“Proyecto de un puente de hierro sobre el río Víboras para la carretera de segundo orden de Jaén a Córdoba”

Lucio del Valle, Victor Martí y Ángel Mayo

Revista de Obras Públicas vol.16, nº13, junio de 1865, pp. 199-202

PROYECTO DE UN PUENTE DE HIERRO

SOBRE EL RIO VÍBORAS PARA LA CARRETERA DE SEGUNDO ÓRDEN DE JAEN Á CÓRDOBA.

La Direccion general de Obras públicas ,encomunicacion de 10 de Enero último, ha remitido á esta Comision el proyecto de un puente de fábrica para dicho rio, formado por el Ayudante 2.° D. Juan José García Parra, á fin de que se sirva manifestar si convendrá hacer dicho puente de hierro, y en caso afirmativo que se proceda á formar el correspondiente proyecto; y siendo este uno de los casos en que por las razones que se van á exponer en el curso de este escrito, es ventajosa la sustitucion de tramos de hierro á la obra de fábrica, se ha formulado el corrrespondiente proyecto que se acompaña.

De la Memoria descriptiva se deduce:

1.° Que el emplazamiento del puente se halla ya fijo por estar construidos los trozos de carretera de las avenidas.

2.° Que dicho emplazamiento es por otra parte el más conveniente, segun se desprende del estudio hecho del rio, tanto en su perfil longitudinal como en los trasversales, en el cual se observa que el terreno elegido para los estribos está compuesto de roca y terreno firme, no hallándose en toda la extension del cauce otro sitio que ofrezca condiciones análogas.

3.° Que por encontrarse fijo el emplazamiento no se ha podido disminuir la altura de la rasante, á pesar de haber admitido las pendientes máximas y ser grandes las remociones de tierras, fijándola por lo tanto en 17m,17 sobre el fondo del rio.

4.° Que en virtud de la excesiva altura de la obra, no se cree necesario darle mayor linea de desagüe que 17 metros, que es próximamente el ancho del nivel de las aguas medias, siendo, sin embargo, excesivo en las crecidas extraordinarias, aun cuando estas se extienden hasta 40m,80.

En vista de lo cual el autor del proyecto propone para esta localidad un arco de sillería de medio punto de 17 metros de luz, apoyado en estribos de la misma clase de fábrica, de 7m,36 de altura desde el cauce del rio hasta el arranque, los cuales se enlazan con las avenidas por medio de dos grandes muros de sillarejos con aristones de sillería, y para evitar las socavaciones en el lecho del rio, se establece un zampeado de hormigon de 0m,49 de grueso con dos fajas á la entrada y salida del puente. De aquí resulta que en la composicion de esta obra entran los volúmenes de fábrica siguientes:

135,24 metros cúbicos de hormigon.
572,14 id. id. de sillería.
131.38 id. de fábrica de sillarejos.
69,07 id de ladrillo.
2.847,43 id. de mampostería de diferentes clases.
3.755,26 metros cúbicos en total.

Con un presupuesto cuyo resúmen es el siguiente:

Fundaciones.	80.719,79
Cuerpo de los estribos hasta los arranques.	208.079.91
Bóveda.	71.492,99
Timpanos.	70 574,13
Impostas y antepechos.	58.518,28
Muros en ala.	330.652.26
Retundido.	4.865,09
Cimbra y andamios	55.600,00
Total	880 502,45

Desde luego se observa que para una seccion de desagüe de 110 metros cuadrados en las mayores avenidas, la cantidad de material que entra en el proyecto de esta obra es muy excesiva, lo cual proviene de que se ha proyectado como un puente, pudiendo considerarse más bien como un viaducto necesario para salvar un barranco de 70 metros de longitud por 17,17 de altura; así pues, si se estrecha la obra hasta 17 metros como se propone en el proyecto, rellenando el resto con mampostería y sillería, tiene que resultar una obra inapropiada completamente á su objeto. Bajo este punto de vista el empleo de tramos de hierro, que con dimensiones reducidas pueden salvar grandes luces, creemos es muy aplicable en este caso y su adopcion muy ventajosa.

La Comision, fundada en estas consideraciones, empezó por estudiar la sustitucion de un solo tramo de hierro de diferentes luces, que reduciendo el gran volúmen de fábrica de los estribos y muros de acompañamiento, diese una obra de condiciones más aceptables; pero del examen comparativo que ha hecho entre el empleo de un solo tramo ó el de dos con una pila intermedia y de luces variables, ha deducido que el sistema más económico y apropiado á las circunstancias de la localidad en lo que se refiere á los trasportes de la sillería y del hierro, es el de dos tramos de 30 metros de luz cada uno, apoyados en una

pila intermedia de dos metros de espesor en la parte superior.

La sola inspeccion de la lámina número 42 basta para convencerse de la utilidad de aplicar el hierro en este caso, pues la obra que resulta, además de su ligereza, reune la gran ventaja de que el desagüe del rio se verifica como si no existiese, mientras que en el caso de un puente de fábrica, teniendo que estrecharse el cauce con las avenidas extraordinarias desde 40m,80 que se marcan en el proyecto á 17, las aguas, por la velocidad que tomarán al elevarse hasta 8 metros, producirán socavaciones peligrosas en los estribos, y arrastrarán indudablmente el pequeño zampeado de 0m,48 que se propone.

Para examinar el nuevo proyecto bajo el punto de vista económico, se ha formado el presupuesto aproximado que se acompaña, adoptando para la parte de fábrica los mismos precios que se han empleado en el primer proyecto, y para los tramos de hierro los precios ya bien conocidos con que se han contratado los puentes estudiados anteriormente, pudiéndose hacer, por lo tanto, la comparacion con suficiente exactitud. Por otra parte, en las fundaciones de la pila se ha supuesto que el terreno sea de mala calidad, y se han presupuestado de pilotaje y emparrillado, lo cual hace que el nuevo presupuesto sea más bien excesivo, ascendiendo á la cantidad de 615.745,14 rs., que comparado con la de 880.502,45 del proyecto primitivo, se obtiene una economía de 264.757,31.

Pasando ya á la descripcion de los tramos de hierro, se vé que estos se componen de dos vigas longitudinales continuas de 65 metros de longitud y de seccion de doble T (véase la lámina 43, figura 5), las cuales están apoyadas sobre la pila intermedia y los dos estribos, formando dos claros de 30 metros de luz cada uno y separados entre sí 4m,35 de eje á eje.

Cada una de las vigas de 2m,60 de altura y 0m,50 de ancho en las cabezas superior é inferior, está formada de una série de chapas verticales de espesor variable, como se indica en las figuras 10, 11 y 12, y calculado segun los diferentes esfuerzos trasversales que tiene que sufrir en cada punto. Estas chapas se unen entre sí por medio de piezas verticales de seccion de T, como se representa en la figura 1.ª de la lámina 42, que al mismo tiempo que de cubre-juntas sirven de nervios para dar mayor fuerza al sistema.

Lo mismo decimos de las planchas que forman las cabezas de la doble T, cuyas secciones se han determinado, segun se desprende de los cálculos que se acompañan en el apéndice, buscando los momentos máximos de rotura, y deduciendo de estos el espesor ó altura del hierro que corresponde en cada punto. Pero como estos espesores son excesivos para que pueda emplearse una sola plancha, cada seccion (figs. 10, 11 y 12) está compuesta del número de chapas necesario para formar el espesor ó altura total, adoptando para los gruesos de aquellas los más usados en el comercio.

Las chapas horizontales y verticales se unen entre sí por medio de hierros de ángulo en toda la longitud de las vigas, y los nervios interiores se revuelven y roblan sobre las porciones horizontales como se representa en la fig. 10.

Las dos vigas formadas, segun se acaba de indicar, se enlazan entre sí cada dos metros por medio de cruces (figs. 2, lámina 42 y 5, lámina 43). Estas cruces se componen de dos piezas, A B C D, que abrazan en su medio y están robladas á una chapa vertical, M N, de un metro de ancho, 0m,487 de altura y 0m,127 de grueso, y sus extremos se ligan á los nervios interiores de las vigas, con lo cual triangulan el sistema, é impiden que ninguna de sus partes pueda variar de posicion. Para conseguir esto mejor, cada pieza, A B C D, se compone de otras dos de forma de canal (figs. 7 y 85) robladas entre sí por su lado mayor, de suerte que colocadas en obra, su seccion trasversal es de forma de doble T, con cuya disposicion, además de tener las piezas aisladamente una gran resistencia, comprenden entre sí á la chapa central y los nervios de las vigas, estableciéndose cada dos metros un bastidor completamente rígido. Para aumentar esta rigidez y extenderla á todo el sistema, se unen estos bastidores á las vigas por medio de tirantes de 0m,031 de diámetro, representados en *a a* (figs. 2 y 5), y cuya disposicion está bien detallada, así como su union con la chapa vertical en las figuras 7 y 8.

La gran altura que por las circunstancias indicadas necesita tener la rasante en este puente, ha obligado á colocar el pavimento lo más alto posible, por lo cual se ha establecido sobre la coronacion de las vigas, empleando con preferencia la madera, que además de prestarse mejor a la disposicion que conviene dar al piso, tiene la ventaja de reducir la cantidad de hierro necesario, cuyo

coste de trasporte hasta el emplazamiento del puente es muy elevado, como se vé en el presupuesto, mientras que la madera, ademas de su buena calidad, se obtiene á buen precio.

Asi, pues, sobre las cabezas de las vigas y enlazadas con ellas, se colocan los traveseros de 0 m,30 de escuadria, separados un metro de eje á eje La union se hace por medio de pernos, *a b* (fig. 6) cuyas cabezas se embuten en la madera y se atornillan las tuercas por su parte inferior, á fin de poderlas apretar con facilidad siempre que sea necesario. Con esta disposicion los traveseros sirven tambien para enlazar las vigas como si fuesen riostras horizontales, hacen más invariable el sistema é impiden que las vigas puedan separarse en el sentido trasversal.

Sobre los traveseros dispuestos de este modo se establecen los largueros *b b* (fig. 5) que reciben directamente el entablonado de 0 m,05 de espesor. Para que este afecte la forma curva con el bombeo correspondiente, pueden seguirse dos medios ó variar sucesivamente la altura de los largueros, conservando la misma anchura de 0 m,13, como se representa en la figura, ó hacerlos de la misma altura, aumentando esta en cada uno por medio de suplementos. Los largueros se unen á los traveseros por medio de clavos.

Por último, el antepecho de este puente lo constituye una barandilla sencilla de hierro forjado, apoyada en dos largueros que enlazan entre si los extremos de los traveseros, dejando un espacio libre de 5 m, 75, que constituye el ancho del puente. La barandilla se sujeta por medio de pernos colocados en los puntos de cruzamiento de dichas piezas, de tal modo que sirve para sujetarla al mismo tiempo á los largueros en que se apoya y a los traveseros del puente, como se ve detalladamente en las figs. 14 y 15.

Todo el sistema, tal como le hemos descrito, descansa sobre la pila y los dos estribos por el intermedio de cajas de rodillos, dispuestas de un modo análogo al que ya ha propuesto la Comision para otros puentes, y cuyos detalles están representados con toda claridad en las figuras 13 y 14.

Esta ligera descripcion de las diferentes partes que constituyen los tramos de hierro y madera, agregada á las figuras detalladas y acotadas que componen la hoja núm. 2, dan una idea completa del proyecto que presenta la Comision para el puente de Viboras, en sustitucion del proyectado de fábrica de sillería y ladrillo.

APENDICE.

Cálculos relativos á las dimensiones de los tramos de hierro.

Siguiendo en este puente el mismo procedimiento que en los demás del mismo sistema que ha presentado la Comision, se han determinado teóricamente las dimensiones que deben tener las vigas en los diferentes puntos, segun las cargas y presiones á que se hallan expuestas.

Para esto, suponiendo que el puente se halle simplemente apoyado sobre la pila y los dos estribos, y que además de su propio peso se halle cargado uniformemente á razon de 400 kilógramos por metro cuadrado, que es la carga de prueba que se halla prevenida en los formularios, el peso que tendrá que aguantar cada metro lineal de vigas estará determinado de la manera siguiente:

		Toneladas.
2	Vigas longitudinales.	105,00
33	Cruces para ligar las vigas entre si. .	10,50
64	Tirantes para enlazar las cruces con las vigas.	1,60
»	Barandilla.	5,00
»	Fundicion para los rodillos. . . .	4,00
»	Hierro forjado para los mismos. . .	1,70
»	Pernos, pasadores, clavos, etc., para enlazar la madera que forma el piso con la obra de hierro. . . .	1,50
66	Traveseros de madera.	31,66
22	Largueros de id.	27,44
»	Entablonado.	15,19
»	Largueros para el apoyo de la barandilla.	6,66
	Peso total. . .	210,25

Lo que de para cada metro lineal de puente. . . . . 3.235,00 kilógs.

Carga de prueba en 2 m,75 á razon de 400 kilógramos por metro cuadrado. 1.100,00

Valor de $p = \frac{3.235}{2} + 1.100 = 2.717,5$ kilógs.

Con este dato y $l = 30^{m}$, luz del puente, se ha determinado la ecuacion de la curva de los momentos máximos de rotura para el primer tramo, que es evidentemente simétrica á la del segundo, puesto que además de tener la misma luz, se hallan en iguales condiciones de resistencia.

La ecuacion $Q = \frac{Px^2}{2} - \frac{Pl}{2}x$ será, pues, en este caso $Q = 1358{,}75\,x^2 - 30571{,}87\,x$.

Cuando $x = o$ ... $Q = o$, de consiguiente la curva, segun se manifiesta en el adjunto trazado, parte del punto *A*, fig. 16.

Cuando $Q = o$ ... $x = 22{,}50$, á cuya distancia el momento es nulo y corta al eje.

Cuando $x = 11^{m},25$ ..... Q es un máximo é $= 171.966{,}74$, lo que nos da el vértice ó punto más alto de la curva.

Cuando $x = 30$ ... $Q = 305719$.

Con estos datos se han trazado las dos curvas fig. 17) correspondientes á los tramos representados en la adjunta lámina, y de las cuales se han deducido por medio de sus ordenadas las secciones de las vigas en los diferentes puntos, resultando los espesores marcados en las figs. 10, 11 y 12 de la hoja segunda, los cuales están conformes con los adoptados en la práctica en casos análogos y en puentes proyectados por la Comision, que tienen la misma luz de 30 metros.

Madrid 10 de Abril de 1861.—*Lucio del Valle* =*Victor Martí* =*Angel Mayo*.

V.

Provincia de Jaen.

Carretera de 2.ª orden de Jaen á Cordoba por Martos.

PROYECTO DE PUENTE DE HIERRO SOBRE EL RIO VIVORAS.

Fig.1.ª

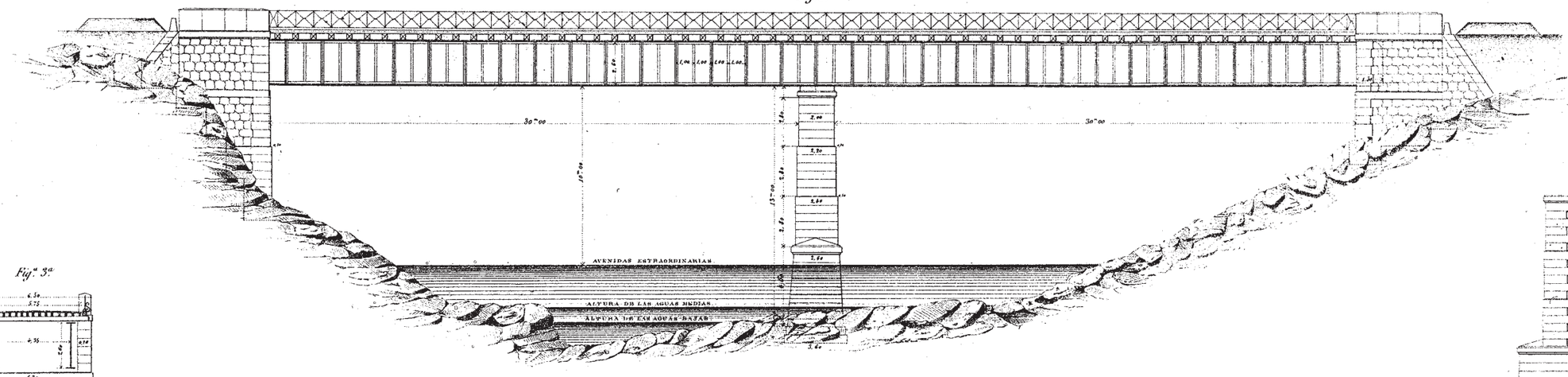


Fig.ª 3ª

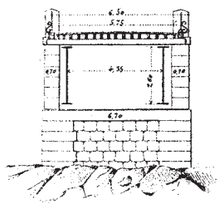


Fig.ª 4ª

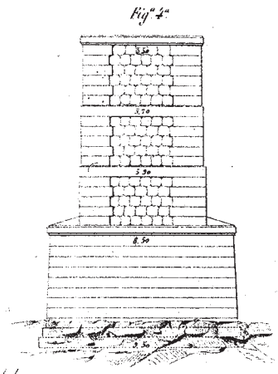
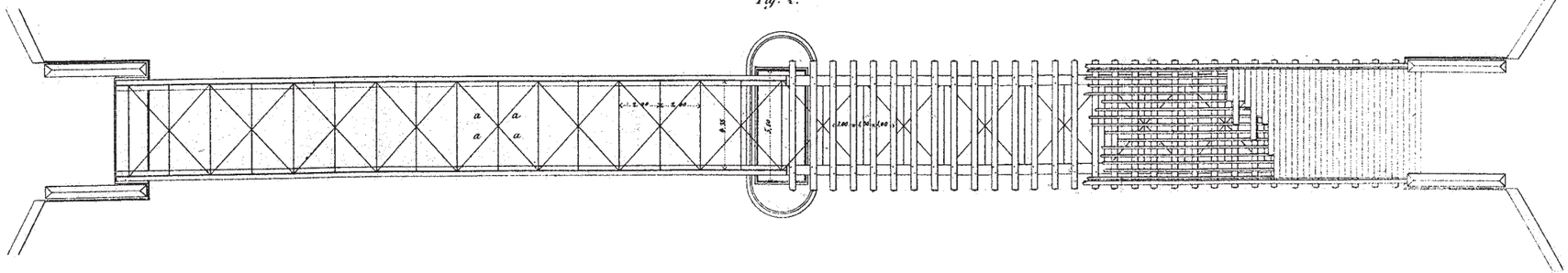


Fig.ª 2ª



Escala de $\frac{1}{200}$

Lit. de J. DONON, Madrid.

TRAMOS DE HIERRO DEL PUENTE DE VIBORAS - Detalles.

Fig.ª 5.

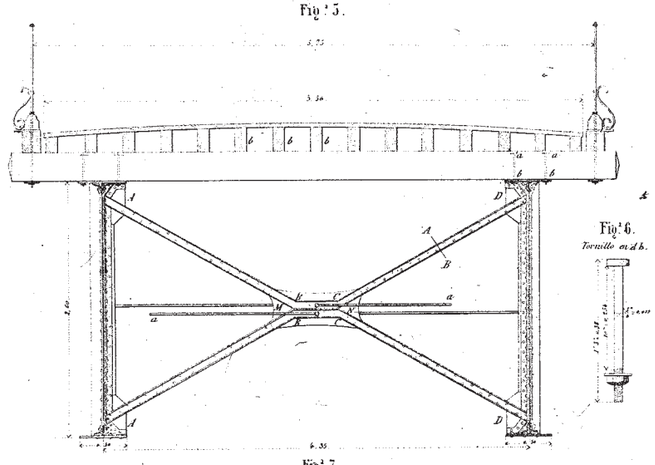


Fig.ª 6.
Tornillo en d b.

Fig.ª 7.
Detalle del arriostrado de la fig.ª 5.ª

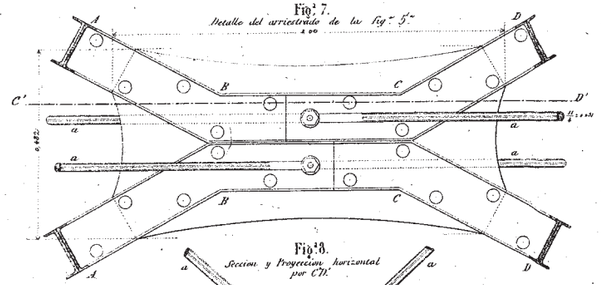


Fig.ª 8.
Seccion y Proyeccion horizontal por C D'.

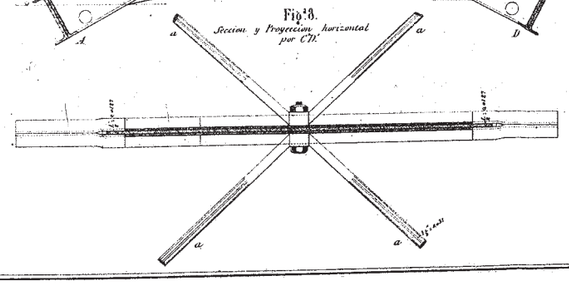


Fig.ª 10.
Seccion por d d

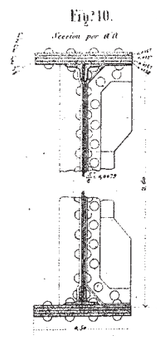


Fig.ª 11.
Seccion por b b



Fig.ª 12.
Seccion por c c

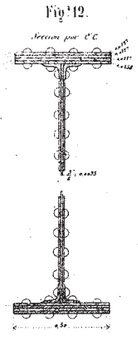


Fig.ª 9.
Seccion por A B

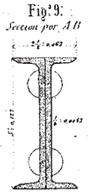


Fig.ª 15.

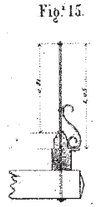


Fig.ª 14.

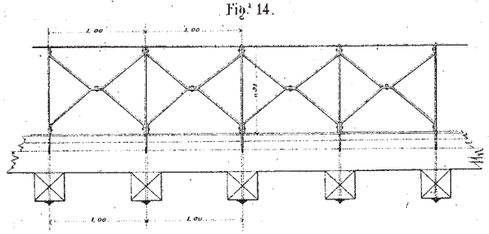
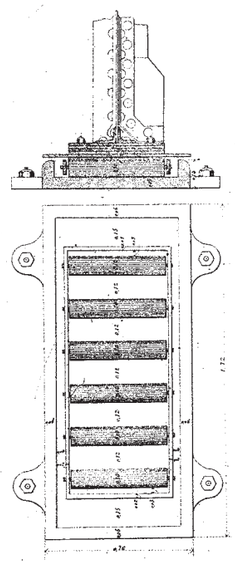


Fig.ª 13.



Escala de las fig.ª 5, 14 y 15 $\frac{1}{40}$ metros

Escala de las fig 10, 11, 12 y 13 $\frac{1}{20}$ metro

Escala de las fig.ª 6, 7 y 8 $\frac{1}{10}$ metro

Escala de la fig 9 $\frac{1}{4}$ decimetros

Fig.ª 16.
Curva de los momentos maximos de rotura

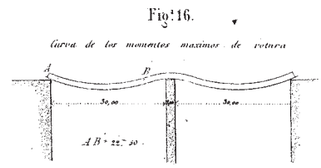
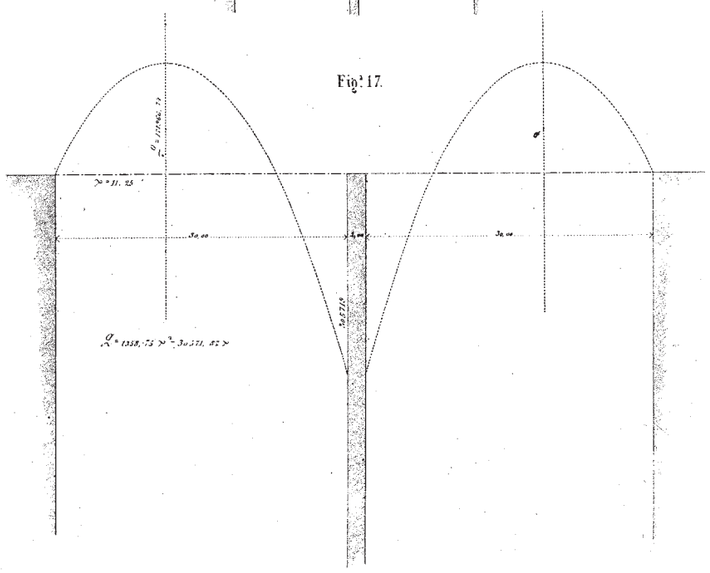


Fig.ª 17.



Lit de J Donon. Madrid