

# REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**DIRECTOR**

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

**COLABORADORES**

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

GRANDES TUBERÍAS DE HORMIGÓN ARMADO

## El sifón de Albelda en el Canal de Aragón y Cataluña

POR SU AUTOR Y CONSTRUCTOR

**DON MARIANO LUÑA**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

En el último de los artículos que he publicado en la REVISTA (1) sobre aquella portentosa fábrica del Canal de Aragón y Cataluña que se llama el Sifón del Sosa, proyectada y del Sifón durante un gran lapso de tiempo, para deducir de todo ello, de su estructura y de su resultado práctico, la norma que podría servir en lo sucesivo para componer los pro-

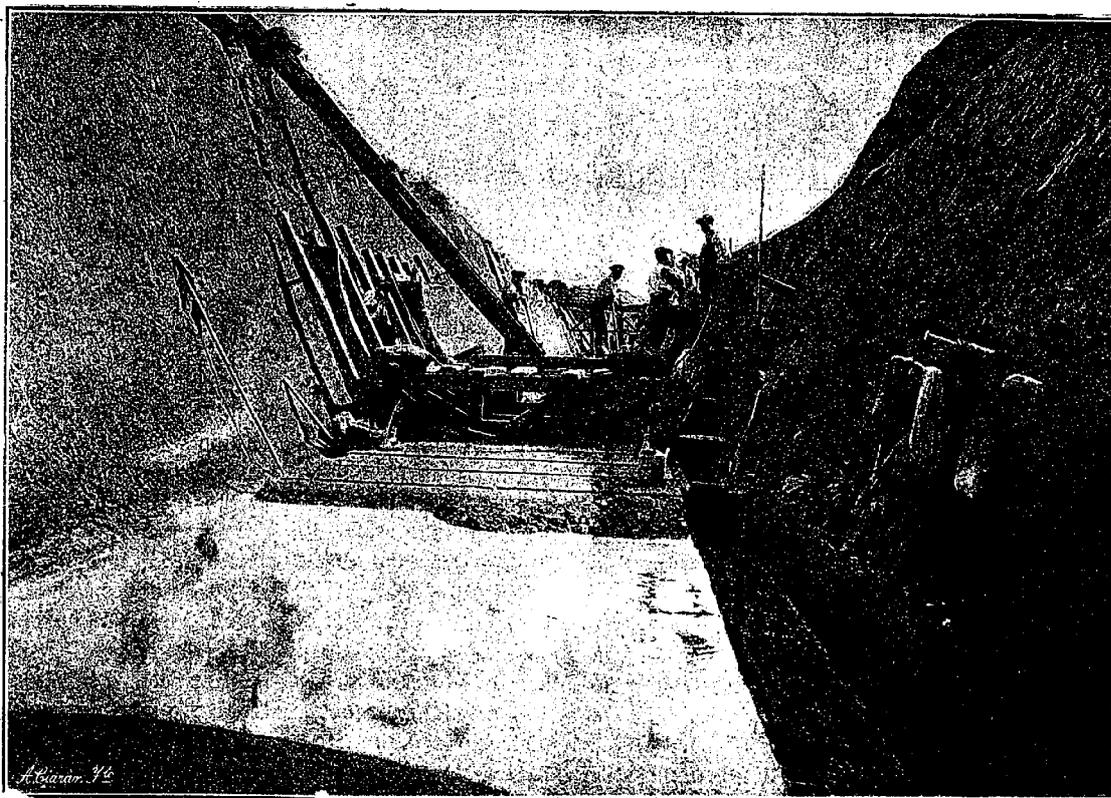


Fig. 15.—Enlucido de la solera, mchinas transversales y moldes de cama y colector.—(Las fotografías son propiedad del Sr. Luña.)

ejecutada por mí el año 1905, anunciaba la publicación de otro artículo en el que había de referir el comportamiento

yectos de grandes tuberías forzadas de hormigón armado.

Pero antes de que hubiese transcurrido el tiempo que yo estimaba necesario para dar mayor autoridad á las conclu-

(1) Véanse los números 1.588-92-97, 1 600-2-7-9, año de 1906.

siones de mi estudio, sin que pudiesen ser tachadas de prematuras, la Dirección general de Obras públicas, desoyendo á los agoreros, que siempre surgen en la crítica de las grandes obras, tratando vanamente de rebajar su mérito hasta el menguado nivel de su intelecto, anunció un nuevo concurso para el proyecto y ejecución de otro Sifón, el Sifón de Albelda, más importante todavía que el del Sosa.

Las bases de este concurso, estudiadas por la Dirección del Canal, traducían el juicio que ésta tenía formado respecto á determinados puntos que yo había de tratar en aquel artículo, todavía inédito. Y aunque para el caso concreto del Sifón de Albelda la conformidad era absoluta entre lo que ellas establecían y lo que yo había de sostener en dicho artículo, disentan bastante nuestros pareceres en la manera de apreciar determinados puntos, que son esenciales, por servir de partida á consecuencias que, en casos diferentes al de Albelda, serían seguramente inaceptables.

Con arreglo á lo que preceptuaban dichas bases, estudié y redacté, después de haber visitado el emplazamiento de la nueva obra, el proyecto que con ligeras modificaciones mereció el honor de ser aceptado y aprobado por la Superioridad, llevándolo luego á su realización con mi presencia continua en la obra durante el desarrollo de los trabajos.

Considerando que podría contribuir y contribuiría seguramente á dar mayor autoridad á las conclusiones de mi referido artículo la experiencia que se obtuviere con el Sifón de Albelda, determiné aplazar la publicación de aquél hasta que éste estuviese terminado y probado, y hasta que hubiese transcurrido el tiempo necesario para conocer su comportamiento.

De esto y de otras consideraciones resultó la coincidencia de tener que publicar dicho artículo al mismo tiempo que la descripción de la nueva obra. En efecto, poco después de probada ésta con tan clamoroso éxito como la del Sosa, fué requerido para presentar algún trabajo en la na- ciente *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* con motivo de la celebración de su II Congreso en la ciudad de Valencia, y estimando que tenía un lugar apropiado en la Sección de *Ciencias aplicadas* la descripción de una obra como el Sifón de Albelda, que representa un verdadero y notabilísimo *progreso* de la ciencia constructiva española, no he titubeado en acceder á la honrosa demanda y me propuse ofrecer las primicias de la descripción de esta obra á dicha patriótica *Asociación* en el Congreso que había de celebrar durante el mes de Octubre último en la bella ciudad del Turia.

Por circunstancias que no son del caso, dicho Congreso no pudo celebrarse hasta el mes de Mayo último, habiéndome abstenido de publicar, en todo el tiempo transcurrido, nada que á dicha obra se refiriese.

Cumplido aquel propósito en la Conferencia, con proyecciones, que di recientemente en el Paraninfo de aquella insigne Universidad, es ahora ocasión oportuna para dar noticia en la *REVISTA* del Sifón de Albelda, describiendo el proyecto realizado y los medios de llevarlo á cabo.

Esta descripción, en la parte referente á la exposición del proyecto, tendrá la ventaja de servir de corrección á la que ha visto recientemente la luz en la *REVISTA*, llena de inexactitudes, hasta en las figuras que la ilustran; y en la parte que corresponde á la realización de dicho proyecto, que es la verdaderamente interesante, expondré cosas que ni siquiera se tocan en aquel trabajo, por la dificultad natu-

ral de poder decir nada acerca de lo que no se conoce.

No se crea, sin embargo, que la descripción que ahora intento ha de tener los minuciosos desarrollos que expuse en la del Sifón del Sosa. Me limitaré á una descripción breve, pero detallada, sin comentarios ni justificaciones de los medios empleados para ejecutar la obra, á fin de no alargar considerablemente este trabajo.

Dichos comentarios y justificaciones, así como el estudio de los resultados prácticos de los dos Sifones, los reservo para un libro que publicaré pronto, en el cual detallaré todos los puntos que ahora omito y en él discutiré las normas á que me refería al principio, considerándolas como bases á que habrán de ajustarse en lo sucesivo los proyectos de grandes tuberías de hormigón armado.

### Descripción del proyecto.

Mi proyecto consiste en un tubo continuo sin juntas ni camisa de palastro, excepto en una pequeña parte de su longitud, de 4 metros de diámetro interior, 30 metros de carga de agua y unos 725 metros de longitud (figs. 1.ª, 2.ª y 3.ª).

El espesor del tubo es de 200 milímetros, distribuidos así:

1.º Un enlucido interior, de mortero de cemento, de 15 milímetros.

2.º Una envolvente exterior, de hormigón armado, de 185 milímetros.

La armadura de esta envolvente se compone de círculos aislados de sección en T, como directrices, variando sus secciones y separaciones con las presiones, y de generatrices de redondos con ataduras de alambre en todos sus cruces.

El tubo se apoya sobre un cimiento ó *cama* de hormigón ordinario, que lo envuelve en toda su parte inferior hasta el diámetro horizontal.

La concepción general de la obra es absolutamente diferente que la del Sosa, por cuanto en ésta se exigía una impermeabilidad absoluta, que se fiaba á la camisa continua de palastro, soldada autógenamente (si bien se sacrificó luego esta impermeabilidad adoptando el roblado en dicha camisa), y en Albelda las bases del concurso admitían una tolerancia de filtraciones cuya cuantía habían de fijar los autores de los proyectos. Yo he fijado la tolerancia de permeabilidad en 5 litros por segundo, que debían reducirse á 3 al cabo de dos meses de la carga.

Por este motivo en Albelda no hay camisa continua de palastro. Pero por lo mismo que se admitían las filtraciones era indispensable disponerlo todo de modo que pudiesen recogerse fácilmente antes de que pudieran alcanzar el terreno natural.

Con tal objeto he dispuesto á la derecha de la cama un colector visitable (fig. 4.ª) y en el lado izquierdo he dejado entre la cama y el talud de la excavación un espacio que se rellena de piedra en seco para formar un dren. La parte inferior de éste comunica con el colector por medio de mechinales transversales ó pequeños canalizos de 0,10 metros por 0,10 metros, situados cada 1,20 metros de distancia (figs. 4.ª y 5.ª); estos mechinales están cubiertos con tapas de hormigón de 0,02 metros de grueso, cuya cara superior resulta tangente al semicírculo que limita la cama, y, por consiguiente, tangente también al tubo (figs. 4.ª y 6.ª). El espesor de la cama en su parte inferior es de 0,30 metros; los 0,10 metros superiores están ocupados por los mechinales transversales, y los 0,20 metros restantes forman la so-

lera de la cama, que se prolonga por la izquierda hasta la base del talud de la excavación y sube unos 0,15 metros siguiendo este talud (figs. 4.ª y 6.ª).

Realmente, el espesor de la solera es un espesor medio, porque la superficie superior de ella está en pendiente hacia el colector y lleva un enlucido de mortero de cemento de 0,01 metros de grueso, comprendido en dicho espesor, de suerte que éste es de 0,20 metros (0,19 metros de hormigón y 0,01 metros de enlucido) en el eje del Sifón, de 0,19 metros en el borde del colector, 1,60 metros á la derecha del eje y de 0,21 metros á 1,60 á la izquierda de dicho eje. (Figuras 4.ª y 6.ª)

De aquí resulta que los mechinales transversales tienen 0,09 metros de altura (0,07 metros libre y 0,02 metros de la placa ó tapa) en su origen y 0,11 metros (0,09 metros libres) en su extremo, al desembocar en el colector.

colector por medio de grandes agujeros ó mechinales casi verticales en forma de embudo invertido (figs. 4.ª y 5.ª).

El semicírculo superior del tubo está recubierto de piedra partida en toda su longitud, con un espesor de 0,20 metros, apoyándose sobre cordones de piedra más gruesa, como la del dren lateral, situados sobre los bordes superiores de la cama (fig. 7.ª) y recubierta por un terraplén. Se forma así otro dren superior, que tiene por objeto amortiguar la fuerza viva de los chorros de agua que podrían salir del Sifón, destruyéndola y obligando á estas filtraciones á descender tranquilamente por los costados del tubo, sin mojar el terraplén, hasta los bordes superiores de la cama.

Las filtraciones del lado izquierdo del eje del Sifón bajarán por el dren lateral de la cama y atravesarán ésta por debajo del tubo, siguiendo los mechinales transversales para ir al colector. Las del lado derecho del Sifón bajarán

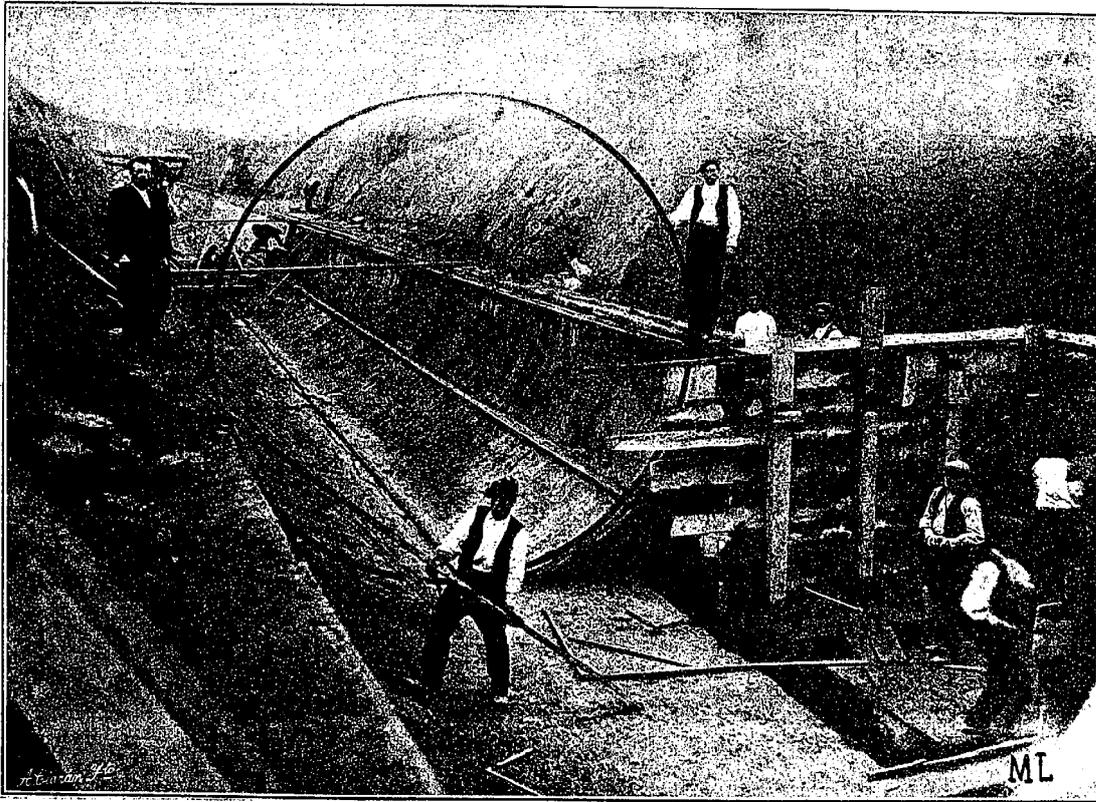


Fig. 18.—Maestras de la cama para la armadura.

Esta solera de la cama es de hormigón bastante rico en cemento lento natural (250 kilogramos por metro cúbico) para la impermeabilidad, garantizada en lo posible con el enlucido superior y con la inclinación. Todo con objeto de evitar que las filtraciones lleguen al fondo de la zanja y empapan el terreno natural, que podría sufrir asentamientos.

La parte superior á la solera es de hormigón que sólo contiene 150 kilogramos de cemento lento natural por metro cúbico, á fin de que resulte poroso y no se oponga al paso de las filtraciones.

Esta disposición de la parte inferior de la cama se extiende á toda la longitud del Sifón.

El borde superior derecho de la cama lleva un canalizo semicircular para conducir las aguas que puedan acumularse en él, y cada 1,50 metros está en comunicación con el

directamente al colector por los mechinales verticales que comunican éste con el borde derecho de la cama.

Se ve, pues, cómo el colector recoge absolutamente todas las filtraciones que pueda producir el Sifón y todas las aguas, bien de lluvia, que atraviesen el terraplén, bien de los costados de la excavación. El murete lateral del colector que forma el costado derecho de la cama lleva á este efecto mechinales tronco cónicos situados de metro en metro, al tresholillo.

Para la visita del colector he dispuesto 12 registros de bajada, inclinados según el talud de la cama (figs. 1.ª, 2.ª y 8.ª), constituidos por tubos de hormigón de 1,00 metro de diámetro interior y paredes de 0,10 metros de grueso, con escaleras de hierro de bajada y puertas de palastro con sus llaves.

Toda el agua recogida por el colector se reúne en la parte más baja del Sifón, en la cual he dispuesto la *cámara de llaves y descarga* (figs. 1.ª, 9.ª y 10), que consiste en un espacio de 3,00 metros por 4,00 metros, cubierto por una bóveda en cañón. El piso es de hormigón armado, y sirve de tapamento á un pozo bastante profundo, al cual van á parar por dos canales las aguas reunidas en el colector.

En esta cámara se encuentran los dos tubos de descarga del Sifón, de 0,30 metros de diámetro, tangentes á la parte baja de aquél; estos tubos llevan sus llaves de maniobra y terminan en codos que penetran algo en el pozo citado, cuyo objeto es amortiguar las proyecciones de agua durante la descarga. En esta misma cámara se encuentra el agujero de visita de 0,60 metros de diámetro, próximo al diámetro ho-

La *galería de descarga* (figs. 3.ª, 9.ª, 10, 11 y 12) comienza en esta cámara de llaves á cierta altura bajo el nivel del agua en el pozo amortiguador de descarga, y es visitable, teniendo 0,80 metros de anchura por 1,70 metros de altura libres en su primera parte, en túnel, de unos 125 metros de longitud; y 0,80 metros de anchura y 0,40 metros de altura en el resto, que es canal descubierto.

Esta galería se reúne con el *canal de desagüe* de la cámara de entrada del Sifón (fig. 3.ª); y con solos 0,30 metros de altura de agua, la galería y canal de descarga del Sifón dan paso al gasto necesario para vaciar el tubo en seis horas.

La *cámara ó cabeza de entrada* del Sifón consiste en un depósito de agua contenida por muros de sección análoga á



Fig. 20.—Ejecución de la armadura.

rizontal del Sifón; su cierre es una placa de acero fundido, con nervios.

En los extremos del murete que separa esta cámara de llaves y el colector hay dos puertas de comunicación entre ambos. La una permite el paso á la parte del colector comprendida entre dicha cámara y el principio del Sifón; la otra da paso á la parte que está comprendida entre aquélla y la salida de éste. Con estos dos son 14 los sitios de acceso al colector.

Para bajar á la cámara de llaves he dispuesto un registro vertical análogo á los que existen para visitar el colector, que sobresale 2,80 metros sobre el terreno, con su puerta metálica de entrada, de 1,80 metros por 0,60 metros, su escalera de hierro y su claraboya de cristales y tela metálica de protección. La cámara resulta perfectamente iluminada á pesar de estar á bastante profundidad bajo el terreno.

los de las presas (figs. 13 y 14). Tiene 25 metros de longitud, 4,60 metros de anchura y 3,50 metros de calado. Su anchura está dividida en dos partes iguales de 2 metros por una *pila* de 0,60 metros de espesor, situada cerca de la entrada al Sifón; esta división tiene por objeto facilitar la maniobra de las *compuertas*.

Estas compuertas son de *viguetas* superpuestas, en doble T y tacos de madera en sus extremos, que deslizan en guías de fundición. Para la maniobra hay en la parte alta pasarelas de hormigón armado con barandillas metálicas.

La parte anterior está cubierta con un piso de hormigón armado. En la parte central de la superficie que enlaza la cámara con el Sifón hay escaleras que permiten el acceso á éste.

Delante de la pila que separa las compuertas de entrada al Sifón he dispuesto una *rejilla* que impide el paso de los cuerpos flotantes al interior del tubo.

En esta cámara hay, además, un *desagüe lateral* para vaciar el canal, sin que el agua penetre en el Sifón, cuando sea esto necesario.

Este desagüe se compone de dos compuertas de viguetas, análogas á las de entrada al Sifón, pero de 2,50 metros de luz, en vez de los 2 metros que tienen aquéllas.

Otra pasarela, también de hormigón armado, con sus banderillas metálicas, constituye el piso de maniobra de estas compuertas.

El agua que escapa por el desagüe lateral continúa por un canal de gran pendiente y con bastantes saltos bruscos ó rápidos hasta su unión con la galería de desagüe del Sifón y sigue aún valle abajo durante varios kilómetros.

La cámara de salida es análoga á la de entrada, pero no

Prescindo de hablar de los movimientos de tierra para abrir la trinchera, y paso á la ejecución de la

*Cama y colector.*—La cama es continua como el tubo; pero la he ejecutado en trozos de 6 metros de longitud.

Una brigada de hormigoneros empezaba ejecutando la solera del colector y los muretes laterales de éste hasta unos 0,60 metros de altura. Otra brigada ejecutaba después la solera de la cama, sobre la cual los albañiles aplicaban en seguida el enlucido correspondiente (fig. 15), enluciendo también la solera y muretes laterales del colector.

Otra brigada ejecutaba sobre la solera de la cama la parte de 0,10 metros de espesor, con sus mechinales transversales. Las tapas de éstos se construían en taller aparte, y se colocaban en sus sitios á medida que se descimbraban los

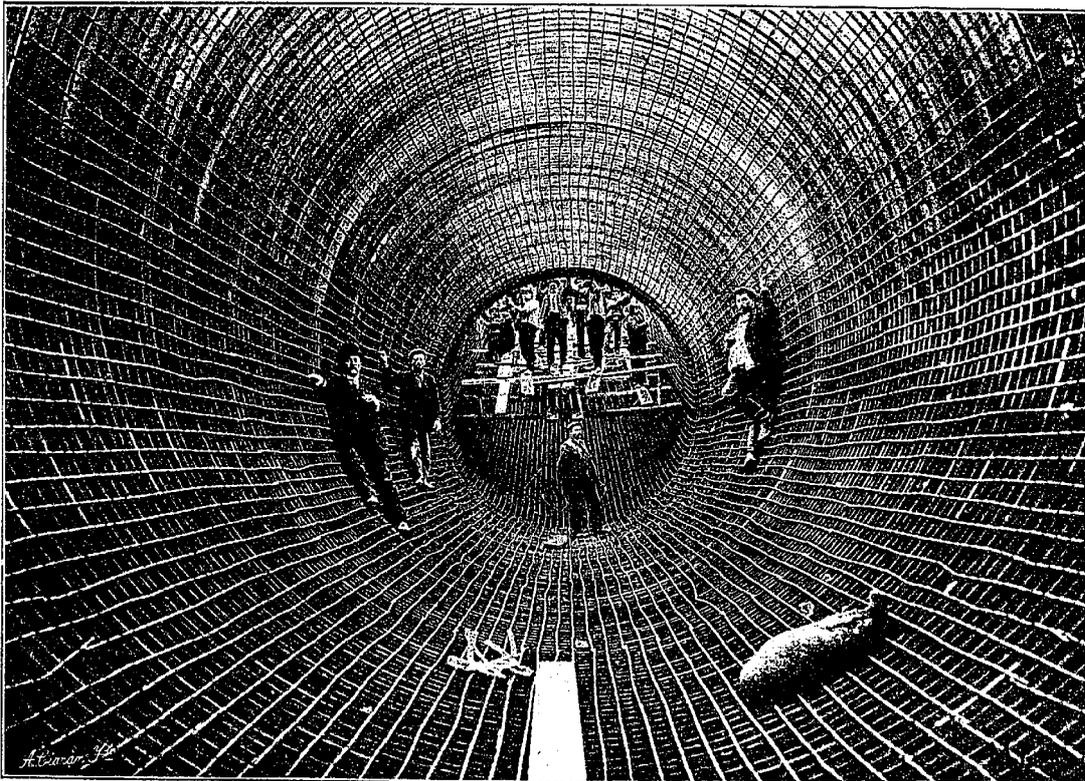


Fig. 22.—Armadura interior en un cambio brusco de rasante.

tiene desagüe lateral ni rejilla. Su longitud es sólo de 11,30 metros y su calado de 3,067 metros. La anchura es también de 4,60 metros, dividida en dos partes iguales por una pila de 0,60 metros.

El enlace de las cámaras de entrada y salida con el resto del canal se hace por medio de paraboloides, en terraplén el de entrada y en trinchera el de salida.

### Ejecución del Sifón.

Terminada la descripción del proyecto, examinaré sucesivamente las diferentes fases de ejecución de esta importantísima obra, sin rival actualmente, que yo sepa, en todo el mundo. La he ejecutado rápidamente por procedimientos de extrema sencillez y de alguna originalidad, como se verá en lo que sigue.

mechinales. Al propio tiempo se colocaba cuidadosamente, á mano, la parte inferior del dren lateral de piedra en seco (figura 16), dejando libres las entradas de los mechinales.

Colocadas las tapas de dichos mechinales, una brigada de carpinteros presentaba los moldes de madera que permitían ejecutar la parte superior de la cama y del colector. Estos moldes constaban de una parte inferior en forma de cuna, dos partes laterales interiores, una parte lateral exterior (figs. 15 y 16), el molde del colector y, finalmente, un testero de igual sección que la cama y colector.

Los carpinteros situaban primero el testero en el eje del Sifón, luego la parte inferior del molde, el molde del colector y los nervios inclinados del tablero lateral que separa la cama del talud de la trinchera.

Una brigada de hormigoneros rellenaba entonces de hormigón, apisonándolo, los espacios comprendidos entre los moldes, con precauciones especiales que no tengo tiempo de

detallar aquí. Esta misma brigada colocaba las tablas del tablero lateral exterior, apoyadas en los nervios, á medida que eran necesarias; colocaba también las partes superiores interiores del molde de la cama y los moldes de los mecánicos casi verticales entre el borde de la cama y el colector. Se proseguía rellenando de hormigón los espacios resultantes, dejando en semicírculo el borde derecho de la cama en su parte central.

Descimbrado un trozo de cama de 6 metros, se proseguía la ejecución de ésta avanzando el molde, y entonces se tiraba la piedra en seco que rellenaba el espacio entre la cama recién ejecutada y el talud de la trinchera, quedando así terminado el dren lateral.

Este trabajo fué muy penoso en los 60 metros inferiores del Sifón, 30 metros á cada lado de la cámara de llaves, porque se presentaron filtraciones abundantes, debidas á verdaderos manantiales que nacían en el borde inferior izquierdo de la trinchera, por debajo del dren lateral. Todos estos manantiales fueron recogidos, captando sus aguas con drenajes que atraviesan por debajo de la cama y van á parar al pozo amortiguador de la cámara de llaves, dándoles paso por la galería de desagüe.

Continuando esta descripción por el orden con que fueron ejecutadas las diversas partes de la obra, paso á las

**Cámaras ó cabezas de entrada y salida del Sifón.**—Estas cámaras fueron ejecutadas con anterioridad al tubo. En sus muros de frente he dejado los espacios abovedados necesarios para empotrar en su día el Sifón con huelgos que permitiesen el moldeo de éste en los 3,50 metros que penetra en dichos muros.

No he dispuesto ningún abocinamiento de los extremos del Sifón en su enlace con estas cámaras. Hay solamente superficies de acuerdo entre las paredes de aquéllas y el tubo.

Las soleras de las cámaras están á la misma altura, y la pérdida de carga del Sifón, que es de 0,433 metros, se traduce, como ya se ha podido notar al hablar de los calados de agua en dichas cámaras, en una disminución del calado á la salida del Sifón.

Los muros de contorno de estas cámaras son de hormigón ordinario con 200 kilos de cemento lento artificial por metro cúbico y están coronados por una cornisa decorativa en sus partes anteriores.

**Armadura.**—Las directrices son círculos ó aros independientes, de acero simple T, con las secciones y á las secciones siguientes:

PRESIONES	Dimensiones de los círculos en T.	Separaciones de eje á eje.	Separaciones entre bordes.
10.....	35 × 35 × 4,5 m/m.	0m,143	0m,108
15.....	40 × 40 × 5 "	0m,125	0m,085
20.....	45 × 45 × 5,5 "	0m,111	0m,066
25.....	50 × 50 × 6 "	0m,111	0m,061
30.....	50 × 50 × 6 "	0m,098	0m,043

Las generatrices son redondos de acero de 8 milímetros de diámetro para las presiones de 10 y 15 metros, de 10 milímetros para las de 20 y 25 metros y de 12 milímetros para la de 30 metros.

Hay 124 generatrices en el tubo, igualmente repartidas sobre la circunferencia.

Las longitudes de las diferentes zonas de presión son las siguientes:

Presión de			Total.
10 metros.	9m,458 (á la entrada).	+ 9m,468 (á la salida).	= 18m,926
15 idem...	19m,498 "	+ 19m,492 "	= 38m,990
20 idem...	19m,465 "	+ 25m,170 "	= 44m,635
25 idem...	92m,715 "	+ 230m,909 "	= 323m,624
30 idem...	181m,872 (antes de la descarga).	+ 160m,479 (después de la descarga).	= 293m,351
	273m,008 (antes de la descarga).	+ 451m,518 (después de la descarga).	= 724m,526

El número total de aros es de 7.000 poco más ó menos. Estos aros estaban formados por dos semiaros iguales, curvados en fábrica, con el nervio hacia adentro, de suerte que el diámetro exterior fuese para todos igual á 4,28 metros. Los extremos tenían tres agujeros. Cada dos semiaros se unían por medio de bridas y roblones, de secciones convenientes, colocados en caliente á pie de obra.

El transporte de los semiaros desde la fábrica de *La Felguera* (Asturias) á la obra se hacía por tren hasta Gijón; por mar, de Gijón á Tarragona; por tren, desde Tarragona á Binéfar (línea de Lérida á Zaragoza), y por carros, con andamios apropiados, desde Binéfar á pie de obra, distante 16 kilómetros, de los cuales 12, hasta Tamarite, eran de buena carretera, y 4 kilómetros por camino muy malo hasta la obra.

Para corregir las pequeñas deformaciones de los aros en su largo y accidentado viaje he dispuesto sobre las explanadas de preparación *E*, *E*, y *E*, (fig. 3.), conformadores de madera muy sólidos (fig. 17), por medio de los cuales se rectificaba perfectamente la curvatura.

Tenía vivo empeño en colocar los aros en su posición definitiva con gran exactitud, pues de ello dependía, en gran parte, el éxito del Sifón. He conseguido llegar á una perfección casi absoluta en esta parte tan importante del Sifón. Veamos de qué manera tan sencilla:

Teniendo la cama 4,40 metros de diámetro y los aros, concéntricos con ella, 4,28 metros, la separación entre ambos es de 0,06 metros. Á fin de conservarla constante en todo el sifón, he dispuesto en la cama cinco maestras longitudinales de hormigón de 0,06 metros de saliente (fig. 18), ejecutada con gran esmero para corregir las inevitables imperfecciones en el moldeo de la cama. Allí donde era preciso, se rectificaba la forma de ésta, de suerte que en ningún punto las maestras resaltasen de ella menos de 6 centímetros.

El moldeo de estas maestras exigía, en primer lugar, el picado de las camas en fajas longitudinales para aumentar la adherencia; un patrón semicircular de 4,28 metros de diámetro exterior para comprobar la situación de las maestras; moldes adecuados á las diferentes maestras, puesto que la inferior es rectangular y las otras trapeciales, siendo circular el lado interior de todas; y, por último, los medios de sostener estos moldes. Todo ello se detalla en la figura 18.

Colocando los aros sobre estas maestras, quedaban fijos por su adherencia con ellas, pero faltaba colocarlos á las separaciones necesarias.

Con este objeto hice construir en la fábricas patrones, maestras ó reglas metálicas, de perfil angular, con muescas,

en forma de sierra, á las separaciones que corresponden á las diferentes zonas de presión (fig. 19). Presentados los aros en sus sitios aproximadamente, se les obligaba á encajarse con sus nervios en las muescas de las maestras metálicas. Se hacía esta operación sobre la generatriz inferior del tubo y sobre las otras generatrices que se corresponden con las maestras de la cama (fig. 20, primer término).

Hecho esto, se iba colocando en sus sitios las generatrices de redondos, empezando por las dos inferiores, simétricas de la maestra inferior de la cama. Para separar estas generatrices lo que correspondía, empleé maestras metálicas, análogas á las anteriores, todas iguales, pero con la curvatura correspondiente (fig. 21).

Al tiempo de ir colocando las generatrices, la brigada correspondiente hacía las ataduras de ellas con los aros en

andamios que empleé y se ve cómo los obreros ejecutaban el trabajo.

La figura 23 representa una vista exterior de la armadura. Á la derecha se ve uno de los registros de bajada al colector y en el fondo se ve la cámara ó cabeza de salida, con el espacio preparado para recibir el tubo.

La armadura fué colocada en su casi totalidad antes del moldeo del Sifón, interrumpiéndola en varios sitios para facilitar el trabajo en su interior, que era enorme, como se verá más adelante.

La exactitud en la colocación de la armadura se traducía en su interior por una uniformidad absoluta en la repartición de la luz, lo que permitía obtener fotografías con gran seguridad.

Para dar idea clara, sin escala, de las dimensiones ex-

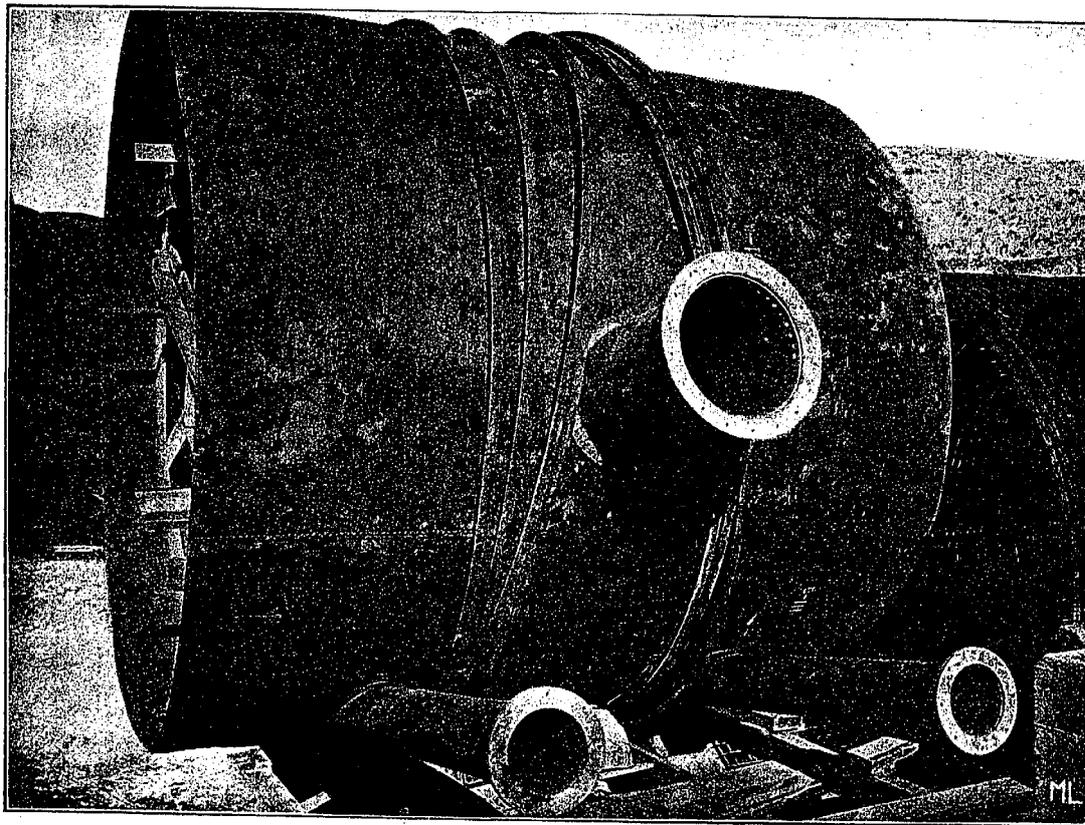


Fig. 25.—Camisa de palastro y tubos de servicio.

todos sus cruces, las cuales se elevaban al número de 900.000. Las ataduras eran dobles, en forma de cruz.

Á medida que se avanzaba en las ataduras ó sea en la constitución de la armadura definitiva, se podía ir separando sucesivamente las maestras metálicas rectas y curvas que ya no eran necesarias, y se continuaba avanzando con ellas. El avance se hacía por trozos de 7,50 metros de longitud, longitud de las generatrices. Éstas se colocaban de suerte que sus empalmes coincidiesen con el centro de la generatriz contigua.

Terminada la ejecución de la armadura en la mitad inferior del tubo se proseguía ejecutando estas mismas operaciones en la mitad superior, para lo cual se necesitaba formar andamios. En la figura 20 (segundo término), y sobre todo en la 22, que representa el interior de la armadura en un cambio de rasante del Sifón, se ve la estructura de los

traordinarias del Sifón, se me ocurrió hacer la fotografía indicada en la figura 24, que es original. Tres de los siete obreros que forman la sección animada, si vale la frase, del tubo, eran de elevadísima estatura.

Dicha fotografía la hice para enviarla á Mr. Patch, Ingeniero del Servicio de trabajos hidráulicos en los Estados Unidos, en pago á otra que él me remitió, que representa un sifón que dicho Servicio ha construído en aquel país, y en su primer término hay una persona á quien el tubo no llega más que á los hombros; dicho sifón tiene sólo 1,52 metros de diámetro.

*Camisa de palastro.*—En la parte más baja del Sifón, en frente de la cámara de llaves, la armadura lleva, además, una camisa de palastro, análoga á las del Sosa, pero en solos 4 metros de longitud.

He proyectado esta camisa para facilitar y asegurar los

empalmes del Sifón con las tuberías de servicio, á saber: las dos de descarga y el agujero de visita.

Dicha camisa se compone de tres virolas (fig. 25); las dos extremas tienen 1,40 metros de longitud, y la central, que las recubre, sólo tiene 1,20 metros. En el eje de esta virola central está dispuesto el agujero de visita, á la altura del diámetro horizontal próximamente; en las virolas extremas están los orificios de descarga, á 2,00 metros de separación entre sí, enrasando con la generatriz inferior del tubo.

Cada virola se compone de cuatro chapas de palastro, cosidas á pie de obra con roblones; pero las chapas llegaron preparadas de la fábrica, curvadas, con sus agujeros de servicio y con los agujeros para los roblones.

Después de preparar las virolas extremas y de darles la rigidez provisional necesaria para su transporte, se les aplicaba las chapas de la virola central, roblonándolas de modo que los agujeros de visita y de descarga ocupasen la posición relativa que les correspondía.

Hecho esto, se procedió á bajar la camisa de palastro á su emplazamiento por medio de cables y tornos, dada la gran pendiente de descenso. Pero en lugar de llevar la camisa á su posición definitiva, la coloqué provisionalmente sobre caballetes á un metro de altura por encima de la parte inferior de la cama, á fin de completar su armadura y la de los tubos adicionales de servicio, que son también de palastro y llevan armadura exterior de hierros perfilados.

Después de haber roblonado el tubo de visita á la camisa de palastro, se colocaron tres aros á cada lado de él en dicha camisa, que eran los que correspondían entre este orificio y los de descarga; hecho esto, ya se podía roblonar dichos tubos de descarga á la camisa de palastro y terminar toda su armadura exterior, que era completa, como si no existiese tal camisa de palastro, es decir, que el espesor de ésta no interviene (teóricamente al menos) en la resistencia.

Ultimada la armadura de la camisa de palastro, se suspendió ésta por medio de un carro fijo y poleas diferenciales; se quitó su apoyo provisional de caballetes y tablonés; y, por último, se la colocó sobre la cama, en su emplazamiento definitivo, interponiendo tacos de madera, cuidando de hacer todos los movimientos de modo que los tubos de descarga quedasen horizontales ó con pequeña inclinación hacia la cámara de llaves.

Hasta después de haber colocado esta parte de la armadura, cuya importancia no necesito encarecer por la delicadeza de las operaciones que ha exigido, se pudo avanzar considerablemente toda la armadura del Sifón, pues la de la parte anterior á la cámara de llaves no se había empezado en espera de ultimar la colocación de la camisa de palastro.

*Moldes interiores.*—En los artículos descriptivos del Sifón del Sosa he hecho resaltar la ventaja de las camisas de palastro desde el punto de vista del moldeo de la tubería. Dichas camisas, en efecto, desempeñaban el papel de moldes interiores después de haberles dado la rigidez necesaria con los mandriles extensibles, que ideé á este objeto, y los aros interiores provisionales.

Era ésta una gran ventaja, puesto que en tuberías de diámetros tan elevados, el principal problema que hay que resolver es el del molde interior.

Yo he resuelto este problema en Albelda de una manera absolutamente diferente que de ordinario. En lugar de emplear un molde metálico como el de Champ (Isère), que

tiene muchos inconvenientes, sobre todo en Albelda, cuyo diámetro es mucho más grande que el de Champ, es decir, un molde con *eje central* y *radios* que van á la periferia, he ideado moldes de madera inspirados en principios absolutamente diferentes. Nada de eje central ni de radios. El espacio central del molde debe quedar completamente libre para permitir y facilitar las maniobras en el interior del Sifón. Estas maniobras son muy importantes desde el momento que se trata de hacer un moldeo continuo sin emplear siempre el mismo molde, que avanza sucesivamente, esperando el desmolde ó descimbramiento para continuar el trabajo.

No tengo tiempo de hacer ahora la crítica de este procedimiento, que desarrollaré en mi citado libro. El que yo empleé en Albelda es completamente diferente, y consiste en hacer el moldeo de modo que se eviten los movimientos del tubo durante esta operación, como indico en la figura 26: el trozo moldeado *A* no se descimbra hasta después de haber moldeado el trozo siguiente, *B*. Durante el moldeo del trozo *C* se descimbra *A*, y atravesando este molde por el interior de los moldes *B* y *C*, viene á colocarse delante de *C*, en *A*, y así sucesivamente.

Este principio permite idear moldes para cualquier diámetro, cosa de gran importancia; pero con el eje central y los radios es muy difícil exceder el diámetro de Champ, 3,38 metros.

Por virtud de consideraciones que no tengo tiempo de exponer aquí y que detallaré en el libro á que hice referencia, proyecté seis moldes de 5,40 metros de longitud cada uno y 4,03 metros de diámetro exterior, á fin de dejar el espacio que exige el enlucido interior. Se componen (figura 27) de seis partes *E*, iguales dos á dos, y de una clave para el descimbramiento. Las partes inferiores *E*, *E'* forman una especie de cuna y les daré la denominación de *cuerpos primeros*. Los *cuerpos segundos* suben por dentro hasta el diámetro horizontal del Sifón y por fuera 0,80 metros más arriba. Los *cuerpos terceros*, en forma de abanicos, dejan entre sí el espacio para la clave, que está sostenida por codales móviles *E-1'*, *E-2'*, ... *E-5'*, los cuales fijan la separación entre dichos cuerpos.

Á la altura del diámetro horizontal, otros codales de quita y pon *E-1*, *E-2*, ... *E-5* (ver la fig. 24, en el fondo) impiden la aproximación de los cuerpos *segundos* y *terceros*. Estos codales pueden quitarse cuando el hormigón sube en el molde hasta los riñones del Sifón, quedando entonces libre el espacio central (fig. 27), que permite el paso á su través de los diferentes *cuerpos* de los moldes de atrás para colocarlos adelante.

Cada *cuerpo* del molde así concebido resulta perfectamente manejable por la brigada encargada del movimiento de los moldes. Para facilitar estos movimientos, he dispuesto sobre los *cuerpos* inferiores de cada molde rodillos de quita y pon apoyados sobre cojinetes-fijos á dichos cuerpos.

Para colocar los moldes de suerte que sean concéntricos á la armadura del Sifón, he ideado unos apoyos especiales de fundición, que se ven en la figura 27 al aire libre, y en la figura 28, en su emplazamiento. Estos apoyos se componen de dos piezas que se colocan en dos espacios consecutivos entre los aros de la armadura y tienen unas ranuras que permiten el paso de las generatrices á través de dichas piezas.

Estos aparatos de apoyo de fundición, estaban dispuestos para sostener dos moldes contiguos á fin de obtener una precisión absoluta en el trabajo.

Estando la obra en la disposición que acabo de describir, es decir, á punto de empezar el moldeo del tubo, recibí en ella la visita del notable Ingeniero inglés Mr. Kanthack que, á pesar de haber trabajado mucho tiempo en los grandes canales de riego de la India, el más pequeño de los cuales tiene 100 metros (1) de anchura, y en comparación de los cuales el nuestro de Aragón y Cataluña, con su anchura de 15 metros, y casi todos los canales de Europa resultan verdaderos pigmeos, quedó altamente complacido del Sifón y maravillado de que un canal como éste exija obras de fábrica de tan extraordinaria importancia. Según sus manifestaciones, los enormes canales de la India no exigen obras importantes, porque se desarrollan en llanuras inmensas sin

trabajo sin tener que doblar el número de moldes, cosa fácil, pero que no tengo tiempo de explicar aquí, proyecté cuatro nuevos moldes suplementarios, que tenían sólo 0,80 metros de longitud, muy ligeros, compuestos, dada su escasa longitud, de tres cuerpos iguales de estructura especial (fig. 29), que dejan libre también el espacio para la clave. Estos moldes suplementarios se colocaban siempre delante de los moldes propiamente dichos.

*Moldes exteriores.*—Consisten esencialmente en tableros curvos, llamados de ordinario, no sin cierta lógica, *costillas*, formados por tabletas y nervios dobles con empuñaduras para la maniobra (fig. 30). Estas costillas se apoyan por un extremo sobre el tubo ya ejecutado, y por el otro sobre unos

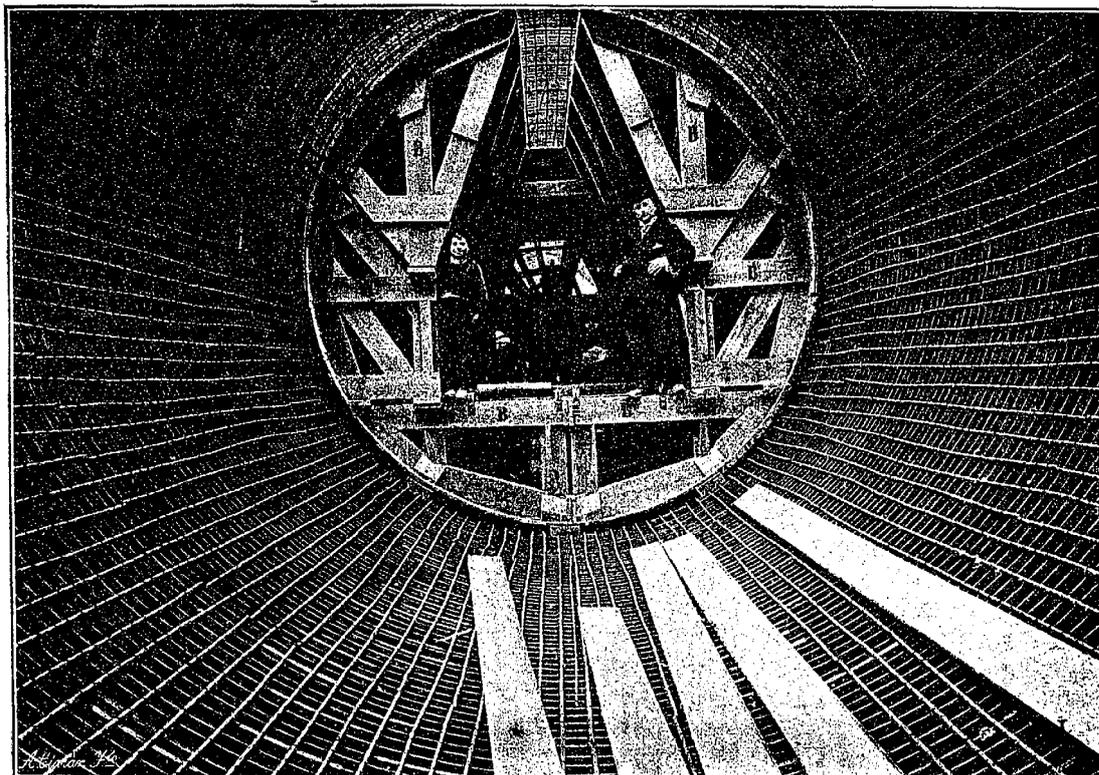


Fig. 28.—Molde colocado en el interior del tubo sobre sus apoyos.

atravesar zonas de terreno quebrado; todo se reduce á grandes excavaciones y formación de enormes caballeros.

Mr. Kanthack demostró gran interés por conocer hasta los menores detalles de construcción del Sifón, teniendo yo verdadera complacencia en explicarle todo lo que estaba á la vista y en adelantarle los medios que pensaba poner en práctica para ejecutar lo que no estaba todavía indicado.

En su viaje de estudio á España se dirigía á visitar el Sifón del Sosa, que conocía por mis artículos de la REVISTA, y enterado en Monzón de que estaba en construcción el Sifón de Albelda, estimó más interesante ver la construcción de éste que el del Sosa terminado, del que no podía sacar tanta enseñanza. Se explica el interés de Mr. Kanthack por visitar el Sifón, atendiendo á que ha sido destinado recientemente á construir los canales del Cabo y el Transvaal, países tan quebrados como el nuestro, donde seguramente necesitará luchar con el terreno haciendo sifones de gran importancia.

*Moldes interiores suplementarios.*—Para duplicar el

testeros especiales que impiden el escape del hormigón y fijan su espesor.

Para evitar que las costillas sean despedidas por la presión del hormigón, se las ataba á los aros por medio de cordones de alambre hechos con varios de los que se empleaban para las ataduras.

Pero este procedimiento era muy lento y tiene otros inconvenientes que no puedo detallar ahora. Á fin de evitarlos todos, he ideado unas prensas especiales (fig. 30) que se oponen á la deformación del molde exterior. Estas prensas, de las que correspondían tres á cada molde interior, se componían de dos rollizos ó tablones inclinados sobre el eje del Sifón, que trabajaban á flexión; un puente horizontal á una determinada altura, y una cruz de San Andrés que daba rigidez al conjunto y ayudaba al puente horizontal.

Fijando los extremos inferiores de las prensas contra los taludes de la trinchera, apoyándose todo sobre los bordes de la cama, se podía asegurar las costillas del molde contra las

piezas inclinadas (costados y cruces de San Andrés) y el puente por medio de cuñas de madera, resultando muy rápida la operación de colocar dichas costillas. Para evitar el levantamiento de las prensas por el empuje del hormigón se las contrapesaba (fig. 30) con sacos de arena.

*Moldeo del tubo.*—El hormigón empleado para la armadura del tubo tenía la siguiente composición:

Cemento.....	Kilogs.	500
Arena.....	Litros.	400
Gravilla.....	"	800
Agua.....	"	220 á 280 según la temperatura.

El cemento era lento artificial, marca «Asland», de una calidad igual por lo menos á los mejores cementos del mundo.

dez, la cual debía ser muy grande, dando al hormigón el aspecto de papilla. Sin embargo, estas variaciones no podían ser muy grandes, porque tomé la decisión de moldear el Sifón en los meses de Diciembre, Enero y Febrero, por razones poderosas que tampoco puedo exponer ahora.

Se hacía el batido del hormigón en grandes albercas de madera situadas á uno y otro lado del Sifón, organizándolo todo de modo que la mezcla se obtuviese de una manera continua, cosa bastante difícil.

Esta papilla se sacaba de las albercas con palas y se vertía en canaletas de madera con la inclinación suficiente para conducirla á los puntos de empleo.

Omitiendo muchos detalles que tendrán cabida en el libro á que varias veces me he referido, describiré la operación del moldeo.



Fig. 30.—Moldeo del tubo en la rampa de salida.

La arena y la gravilla provenían de un afluente, casi siempre seco, del río Noguera-Ribagorzana, distante 12 kilómetros del Sifón. La arena era bastante gruesa con una cierta proporción de granos finos y la gravilla tenía como dimensión máxima 3 centímetros. Estos materiales se lavaban en la obra y se clasificaban por dimensiones.

El agua provenía al principio del mismo canal, que formaba un depósito bastante grande cerca de la cabeza de entrada, donde terminaba por este lado; después se utilizó la del valle de Albelda, y finalmente se empleaba la de cualquier sitio, porque escaseaba mucho.

La arena y la gravilla estaban acopiadas á lo largo del Sifón á uno y otro lado de la trinchera.

Se hacía variar la cantidad de agua del hormigón según la temperatura y según la hora del día, á fin de obtener una mezcla que presentase siempre el mismo grado de fluidez,

Para moldear la parte inferior del tubo, correspondiente á los primeros cuerpos del molde, el hormigón era conducido por las canaletas á la parte superior de la armadura (figura 31) vertiéndole entre los aros en una tolva interior, colgada de la armadura, la cual lo dirigía á una canaleta móvil alrededor del eje vertical y paralelamente á sí misma, sobre el collar que la sostenía, colgado á su vez de la tolva.

La canaleta móvil interior repartía el hormigón á los dos lados de los primeros cuerpos del molde, vertiéndole entre sus bordes y la cama, envolviendo la armadura.

La papilla descendía al principio con alguna dificultad; pero no estimando conveniente aumentar su fluidez, aseguré su buena distribución por todas partes, suprimiendo poco á poco las maestras de la cama, que habían servido para la colocación de la armadura, las cuales dificultaban dicho descenso, y abriendo dos filas de trampillas provisionales en

cada cuerpo inferior del molde, desde las cuales los obreros, con útiles especiales, ayudaban el movimiento y repartición del hormigón, que rellenaba perfectamente todos los sitios.

Una vez rellena la parte inferior se cerraban las trampillas, cargando las tapas y otros puntos del molde con sacos de arena á fin de evitar el movimiento de éste por la subpresión del hormigón fluido y por el apisonado que producían los útiles que yo empleaba.

La compresión que experimentaba el hormigón en los moldes era muy enérgica, pudiendo llegar hasta la deformación de aquéllos. Por consecuencia de esto, la subpresión era también muy grande, siendo indispensable oponerse á sus efectos lastrando el molde con pesos considerables y es-

hacia en menos de cinco minutos. En seguida se completaba el molde con sus codales y clave á fin de proseguir sin tar-

danza el moldeo del resto del tubo.

Las canaletas exteriores cambian entonces de sitio y vierten el hormigón entre la cama y el molde á la altura del diámetro horizontal.

Se continuaba de este modo el moldeo de la parte superior del tubo (fig. 30), colocando sucesivamente las diferentes costillas con sus testers y prensas de sujeción.

En todas las fases del moldeo el hormigón era apisonado con útiles especiales que producían, lo mismo que he dicho en las partes inferiores, una compresión muy grande.

Di principio al moldeo del Sifón por la parte más baja del perfil longitudinal, sometida á mayor presión, en la cual

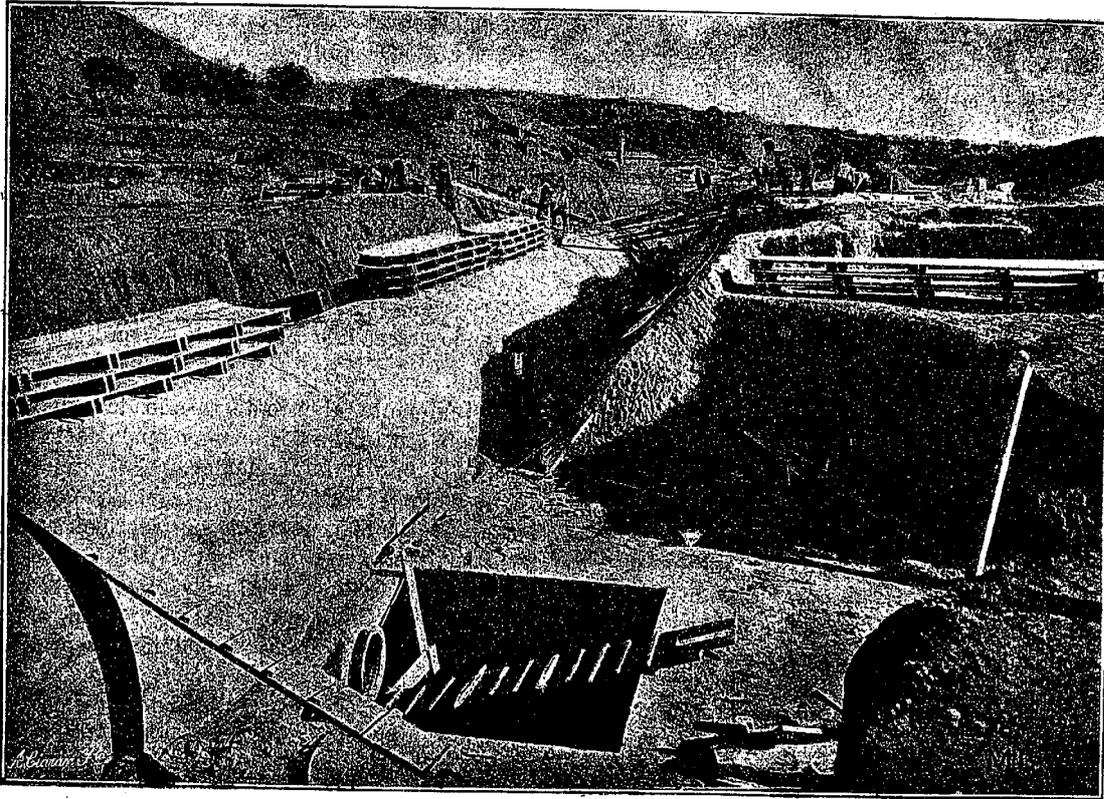


Fig. 31.— Moldeo del tubo y vista de la cámara de llaves.

cogiendo todos los medios posibles de oponerse á estos efectos casi incontrastables.

No puedo describir todos los medios que empleé con este objeto; sólo diré que todos alcanzaron el más completo éxito.

Durante el relleno de las partes inferiores del molde, estaban montados delante de ellas los segundos y terceros cuerpos del mismo sobre potros movibles de madera, á conveniente altura. Estos potros están indicados en las figuras 24 y 29.

Terminado el relleno de dichas partes inferiores del molde, se quitaba la tolva (que puede verse en la figura 24, en el suelo), la canaleta móvil y los elementos auxiliares empleados para combatir el movimiento del molde, y se corrían hacia atrás, sobre sus cuerpos inferiores correspondientes, los cuerpos superiores unidos dos á dos. Este transporte se

está la camisa de palastro. Tres moldes *A, B, C*, avanzaban hacia la cabeza de salida y otros tres, *D, E, F*, hacia la de entrada. Dos moldes suplementarios *S'', S'''* permitían doblar el trabajo en la primera dirección, y otros dos, *S* y *S'* permitían doblarlo en la segunda.

Como las longitudes de estas dos partes son muy diferentes (fig. 3.), una vez bastante adelantada la segunda parte, el molde *D* fué llevado á la primera para dar más rapidez á su ejecución, con el fin de terminar al mismo tiempo las dos partes.

En ciertos puntos del Sifón se presentaron grandes dificultades para el moldeo, sobre todo en los cambios de rasante y en las rampas de entrada y salida, que llegan al 26,5 por 100 de inclinación (fig. 30, rampa de salida). Pero no tengo tiempo de explicar aquí los medios de salvar estos inconvenientes.

A pesar de todo, el moldeo del Sifón sólo ocupó cincuenta días de trabajo, rapidez extraordinaria con cemento de fraguado lento.

Los días de fuertes heladas se recubrían los tubos recién ejecutados con gruesos colchones de paja por su parte superior y sus costados, y los testeros se recubrían con sacos vacíos y además se ponían en el interior grandes caloríferos á fin de que la temperatura no bajase de 5 grados centígrados.

Con estas precauciones se avanzaba perfectamente sin tener que lamentar ningún contratiempo.

La velocidad adquirida en la ejecución del tubo impuso una organización de trabajo de extrema intensidad, en cuyo detalle, á pesar de su interés y gran importancia, no puedo entrar aquí.

*Enlucido interior.*—He fijado como proporción para este enlucido la de volúmenes iguales de cemento y arena. El cemento era «Asland», igual al empleado en el moldeo del Sifón. La arena era bastante gruesa para las primeras capas del enlucido y más fina para la última capa, pulimentada. El enlucido ha sido ejecutado con minuciosas precauciones á fin de obtener una superficie muy unida, sin grietas, para asegurar la mayor impermeabilidad posible. No tengo tiempo de describir, aun sumariamente, la manera de ejecutar esta parte tan importante del Sifón, y dejo esta descripción para mi próximo libro sobre ambos Sifones, del Sosa y Albelda, en el cual detallaré las dificultades presentadas á este trabajo por circunstancias imprevistas, algunas bastante raras.

Señalaré en él, además, particularidades muy interesantes en estos trabajos, de las cuales es imposible hacer mención en un artículo como este.

*Cámara de llaves y de descarga.*—Esta cámara (figuras 9.ª y 10) fué ejecutada á medida que lo exigían las necesidades de momento. Los muros de contorno fueron ejecutados al mismo tiempo que la cama (fig. 18), así como el pozo amortiguador, del cual arranca la galería de desagüe. La figura 31 representa el aspecto de la cámara de llaves con sus muros terminados hasta el arranque de la bóveda que la cubre.

El agujero de visita que se ve en esta fotografía permitía la entrada y salida de los obreros durante el trabajo. Por él entraban los materiales para el enlucido interior. Pero á fin de facilitar esta operación se ejecutó la bóveda sin los tímpanos extremos, y entre el agujero de bajada á la cámara, que atravesaba esta bóveda, y el de visita del tubo, monté una especie de *tobbogan* ó superficie inclinada, muy lisa, de modo que bastaba colocar los sacos llenos de cemento y de arena en la parte superior de este embudo para que ellos mismos, por la acción de la gravedad, cayesen al interior del Sifón.

Á última hora fueron ejecutados el piso de esta cámara,

los tímpanos, el registro vertical de entrada con su claraboya y la escalera de bajada.

*Terraplén y dren superior.*—Á medida que avanzaba el moldeo del tubo se iba recubriendo el Sifón con el dren superior y el terraplén de que ya he hablado (fig. 7.ª). Este doble trabajo debía ser simultáneo, y así se hizo, á fin de evitar los medios auxiliares que hubiese exigido el dren para sostenerlo en su sitio.

En los puntos donde el trazado lo permitía se restablecía el terreno con su forma primitiva (fig. 9.ª); en aquellos otros donde el Sifón sobresalía del terreno, di al terraplén una forma particular (fig. 7.ª) con 0,60 metros de espesor en la clave (dren comprendido), á fin de sustraer al Sifón de los cambios de la temperatura ambiente, y perfil circular concéntrico con el tubo hasta el talud de 1' / 2 por 1 para el acuerdo con el terreno.

El importe de la obra se elevó á cerca de 760.000 pesetas, que corresponde próximamente á 1.000 pesetas por metro lineal, todo comprendido.

El Sifón de Albelda ha sido cargado los días 24, 25 y 26 de Mayo de 1909 con extraordinario éxito. La tolerancia de filtraciones, que ya he dicho había yo fijado en 5 litros por segundo durante la carga, debiendo reducirse á 3 litros al cabo de dos meses, no ha llegado al  $\frac{1}{12}$  del límite admitido, habiendo descendido á menos de  $\frac{1}{25}$  en los primeros días de servicio.

Actualmente, al cabo de un año de explotación, las filtraciones son insignificantes, pudiendo decirse que el Sifón es completamente impermeable.

El Sifón del Sosa, que yo he ejecutado el año 1905, era, hasta hace un año, único en su género en el mundo, tanto por su diámetro como por la presión que soporta.

Ahora es el Sifón de Albelda el que bate el *record* del mundo por su diámetro y por su presión, muy superiores conjuntamente á los mayores diámetro y presión conocidos en todo el mundo.

Los Ingenieros españoles podemos envanecernos de haber realizado los más importantes trabajos ejecutados hasta ahora en materia de tuberías á presión, y yo, particularmente, estoy orgulloso de ello.

Pero no consideramos alcanzado aún el límite práctico realizable en estas canalizaciones. Actualmente, hay medios de construir tuberías de cualquier diámetro y cualquier presión con relativa economía y seguridad completa de excelente éxito, cosa que demostraré en mi próximo libro.

MARIANO LUJANA.

Madrid, Junio 1910.

