

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 30 DE ABRIL DE 1888.

4.^a Serie.

Tomo 6.^o

Número 8.^o

AÑO XXXV DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Puente sobre el Hudson (Río del Norte).—Faros. Aparatos lenticulares, por D. Francisco Lizárraga.—Puentes metálicos, por D. Joaquín Pano.—Lámina 72: *Faros. Aparatos de luz horizontal ó inclinada á voluntad.*

PUENTE SOBRE EL HUDSON (RIO DEL NORTE) EN NEW-YORK

(Láminas 73 y 74.)

La construcción de este puente responde á la necesidad de establecer una gran estación central en la parte alta de New-York, entre las calles 14 y 22, haciendo frente á la Quinta Avenida, para todos los ferrocarriles que hoy terminan en Jersey City, que como es sabido se halla al otro lado del Hudson. Se proyecta construir una vía de enlace que, atravesando en túnel la colonia de Bergen, salve el espacio ocupado por la barriada alemana de Hoboken, con un viaducto metálico hasta el río, para cruzarlo por medio del puente que se va á describir; y continuar con otro viaducto hasta la estación que se ha indicado, pudiendo establecerse, como complemento, una comunicación subterránea ó elevada á través de New-York, hasta la Gran Estación Central (New-York Central, & H. R. R. R.), situada en la confluencia de la calle 42 y 4.^a Avenida.

El conjunto y dimensiones de las luces de este grandioso proyecto se hallan representados en la primera figura de la lámina 73, en la cual aparece dibujado en la misma escala el alzado general del conocido puente de Brooklyn; pudiéndose juzgar por la inspección comparativa de ambas figuras, la importancia colosal del puente, de cuyo proyecto se pasa á dar los detalles que siguen.

I.—FUNDACIONES Y ESTRIBOS DE FÁBRICA PARA BASE DE LAS TORRES.

Las fundaciones de los estribos pueden hacerse directamente sobre

roca, en la orilla que corresponde á Jersey City, por el sistema de aire comprimido; pero del lado de New-York la profundidad del río es demasiado grande para poder valerse de este medio. El cajón que se destina para las obras de aquella orilla, ó sea la derecha, tendrá una forma elíptica de $113^m \times 55^m$ con varios compartimentos y un reborde inferior, formado por dos planchas en bisel, que se adaptará á los contornos de la roca, cuya profundidad y posición se precisará por medio de sondeos previos; el descenso del cajón hasta una profundidad de 23^m , á contar de la pleamar, no deberá presentar grandes dificultades. Se igualará la superficie de la roca con un gran lecho de hormigón, y sobre él se levantará el estribo, pero adoptando la forma especial de un muro adosado á las paredes del cajón y otro divisorio en el centro, rellenándose después simplemente con piedra machacada los dos grandes espacios que quedan interiores al estribo, enrasándose su parte posterior con hormigón para formar una superficie uniforme y continua con la coronación de los muros de fábrica.

La fundación en la orilla que corresponde á New-York alcanzará probablemente una profundidad de 52^m , á contar de la pleamar, y por lo tanto es forzoso desechar el sistema de aire comprimido, á causa de la excesiva presión á que se hallarian sometidos los obreros al tratarse de contrarrestar tan considerable columna de agua. El método que se propone para esta fundación es análogo al empleado en el puente de Poughkeepsie en los mismos Estados Unidos, y en el de Hawkesbury, en Australia; consiste en el empleo de cajones abiertos, con varios compartimentos, algunos de los cuales se llenan de hormigón ó piedra machacada para lastrarlo, al paso que en los otros se colocan dragas de rosario que se hacen funcionar desde la parte superior y que van excavando el fondo y extrayendo los productos de la excavación á medida que el cajón descende; el contorno de la roca se definirá previamente por medio de sondeos para recortar con la misma forma el borde inferior del cajón. Cuando este último haya llegado á apoyarse en la roca, los compartimentos se llenarán de hormigón hasta un plano que diste 12 metros del nivel de la superficie del agua; á continuación se efectuarán los agotamientos, y una vez terminados éstos se levantará la obra de fábrica en circunstancias completamente normales.

Estos trabajos no se diferencian de los comunes de su clase más que en su magnitud y elevado coste consiguiente, existiendo numerosos modelos de obras análogas. Al Ingeniero civil Mr. Gustavo Lindenthal, que dió lectura al proyecto de esta obra en sesión de la Sociedad Americana de Ingenieros civiles en 4 de Enero del corriente año de 1888, se le han hecho ya proposiciones con toda clase de garantías para ultimar el contrato de ejecución de esta parte de la obra.

II.—AMARRES.

Para esta operación se tiene la ventaja de que la roca, en ambas orillas, se encuentra muy cerca de la superficie. El desmonte de la misma se hará en una dirección tal, con respecto á las torres, que se aumente la resistencia al deslizamiento de los macizos destinados á efectuar el amarre. Las dimensiones de cada uno de estos macizos (lámina 74, figuras 1.^a y 2.^a) serán 98^m de longitud por 63^m de alto y 55^m de ancho en la base, presentando el conjunto una enorme masa de 660.000 toneladas de peso. El amarre no se efectuará simplemente con el sistema conocido de discos de gran superficie, sino con uno complejo y bien combinado de barras, discos y traviesas, que distribuirán del modo más uniforme posible en el macizo, las tensiones de los cables, y se establecerán cámaras y galerías á través de aquél á fin de tener fácil acceso para recorrer y pintar todas las partes metálicas. Una mitad de dicho macizo estará formada por hormigón y la otra mitad por un volumen de piedra machacada, que opondrá sólo la acción de su peso; el conjunto se revestirá y decorará con fábrica de granito, de un estilo sencillo y robusto, adaptado al objeto á que se destina.

Las seis vías que insistirán sobre el tablero del puente pasarán á través de los macizos de amarre, bajo bóvedas de 90 metros de largo, cuya entrada, de 25 metros de ancho y 14 de alto, será amplia y vistosa.

III.—TORRES.

La generalidad de los puentes colgados construidos hasta la fecha tienen torres de piedra, habiéndose considerado hasta aquí como de más duración y solidez que las de fundición, único material metálico que pudiera haberse empleado en la época de su construcción; pero hoy día empieza á emplearse para estas obras las torres de hierro, siendo un ejemplo de ello la sustitución de las antiguas de piedra del puente colgado sobre el Niágara, ya resentidas, por otras de hierro.

Las torres construidas con tanto esmero para los puentes de Cincinnati y Brooklyn han resultado muy costosas, y se hallan más expuestas á degradaciones, dado el clima de la localidad, que el resto de la obra, de material metálico, que puede protegerse por medio de la pintura. Para torres como las que nos ocupan, de 145^m de alto, el hierro forjado ó acero de bajo temple es material mucho más conveniente.

Al elegir la forma de las torres se ha propuesto el autor del proyecto, como condiciones á que debe dar cumplimiento, las siguientes:

1.^a Que el principal carácter que revista su construcción sea el de presentar un conjunto y aspecto grandioso.

2.^a Tener gran rigidez y estabilidad para resistir los esfuerzos laterales

producidos por las tempestades, y á los longitudinales debidos al gran rozamiento de los cables al dilatarse.

3.^a Uniforme distribución de los esfuerzos de los cables, en los estribos y fundaciones.

4.^a Facilidad y conveniencia en la fabricación del material de hierro laminado, que debe adquirirse con poco costo.

5.^a Facilidad y seguridad en el montaje, sin necesidad de andamiajes especiales.

6.^a Ser accesibles interior y exteriormente todas sus partes, para poderlas recorrer y pintar.

7.^a No hallarse sujetas á deformaciones producidas por los cambios de temperatura.

Todas estas condiciones se hallan plenamente satisfechas con el modelo adoptado para las torres, y que vamos á describir. (Lámina 74, figs. 3.^a á 6.^a)

Un conjunto de 16 columnas, ó sean ocho para cada torre, se halla destinado á repartir una presión de cerca de 50.000 toneladas sobre cada uno de los estudios; las ocho columnas se hallan reunidas, dos á dos, en los ángulos correspondientes á la plataforma superior de los cables (Véase la fig. 5.^a), enlazándose sólidamente por un doble cepo de 21 metros de longitud. La plataforma superior se halla dispuesta de tal modo, que la presión en los cuatro ángulos sea la misma, y se trasmite por igual, á medida que se descende desde cada uno de aquéllos, siguiendo la doble columna. Cada dos columnas de las que forman el extremo de uno de los brazos de la cruz, cuya forma afecta en planta sobre el estribo la base de la torre, y separados diez metros, son paralelas entre sí, de modo que las piezas de amarre entre ellas permanecen de la misma longitud, cualquiera que sea la altura á que se les considere, cambiando solamente las dimensiones del atirantado entre cada dos columnas, que corresponden pareadas á los ángulos de la plataforma superior, y que vienen á morir en el estribo sobre distintos brazos de la cruz, é insistiendo en los extremos de los catetos de cada uno de los cuatro triángulos rectángulos, que á más de la cruz forman la planta del esqueleto de la torre. (Fig. 4.^a)

Las columnas tienen la forma curva, con el doble objeto de presentar mejor aspecto y provocar reacciones iniciales en el atirantado de las mismas que aumenten la rigidez del conjunto; las torres se hallan unidas entre sí, en un plano inferior al de la coronación del estribo, y á la altura de los soportes de los cables, formándose en este último punto una espaciosa arcada, bajo la cual pasan las seis vías férreas sobre un tablero de 26 metros de ancho, pudiendo establecerse, si en lo sucesivo fuere necesario, más vías en un tablero superior.

Las columnas se hallan formadas por hierros planos y hierros de ángulo roblonados entre sí, como puede verse, en escala mayor, en la figura 6.ª, que representa la sección transversal de la torre, disminuyendo gradualmente desde 1^m,93 en la parte inferior hasta 1^m,12 en la parte superior; de suerte, que dos hombres pueden cruzarse fácilmente, ascendiendo el uno y descendiendo el otro, por su parte interior.

El montaje se puede hacer tramo á tramo, formando la torre su propio andamiaje, elevándose interiormente todos los materiales á medida que aquella aumente en altura. El conjunto de cada doble torre ocupa en su base un espacio de 45 metros por 90; de modo, que el brazo de palanca que se opone al esfuerzo de la acción de los cables, es aproximadamente igual á un tercio de la altura total de la torre, y el que se opone al efecto lateral producido por el viento, es dos tercios aproximadamente de la altura.

Los cables tensores, que se describirán más adelante con detalle, se insertan en las torres á menos de la mitad de su altura, y la única acción del viento que se puede transmitir á la parte superior de las torres, excepto la ejercida directamente sobre las mismas, es la de los cables de sustentación, puesto que las oscilaciones que pudieran producirse á lo largo de puente se contrarrestan exclusivamente por medio de los cables tensores, en el mismo plano del tablero que soporta las vías férreas. Por lo que respecta á la acción del viento sobre las torres caladas, es muy pequeña, si se compara con las demás fuerzas que actúan sobre ellas; pero deberá, no obstante, tenerse también en cuenta al proceder al montaje de las mismas.

Las desiguales dilataciones debidas á los cambios de temperatura, se harían sentir en las torres si las columnas se hallasen invariablemente unidas á los estribos, en cuyo caso las mismas tendrían en ambos sentidos, á contar de su centro de figura, movimientos que desplazarían aquél, desde 0,02 metros hasta 0,03 por cada 100 metros de longitud, según las temperaturas extremas de New-York, y que de no tenerse en cuenta, podrían producir esfuerzos que al transmitirse resultarían peligrosos para la obra; pero con el objeto de corregir este inconveniente, se propone que las bases de las columnas, excepto las de las cuatro que ocupan el centro del estribo, insistan sobre esferas torneadas, de acero fundido, de magnitud conveniente, dispuestas de tal modo, que aunque las columnas se hallen unidas entre sí en un plano inferior á la coronación del estribo, y en el espesor de éstos, puedan moverse, siguiendo las dilataciones ó contracciones, que se transmitan á estos poderosos amarres inferiores. Cada columna tiene una base cuadrada, de 3^m,85 de lado, con un zócalo de 6 metros insistente en el estribo.

El arriostrado interior de las torres circunscribe un espacio cuadrado

de 9 metros de lado, dentro del cual se pueden establecer escaleras ó elevadores para subir á la parte superior.

La construcción de esta parte del puente, tal como se ha bosquejado, resulta tan sólida y está el enlace de sus partes tan íntimamente establecido, que si un terremoto ó ciclón derribase las torres del puente de Brooklyn, cree el autor del proyecto que en nada perjudicaría la estabilidad del que nos ocupa.

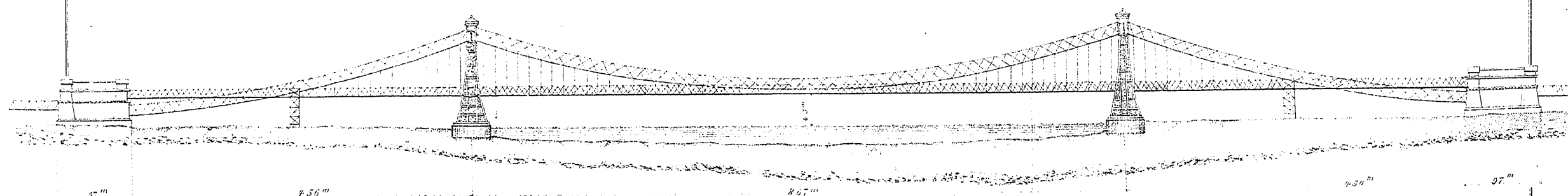
La adopción de solos dos arcos invertidos para un puente de seis vías y 26 metros de ancho parece, á primera vista, proyecto atrevido, tratándose de tan grandes dimensiones, que se separan de las prácticas ordinarias; pero en este caso se ha hecho un estudio especialísimo para llegar á la forma más conveniente para la seguridad y estabilidad de la obra, habiéndose presentado grandes dificultades, en especial al proyectar la estructura de cables de tan colosal magnitud, de un metro de diámetro y 867 metros de separación horizontal entre los dos puntos de apoyo sobre las torres.

Debe tenerse presente, para apreciar como es debido las garantías de estabilidad que concurren en los puentes de grandes dimensiones, que una de estas obras dispuesta para una sola vía férrea, cada vez que pasa un tren se halla cargada con el máximo de peso para el cual se ha calculado en buenas condiciones de resistencia; si el puente es para dos vías, se necesita que á la vez pasen dos trenes para que ocurra lo indicado, y análogamente, si el puente es de tres vías, tres trenes, y así sucesivamente; ahora bien: en el caso que estudiamos sería preciso que pasaran seis trenes para que el puente estuviese sometido á los esfuerzos máximos, desde el momento en que, tal como realmente se ha efectuado, se adoptase esta hipótesis extrema para el cálculo del mismo, y teniendo también en cuenta que los trenes más largos que por él pueden pasar no excederán de 450 metros de longitud (la del tramo central ya sabemos que es 867^m), aun aplicándole locomotoras las más potentes, en atención á que en las avenidas al puente la pendiente excede de 0,025, es casi imposible que ocurra alguna vez hallarse al mismo tiempo seis trenes gravitando sobre él y en posiciones las más desventajosas; á mayor abundamiento, se ha previsto el caso de que se necesite establecer cuatro líneas más en una rasante superior y hecho el cálculo en consecuencia, resultando, por lo tanto, que al pasar ordinariamente un tren por el puente, éste sufrirá una sobrecarga que no excederá del décimo de la máxima admitida al hacer el estudio.

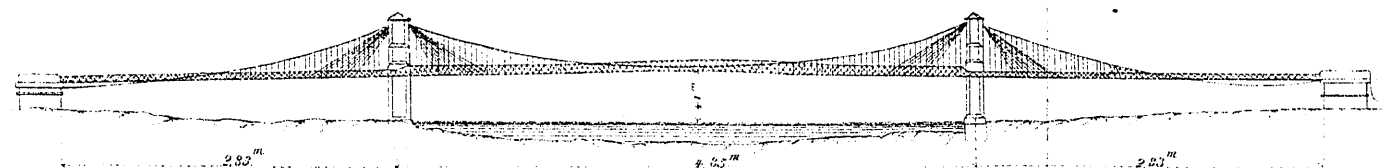
Cualquiera que sea la disposición de las sobrecargas, nunca los esfuerzos de tensión pueden trocarse en otros de compresión, y excusado es decir que las celosías que unen los arcos se hallan sometidas á la misma ley de máximos esfuerzos, y sus dimensiones presentan más garantía de resistencia que no para tramos de puentes de pequeñas luces.

PROYECTO

PUENTE SOBRE EL HUDSON (RIO DEL NORTE)



PUENTE DE BROOKLYN (RIO DEL ESTE)



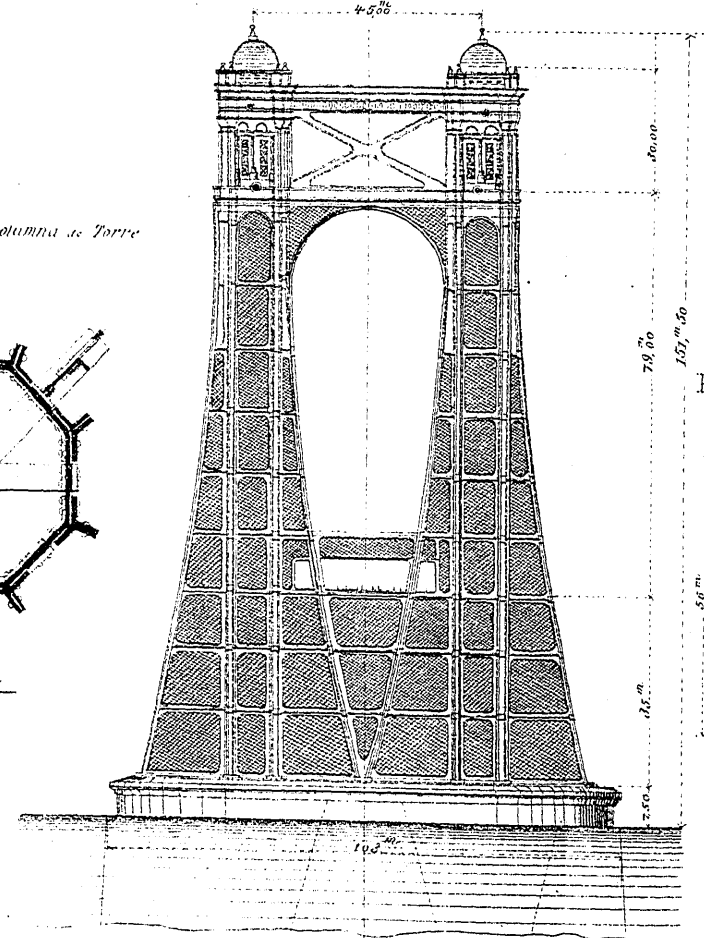
Escala para ambas figuras

1
6173

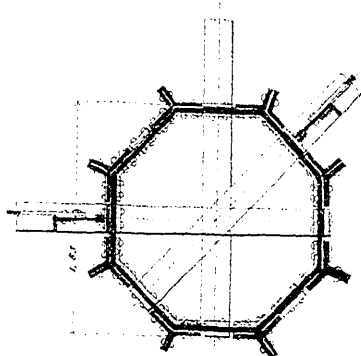
Detalles del piso, cables y uniones del proyecto de puente para el Río del Norte

(HUDSON) EN NUEVA YORK POR EL ING. G. LINDENTHAL.

Fig^a 3. Alzado y corte de las torres.

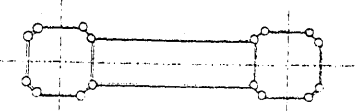


Fig^a 6. Sección de una columna de Torre.

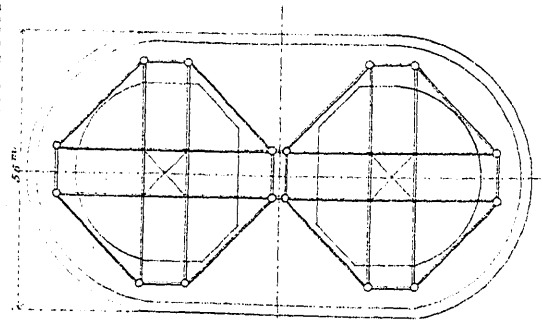


Escala de $\frac{1}{60}$

Fig^a 5. Corte de una torre por debajo del plano de apoyo de los cables.

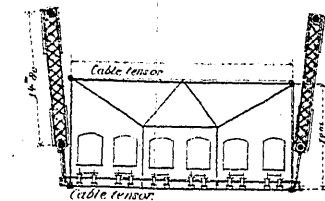


Fig^a 4. Planta de las torres sobre el estribo.

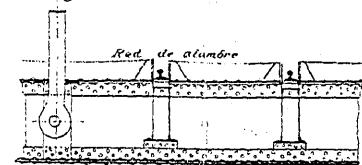


Escala de $\frac{1}{100}$

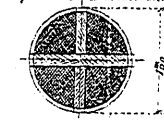
Fig^a 7. Sección transversal del puente por la mitad del tramo central. Escala $\frac{1}{250}$



Fig^a 8. Sección de una parte del piso.



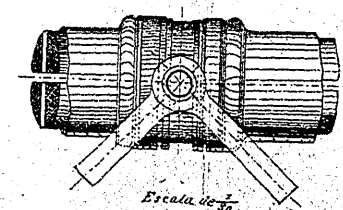
Fig^a 11. Sección del cable del puente de Hudson.



Fig^a 12. Id. del Brooklyn.

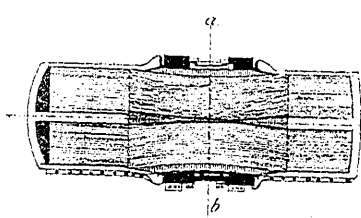


Fig^a 13. Vista Union de cables con los elementos de las celosías.

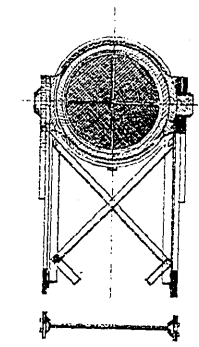


Escala de $\frac{1}{100}$

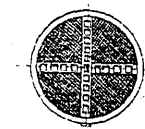
Fig^a 14. Corte longitudinal



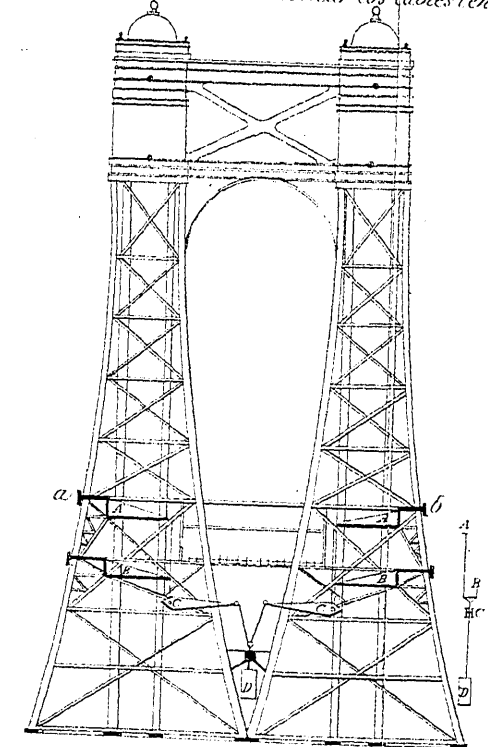
Fig^a 15. Corte por a. b.



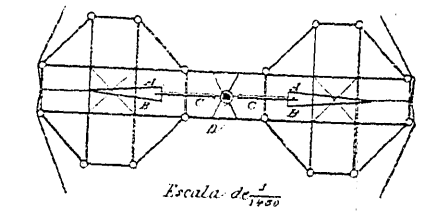
Fig^a 16. Sección del cable y las cuñas.



Fig^a 17. Alzado. Mecanismo para hacer funcionar los cables tensores.

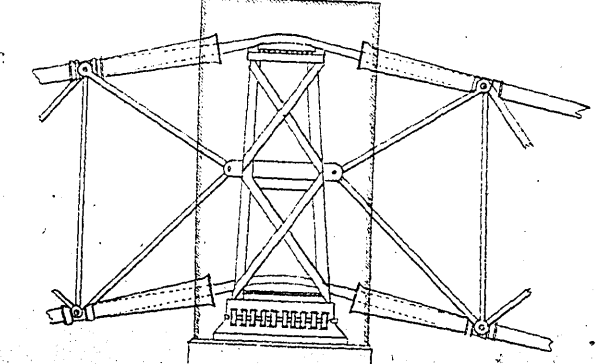


Fig^a 18. Corte por a. b.



Escala de $\frac{1}{100}$

Fig^a 9. Plataformas de básculas para compensar las desiguales tensiones de los cables.



Fig^a 10.

