

MADRID, 15 DE MARZO DE 1876.

TOMO XXIV.

NÚM. 6.º

SUMARIO.

Puente de San Luis sobre el Misisipi, por D. Evaristo de Churrua.—Filadelfia.—Noticias varias.—Advertencia.

PUENTE DE SAN LUIS SOBRE EL MISISIPÍ.

(Láminas 32, 33, 34 y 35.)

A mediados del año 1874 quedó terminado el gran puente de San Luis sobre el río Misisipi, en cuya ejecución se han empleado seis años; obra que constituye un triunfo del arte del ingeniero, con la cual pueden rivalizar pocas de su clase.

La ciudad de San Luis está situada geográficamente casi en el centro del gran valle del Misisipi, á los 38° 40' de latitud N. y 90° 13' de longitud al Oeste de Greenwich, y se halla asentada en su márgen derecha ó occidental á 50 kilómetros agua abajo de la union de aquel río con el Misouri, teniendo una poblacion que pasa ya de 400.000 habitantes. Muy cerca agua abajo, formando casi un arrabal de San Luis, se halla Carondelet, poblacion de las que más hierro fabrica en América, y en la orilla opuesta, perteneciente al estado de Illinois, como San Luis pertenece al de Missouri, se halla la poblacion llamada *East-Saint-Luis*, donde hay establecidas muchas industrias y en la que concurren seis líneas de ferro-carriles que ponen á San Luis en comunicacion con todos los estados de la Union situados al Este del río. De San Luis parten á su vez cuatro vías férreas que luego se bifurcan en otras y que la unen con los estados al Oeste del Misisipi hasta el Pacifico, pero como no existiera puente para comunicacion entre estas vías férreas y aquellas, era preciso trasbordar todas las mercancías, tanto las que pasaban de largo de unos á otros Estados como las que venian dirigidas á San Luis de los Estados del Este ó los productos manufacturados en San Luis y Carondelet que se dirigian á estos últimos Estados. Esta circunstancia, unida á las grandes relaciones que entre ambas márgenes del río existian, hacia indispensable la construccion de un puente que sirviera á la vez al tráfico de la ciudad y al de las vías férreas.

El río presenta en San Luis un estrechamiento, pues mientras en Rock Island, que está á 547 kilómetros agua arriba, tiene 1.524 metros de anchura, en aquella ciudad sólo tiene unos 500 metros, á pesar que en el intervalo ha recibido las aguas del caudaloso Missouri y otros afluentes. Esta circunstancia hace que la velocidad del río en San Luis sea muy grande, y de ello es prueba el que se ve con frecuencia al paso por dicha ciudad, á pesar de hallarse á 50 kilómetros agua abajo de la confluencia del Missouri, las aguas de ambos ríos sin mezclarse, notándose las amarillas de este último hacia la orilla derecha, mientras que las cristalinas del Misisipi superior se dirigen por la izquierda. Tal velocidad es causa de grandes socavaciones y movilidad en el lecho de arena del río, habiendo llegado aquéllas repetidas veces á 12 metros de profundidad respecto á la anterior situacion del lecho, lo que hacia necesario el bajar con los cimientos hasta la roca que se encuentra á profundidades variables entre 5^m,97 bajo el riguroso estiage en la márgen derecha, y 28^m,67 bajo igual nivel en la izquierda. Esta circunstancia unida á la considerable altura de 15 metros que sobre el riguroso estiage alcanzan las grandes avenidas, y la condicion impuesta por el Congreso en interés de la navegacion del río de que quedase debajo del puente una altura libre sobre dichas avenidas de 50 piés (15^m,23), hacia necesario dar á los apoyos una altura considerable á partir de los cimientos, que en el estribo del Este alcanzan más de 60 metros. Tales son las condiciones del río en el cual habia que edificar el puente.

Idea general de la obra. Despues de largas discusiones entre dos compañías rivales que en 1867 se organizaron para la construccion y explotacion del puente, prevaleció el proyecto del capitán Eads, que, segun se ha llevado á cabo, consiste en tres arcos de acero crómico sostenidos en dos pilas y dos estribos de fábrica de sillería, cimentados á gran profundidad sobre la roca, cuyas luces son 158^m,50 (520 piés ingleses) el central, y 153^m (502 piés) cada uno de los laterales, siendo las flechas respectivas 15 metros próximamente en el central y 15 en los laterales. Sobre las cerchas que

forman cada tramo, de cuya descripción nos ocuparemos más adelante, insisten por medio de montantes de hierro articulados en ellas los dos pisos del puente, el inferior para ferro-carril y el superior para carruajes y peatones, hallándose éste á 50 metros próximamente sobre el nivel de las aguas ordinarias del río. El puente presenta dos rasantes, que á partir de su punto medio bajan con una pendiente de $\frac{15}{1000}$ hacia los estribos, y para armonizar mejor con ellas la forma de los arcos, sus arranques en los laterales no están á nivel, sino 0^m,45 más altos en las pilas que en los estribos. Entre los estribos y el terreno, formando las avenidas del puente por ambas márgenes, hay unas arcadas de sillería de dos órdenes de arcos, siendo los superiores en mayor número y menores luces que los inferiores.

La anchura del puente es de 16^m,46 (54 piés ingleses), que se halla repartida en el piso superior entre dos aceras laterales de 8 piés, (2^m,44) cada una y una faja central de 58 piés (11^m,58) donde hay colocadas cuatro líneas de tramvía, dos para el tráfico de pasajeros y carros ligeros y las otras dos para los arrastres pesados. El piso inferior está destinado para el paso de los trenes de ferro-carril, habiendo dos vías colocadas al efecto.

Los terrenos de la margen izquierda del río que corresponde al estado de Illinois son llanos, así que no ha ofrecido dificultad alguna el enlace de las vías férreas que allí concurren con las del puente, pero no sucede lo mismo en la margen derecha, donde se halla asentada la ciudad, y que corresponden al estado de Missouri, pues ocupando aquella unas lomas que se levantan desde el río, ha habido que construir un túnel de 4.880 piés ingleses de longitud (1.488 metros) que pasa debajo de parte de la ciudad, y especialmente debajo de la casa de Correos, que se comunica con el túnel por medio de un pozo por donde se baja y sube la correspondencia.

Las obras estaban presupuestas, sin contar el túnel, en unos 5 millones de dollars ó pesos fuertes próximamente, habiendo costado unos 6 millones, distribuidos del modo siguiente:

Coste de los terrenos ocupados. . .	700.000 dollars.
Cajones y demas trabajos de cimentación.	500.000 »
Fábrica de estribos y pilas.	1.300.000 »
Avenidas.	500.000 »
Arcos de acero y demas partes metálicas que constituyen los tramos.	1.700.000 »
Otros gastos.	1.300.000 »
TOTAL.	6.000.000 dollars.
Agregando el coste del túnel.	1.500.000 »
Resulta para el total general de la obra.	7.500.000 dollars.

Dada esta idea general de la obra nos vamos á ocupar sucesivamente: 1.º, de la fundación de estribos y pilas; 2.º, de la armazón metálica de los arcos; 3.º, del montaje de éstos, y 4.º, de los defectos que presenta el sistema de arcos empleado para resistir los cambios de temperatura, y nuevo sistema que el capitán Eads, autor del proyecto y constructor del puente, ha propuesto recientemente para lo sucesivo á fin de evitar aquéllos (1).

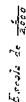
1.º—FUNDACIONES.

Estribo derecho ó del Oeste. La profundidad de la roca en este estribo se halló á 5^m,97 debajo del riguroso estiage, ó sea 16^m,78 debajo de las grandes avenidas, así que se adoptó el pensamiento de fundarlo directamente sobre ella por el método ordinario de ataguías y agotamientos.

La construcción de la ataguía proyectada de dos paredes de pilotes y tablestacas, relleno su intervalo de arcilla, ofreció muchas dificultades, pues el lugar donde habia de establecerse fué durante 60 años el fondeadero de los vapores, desde los cuales se habian echado allí parrillas inútiles de los hogares, chimeneas viejas y otras piezas de hierro, con la circunstancia ademas que en el incendio de 1849, donde se quemaron 29 vapores, fueron á pique los restos de dos de ellos en aquel sitio, uno sobre otro, y posteriormente otro más, de modo que se habia formado una capa de 3 á 4 metros de espesor, compuesta de los restos de aquellos barcos y las piezas de hierro indicadas, por donde era muy difícil penetrasen los pilotes y tablestacas. Se extrajeron por medio de escafandras las anclas, cadenas,

(1) En Marzo de 1873, estando el que suscribe en San Luis, se hallaban construidas las avenidas, estribos y pilas, pero no habia principiado aún el montaje de los arcos. Por favor del Ingeniero Jefe Mr. Eads me enseñaron, aunque á la ligera, un magnífico atlas que contenia los planos de la obra, pudiendo luego del recuerdo que conservé de ellos y de la inspección de la obra hecha, hacer algunos apuntes que hubieran sido insuficientes para la redacción de este artículo, habiendo tenido que recurrir para completarlos: 1.º, á la conocida obra del ingeniero frances Malesieux, sobre las obras públicas de los Estados Unidos, quien visitó aquellos trabajos en Setiembre de 1870, cuando estaban en construcción el estribo izquierdo y las dos pilas, faltando empezar el estribo derecho, de la cual hemos tomado la parte relativa á las fundaciones; 2.º, á la memoria que sobre el montaje de los arcos leyó el Ingeniero Mr. Cooper en la Sociedad Americana de Ingenieros civiles, á fines de 1874; 3.º, á la Memoria que el Ingeniero Jefe Mr. Eads leyó en la misma Sociedad, acerca de un nuevo sistema de arcos que propone para evitar los defectos que presenta el puente de San Luis para resistir á los cambios de temperatura.

Fig. 1^a Alzado.



Detalles de los tubos de acero que forman las arcos.

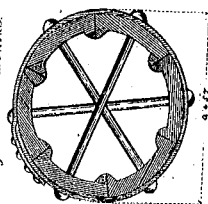
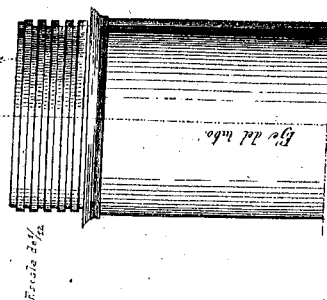


Fig. 3. Proyección parcial



30 del 1860.

Detalles del montaje del arco.

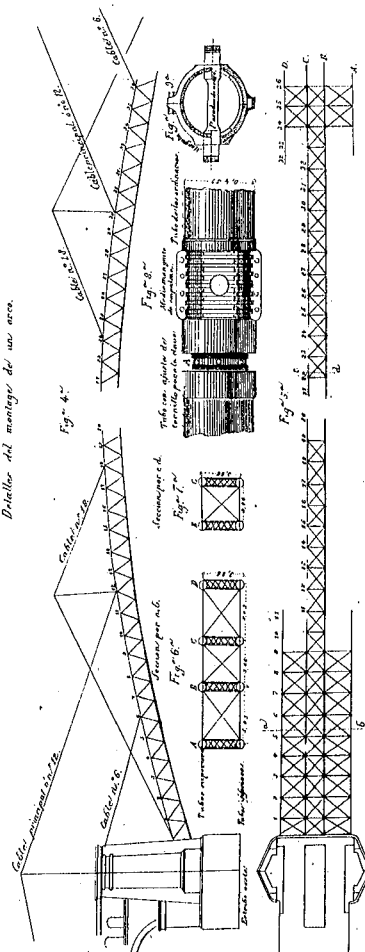


Fig. 8.

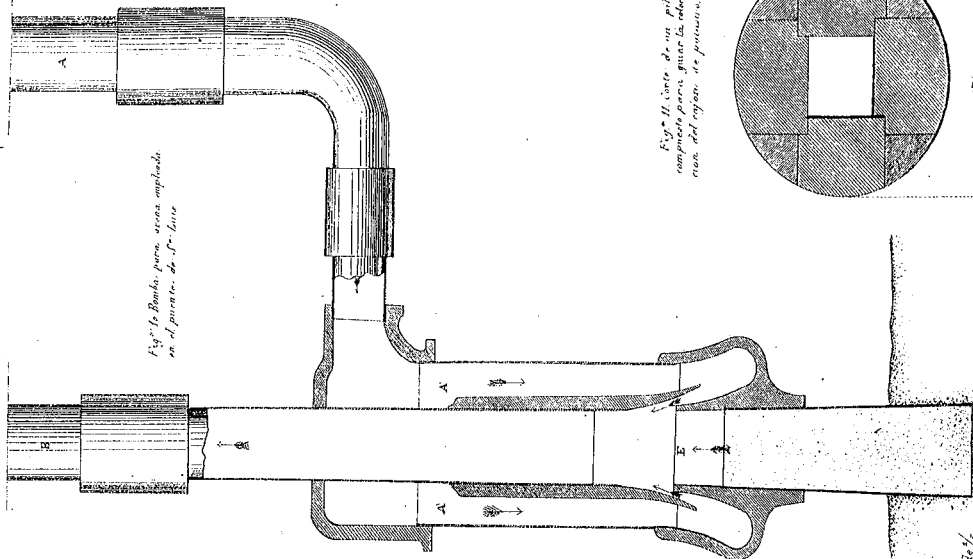


Fig. 10 Bomba para vac. empleada en el puente de S. Luis

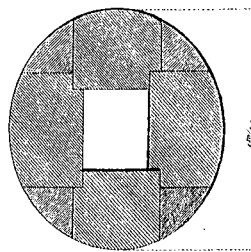


Fig. 11. Corte de un pilote compuesto para guardar la columna del cajón de potencia.

Escala de 1/3

restos de ruedas y demas piezas aisladas, y luego para clavar el recinto de la ataguía se auxiliaban con un pilote de roble armado de un corte de acero, con el cual se abrían los agujeros al traves de aquellos restos por donde luego entraban los pilotes y tablestacas. A pesar de esto, construida ya la ataguía y al proceder á los agotamientos, se observó que en parte de ella los pilotes y tablestacas no llegaban á la roca, pues quedaban intermedios los cascos de los tres barcos citados, así que hubo que reforzar y doblar la ataguía en 15 metros de longitud hincando otro recinto de tablestacas á 1^m,83 de distancia al exterior de aquella. Vencidas por fin todas las dificultades, se excavó el interior, se agotó el recinto y se colocó la primera piedra de la obra el 25 de Febrero de 1868. La cubicacion de la fábrica de este estribo arroja un volumen de sillería y mampostería concertada de grandes dimensiones, de unos 9.000 metros cúbicos.

Pila del Este. Aunque en el orden de colocacion siga la pila del Oeste al estribo que hemos considerado, sin embargo vamos á ocuparnos primero de la pila del Este, pues fué la que primero se construyó despues de dicho estribo.

La profundidad á que se hallaba la roca en su emplazamiento era de 51 metros debajo del nivel de las aguas ordinarias del rio, y para alcanzarla era preciso emplear el método de fundacion por aire comprimido, si bien hay que advertir que no habia hasta entónces ejemplo de cimentacion tan profunda. No se trataba de introducir aquí uno ó más cilindros de pocos metros de diámetro, como sucede en la generalidad de los puentes fundados por dicho sistema, sino un cajon cuya base tenia unos 420 metros cuadrados, para abarcar la ancha base de la pila en su asiento, pila cuya altura habia de ser de 60 metros próximamente á partir de la base, con la circunstancia que era preciso atravesar un banco de arena de 21 á 25 metros de espesor sumergido ordinariamente en una profundidad de agua de 10^m,67 que allí tenia el rio en la época que se empezó la fundacion.

Se construyó para el objeto un cajon de palastro de forma exagonal (lámina 54), cuya longitud máxima entre los vértices opuestos correspondiente á las aristas de los tajamares era 26^m,25, la longitud de los dos lados mayores relativos á la anchura del puente era de 16^m,50, la distancia entre dichos lados que representaba el espesor de la pila en la base, de 19^m,40, siendo de 10^m,80 la

longitud de cada uno de los cuatro lados menores correspondientes á las faces de los tajamares. La cámara de trabajo, que, como es consiguiente, ocupaba la parte inferior, tenia 2^m,75 de altura, y su techumbre, que habia de sostener todo el peso de la construccion interin no se rellenára de hormigon la cámara de trabajo, estaba formada de 15 vigas de palastro, de forma de doble T y alma llena, de 1^m,52 de altura, colocadas en direccion perpendicular á la de la corriente, las cuales por su cara inferior estaban enlazadas entre sí por una lámina general de palastro. Para consolidar más la techumbre se colocaron interiormente en todo el perimetro del cajon unas fuertes ménsulas de palastro de formade escuadra, distantes 0^m,86 entre sí, y lo que es más importante, se la apoyó en dos fuertes paredes de madera de la altura de la cámara de trabajo, formadas de vigas horizontales, superpuestas y enlazadas con pasadores, constituyendo cada una un macizo de 0^m,60 de espesor en el cuerpo y un metro en la base, dispuestas en sentido perpendicular á las vigas de palastro, que tenían por tanto dos puntos de apoyo intermedios; dichas paredes dividian la cámara en tres compartimentos de 6 metros de anchura cada uno, independientes entre sí y que podian comunicarse por medio de puertas dispuestas una en cada pared. Estas paredes, ademas de reforzar fuertemente la techumbre aumentando sus puntos de apoyo, refuerzan tambien las paredes de la cámara y facilitaban el lanzamiento del cajon al agua y los trabajos para su descenso hasta la roca. Hay que añadir que, apoyándose en dichas paredes por sus dos lados, se dispusieron iguales ménsulas que en el perimetro, si bien á doble distancia entre sí, que contribuian tambien á reforzar el techo.

Para la comunicacion de la cámara de trabajo con el exterior, se dispusieron siete pozos circulares que, arrancando de su techumbre, se prolongaban al traves del macizo de mampostería á medida que éste se elevaba y descendia el cajon. El principal de ellos, colocado en el centro, tenia 5^m,05 de diámetro, y en él habia dispuesta una escalera helizoidal muy cómoda; los otros seis se hallaban dispuestos tres á tres simétricamente en dos líneas paralelas, distantes 6 metros del eje del pozo central, siendo sus diámetros iguales en los seis 1^m,45, habiendo en ellos unas escalas verticales de hierro.

Cada uno de estos pozos tenía su cámara de equilibrio, ó sea exclusiva de aire, pero en lugar de

disponerse en la parte superior de ellos, segun generalmente se hace, lo cual trae consigo el inconveniente de tener que desmontarla y volverla a montar a medida que el tubo se sumerge de 4 á 5 metros, se colocaron en la parte inferior de los pozos, con lo que se consigue ademas la ventaja de reducir mucho el espacio que habria que llenar de aire comprimido, pues colocándola arriba hubiera habido que llenar toda la altura del pozo, lo que no sucede en el caso actual. Esta modificacion en la colocacion de la exclusiva es, pues, de suma importancia para la facilidad de los trabajos y constituye una innovacion capital.

El objeto del pozo central era para servir á la circulacion de los obreros, y el de los otros seis á la extraccion de los productos de la excavacion, sirviendo tambien en casos necesarios para los operarios. En cada uno de estos seis pozos habia establecido un aparato especial llamado *bomba para arena*, cuyo objeto era la extraccion continua y automática de la arena. La disposicion de estos aparatos se muestra en la figura 10 de la lámina 55, y consistia en un depósito de agua superior del cual por medio de un tubo A descendia á un tubo anular A', del que á su vez subia, segun indican las flechas, al tubo B por el espacio anular comprendido entre la extremidad libre de este último y la pieza E, produciendo al elevarse una aspiracion en la arena donde está introducido el tubo D en direccion al tubo B, saliendo mezcladas por éste el agua y arena en un chorro continuo. Estos aparatos dieron excelentes resultados, prestándose á ello la naturaleza del terreno que habia que extraer, compuesto de arena fina; la cantidad de arena extraida por hora con un aparato cuyo tubo de ascension tenia 0^m,088 de diámetro y con una presion de agua de 10 atmósferas era 15 metros cúbicos.

En todo el perimetro del cajon exagonal que estamos describiendo, se prolongaban sus paredes verticales por medio de un recinto de palastro de 0^m,019 de espesor que se aumentaban hacia arriba á medida que el cajon se introducía en el terreno, cuyo objeto era dar más rigidez á las paredes verticales del cajon, impidiendo su deformacion, y prevenir ademas la introduccion del agua en la mamposteria que se elevaba segun el cajon descendia y en los pozos. El perfil de la fábrica del estribo presentaba los retallos que se indican en la fig. 1.^a lám. 54, lo que hacia que quedase un espacio de dimensiones variables entre la fábrica y las pa-

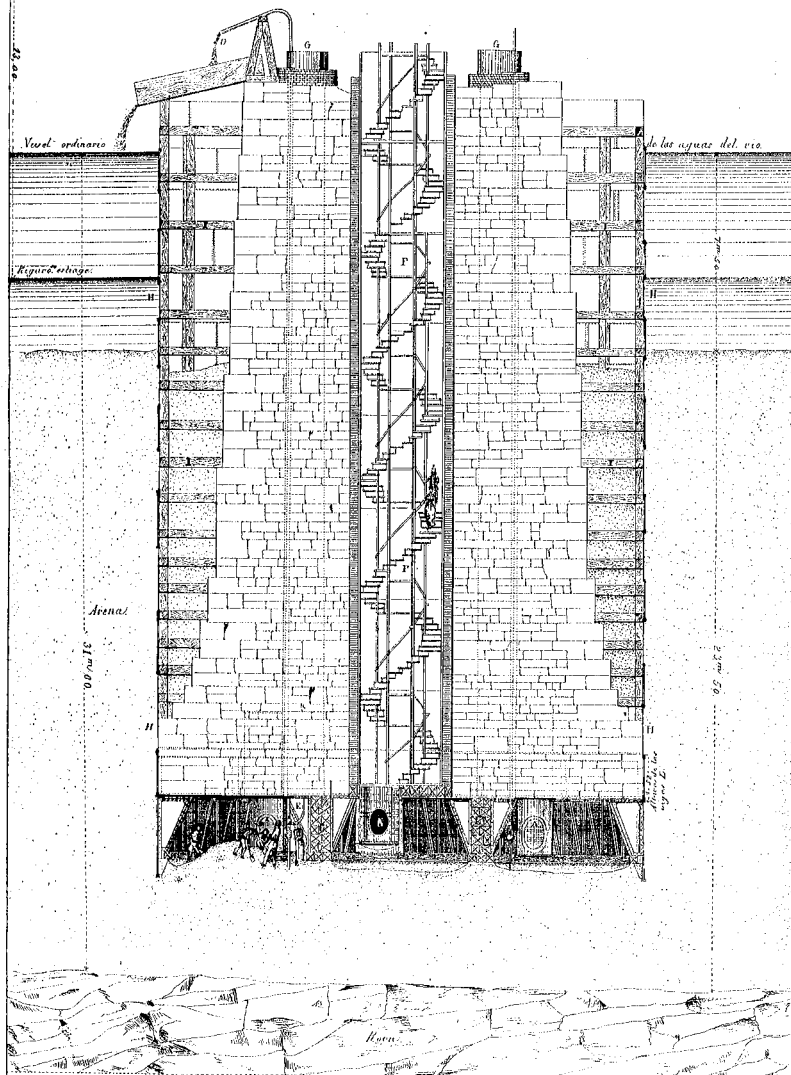
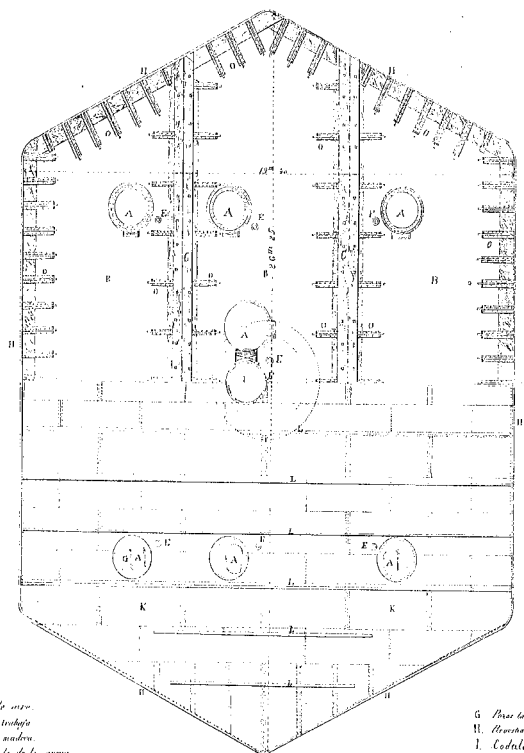
redes de palastro, entibándose y reforzándose éstas por medio de maderos contra la fábrica, segun se ve en dicha figura, para resistir á la presion del agua. La anchura de la pila en la base, contada segun el eje del puente, ó sea perpendicularmente á la corriente, era de 18^m,50, que por medio de los retallos se reducía á 11^m que presentaba fuera del agua. Los paramentos de ella eran de sillería de granito, y el relleno de mamposteria concertada de piedra caliza de grandes dimensiones. Armado el cajon en la margen del rio, se lanzó al agua el 18 de Octubre de 1869 y se remolcó al emplazamiento que habia de ocupar. Préviamente, para que sirvieran de guías en el descenso del cajon, se introdujeron en el terreno cuatro fuertes pilotes de madera de un metro de diámetro, formados cada uno, segun se ve en la figura 11 de la lám. 55, de ocho piezas, unidas por ensamblajes y zunchos que dejaban un hueco en el centro donde funcionaba la *bomba para arena*, que producía la introduccion del pilote en el terreno hasta la profundidad conveniente. Los expresados pilotes se enlazaban con vigas horizontales en su parte superior, y apoyándose en ellas se dispusieron cuatro tuercas, por donde pasaban cuatro largos tornillos enlazados al cajon de palastro, de modo que moviendo las tuercas con regularidad se producía el descenso uniforme del cajon á medida que se cargaba con la fábrica de la pila, hasta tanto que el cajon, dejando de flotar, quedó apoyado sobre el fondo del rio, á partir de cuya posicion continuó el descenso, excavando los operarios en la cámara de trabajo con el auxilio del aire comprimido y con ayuda de las bombas de arena, contribuyendo poderosamente al expresado descenso el peso de la fábrica de la pila, que iba elevándose á medida que descendía el cajon. La primera piedra de esta pila se colocó el 25 de Octubre de 1869, llegando el cajon á la roca el 28 de Febrero de 1870.

El espesor de arena que cubria la roca en el lugar de la pila que tratamos era ordinariamente de 24^m,40 en aguas bajas del rio, pero las avenidas lo disminuian notablemente para volver luego á formarse depósitos en cuanto descendian las aguas. En el momento que el cajon se colocó en su lugar para proceder á su descenso, habia 10^m,67 de profundidad de agua y 20^m,74 de arena. Este espesor de arena disminuyó en 1^m,52, por efecto del aumento de velocidad de la corriente, producido por la colocacion del cajon, dejando una superfi-

PUENTE DE S^{te} LOUIS SOBRE EL MISISSIPÍ.

PILA DEL ESTE (Construida en 1870)

Fundaciones.

Corte paralelo al eje del puente por el eje del paso central.*Proyección y corte horizontal del cajón.*

A. Estructura de acero.
 B. Cámara de trabajo.
 C. Trabajo de madera.
 D. Tabla de tabla de la arena.
 E. Bombas para la extracción de arena.
 F. Pico principal.

G. Paso lateral.
 H. Pasa de palanca.
 I. Cables.
 K. Cables de palanca.
 L. Vigas de palanca.
 O. Anclajes de refuerzo.

Escala de 0^m 002 por metro

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 metros

cie irregular de arena cuyo espesor medio era 19^m,22. Cuando el cajon se introdujo bien en el terreno, se produjeron grandes depósitos de arena agua arriba y más aún agua abajo, habiendo sucedido por espacio de unos 50 días, durante el descenso, que la arena subía encima de la superficie del agua, si bien hay que advertir que en los costados los depósitos fueron mucho menores, por efecto de la corriente; así que nunca vararon los dos barcos colocados en ellos, que contenían las grúas y aparatos necesarios para la colocación de los sillares. Cada uno de estos barcos ó pontones llevaba dobles grúas, una de las cuales volaba sobre la pila y la otra sobre el lado opuesto; ésta servía para subir los sillares desde las barcas que los traían, cuyos sillares, por medio de unos carros formados por cuatro garruchas que se movían sobre los cables que enlazaban las cabezas ó extremidades de las dos grúas, se corrían sobre el lugar donde habían de ocupar, como en un ferrocarril aéreo, procediendo luego á descenderlos á su sitio.

El recinto de palastro, prolongación de las paredes del cajon, se elevaba, como antes se ha dicho, á medida que el cajon descendía, para poder así trabajar siempre en seco, apuntalándose aquellas contra la mampostería para resistir la presión del agua ó de la arena, según ya se ha dicho. Con este mismo objeto se echaba entre el recinto y la mampostería parte de la arena que extraían las bombas. No obstante estas precauciones, habiendo llegado el cajon á la roca y estando procediéndose á rellenar de hormigon la cámara de trabajo, se abrieron grietas en el recinto que produjeron grandes filtraciones en la cámara de trabajo por conducto de los pozos, que obligaron á suspender los trabajos. Como entonces por haber faltado el suministro de sillería de granito había habido que elevar el recinto de palastro más que la fábrica sin el eficaz apuntalamiento contra ésta, en términos que el agua del río que se hallaba á 55^m,70 sobre la roca estaba 5^m,95 sobre la obra de fábrica, se atribuyó á esta falta la rotura del recinto; pero reconocido por buzos se vió era debido á la presión de la arena interior, pues en el lado Este la pila había socavado la corriente el banco de arena en 16^m,75 de profundidad, quedando reducido su espesor á 10^m,67, de modo que había cambiado el sentido de la presión por la mayor densidad de la arena respecto al agua. Esta avería obligó á levantar la parte superior del recinto y sustituirlo con una ataguía.

Cuando el cajon llegó á la profundidad de 20 metros se estableció un aparato telegráfico en la cámara de trabajo, de donde partían dos hilos, dirigido uno á la oficina del Ingeniero inmediatamente encargado de los trabajos, colocada en uno de los barcos antes citados, y el otro á la del Ingeniero Jefe, colocada en la ribera Oeste, ó sea de San Luis, que de este modo se hallaban enterados en cada momento de la marcha de la excavación en la cámara de trabajo, y progreso en el descenso del cajon.

El hormigon para el relleno de la cámara de trabajo se fabricó en la misma á una profundidad bajo el agua variable entre 51^m,40 y 55^m,70. La superficie interior de la base de la cámara, descontando la parte ocupada por las paredes de madera, era de unos 570 metros cuadrados, y el volumen que hubo que rellenar fué de cerca de 1.000 metros cúbicos. Esta operación se efectuó en 55 días, quedando terminada el 27 de Mayo de 1870.

Hemos de advertir que el descenso del cajon se detuvo cuando uno de los ángulos, el S. O., llegó á la roca, faltando en el opuesto 0^m,41 para llegar á ella, y 0^m,20 en los otros dos. Se limpió bien de arena todo el perímetro interior y se relleno de hormigon el espacio comprendido entre el cajon y la roca, allí donde las paredes de aquél no descansaban en ésta, así como el comprendido entre las paredes transversales y la misma; se limpió luego toda la superficie que interiormente presentaba la roca y se colocó el hormigon que había de rellenar toda la cámara de trabajo por capas de 0^m,20 á 0^m,25 de espesor, introduciendo con fuerza las últimas capas inmediatas á la techumbre. Luego se llenaron lo mismo las exclusas de aire, y finalmente los pozos. La presión más fuerte á que hubo que trabajar en la cámara fué de tres atmósferas y media, manteniéndose siempre el agua á un nivel inferior al borde del cajon. Desde que el cajon llegó á 18 metros de profundidad algunos obreros fueron atacados de parálisis en sus miembros inferiores, que se curaba con facilidad, pero á medida que el cajon descendía fueron más graves, invadiendo también los miembros superiores. Trabajaban varias cuadrillas alternativamente, por espacio de cuatro horas al principio, cuyo tiempo fué luego reduciéndose gradualmente á medida que el cajon descendía, hasta que al fin se relevaban cada hora. En opinión de los ingenieros, capataces y obreros que trabajaron allí, era un preservativo contra las parálisis el uso de las ban-

das ó brazaletes galvánicos, compuestas de piezas alternadas de zinc y plata, que por sólo la traspiración producían una corriente eléctrica, las cuales se colocaban en los puños, brazos, cintura, y también en la planta de los pies.

El número total de hombres empleados en la cámara de trabajo fué de 352, de los cuales enfermaron 30 y murieron 12. En opinión del Ingeniero Jefe Mr. Eads, el peligro de enfermarse en tales trabajos proviene de una permanencia demasiado larga en el aire comprimido, y que reduciendo el tiempo á menos de una hora se podría trabajar á más de 55 metros bajo el agua con toda seguridad.

Pila del Oeste. La introducción de la pila Oeste empezó el 15 de Enero de 1869, tres meses después que la del Este, lo que permitió aprovechar en aquélla la experiencia adquirida en ésta. Habiéndose observado en la del Este que á pesar del recinto de palastro establecido en prolongación de las paredes del cajón, y del revestimiento de ladrillo que se hizo en los siete pozos con un espesor de 0^m,55 en el central y de 0^m,53 en los otros, no se evitaban las filtraciones que se insinuaban en los pozos al través del recinto de palastro, del gran espesor de mampostería hidráulica que constituía la pila, del revestimiento de los pozos y del palastro de que éstos se hallan formados, invadiendo la cámara de trabajo, se suprimió el recinto de palastro desde la altura de 8^m,85 á partir de la parte inferior del cajón, ó sea 6^m,10 encima de su techo, y en cambio se revistió el interior de los pozos con duelas de pino de 0^m,076 de espesor en el pozo central y de 0^m,062 de espesor en los otros seis, con lo cual se consiguió una economía de 50.000 pesetas. Con motivo de una avenida acaecida en la primavera de aquel año, se vió que en la parte inferior de los pozos las duelas no tenían la resistencia necesaria para soportar la presión, y se pudo consolidarlas á tiempo con unos aros de hierro colocados interiormente. Sin embargo, habiendo faltado el suministro de granito y por no parar el descenso del cajón, se decidió á continuar los trabajos formando una ataguía sobre todo el perímetro del cajón, á fin de que el agua no filtrara en gran cantidad en los pozos y pudiera luego continuarse la fábrica del estribo trabajando en seco. Fuera de un contratiempo que ocurrió en esta ataguía cuando al cajón le faltaba 0^m,23 para llegar á la roca, la operación marchó bien y lo mismo próximamente que en la pila del Este.

Estribo del Este. En vista de la gran profundi-

dad á que en la margen del Este se encontraba la roca, cuando se redactó el proyecto de 1868 se propuso fundar el estribo correspondiente sobre un pilotaje hincado á 15^m,25 bajo el nivel del estiaje, protegiéndolo por medio de una escollera. Pero desde que la experiencia adquirida en la pila del Este hizo ver la posibilidad de que también en el estribo Oeste podría llegarse hasta la roca, fué unánime el deseo de fundarlo así, á pesar del aumento de gasto calculado en 875.000 pesetas. El volumen adicional de obra de fábrica necesario respecto al proyecto primitivo era de 7.500 metros cúbicos, llegando á 17.000 metros cúbicos el volumen total de la fábrica del estribo, cuya altura, á contar desde la base de fundación, había de ser más de 60 metros.

El cajón para este estribo tenía en su base una superficie de unos 520 metros cuadrados, ó sea cerca de una cuarta parte más que el correspondiente á la pila del Este. Se construyó con algunas modificaciones respecto á éste, que indicaremos sucesivamente. El pozo central, en lugar de terminar por su parte inferior en una esclusa de aire de 1^m,85 de diámetro, terminaba en dos esclusas de 2^m,44 de diámetro, y en cambio en lugar de los seis pozos accesorios de 1^m,45 de diámetro se dejaron sólo dos de 1^m,22, terminando cada uno en una esclusa de aire de 2^m,44 de diámetro, en lugar de 1^m,45 que tenían en la pila del Este. Estas esclusas de mayor diámetro permitían que pudieran pasar á la vez 12 ó 14 operarios, y en ellas en un momento dado de peligro podían albergarse todos los que trabajaban en la cámara. Además, las esclusas estaban en toda su altura debajo del techo de la cámara de trabajo, y como ocupaban en planta un espacio de 51 metros cuadrados, esa parte menos había que llenar con aire comprimido. Por otra parte, para ahorrar á los obreros el trabajo de subir una escalera de 57 metros de altura, se instaló un ascensor además de la escalera que quedaba para cuando hubiera necesidad de ella.

En lugar de construir el cajón de hierro se hizo de madera en su mayor parte. La techumbre de la cámara de trabajo se formó de un macizo de vigas de roble de 1^m,47 de espesor, enlazados entre sí los diversos órdenes y lechos de vigas por medio de clavijas y pasadores. Las paredes de la misma, construidas en forma de cuña, tenían 0^m,45 de espesor en su parte inferior y 2^m,60 al nivel del techo, formadas también de diversos ór-

denes de vigas enlazadas de igual modo. La parte inferior de las paredes se revistió exteriormente con varias placas de palastro que en junto formaban 0^m,076 de espesor, las cuales llegaban 0^m,25 más bajo que la madera, formando así el corte que hendía la arena en el descenso del cajón. También se cubrió de palastro de 0^m,010 de espesor toda la parte exterior de las paredes y parte superior del cajón, á fin de impedir mejor la salida del aire comprimido de la cámara hacia el exterior, y se colocaron exteriormente varias escuadras de hierro de refuerzo para consolidar el sistema, que por medio de pasadores se afirmaban á la madera del cajón. El palastro que revestía las paredes se prolongaba verticalmente hacia arriba en una altura de 5^m,66, pasado cuyo nivel la obra de fábrica no tenía envolvente exterior, consiguiéndose la impermeabilidad de los pozos por medio de revestimientos interiores de duelas de pino.

Hay que advertir que se hicieron lo mismo que en las pilas dos paredes de madera que subdividían en tres partes la cámara de trabajo, si bien más robustas que allí, teniendo un espesor de 1^m,06 en su pie y 5^m,05 á la altura del techo. La longitud de cada una de estas paredes era 22^m,26.

Estos cajones de madera se usan generalmente en América, en la cimentación por aire comprimido de los puentes, y se han empleado posteriormente al puente de San Luis, en la cimentación de los colosales estribos del puente colgado de New-York á Brooklyn, de 500 metros de abertura, que describimos ligeramente en el tomo último de la REVISTA. Pero al adoptar el capitán Eads para las pilas los cajones de palastro, tuvo por objeto evitar las oscilaciones que un desigual empuje de los arcos del puente, resultante de una repartición desigual de la carga, pudiera producir en las pilas á causa de la elasticidad de una base de madera. Este efecto no era de temer en el estribo, pues el empuje no obra más que por un lado, esto es, por el lado del arco metálico contiguo, toda vez que los arcos de la avenida son relativamente de muy pequeño diámetro é insignificante su empuje en comparación.

Otra de las modificaciones introducidas en los cimientos de este estribo fué, que en lugar de llenar de hormigón la cámara de trabajo se la llenó de arena, salvo en el perímetro donde se llenó de hormigón el espacio comprendido entre la roca y la parte inferior de las paredes que no tocaban en ella, modificación fundada en la incompresibilidad

de la arena, toda vez que, por hallarse encerrada entre las paredes de la cámara y el hormigón que cubría los intervalos entre la roca, no podía de modo alguno tener salida la arena. Para verificar el relleno de arena se dejó escapar todo el aire comprimido, con lo cual se llenó de agua la cámara de trabajo, y luego se inyectó de arena por conducto de diez y nueve tubos de 0^m,10 á 0^m,15 de diámetro, que atravesaban el techo de la cámara y la fábrica del estribo, los cuales durante la construcción habían servido para la conducción del aire y extracción del agua y arena. Dos ó tres veces durante esta operación se volvía á introducir aire comprimido y bajaban algunos obreros para nivelar y distribuir bien la arena, y por último, para llenar bien el espacio comprendido entre la arena y el techo se inyectaba hormigón en él. Con esta modificación, además de la economía de un considerable volumen de hormigón se evitaba gran parte de la costosa mano de obra en la cámara de trabajo, necesaria para la distribución y empleo del mismo. Es de advertir que el objeto de introducir agua en la cámara de trabajo antes de echar la arena era para que sentara mejor, pues es sabido que la arena dentro del agua se asienta muy bien.

2.º—ARMAZON METÁLICA.

Según ya se ha indicado, el puente tiene 16^m,46 de anchura, y se compone de dos pisos situados á ocho metros de distancia vertical, hallándose el superior á unos 50 metros sobre el nivel ordinario de las aguas. Contiene el superior cuatro líneas de tranvías y dos aceras, y el inferior dos vías férreas para comunicación de las que concurren á uno y otro lado del río, quedando entre ellas, gran espacio para destinarlo á lo que se quiera. Estos dos pisos están apoyados por medio de montantes verticales de hierro en los sostenedores principales del puente que en cada tramo son cuatro cerchas de acero de forma de arco de círculo.

La luz de estos arcos (véase figura 1.ª, lámina 55) es 520 pies ingleses, ó sea 158^m,50 en el central, y 502 pies, ó sea 155 metros en cada uno de los laterales, siendo sus flechas respectivas 15 metros en el primero y 15 metros en los otros dos, de modo que teniendo en cuenta la altura á que se hallan los arranques, resulta que el espacio libre debajo de los arcos del puente entre su intrados y el nivel de las aguas ordinarias, es 24 metros en el arco central y 22 metros en los laterales, cuyas alturas son indispensables

para el paso de los vapores de río con sus elevadas chimeneas, y no ciertamente de los mayores que circulan por el Misisipi, pues los hay que navegan entre San Luis y Nueva Orleans que sus chimeneas miden más de 50 metros de altura. Como la margen del Este no tiene tanta elevación como el piso del puente, por ello y para simetría se ha establecido con ligeras pendientes, que no exceden de 0^m,015 por metro, del centro del puente hacia los estribos, por cuya razón también los arcos laterales tienen proporcionalmente menos flecha que el central; y para armonizar mejor la curvatura general del puente con las rasantes del piso los arranques de cada uno de los arcos laterales están a nivel sino 0^m,45 más alto en la pila que en el estribo.

En cada uno de los tres arcos ó tramos hay cuatro cerchas, siendo las distancias entre los ejes de la 1.^a y 2.^a y entre la 3.^a y 4.^a 5^m,03 (16 pies y medio); mientras que la 2.^a y 3.^a, ó sean las centrales, distan 5^m,66 (12 pies).

Cada cerchia está compuesta (láminas 52 y 53) de dos arcos concéntricos colocados a 5^m,66 de eje á eje (12 pies ingleses), enlazados entre sí por riostras que forman con los arcos un sistema triangular. Dichos arcos son tubos de acero que tienen exteriormente el diámetro uniforme de 0^m,457 (18 pulgadas inglesas), los cuales están formados de trozos de 5^m,66 (12 pies) de longitud próximamente, reunidos por manguitos, habiendo 44 de estos trozos en cada tubo de las cerchas centrales y 42 en los laterales (1). El interior del manguito está labrado formando tuerca, y las extremidades de los trozos de tubo formando tornillo, por cuyo medio se enlazan entre sí; siendo de advertir que los manguitos están compuestos de dos mitades unidas por bridas longitudinales, lo cual facilita el montaje. La pequeña longitud de estos trozos respecto al arco del puente ha permitido hacerlas rectilíneas, obteniéndose la curvatura general por medio de los manguitos, cuyas tuercas están labradas al efecto de modo que cada dos trozos consecutivos formen un pequeño ángulo, y el conjunto forma un trozo de polígono regular de muchos lados que casi coincide con el arco de círculo. Hay que añadir que este arco difiere muy poco de una parábola. Por el medio de cada manguito y los

(1) Como la figura 1.^a de la lámina 33 es solo un croquis que tiene por objeto dar una idea general del puente y sus dimensiones principales, para mayor claridad aparecen en ellas divididos los tubos de las cerchas en un número de partes algo menor que los 42 y 44 indicados.

extremos de los tubos contiguos que se unen al tope, atraviesa un perno ó pasador de acero perpendicularmente al plano de los arcos del puente, en cuyas extremidades se articulan las riostras que enlazan, formando sistema triangular, los dos arcos de cada cercha, y en los correspondientes al arco superior se articulan además los montantes verticales que sostienen los pisos del puente, que tienen un pequeño juego alrededor de las articulaciones. Tanto las riostras como los montantes son de hierro, y cada una de ambas clases de piezas son, digámoslo así, dobles, es decir, formadas de dos barras paralelas una á cada lado de los arcos tubulares que quedan así comprendidos entre ellos, estando enlazadas dichas barras para su mayor rigidez por pequeñas riostras en forma triangular.

Considerados los tubos en su sección transversal, están formados en cada trozo de seis segmentos de acero laminado (véase fig. 2.^a lámina 53), que tienen la longitud 5^m,66 del trozo, una anchura máxima de 0^m,24 y un espesor que varía gradualmente entre 0,058 y 0,062, correspondiendo esta última dimensión á los trozos de tubo de los arranques de los arcos. Los segmentos indicados se enlazan por un forro ó envoltorio de palastro de acero de 0,006 de espesor y además por tres órdenes de pasadores que cada uno enlaza los segmentos diametralmente opuestos. Como el diámetro exterior de los tubos es uniforme, se comprende que para resistir con la posible uniformidad los esfuerzos variables á que los arcos están sometidos, se haya hecho también variable el espesor de los segmentos de acero.

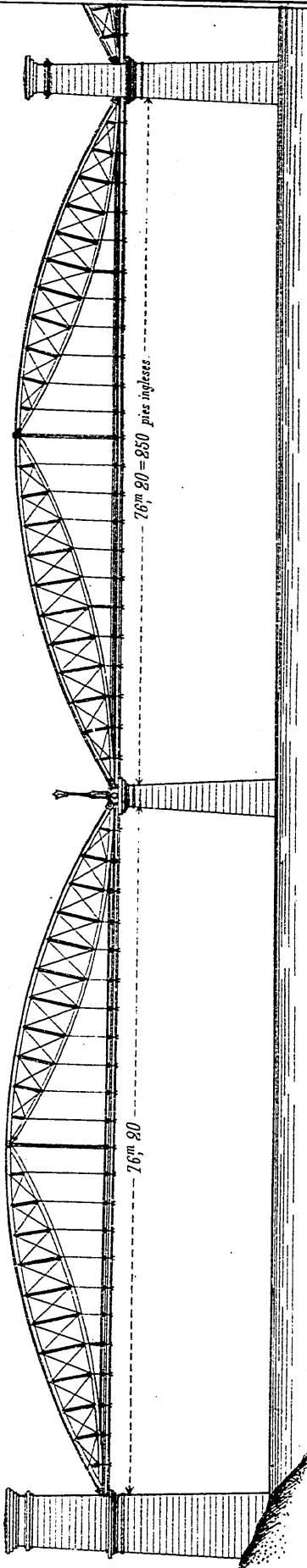
Los diversos trozos se trajeron fabricados en la forma indicada al pie de obra, de modo que para armar las cerchas había que empalmarlos unos con otros por medio de los manguitos y demás piezas, según explicaremos más adelante.

Las cuatro cerchas que forman cada tramo se entrelazan entre sí por diversos sistemas de riostras. Unas son prolongación de los pernos ó pasadores que atraviesan por los manguitos formando de cada orden de ellos en las cuatro cerchas una pieza continua; otras entrelazan á estas piezas en forma de aspas desde el tubo superior de una cercha al inferior de otra y viceversa; otras riostras enlazan entre sí, bien sea los tubos inferiores de las diversas cerchas ó los tubos superiores; otras entrelazan los montantes de las diferentes cerchas, otras dan rigidez á los pisos, etc., etc., debiendo advertirse que muchas de ellas están formadas de

SISTEMA DEL PUENTE DEL CAPITAN JAMES B. EADS.

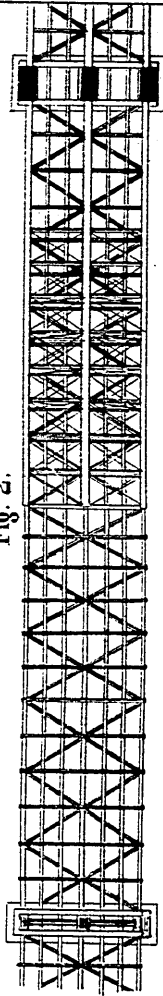
Alzado.

Fig.^a 1.^a

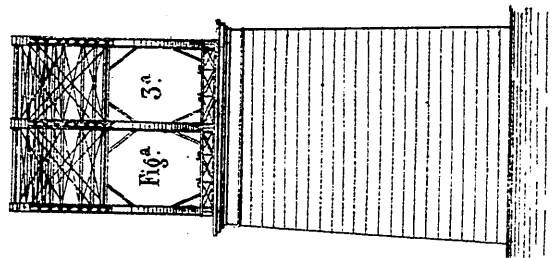


Proyeccion horizontal y corte.

Fig.^a 2.^a



Seccion transversal y proyeccion en el mismo plano.



Detalle de los arranques sobre una pila sencilla.

Fig.^a 4.^a

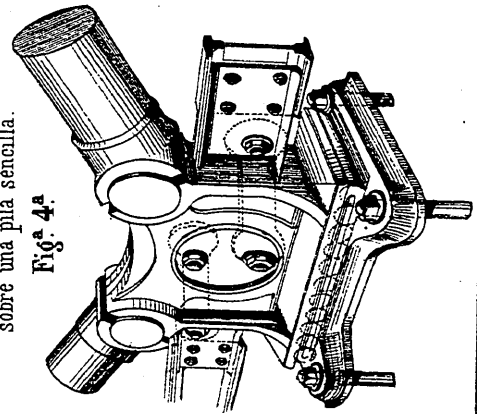


Fig.^a 5.^a

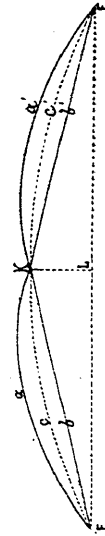
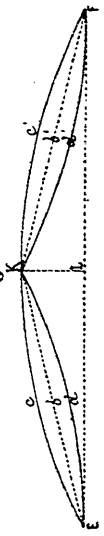


Fig.^a 6.^a



dos partes unidas con un tensor á fin de templarlas convenientemente al tiempo de montar el puente, ó en la época que se desee.

Los montantes verticales sirven de apoyo á las viguetas que forman los dos pisos, segun se puede ver en la lámina 52, que es una perspectiva del estribo y avenida Oeste y principio del primer arco, tomada de una lámina que nos proporcionaron en San Luis. En ella se ven los arcos de la avenida, que son de sillería, terminando en unas torres que sirven para la comunicacion de las márgenes del rio con los dos pisos del puente. Tanto las arcadas como las expresadas torres son iguales en el estribo del Este, pero á partir de las torres continúa la avenida Oeste al traves de la poblacion con algunos arcos más y un muro al final que termina pronto para dar principio al túnel que atraviesa la ciudad de San Luis en 1.488 metros de longitud, mientras que en la margen izquierda, ó sea del Este, despues de las torres continúan los muros de sostenimiento disminuyendo su altura para alcanzar las rasantes naturales del terreno en el Este del rio, que son muy llanas.

La Compañía formada para la construccion del puente contrató su parte metálica con la titulada Keystone Bridge Company, de Pittsburg, que á su vez contrató con un establecimiento cercano á Filadelfia el suministro de acero. La cantidad necesaria de este material era de 2.500 toneladas próximamente, y para su suministro hubo muchas dificultades por las condiciones de resistencia exigidas.

Primeramente se necesitaron 60 grandes pernos ó pasadores, destinados á asegurar las placas de asiento de los salmeres á la fábrica de los estribos ó pilas, pues es de advertir, segun más adelante detallaremos, que hay momentos en que por efecto de las variaciones de temperatura obrarán los arcos por tension en sus arranques, de modo que era de absoluta necesidad el asegurarlos fuertemente á la obra de fábrica. El diámetro de los pasadores era 0^m,15, su longitud variaba entre 6^m,70 y 11 metros, debiendo soportar cada uno una tension de prueba de 519 toneladas, doble del esfuerzo máximo á que podian estar sujetos, volviendo en seguida á su longitud primitiva. Los primeros que se fabricaron no satisfacian á esta condicion, habiendo sido preciso para conseguirlo introducir muchas modificaciones en los elementos y modo de fabricacion del acero.

Tambien hubo muchas dificultades para el ace-

ro de los tubos; los primeros segmentos que se fabricaron no tenian la resistencia necesaria, lo que exigió variar los procedimientos de fabricacion, alterando las proporciones del hierro y carbon sin conseguir tampoco el resultado apetecido, recurriendo finalmente á ensayar el acero crómico compuesto de hierro y cromo en lugar de hierro y carbon, que forman el acero comun, obteniéndose buen resultado. En su consecuencia se decidió la Compañía al empleo del acero crómico, haciendo las negociaciones necesarias con M. Bauer, que tenia el privilegio de invencion.

En la opinion del Ingeniero Jefe M. Eads, la superioridad del acero crómico estriba en que el cromo tiene muy poca afinidad con el oxígeno, y por consiguiente no está expuesto como el carbon á oxidarse y separarse del hierro cuando éste se halla incandescente para fabricar el acero, reuniendo ademas la ventaja de prestarse más al laminado que el acero comun. El citado Ingeniero visitó previamente el célebre establecimiento aleman de M. Krupp, así como el frances de Petin Gaudet y compañía, en los cuales le aseguraron que con el acero carburado obtendria la resistencia requerida que, segun se ha visto, no consiguió.

Con el acero crómico se obtuvo tambien mayor uniformidad en la fabricacion, su resistencia á la tension es muy superior á la señalada en el pliego de condiciones, y la relativa á la compresion es, segun M. Eads, extraordinaria.

No es sólo la fabricacion del acero para las construcciones la que ha dado un gran paso con motivo de la construccion del puente que tratamos, pues tambien ha habido que mejorar allí los procedimientos de fabricacion del hierro para obtener la resistencia á la rotura de 42 kilogramos por milímetro cuadrado, exigida para las riostras que enlazan los arcos superiores á los inferiores. Las primeras que se fabricaron se rompieron con un esfuerzo de 34 á 38 kilogramos por milímetro cuadrado, habiendo sido necesarios muchos ensayos para obtener la resistencia de 42 kilogramos.

EVARISTO DE CHURUCA.

(Se continuará.)

FILADELFIA.

Elegida la ciudad de Filadelfia para la celebracion de la Exposicion Universal de 1876, creo no esté fuera de este lugar dar una idea de su fundacion, crecimiento, comercio é industria.

ESTRIBO OESTE Y PRINCIPIO DE UN ARCO DEL PUENTE DE S^N LUIS SOBRE EL MISISIPÍ.