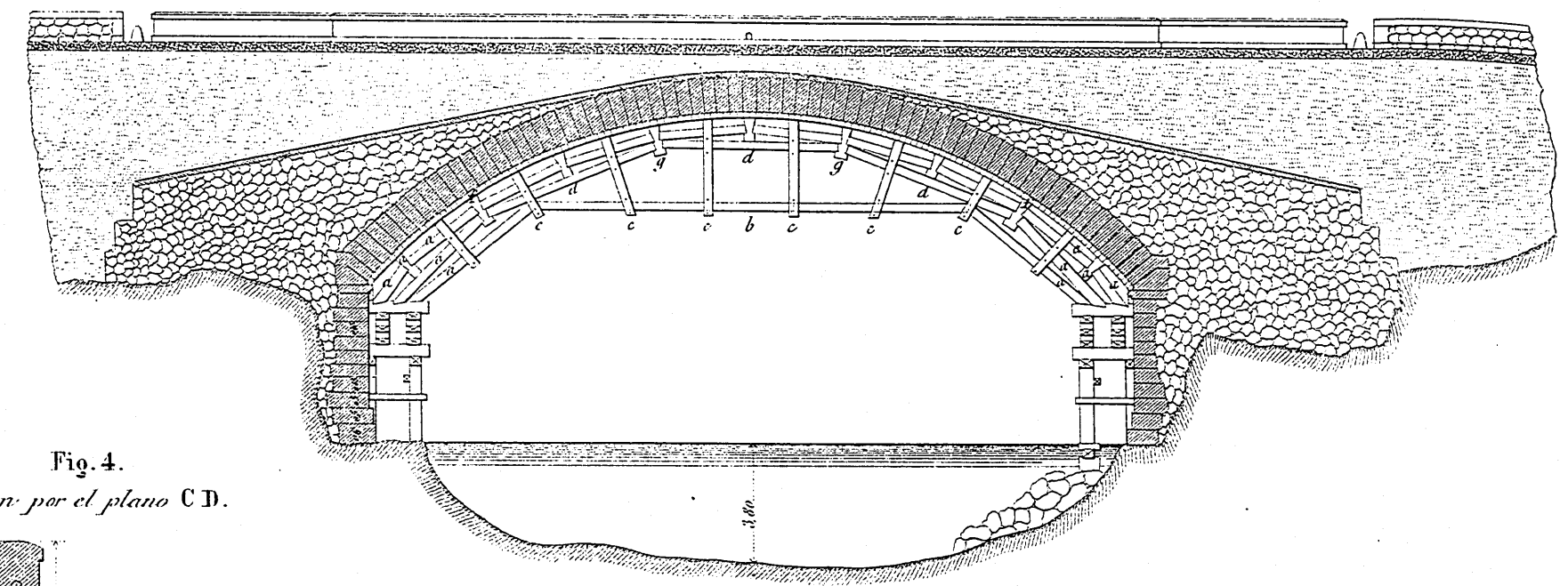
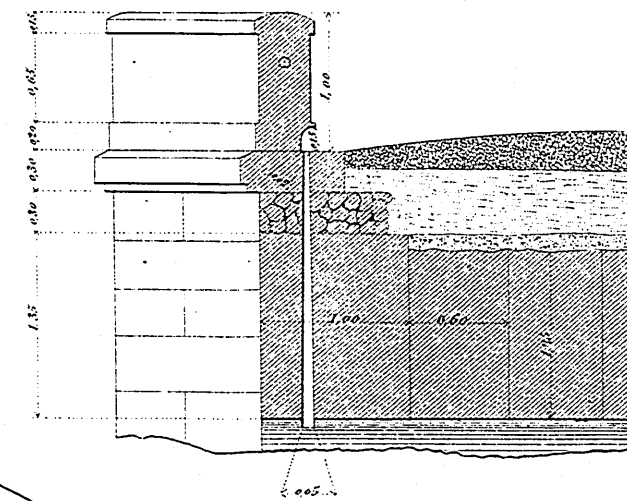


Fig. 4.

Sección por el plano C D.



Detalles de la Cimbra

Fig. 5.

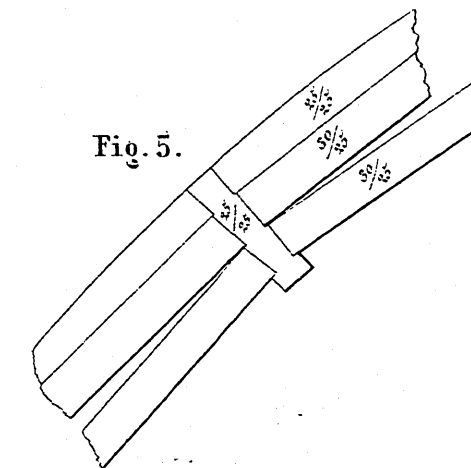


Fig. 6.

