

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.

SIFÓN DE HORMIGÓN ARMADO

SOBRE EL RÍO SOSA Y BARRANCO DE RIBABONA

EN EL CANAL DE ARAGÓN Y CATALUÑA

II

La historia retrospectiva del sifón del Sosa quedó relatada en el artículo anterior publicado en la REVISTA del 1.º de Marzo corriente. En el de hoy expondré todos los detalles de la obra y los medios auxiliares y la organización que me han permitido ejecutarla con una velocidad tan por encima de lo corriente en España y aun fuera de España.

Desarrollándose la obra en una extensión tan considerable y con un perfil longitudinal tan difícil, claro es que el problema del suministro de materiales era uno de los más importantes. En ocho plazoletas repartidas á lo largo de dicho perfil, se acumularon la grava, gravilla y arena necesarios repartiéndolos en cada acopio en cantidad proporcionada á la longitud de obra que aquél había de alimentar. Estos materiales se extrajeron del cauce del Sosa, siendo perfectamente lavados y clasificados en la notable instalación que el Sr. Sandino montó para construir el puente.

El cemento se almacenó bajo las bóvedas de éste y en un edificio construido en Ribabona. El que se colocó bajo el puente Sosa se defendió de las avenidas de este río por medio de unos muretes de hormigón armado. El transporte de este material á los diferentes puntos de empleo hubo de hacerse forzosamente á lomo de caballerías.

Otro elemento esencial en obra de hormigón de tanta importancia es el agua. Aunque hay dos acequias de riego próximas al puente Sosa, son de propiedad particular y su caudal no es constante; con objeto de asegurar el suministro de tan necesario elemento, se perforó un pozo *P* en el mismo cauce del Sosa, aguas abajo del puente, cerca de la margen derecha, hasta llegar á la capa líquida subálvea de este río, seco casi siempre por su cauce, y se montó una bomba aleatoria movida por un motorcito de vapor. El agua del río, impulsada por el interior de una tubería de hierro de 6 centímetros de calibre, subía 35 metros hasta el depósito *D*, situado en el punto más alto del trazado, donde vertía un caudal de litro y medio por segundo. Este depósito, de 70 metros cúbicos de capacidad, en desmonte, y con una envolvente interior impermeable de hormigón armado, reunía el agua necesaria para tres ó cuatro días, permitiendo esto hacer las reparaciones indispensables en la bomba, máqui-

na ó tubería sin interrumpir el trabajo. De dicho depósito partían dos tuberías independientes: una *DD'* para la rama del Sosa, que llegaba hasta el principio del sifón, y otra *DD''* para la del Ribabona, que llegaba hasta el final del mismo; en dichas tuberías á diversas distancias, había empalmes en los cuales se enchufaban mangas de goma y lona que distribuían el agua á las diferentes brigadas que moldeaban las camas, los tubos ó regaban éstos para librarlos de los efectos que podrían producir los ardentísimos rayos del sol.

Otro elemento importante para la ejecución de la obra, aunque no lo fuese para ésta propiamente, era el suministro de agua para los 1.500 operarios que había en ella. El agua del Sosa no es potable y para beber había que llevarla del río Cinca, tomándola cerca de Monzón, á unos 8 kilómetros del emplazamiento de la obra. Las carretas que transportaban el líquido en toneles debían llegar al trabajo á medio día; pero muchas veces se retrasaban por mil motivos, y cuando en las horas de mayor calor, á las dos y á las tres de aquellas insoportables tardes de Julio y Agosto, no había llegado el agua, los obreros se excitaban, llegando algún día á producir serios temores su actitud; para evitar esto se construyó otro depósito *d* de 12 metros cúbicos, enterrado en el suelo, que no sólo evitó los conflictos á que anteriormente se estaba expuesto, sino que permitió dar á los trabajadores agua decantada y fresca en lugar de la caliente que tomaban anteriormente y que es la única que se encuentra en la mayor parte de los pueblos de aquella comarca, que beben de charcas. He detallado este punto para hacer notar la importancia que en algunas obras puede tener algún elemento sin relación directa con la obra misma.

En la descripción de los detalles de ésta seguiré el mismo orden en que se ha ejecutado sin perjuicio de mezclar asuntos que correspondan á capítulos diferentes cuando esto sea necesario.

Camas.—Ya he indicado que los tubos se apoyan sobre un cimiento ó cama que llega hasta el diámetro horizontal. En las figuras 1 y 2 se dibujan las secciones transversal y longitudinal de las camas. Estas no son continuas, sino que están ejecutadas en trozos de 6 m. de longitud, quedando 0^m,50 de separación entre trozo y trozo; esta separación es el huelgo para que puedan colocarse y moverse los operarios que han de hacer los empalmes de unos tubos con otros ó las juntas de la tubería.

Expondré ligeramente el método de ejecución empleado por mí, mediante el cual pude triplicar la velocidad con que hasta entonces, y con el mismo personal, se estaba ejecutando esta primera y fundamental parte de la obra. Una brigada estaba encargada de hacer las soleras ó partes que no exigen molde alguno, las partes *a b c d*; avanzaba rápidamente, ejecutando al día por término medio cuatro ó cinco cimientos que cubican unos 28 metros cúbicos; la brigada se componía de 20 hombres. Detrás de esta bri-

gada iba otra de carpinteros que colocaban los moldes para ejecutar las partes más difíciles de la cama; estos moldes, indicados en la figura 3, se componían de cuatro partes: 1.^a dos testeros de 0^m,08 de grueso y de igual forma que la sección transversal

total y venía en seguida otra brigada de hormigoneros que llenaban de hormigón, apisonándolo, los espacios comprendidos entre dichos molles; esta misma brigada colocaba la cuarta parte que faltaba del molde total y terminaba de hormigonar la cama.

Las precauciones necesarias para el moldeo no las detallo porque se ocurren naturalmente al hacer éste.

Cada brigada ejecutaba al día dos camas, que cubrican 33 metros cúbicos; componían la brigada 30 hombres. Había dos brigadas, una en cada una de las pendientes que bajan al Ribabona. Con estas tres brigadas se hizo en veinticinco días, como ya he dicho, igual trabajo en que antes se había tardado más de tres meses.

Los moldes con que al principio se quiso ejecutar las camas, eran dos cascos de navío para los dos tubos y un molde triangular para la galería con bisagras y cerrojos, por medio del cual se llegó a tardar tres días en hacer una sola cama. Todo ello podría ser seductor en el papel; pero era completamente irrealizable, por dos conceptos: para emplear dichos mol-

des era preciso verter el hormigón y no apisonarlo, y eso no se puede hacer sino con hormigones de gravilla ricos en cemento; con un hormigón de grava y con 175 kilogramos de portland natural catalán, como el que se empleaba en las camas, no se podía pensar en dejar de apisonarlo; aun elevando, como se hizo, la proporción de cemento a 200 kilogramos por metro cúbico de hormigón fué preciso apisonar la masa; por otra parte, el desmoldeo de lo ejecutado y el transporte de los moldes eran operaciones que ni los pacienzudos antiguos romanos podrían realizar, no sólo porque cada casco pesaba cerca de una tonelada, sino porque las dimensiones del mismo y su forma imposibilitaban asirlo de una manera eficaz, pues ya se sabe la gran influencia que tiene la forma de un objeto en la posibilidad de trasladarlo fácilmente aunque no sea grande su peso.

Sobre el puente del Sosa y pontón de Ribabona las camas tienen la forma especial que se indica en la figura 4; sobre dichas obras de fábrica se dejó la cama incompleta en la forma que detalla la figura 5; ya veremos ulteriormente de qué modo se completó la cama sobre dichas obras; por ahora sólo indicaré que, además de ser indispensable dejarlas incompletas, se dejaron los costados en la forma que se dibuja, para que el carro de colocación de los tubos, del cual hablaré en ocasión oportuna, pudiera moverse sobre dichas obras de fábrica sin tropezar con los bordes de las camas.

Las camas se apoyan sobre el terreno natural en el fondo de la trinchera excavada con 7^m,10 de anchura en la base y taludes de $\frac{1}{2,2}$. En casi toda la longitud

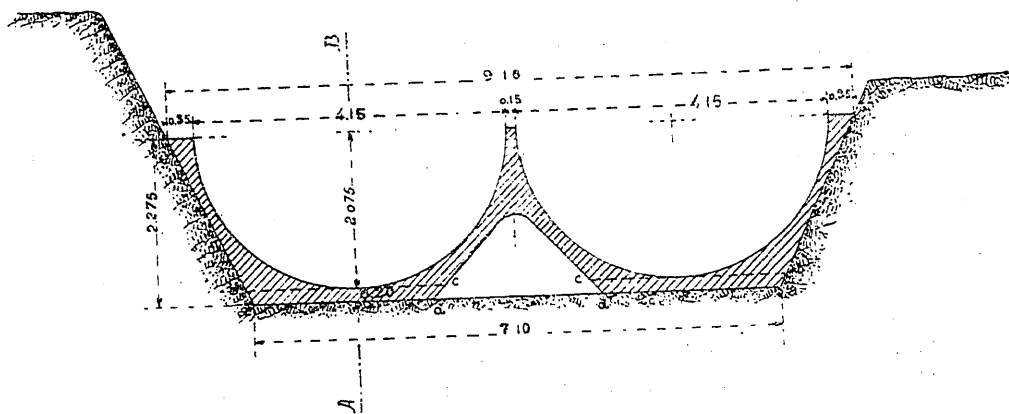
de la trinchera el terreno es de roca arcillosa, pero de condiciones tan especiales, que en cuanto se humedece se ablanda y deshace por completo, perdiendo su cohesión.

En el puente Sosa se apoyaron las camas sobre el terraplén de relleno entre los muros de acompañamiento de la margen derecha, á la entrada de aquél; pero á consecuencia de lluvias repetidas, dicho terraplén asentó rompiéndose las

cinco camas que sobre él se apoyaban; se hubo de vaciar aquel espacio quitando camas y terraplén y se hizo una consolidación con bóvedas transversales sobre las cuales se apoyaron las camas al rehacerlas. Una cosa análoga hubo que hacer en la salida del

Fig. 1

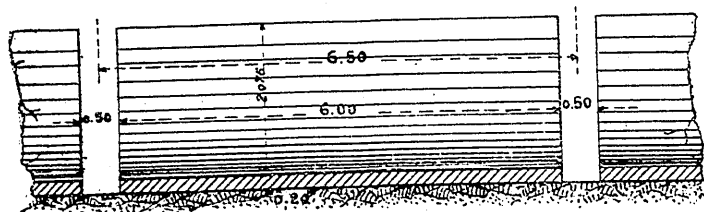
Sección transversal de las camas



de las camas; estos testeros se colocaban en su posición exacta enfilando el corazón central con banderolas que marcaban el eje de la alineación; 2.^a dos cunas ó cimbras invertidas, *m n p*, formadas de cerchas aligeradas y tablas que se apoyaban en las

Fig. 2.

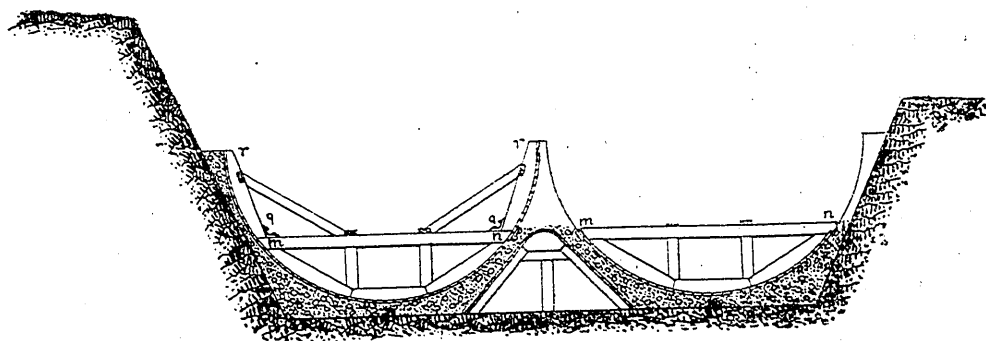
Sección longitudinal por A-B.



partes inferiores de los testeros; 3.^a un molde triangular para la galería central compuesto de dos costados independientes y un camón superior apoyado sobre ellos; los costados estaban consti-

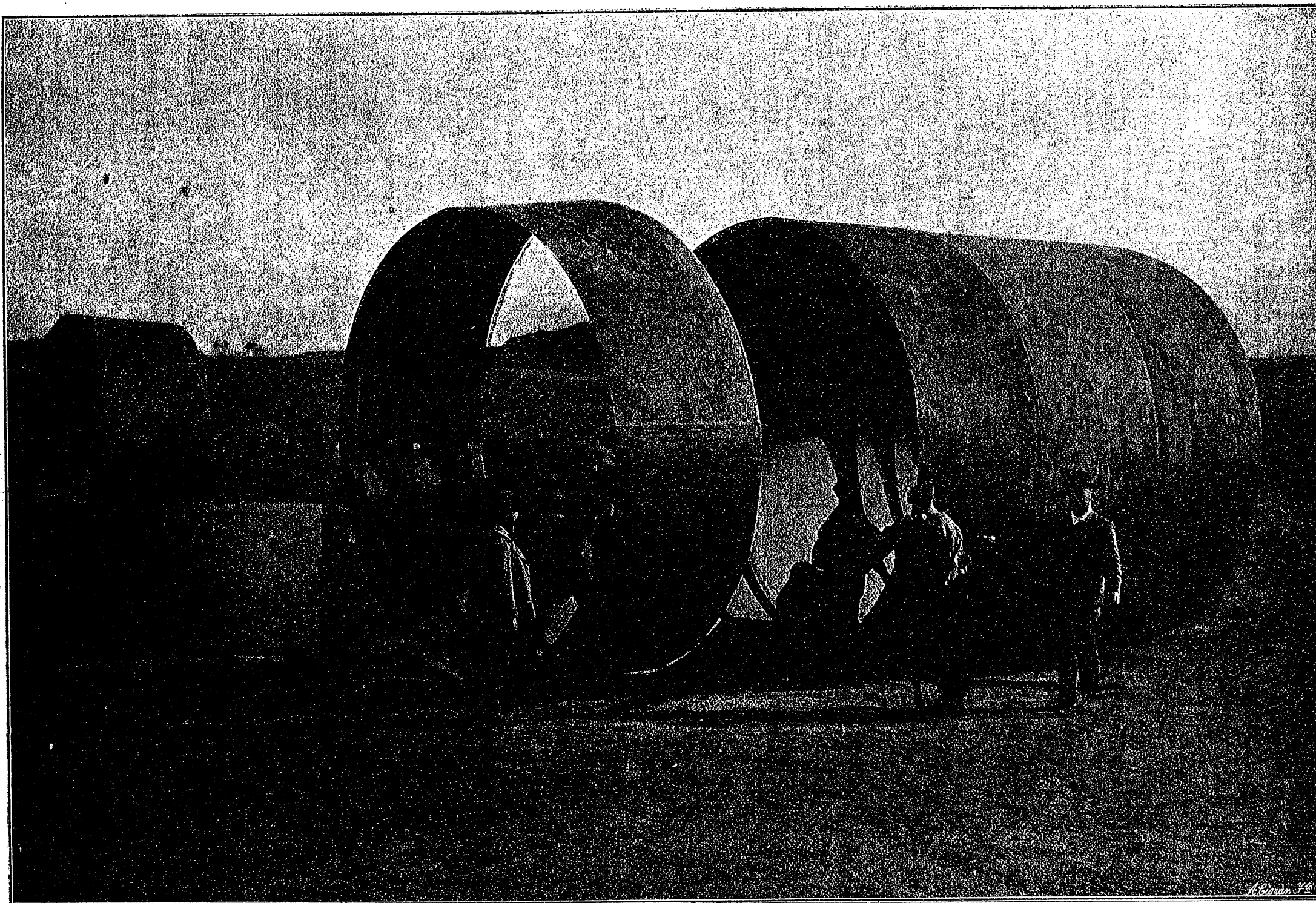
Fig. 3.

Moldes para las camas.



tuidos por tablas sueltas apoyadas sobre nervios inclinados; y 4.^a cuatro moldes iguales, *q r*, para los costados, apoyados en las cunas inferiores y aplicados contra los testeros.

Los carpinteros colocaban las tres primeras partes del molde



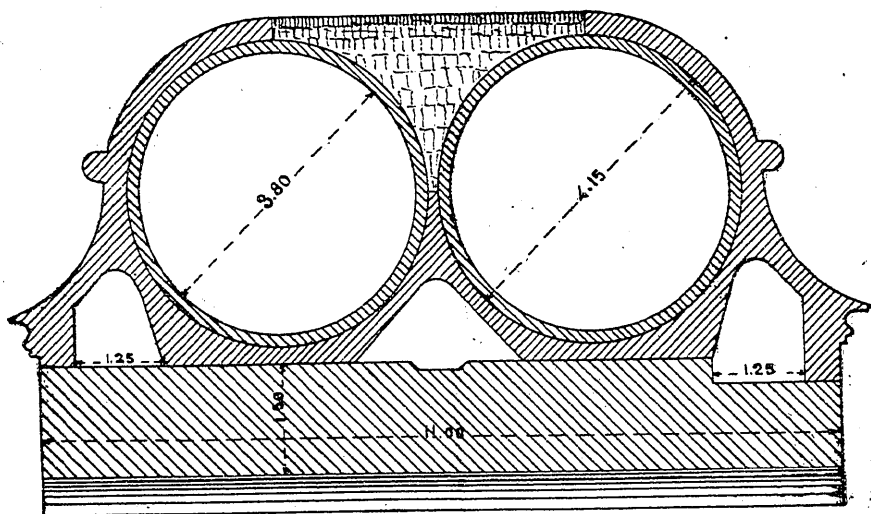
Componiendo una camisa de palastro.

puede sobre el Sosa y en el pontón de Ribabona. Además, en los 30 metros anteriores á dicho pontón, en que era forzoso el trazado en terraplén, se llegó á la rasante por medio de cinco bóvedas de hormigón de cuatro metros de luz y una anchura igual á la de aquél.

El sifón se compone de 158 camas; entre ellas hay cuatro especiales de menor longitud que las otras; las 154 restantes tienen

Fig.^a 4.

Sección de las camas sobre el puente del Sosa.



6^m,50 de longitud de eje á eje. Las camas de entrada y salida del sifón, la primera y la número 158, son especiales; tienen menor longitud que las otras, no tienen la galería triangular de aligeramiento, siendo maciza esta parte; y los semicilindros de asiento de los tubos no tienen sus ejes paralelos, sino que son divergentes con objeto de que la separación de los tubos, que es normalmente de 0^m,15 en la parte superior de la cama, se eleve á 0^m,45 en la entrada y salida del sifón; esta modificación tiene por objeto dejar la anchura necesaria para los muros divisorios de las cabezas de entrada y salida del mismo.

Camisas de palastro.—Estas camisas, de 3 milímetros de espesor, se construían en trozos de 6^m,50 de longitud, abocinando los extremos como indica la figura 6, para que en la unión de dos camisas se formase un fuelle que permitiese la dilatación del palastro; pero suprimida la soldadura autógena, se hubo de desechar esta forma de fuelle para combatir los efectos de dilatación, la cual tenía serios inconvenientes, y se ideó hacer la junta con un perfil especial acanalado que se dibuja en la figura 7; para emplear este perfil no había que abocinar los extremos de los tubos, sino acortar la longitud de éstos á 6^m,45 y taladrar á 20 milímetros de los bordes sendas filas de agujeros para fijar luego las canales de las juntas; los ejes de dichas filas de agujeros están á 6^m,41 de separación. Cuando se decidió la supresión de la soldadura había 14 tubos casi terminados de soldar y 3 preparados para ser soldados; á estos 17 tubos se les cortaron los bordes abocinados con cortafíos y se taladraron las 34 filas de agujeros con taladros Duplex.

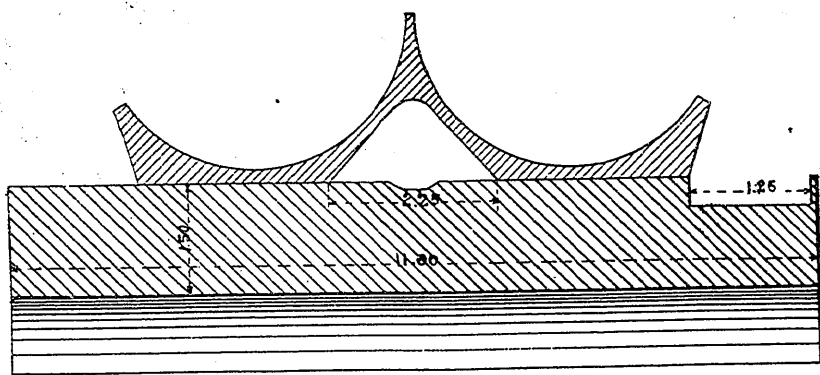
Cada tubo se compone de cinco virolas de 1^m,30 próximamente de anchura, y cada virola se forma con cuatro chapas de 3^m,08 × 1^m,35 y 3 mm. de espesor; cada una de estas chapas pesa 100 kilogramos, cada virola pesa 400 kilogramos y cada camisa de palastro pesa 2 toneladas.

Para formar las camisas de palastro empleando la soldadura autógena, se quiso seguir el procedimiento que á continuación detalló: primero se formaban las virolas, y para esto se cortaban las chapas por sus lados menores con una gran cizalla, con objeto de que la longitud de cada una fuese exactamente igual á la cuarta parte del desarrollo de la virola, que es 12^m,08; luego se pasaban las chapas por una curvadora que al mismo tiempo les daban la curvatura correspondiente al cilindro de que iban á formar parte hacia unos rebordes en los lados mayores de la chapa, que servían para el enlace de unas virolas con otras; después se presentaban las cuatro chapas de cada virola, colocándolas de canto sobre una corona de madera con una ranura para sujetar algún tanto las chapas y se procedía á soldar unas con otras. Se soldaban á tope con una pequeña adición de metal para robustecer la sección soldada. Pero antes de soldarlas á tope, se pensó en biselar los bordes de las chapas y fresarlas, con objeto de formar un rayo de Júpiter; se creía que este enlace, análogo al de las maderas, sería más fuerte que los demás; pero se hubo de desechar el procedimiento, porque las dos líneas de soldadura estaban demasiado separadas y los sopletes, sobre todo el oxidrico, no podían reblandecer la parte central, que era la más importante. También se ensayó la soldadura con rebordes; para esto había que hacer en los lados menores de las chapas rebordes análogos á los que la máquina de curvar hacía en los lados mayores; dichos rebordes había que hacerlos á mano, pero entonces no hacía falta cortar las chapas á longitud exacta. Esta soldadura con reborde, empleada para unir unas virolas con otras, no pudo emplearse en unir las cuatro chapas de cada virola, porque no era suficientemente resistente.

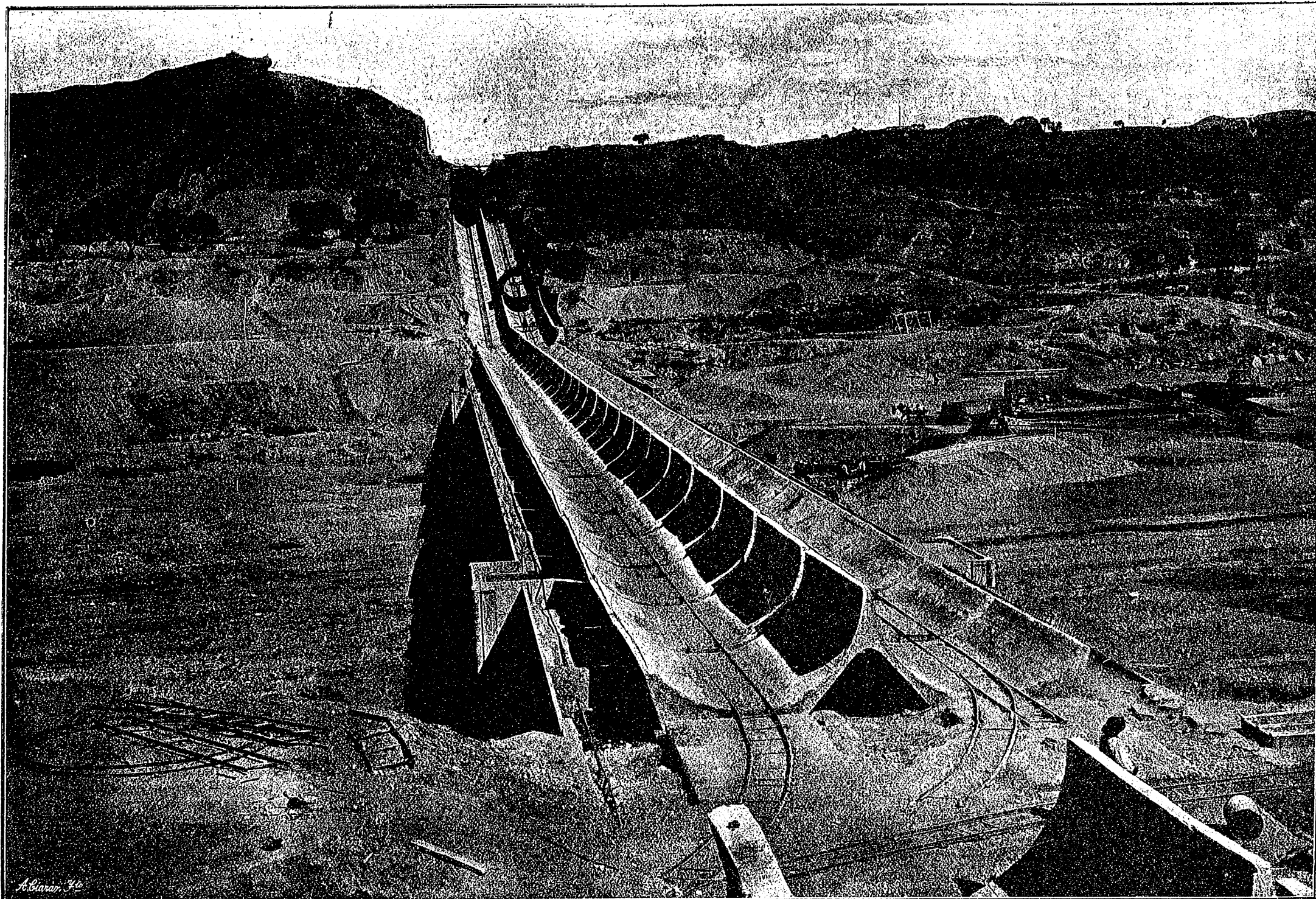
Una vez terminadas las soldaduras en las cuatro juntas de una virola, quedaba ésta formada y acostada en el suelo; para levantarla y ponerla en posición de poder rodar, bastaba el esfuerzo bien dirigido de diez hombres; mas siendo la virola de diámetro tan grande y de tan pequeño espesor, se deformaba por su

Fig.^a 5

Sección de las camas incompletas sobre el puente Sosa y pontón Ribabona.



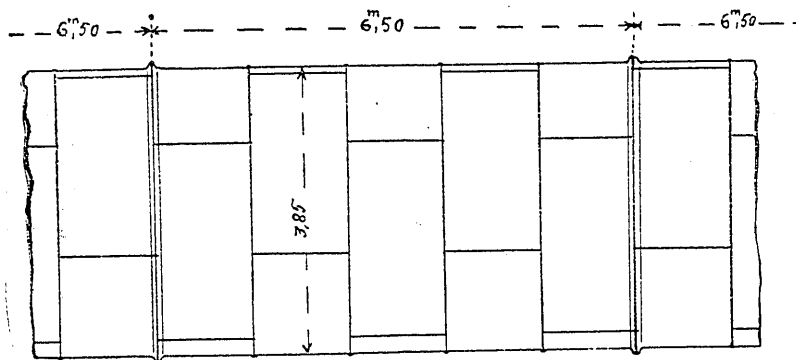
propio peso, quedando aplastada; para evitar esto, se dió rigidez provisionalmente á estas virolas con dos aros interiores de 45 × 45 × 6 mm., de los mismos que habían de ser utilizados en la armadura exterior de los tubos. Con este refuerzo era apenas sensible la deformación de las virolas. Pero éstas no resultaban bien circulares en todo su desarrollo, porque la máquina de curvar tenía los cilindros muy gruesos y al entrar y salir la chapa no quedaba vencida la rigidez de los extremos formando éstos á manera de tangentes de la parte central circular; así es



Cambio del Sosa y ascensión de un tubo por una rampa.

que los empalmes presentaban cuatro puntos salientes. Formadas las cinco virolas que habían de componer una camisa de palastro, era preciso soldarlas entre sí. Para ello se había ideado por Mr. Bonna suspenderlas de una viga colocada a

Fig. 6



bastante altura para que las virolas estuviesen colgando y en esta posición hacer las soldaduras necesarias. Para colgar las virolas eran necesarias las operaciones siguientes: 1.^a, bajar la viga de sus apoyos; 2.^a, apartarla para colocar las virolas

que los agujeros de 9 mm. disten 26 mm. en sentido de las generatrices y de la resistencia, y 33 mm. en sentido de las directrices circulares, formando un total de 276 agujeros por chapa, se curvan en una máquina sencilla que no forma en las planchas reborde alguno; presentadas las cuatro chapas de una virola como en el caso anterior, pero solapándose, se remachan las cuatro costuras, se ponen los aros interiores de rigidez y se levanta la virola para llevarla rodando al sitio donde sea necesaria. Pero la falta de rebordes quita rigidez a la virola, y en lugar de dos hubo que poner tres aros interiores.

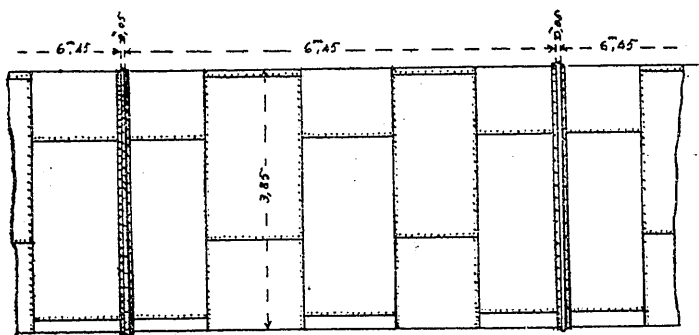
Las chapas de cada virola B, se marcan de modo que las líneas de agujeros disten 1m,282 y 3m,024.

Empleando el roblonado no hacía falta cortar las chapas a longitud exacta, quedando los excesos como recubrimiento de las juntas.

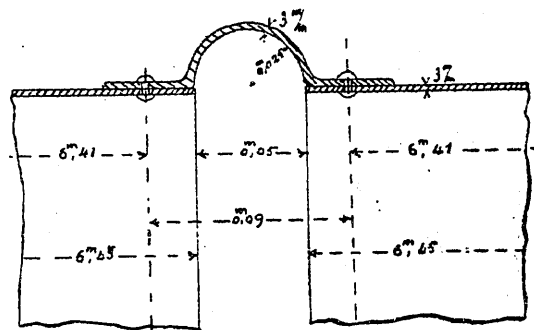
Las camisas de palastro roblonadas no podían ser impermeables, porque con un espesor tan pequeño no es posible retacar las juntas; para contribuir a obtener la mayor impermeabilidad posible se interponía en aquéllas una tira de papel miniado.

Las virolas B no se forman de antemano como las A, porque sería luego muy difícil encajar unas en otras y hacer que los agujeros se correspondiesen. Para armar la camisa de palastro se presentan las tres virolas A en los sitios correspondientes, y a ellas se van aplicando una a una las chapas curvadas de las virolas B, sujetándolas provisionalmente con tornillos (uno de

Fig. 7



Detalle de la canal de junta



adosadas; 3.^a, meter la viga por dentro de las virolas; 4.^a, suspender la viga con las virolas; 5.^a, colocar el conjunto sobre los apoyos de la viga. Las operaciones segunda y tercera había que hacerlas a brazo; las restantes, por medio de una grúa móvil con dos tornos para coger los extremos de la viga.

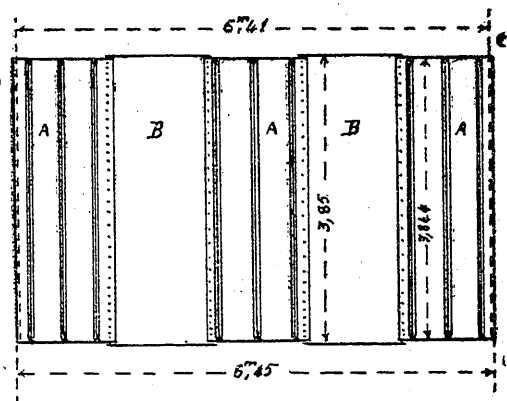
A pesar de mis indicaciones contrarias a un procedimiento tan poco racional y de mis previsiones referentes a la resistencia de la viga y de la grúa se siguió adelante por este camino y ocurrió lo que tenía que suceder: al suspender de la viga las cinco virolas del primer tubo cedió aquélla por completo, pues no podía resistir tanto peso; reforzada la viga, se repitió al día siguiente el intento; pero entonces no fué la viga, sino la grúa la que se rompió con estrépito. Reforzadas mis razones con estos ejemplos convincentes, se prescindió de vigas y grúas y en lugar de soldar las virolas teniéndolas colgadas, desarrollando un esfuerzo estéril, se las soldó estando simplemente apoyadas en el suelo; para soldar toda la circunferencia de una junta no había más que hacer rodar el tubo, lo cual se conseguía con sólo el esfuerzo de cuatro ó seis hombres.

Expuesta la manera de formar las camisas de palastro empleando la soldadura, describiré ahora cómo se ejecutaba análoga operación empleando el roblonado.

Cada camisa de palastro se compone de tres virolas A (figura 9) de 3m,844 de diámetro interior y dos virolas B de 3m,85 de calibre, que recubren a las anteriores. Las cuatro chapas de cada virola A, se marcan de modo que las líneas de ejes de agujeros disten 1m,282 y 3m,019; después de punzonadas de modo

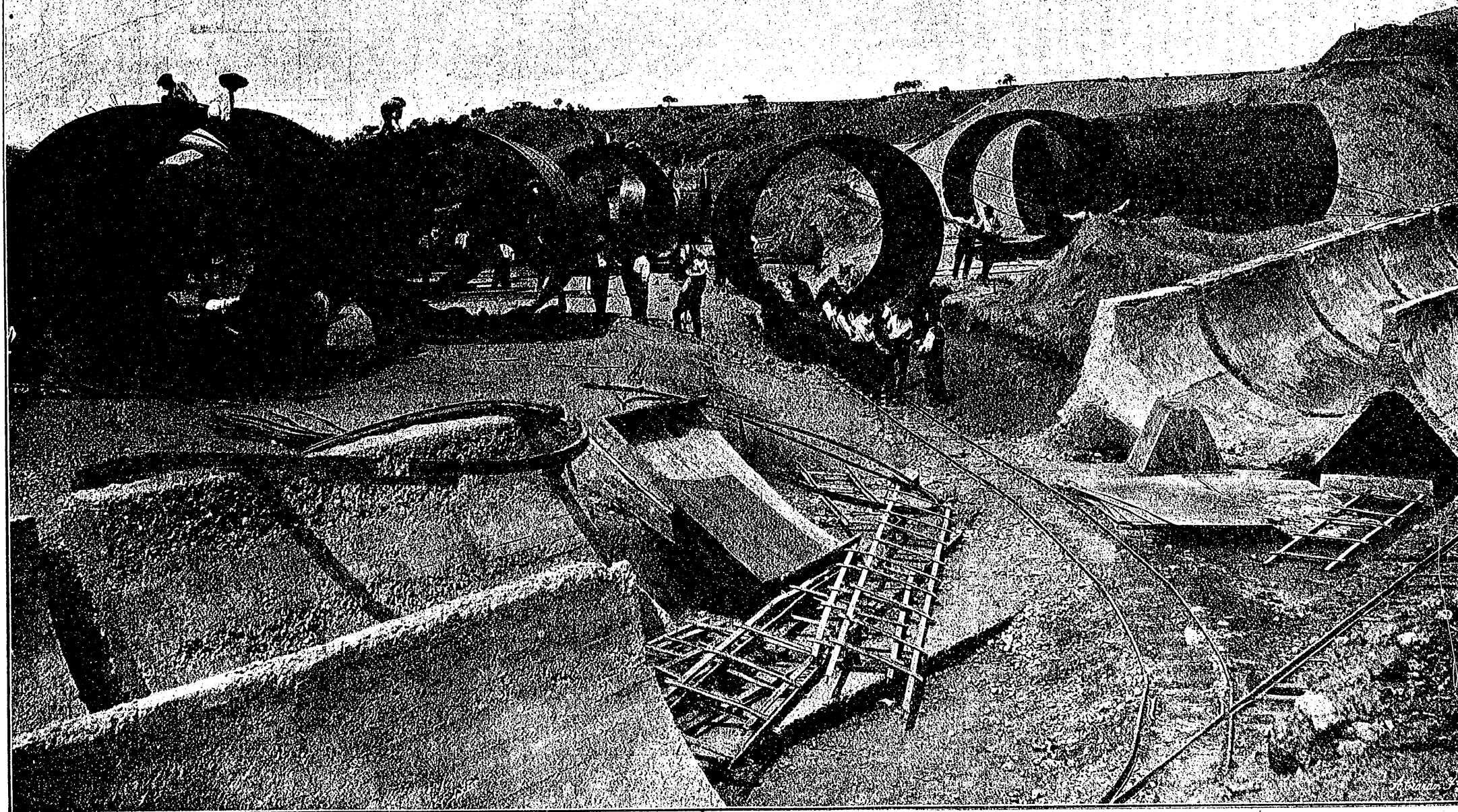
los fotografados representa esta operación); una vez compuesta ó armada la camisa, se procede a roblonar las juntas que faltan. Como los aros de rigidez entran muy apretados en las virolas A,

Fig. 8



se comprende que las B no puedan llevarlos; pero la camisa de palastro tiene bastante rigidez con los nueve aros de las tres virolas A.

Con el cambio de sistema para ejecutar las camisas de palastro resultaba completamente inútil toda la instalación mecánica.



Cambio del Ribabona y transporte de un tubo á él.

ca que se había montado en el Sosa. Ya eran inútiles la cizalla y la máquina de fresar: ésta por no haberla podido utilizar, aquélla porque las chapas hubieran podido ser cortadas en la fábrica á la dimensión exacta con menos gasto que en el Sosa,

a este efecto el sifón en zonas correspondiente á presiones de 10 m., 15 m., 20 m. y mayor de 20 metros. Estos arcos son de una pieza generalmente y se hace el enlace de sus extremos por medio de bridas y roblones colocados en caliente y calculados convenientemente: las bridas deben tener una sección igual por lo menos á la del hierro perfilado y los roblones deben trabajar por tronchamiento, desarrollando un esfuerzo por lo menos igual al de dicho hierro perfilado. Estos hierros llegaron rectos de la fábrica, y en el Sosa se

montó una instalación para curvarlos y agujerearlos. Para curvarlos se empleaban máquinas movidas á brazo, análogas á las de uso corriente en el curvado de llantas para ruedas de carruajes. Para agujerear las almas en los extremos, donde se habían de colocar las bridas de empalme, se emplearon dos punzonadoras, movidas también á brazo, que hacían en un solo golpe los tres agujeros de cada extremo. Pero una de estas punzonadoras se rompió, sustituyéndola por varios taladros Duplex que, bien instalados, daban mayor rendimiento que la punzonadora.

Había dos talleres de curvar y punzonar hierros en T: uno, S, en la explanada del Sosa, E; y otro, R, en la gran explanada del Ribabona, E₁. En estas explanadas, E y E₁, se hacía también el trabajo de calderería armando y roblonando las camisas de palastro.

pues dicha cizalla no llegó á trabajar dos días seguidos sin avería de importancia; esto ha sido una ventaja, porque han podido utilizarse las chapas para el roblonado. La curvadora también era inútil, porque no podía curvar sin hacer reborde á las chapas y éste era ya innecesario y perjudicial.

Toda esta maquinaria fué desmontada y sustituida por la ne-

Fig. 9

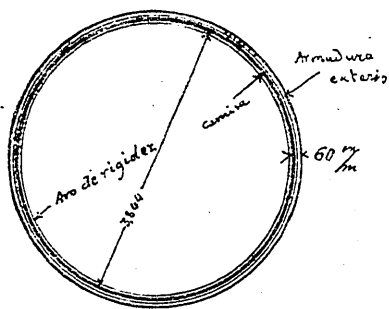
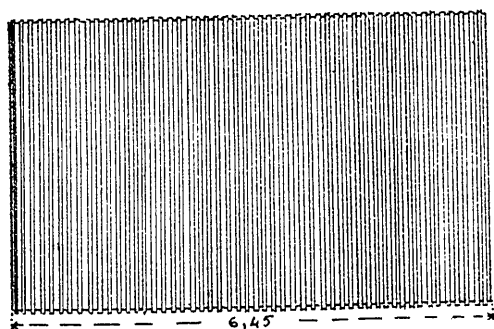
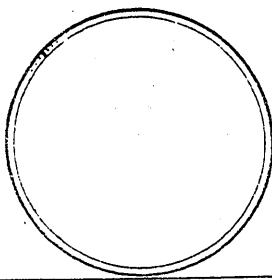
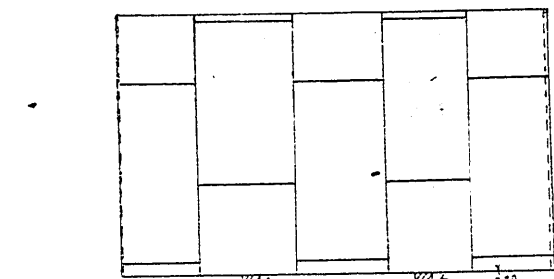


Fig. 10



cesaria para el trabajo de calderería que se había de ejecutar. Una locomóvil de ocho caballos, una curvadora mecánica y otra movida á mano, cien maquinillas para punzonar y las herramientas necesarias para marcar, remarcar y remachar, sustituyeron prontamente, en talleres al aire libre T, á la maquinaria inútil, que se devolvió á Francia sin tardanza.

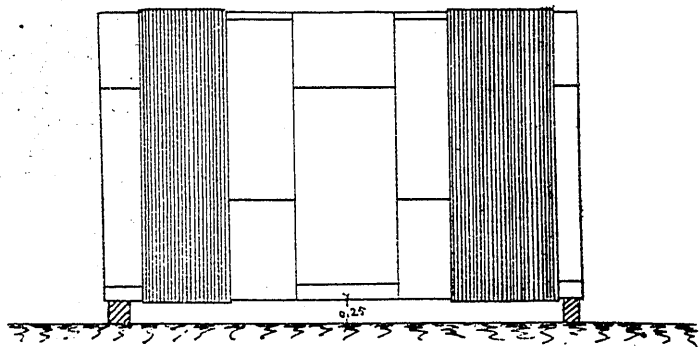
En los cambios de rasante no hay curva de acuerdo que permita el paso de una rasante á otra; se comprende cuán difícil hubiera sido componer camisas de palastro de la forma necesaria en dichas zonas de acuerdo. Por este motivo los cambios de rasante son bruscos y coinciden siempre con el centro de la separación entre dos camas. En dichos puntos los bordes de las camisas de palastro no están en un plano normal al eje del tubo, sino que están cortados en un plano que hace con dicho eje el mismo ángulo que la bisectriz del que forman las dos rasantes.

En los puntos de empalme con las tuberías de desagüe del Sosa y del Ribabona las camisas de palastro llevan agujeros de 0m,50 de diámetro. En los puntos de empalme con los tubos piezométricos estas camisas llevan agujeros de 2m,50 de diámetro.

Armaduras exteriores.—Ya he indicado que la mayor parte del esfuerzo de tensión á que está sometido el tubo, está contrarrestado por unos aros de acero perfilado en T que, á manera de directrices, rodean la camisa de palastro; las secciones y separaciones de estos aros varían con la presión, habiendo dividido

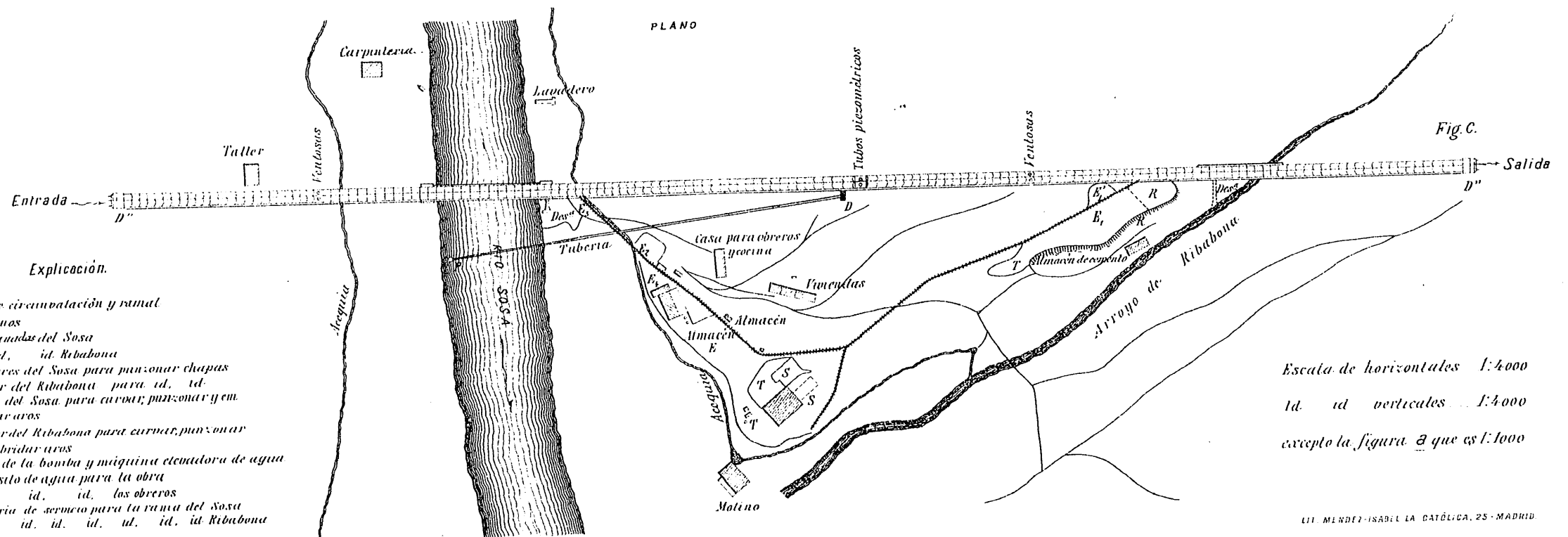
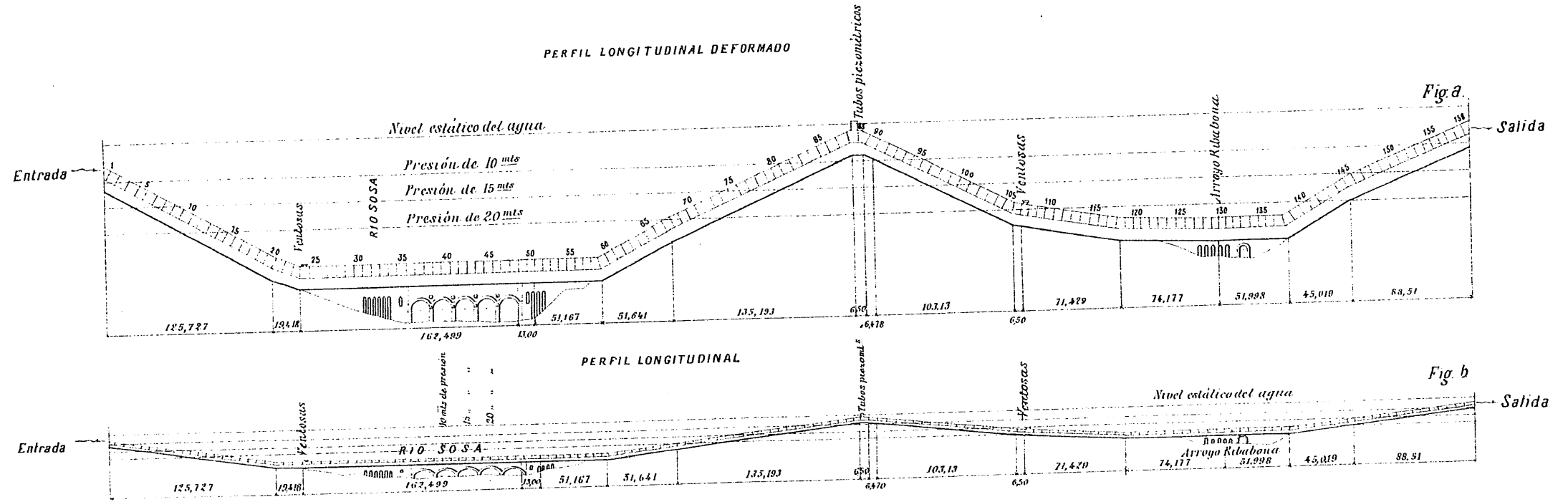
Una vez terminadas las camisas de palastro, se les aplicaba la armadura exterior que les correspondía, según el lugar que el

Fig. 11



tubo había de ocupar en el perfil longitudinal. Los tubos sometidos á mayor presión tienen exteriormente 52 aros de 45 X 45 X 6 mm. (fig. 9). La camisa de palastro se introducía dentro

PLANO GENERAL DE LA OBRA



de los aros y luego se repartían éstos uniformemente; para que aquéllos se conservasen á igual distancia, se colocaban entre ellos y la camisa de palastro varillas de 8 mm. de diámetro, paralelas al eje del tubo, y se ataban con alambre recocido los hierros perfilados á estas varillas. Cada tubo lleva 80 varillas de 0^m,35 de longitud. Las armaduras de los tubos de empalme con los de desagüe y piezométricos, que llevan en sus camisas de palastro agujeros de 0^m,50 y 2^m,50 de diámetro, se modificaron en estas zonas, pues los aros correspondientes á ellas no podían ser cerrados; la modificación consistió en abrir estos aros dejando libre el agujero, doblando á fuego cada aro en el borde de aquél; resultaban así alrededor de cada agujero unas puntas de aros salientes que impedían la rodadura de los tubos.

Lo difícil aquí era colocar los aros á modo de directrices de la camisa de palastro; para ello pensaba emplear Mr. Bonna el siguiente procedimiento: con ayuda de la viga-caballote y la grúa de que ya he hablado, suspendería la camisa de palastro por un solo extremo, reposando con el otro sobre el suelo; se colocaría luego un borriquete que sostuviese al tubo en esta posición y se desengancharía la cadena de suspensión; hecho esto, se introducirían por el extremo libre levantado todos los aros correspondientes al tubo, se volvería á enganchar la cadena á la viga y se suspendería el tubo hasta dejarlo colgando horizontalmente; entonces se distribuirían los aros uniformemente y se harían las ataduras, ultimando la armadura.

Si poco racional era el sistema de soldar las virolas de un tubo teniéndolas colgadas de un caballote, menos racional era colocar las armaduras por este procedimiento: la camisa de palastro pesaba dos toneladas; la camisa con la armadura exterior llegaba á pesar cinco toneladas en los tubos de mayor presión; si los tubos y grúa no pudieron resistir el peso de la camisa de palastro, ¿cómo habían de resistir el de la camisa con la armadura, doble de aquél? No concibo cómo se pudo pensar en una cosa tan complicada para colocar las armaduras, siendo tan fácil idear procedimientos más racionales y eficaces sin desarrollar esfuerzos completamente estériles.

El procedimiento que adopté para colocar las armaduras no puede ser más sencillo: se hace rodar al tubo de modo que monte sobre dos tacos de madera de 0^m,15 ó 0^m,20 de altura, colocados como á metro y medio de los extremos del mismo (fig. 10); en esta posición se meten por cada extremo la mitad de los aros que corresponden al tubo, acumulándolos cerca de los tacos de modo que resulten libres los extremos de las camisas de palastros; se sigue rodando el tubo sobre otros tacos un poco más altos que los anteriores, con lo cual quedan éstos libres y se quitan (fig. 11), pudiendo repartir los aros con toda facilidad á lo largo de la camisa de palastro. Las varillas longitudinales de 8 mm. se colocan previamente sobre la camisa de palastro asegurándolas por medio de ataduras con dos círculos de alambre que rodean el palastro á modo también de directrices.

Al principio, una brigada de ocho hombres formada por obreros catalanes avezados á esta clase de trabajo, tardaba dos días en dejar concluida la armadura de un tubo; más adelante prescindiendo de los obreros catalanes, que no resistían bien el calor sofocante que allí se sentía, y los sustituí por obreros del país que en pocos días se ponían al corriente en cualquier clase de trabajo; pues estas brigadas de labradores, de peones, llegaron á adquirir tal expedición en este trabajo, que cada una hacía al día las armaduras de dos tubos, esto es, desarrollaba un trabajo cuádruple que el de los catalanes. Una cosa análoga sucedía en el trabajo de calderería, en el cual los labriegos de aquella comarca no tenían gran cosa que envidiar á los caldereros de oficio de Zaragoza y Barcelona. Por lo menos, en buena voluntad y entusiasmo los aventajaban extraordinariamente.

Transporte de las camisas armadas.—Las camisas de palastro y las armaduras en T que las rodean constituyen la parte metálica resistente de los tubos y forman, como ya he dicho, trozos de tubo en 6^m,45 de longitud, que hay que transportar á

las camas correspondientes. Para hacer posible este transporte, dado lo quebrada que es la ladera en que estaban todos los talleres, hice un camino de circunvalación de dicha ladera para enlazar las bases de las rampas que desde el Sosa y el Ribabona suben á lo alto de la divisoria en que están los tubos piezométricos. Este camino de circunvalación, que tiene por pendiente máxima en corto trecho el 1 por 100, no estaba siquiera empezado en la parte de Ribabona á mediados de Julio, y la parte del Sosa, que yo ordené ejecutar á principios de Junio, se hizo con tanto reparo sobre su necesidad y con tanta mezquindad para que no resultase muy costoso, que al pasar por él el primero tubo no pudo avanzar nada en las trincheras, teniendo que ensanchar éstas con febril actividad para poder empezar á ejecutar obra transportando los tubos á sus camas. En la parte de Ribabona hay cotas de trinchera muy elevadas. La anchura media del camino es de 4^m,50.

Este camino pasa por todas las explanadas *E* en que había talleres *T* y en que se armaban las camisas de palastro; de todas recogía los elementos que estaban preparados para ser colocados en obra; á ellas llevaba lo que podía ser necesario; en una palabra: era la arteria principal de la obra por la que circulaba toda la actividad que era preciso desarrollar en ésta.

Todos los transportes se hacían por este camino con vía Decauville de 0^m,60 de anchura; el haber elegido esta anchura de vía ha sido otro de los errores de Mr. Bonna, sobre el cual le llamé oportunamente la atención para que lo rectificara. Cuando yo asumí la dirección de la obra era ya tal la cantidad de vía acumulada en ésta que no me pareció conveniente desecharla y sustituirla por la de 1 m. de anchura con traviesas de madera, que era la que, á mi juicio, debía haberse adoptado. En esta falta fué comprendida una copiosa penitencia, porque en el curso de la obra tuve muchas ocasiones de arrepentirme por no haber prescindido de ciertas consideraciones y adoptado, desde luego, la solución más conveniente. En los extremos de esta vía férrea y enlazándola con las vías que se apoyaban en el fondo de las camas y servían para transportar los tubos por el interior de éstas, había cambios de vía que tenían por objeto facilitar el paso de los tubos en todos sentidos; claro es que en estos empalmes se habían dejado incompletas las camas, haciendo sólo las soleras ó partes *abcd* de las mismas. Dos de los fotograbados representan estos cambios. El del Sosa ocupa las camas números 53 y 54, que son las que se dejaron incompletas; el del Ribabona ocupa las camas 119, 120 y 121, que sólo se completaron por un lado.

Para transportar los tubos se empleaban plataformas muy sólidas (fig. 12) de dos ejes de 80 mm. de diámetro separados 1^m,70 y ruedas de 0^m,50 de diámetro; el bastidor estaba formado por dos largueros en doble T de 220 mm. de altura, á cuya cabeza inferior iban fijos los cojinetes y dos traveseros de igual altura; sobre este bastidor se colocaba una meseta de madera de 2 m. de anchura y 3 m. de longitud; por último, sobre esta meseta se fijaba una especie de cuna de 6 m. de longitud y 2 m. de anchura, constituida por dos largueros de 0^m,20 de saliente sobre la meseta, arriostrados de trecho en trecho por traveseros de forma circular alecuada; esta cuna impedía que el tubo pudiera girar, cayéndose de la plataforma.

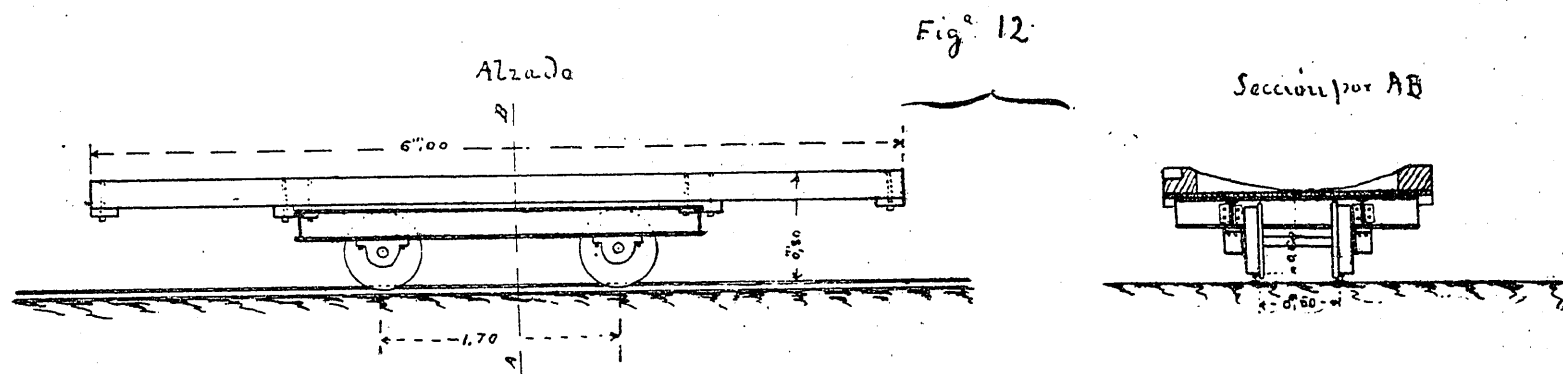
Las explanadas *E*, en las cuales se armaban las camisas de palastro, tenían sus rasantes á tal altura sobre los carriles que venían á quedar casi á nivel con la plataforma de transporte (fig. 13); para colocar un tubo (camisa de palastro y armadura exterior) sobre la plataforma, se ponía ésta ante él; se la calzaba con postes *p* con objeto de que no girase sobre un carril al recibir por el borde todo el peso de un tubo y se colocaban unos tableros *t* formando un plano inclinado por el cual subía el tubo rodando y entraba en la cuna de la plataforma; antes de hacer rodar el tubo se fijaban á la armadura exterior unos vientos de cáñamo que, por su oportuno temple, evitaban el golpe del tubo al caer sobre el otro larguero de la cuna; estos vientos desempeñaban un papel muy importante en el transpor-

te del tubo, sobre todo en las curvas y en los cambios de vía impidiendo en muchas ocasiones serios accidentes.

Por las malas condiciones de la vía era preciso hacer el transporte de los tubos a paso lento con una cuerda de la que tiraban varios hombres, habiendo otra por detrás, de freno, y aun así hubo que lamentar varios percances, sobre todo cuando el terreno se reblandecía con la lluvia. El más importante ocurrió cuando se hizo el transporte del primer tubo más pesado, de cinco toneladas; una de las ruedas delanteras se hundió más de 0^m,30 en el terreno cerca del cambio del Sosa, doblando el carril de

hacia el larguero de la cuna se inclinaba la plataforma y descarrilaba; otras veces los vientos de cáñamo no estaban bien templados y el tubo caía con velocidad sobre la cuna y también descarrilaba la plataforma; otras veces, por último, se producía el descarrilamiento al empezar a marchar la plataforma si se iba con mucha velocidad, al tomar mal alguna curva ó al tomar algún cambio. Todos estos accidentes, que no por pequeños dejaban de dificultar la marcha del trabajo, se hubieran evitado por completo con vía de 1 m., sólidamente establecida.

El transporte, ó más bien la carga en la plataforma de los



una manera incomprensible; este accidente extendió el pánico entre todos los encargados y obreros de la obra; si la mayor parte de los tubos eran de este peso máximo y al transportar el primero ocurría un accidente como éste, ¿cómo había de ser posible transportar todos los demás? Pero este contratiempo no era de bastante importancia para poner en peligro la posibilidad de ejecutar la obra y ejecutarla pronto. Con ayuda de poderosas palancas, se colocó horizontal la plataforma otra vez; se descargó el tubo en la explanada inmediata E₃, se retiró la plataforma; se quitó el carril doblado y redoblado; se consolidó el terreno; se colocó otro carril multiplicando las traviesas; se

tubos especiales, esto es, de los correspondientes a los cambios de rasante y empalme con los de desagüe y piezométricos, era dificultosa. En efecto, las armaduras de los tubos de los desagües y piezométricos formaban alrededor de cada agujero como generatrices de un cilindro normal al tubo, impidiendo la rodadura de éste; para cargar estos tubos había que tener la precaución de que los agujeros de los de desagüe cayesen exactamente en la parte inferior, y en la plataforma se abrió un agujero para recibir los hierros salientes; lo mismo había que procurar en los tubos de cambio de rasante; se debían de colocar de tal modo, que ocupasen en la plataforma la misma posición que habían de

ocupar en las camas. Los tubos piezométricos debían cargarse de tal modo, que sus agujeros y hierros salientes cayeran precisamente en la parte superior.

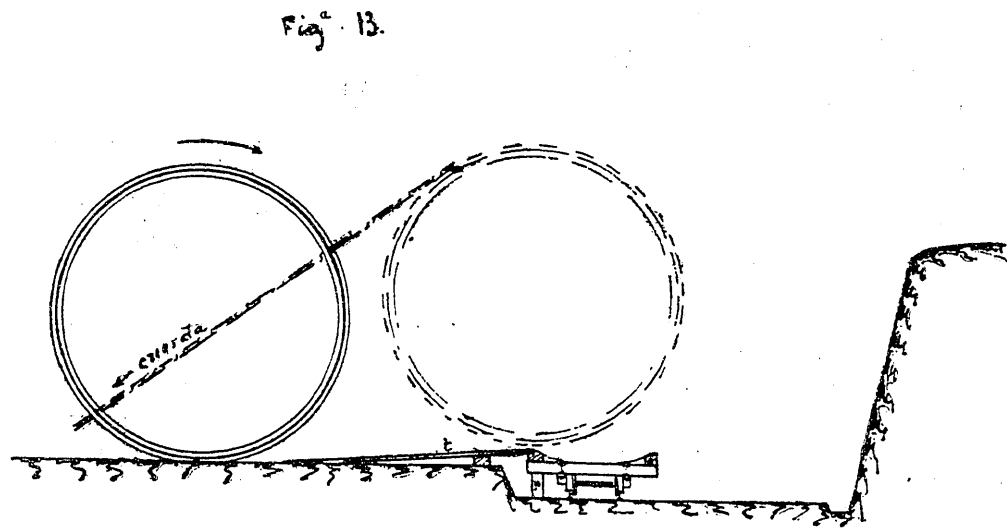
Para conseguir estos resultados había que colocar estos tubos especiales en los bordes de las explanadas de tal suerte, que su distancia al eje de la plataforma fuese igual al desarrollo de la parte de tubo que se había de apoyar en el suelo al rodar, y, conseguido esto, era preciso que para dicha posición del tubo el agujero que llevaba, ó el corte especial del borde, ocupasen la posición debida, con objeto de que al caer sobre la plataforma estuvieran en los sitios convenientes. De aquí resulta la necesidad de hacer con los tubos armados dos operaciones importantes: primera, hacerles girar sobre sí mismos sin cambiar de sitio; segunda, cambiarlos de tal modo que un extremo

ocupe la posición del otro y éste la de aquél. Estas maniobras me preocuparon grandemente al principio; pero llegué a idear para ellas procedimientos tan sencillos y eficaces que luego se manejaban estas enormes masas, de difícil asidero, con la misma facilidad que una pluma, si vale la exageración.

Transportado un tubo por la vía de circunvalación hasta el cambio del Sosa ó del Ribabona, tomaba en él la dirección necesaria según que hubiera de ir desde este cambio hacia el origen del sifón ó hacia el tubo piezométrico, en el Sosa ó hacia este tubo ó hacia el final del sifón, en el Ribabona; el cambio del Sosa

cargó de nuevo el tubo, se pasó por el punto difícil, que en lo sucesivo fué el más firme de la vía, y se continuó transportando los demás tubos sin que este incidente haya tenido más importancia que paralizar el trabajo durante una tarde.

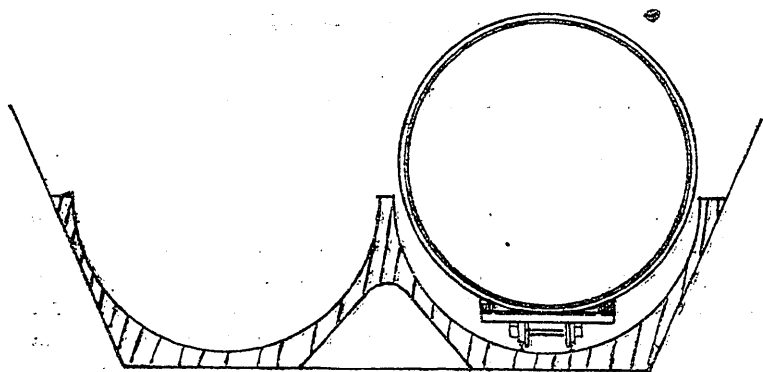
El descarrilamiento de la plataforma cargada con un tubo ha sido percance bastante repetido; pero se llegó a tener tal expedición en este punto que se encarrilaba aquélla sin necesidad de descargar el tubo. Era frecuente relativamente el descarrilamiento de la plataforma en el momento de cargar el tubo; algunas veces los postecillos *p* no estaban bien colocados, y al avanzar éste



era más complicado que el de Ribabona, porque aprovechando el tiempo que mediaba entre el paso de dos tubos, se transportaba a la vía general, atravesándolo, la mayor parte de los materiales necesarios en la obra. Llegaba así un tubo en su plataforma hasta el pie de las rampas de gran pendiente, mayores del 8 por 100; en estas rampas no era posible la tracción con personas, hubiera sido temerario intentarla, porque, aunque el esfuerzo desarrollado por ellas pudiera ser suficiente, ya se comprende lo poco que se puede confiar en un sistema que, con sólo la mala fe de uno ó dos obreros puede ocasionar accidentes graves.

Durante el transporte de los tubos por el interior de las camas, sobre las cuales, naturalmente, se tendía la vía necesaria, había que tomar precauciones grandes. En efecto, en la figura 14

Fig. 14



se ve la posición que ocupaba con relación a las camas un tubo montado sobre la plataforma; pues, ya porque el tubo no estuviera exactamente en el eje de la plataforma, ya porque estuviera más aplastado de lo corriente, ya porque la vía cediera en algún punto inclinándolo el tubo hacia un lado, ya, por último, porque las camas no podían estar ejecutadas al milímetro en sus dimensiones, resultaba muchas veces que la armadura tropezaba con los bordes de las camas; en estos casos eran eficacísimos los vientos de cáñamo que permitían separar algo el tubo del borde con que rozaba su armadura. Dos hombres caminaban, además, al lado del tubo, subidos al corazón y costado de la cama, auxiliando eficazmente a los vientos de cáñamo.

Para subir la plataforma por las pendientes se empleaban tornos colocados en la parte superior de éstas y cables de alambre de 22 mm. de diámetro; los tornos que compró Mr. Bonna para la pendiente que baja al Sosa eran de pequeña potencia y hubo necesidad de colocar dos para subir la plataforma.

Los cables no se enganchaban a la parte delantera de la plataforma, sino a la parte posterior, después de haberlos pasado por el interior del tubo. Esto tenía por objeto evitar falsas maniobras al colocar el tubo en la cama, como se verá en lugar oportuno.

Para subir las pendientes adopté toda clase de precauciones: de trecho en trecho se iban colocando travesaños apoyados contra las camas en el espacio que éstas dejaban entre sí, con objeto de que impidieran la caída de la plataforma si por un accidente se rompía el cable; en el fotograbado que representa el cambio del Sosa se ve a dos peones ejecutar esta operación; estaba completamente prohibido circular por las camas durante la ascensión por una pendiente.

En vista del peligro que podía sobrevenir a los diestros operarios que colocaban los traveseros, prescindí de este requisito y coloqué en las plataformas unas tornapuntas con objeto de que al romperse el cable detuvieran la vagoneta ó por lo menos la hicieran descarrilar, con lo cual ni ella ni el tubo podían llegar hasta la parte baja de la pendiente. Para las pendientes que bajan de los tubos piezométricos al Sosa y Ribabona y para la de salida del sifón prescindí de los tornos anteriores y encargué

otros de gran potencia con bastidores de palastro, frenos y otras precauciones de seguridad; pretextando que éstos no eran de fabricación corriente me los enviaron con bastidores de fundición, perdiendo así la confianza que necesitaba tener en estos aparatos.

Afortunadamente no ocurrió más que un accidente de importancia durante todos los transportes: cuando un tubo de la pendiente de salida, el núm. 156 estaba ya en lo alto de la pendiente y cerca de su sitio, retrocedió precipitándose con la plataforma por la vía y cayendo como una exalación sobre el pontón de Ribabona donde descarriló la plataforma sin producir el menor desperfecto; desgracias no podía producirlas porque ya he dicho que estaba severamente prohibido circular por las camas cuando un tubo subía alguna pendiente. La causa de este accidente fué singular: ni se rompió el cable ni se rompió ninguna pieza del torno; los obreros que movían las manivelas no observaron nada que les indicase lo sucedido; examinado este aparato observé una grieta en el cubo del piñón principal acunado al tambor y vi que éste había quedado loco con relación a dicho piñón, explicándose así lo sucedido.

Llegada la plataforma a la cama, en que debía colocarse el tubo se acunaban las ruedas y se colocaba un travesero, apoyado en la cama siguiente, que sostenía perfectamente la plataforma; podía entonces aflojarse el cable (permaneciendo atado a la plataforma) sin temor de que el tubo se escapase y se procedía a colocar éste en su sitio.

Por no dar a este artículo excesivo desarrollo, concluiré en otro la descripción de la obra, detallando en él la colocación de los tubos en las camas, su moldeo, la ejecución de las juntas y de las envolventes sobre las obras de fábrica y dando noticia de los trabajos accesorios, de bastante importancia también en esta obra.

MARIANO LUÑA.

Marzo 1906.

ESTUDIOS SOBRE LOS ESFUERZOS CORTANTES EN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

L'Engineer, del 23 de Diciembre, da cuenta de un gran número de ensayos hechos por M. E. G. Izod en el laboratorio de l'University College, con objeto de determinar el modo de resistir de un material, en particular la fundición, cuando se le somete únicamente a esfuerzos cortantes. A este fin, ha empleado un aparato especial que evita en lo posible las deformaciones debidas a los esfuerzos de tensión ó de flexión. La acción de este aparato es muy análoga a la de un punzón.

Algunas de las secciones de rotura obtenidas presentan aspectos muy particulares, entre otras las del acero dulce y el bronce fosforoso, que muestran salientes en ángulo agudo, formando cuchillos; ciertos materiales, el palastro de acero dulce y las maderas, se deforman, además, de una manera muy sensible antes de romperse.

Estos ensayos parecen demostrar que no existe ninguna relación general entre estos esfuerzos y la resistencia a la tracción. La resistencia de los materiales duros y poco dúctiles a los esfuerzos cortantes se ha encontrado, en general, superior en un 20 a un 25 por 100 a la que corresponde a la tracción, en tanto que para los materiales dúctiles es, en general, inferior de 0 a un 50 por 100, pero sin que el valor de la relación de estas dos magnitudes siga una ley general cualquiera.

No ocurre lo mismo con los alargamientos por ciento, cuya curva en función de la relación $\frac{Fc}{Ft} \times 100$ (Fc , esfuerzo cortante en la rotura, y Ft , esfuerzo de tensión en la rotura) presenta, sin embargo, un mínimo para el valor 60 de esta relación; a partir de este mínimo, los alargamientos crecen en cantidades iguales en los dos sentidos hasta un 30 por 100 próximamente.—O.