

REVISTA EXTRANJERA

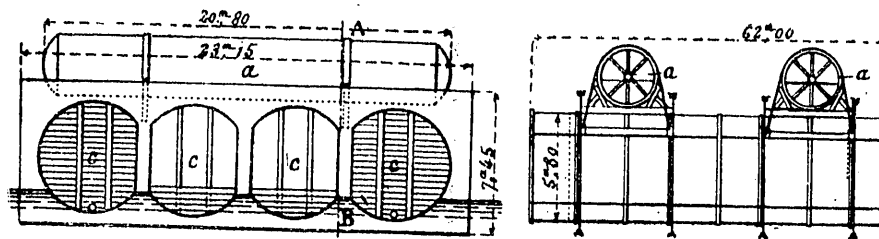
El túnel cuádruplo del metropolitano subterráneo de Nueva York, bajo el Harlem River.

La ciudad de Nueva York ha sido fundada, como sabemos, en la península de Manhattan, entre el estuario del Hudson y el East River, habiéndose conservado en ella el centro de los negocios de la gran ciudad americana. Su desarrollo, sin embargo, no ha podido hacerse más que fuera de la península, en los territorios aledaños, donde se han formado las aglomeraciones de Jersey City, Pichmond, Brooklyn, Bronx, en otro tiempo pueblos independientes, y que hoy día forman parte del Greater New-York ó La Gran Nueva York, población de más de 5 millones de habitantes.

El establecimiento de medios de comunicación entre Manhattan y los suburbios ha presentado serias dificultades á causa de la anchura del Hudson y de la proximidad del mar, cuyas mareas tienen una gran amplitud. Al Este de la ciudad se han podido establecer sobre el East River un cierto número de puentes que se cuentan entre las mayores obras metálicas existentes. Pero al Noroeste, el estuario del Hudson ó North River tiene una anchura que llega hasta á 1.600 metros y una profundidad que varía de 12 á 26 metros; estas dimensiones, así como la naturaleza del cauce, constituida por una arcilla blanda, han impedido hasta ahora la construcción de puentes, de modo que la travesía del

metros, próximamente, y su profundidad de 8 metros en marea baja. El cauce del río está constituido por una arcilla blanda.

La longitud total del túnel submarino es de 329,20 metros. Sus extremos presentan una pendiente de un 3 por 100 hacia la mitad de la obra. Como la navegación es muy activa en este punto, se ha tenido que adoptar un procedimiento cuya ejecución no obstruyese más que una parte del río á la vez. El método elegido ha consistido en el empleo de cajones metálicos, formando cada uno un trozo del cuádruplo túnel, llevado á su sitio por flotación y descendido después hasta una excavación dragada en el fondo del cauce. Es una nueva aplicación, dice el autor, bajo una forma un poco diferente, de la idea aplicada por primera vez por M. León Chagnaud, en 1903, para la travesía bajo el Sena de la línea núm. 4 del Metropolitano de París. Estos cajones, formados de tubos *c*, con flotadores encima *a* (figuras 1.^a y 2.^a), se han colocado sucesivamente los unos á continuación de los otros, llenándose en seguida de hormigón formando el túnel propiamente dicho, se quitaron después los diafragmas que separaban los cajones unos de otros, de manera de constituir tubos continuos. Estos se encuentran así envueltos en una masa prismática de hormigón que tiene una sección rectangular de 23,75 metros de anchura y 7,45 metros de altura, próximamente, y que constituye la estructura misma del túnel, no sirviendo los tubos de palastro más que para asegurar la impermeabilidad:

Figs. 1.^a y 2.^a

río no se consigue más que por medio de barcas y *ferry-boats* por una parte y por túneles por otra parte. Estos sirven, principalmente, para el paso de varias vías férreas que terminan en Nueva York y para el de algunas del ferrocarril metropolitano.

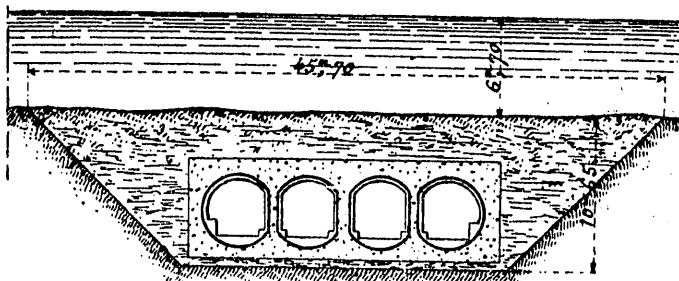
Esta disposición ha contribuido á dar á los túneles submarinos de Nueva York un desarrollo que no se encuentra en ninguna otra ciudad. Unos veinte túneles, de los que tres sirven para el paso de las cañerías de gas, unen en la actualidad los diversos distritos de la población. Ya en esta REVISTA hemos examinado en diferentes ocasiones la construcción de los túneles de Nueva York; vamos ahora á describir, extractando el artículo que M. P. C. publica en *Le Génie Civil*, la más reciente de estas obras, que acaba de terminarse, y por la cual las vías del subterráneo, destinadas á los trenes rápidos, pasarán de Manhattan á Bronx, por debajo del Harlem River, pequeño brazo del Hudson, que desemboca en el East River al Norte de Manhattan, y separa esta ciudad del continente.

Este túnel estaba ya en vías de estudio en 1914 para el transporte en común en Nueva York, con cuyo objeto habíase ya construido en 1903 un primer túnel doble, pero como el aumento del tráfico le haya hecho insuficiente, se ha tenido que establecer al lado la nueva obra; M. Frank W. Skinner ha dado de ella, en el *Engineering*, una descripción de la que, dice M. P. C., ha tomado los datos necesarios para redactar su artículo.

DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL.—La nueva obra, situada casi en la prolongación de la Lexington Avenue, atraviesa el Harlem River oblicuamente, en un punto en que su anchura es de 180

Las figuras 1.^a á 3.^a representan esquemáticamente la disposición adoptada para los cajones y su posición en el lecho del río.

Cajones.—Los cajones, en número de cinco (figuras 4.^a, 5.^a y 7.^a, esta última representa los cortes por *aa*, *bb*, *cc*, *dd* y *ee* de

Fig. 3.^a

la fig. 4.^a), están constituidos por cuatro tubos de 5,79 metros de diámetro, teniendo su contorno de tal modo que pueden aproximarse á 5,18 metros de eje á eje; están unidos por diafragmas exteriores, de palastro, de 7,465 metros de altura y 23,16 de anchura, espaciados 4,75 metros. En los extremos del cajón, los tubos sobrepasan á los diafragmas en una semianchura.

Los tubos son de palastro de 9,5 milímetros de espesor; las juntas longitudinales llevan una doble roblonadura y las transversales una sencilla; estas últimas están reforzadas por una

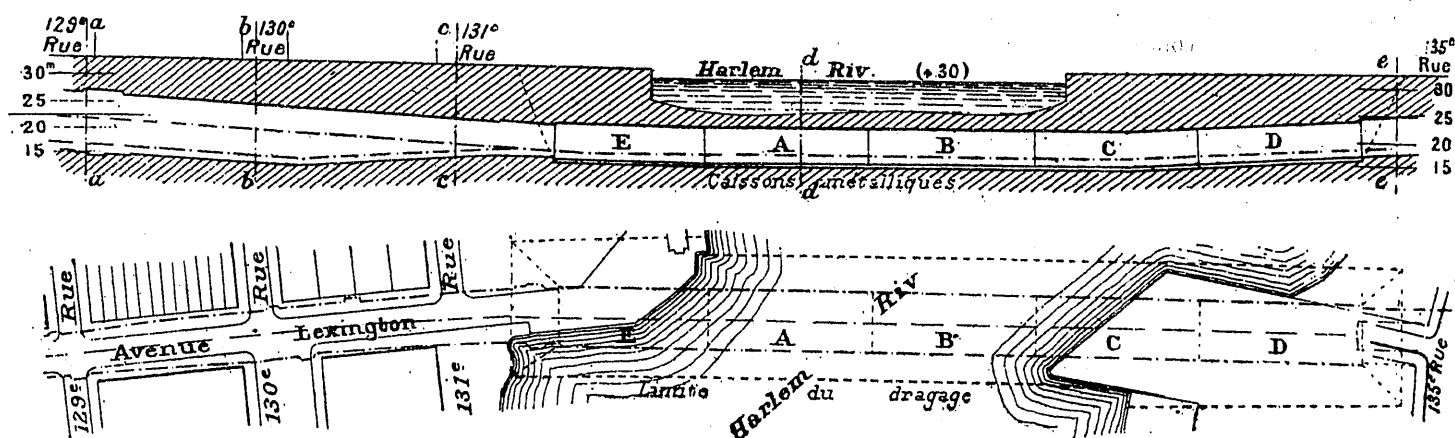
abrazadera. Esta abrazadera, cada dos juntas, sirve para asegurar la ligazón del tubo y del diafragma, el cual está constituido por un palastro de 8 milímetros de espesor, atirantado en su periferia por unas abrazaderas.

Las paredes planas de los tubos que están frente á frente se unen dos á dos por unos pernos *b* de 25 milímetros de diámetro, que sirven al mismo tiempo para sostener unos hierros en *a* (fig. 6.^a) destinados á servir de andaje al revestimiento de hormigón del interior de los tubos.

Los extremos de cada tubo estaban cerrados por un diafrag-

y se construyeron de manera de no obstruir más que la mitad superior de la sección. Se alojaba así una reserva de aire en la parte central del tubo mientras se llenaba, lo que facilitaba la inmersión. Contra los tabiques que cerraban los tubos se montaron unas válvulas de 15 ó 30 centímetros y se proveyeron los tubos laterales de tuberías en la parte superior para el escape del aire.

Para trasladar el cajón terminado de su andamiaje de montaje, se han colocado provisionalmente unos tabiques laterales y un fondo de madera, fijados al borde de los diafragmas, de ma-



Figs. 4.^a y 5.^a

ma interior movable sujeto con pernos á una abrazadera formando brida. Se han establecido unos pasos á intervalos señalados entre los tubos adyacentes. En fin, en uno de los extremos de cada tubo se encontraba un depósito vertical de aire, roblonado al palastro del tubo, de 90 centímetros de diámetro y 1,20 me-

nera de formar con el conjunto una especie de balsa (fig. 8.^a). Estos tabiques estaban constituidos por unos tableros de 10 centímetros de espesor. El fondo del cajón no se puso en su sitio más que á última hora, puesto que estaba sumergido en marea alta.

El cajón, una vez cerrado de esta manera, podía levantarse en marea alta y separarse de su andamiaje, sobre el cual se empezaba bien pronto la construcción del cajón siguiente. Remolcábase entonces el cajón hasta un puesto de amarre y se le desembarazaba de su fondo de madera. Se le terminaba en seguida, principalmente, proveyéndole de flotadores destinados á asegurar todavía la flotabilidad de la estructura después de llenar los tubos durante el hundimiento. Estos flotadores (figuras 9.^a y 10) estaban constituidos por unos cilindros dispuestos transversalmente á los tubos del cajón, en número de cuatro: dos á cada extremo. Su diámetro era de 3 metros y su longitud de 20,75, próximamente.

Estaban formados de palastros de 16 milímetros de espesor; sus extremos tenían la forma de casquete esférico. Cada flotador llevaba dos tabiques interiores, también en forma de casquete esférico, que dividían al depósito en tres capacidades distintas.

La flotabilidad de cada grupo de cuatro flotadores llegaba á 722 toneladas, mientras que el peso aparente de un cajón sumergido era de 646 toneladas. El conjunto tenía, pues, una flotabilidad positiva de 76 toneladas.

Los flotadores descansaban sobre los tubos por el intermedio de unos asientos de madera y se fijaban sólidamente á la estructura del cajón por tirantes que los unían á los diafragmas. Por estos tirantes *t* es por donde se ejercía el esfuerzo de tensión correspondiente al peso del cajón. En el plano de los asientos y de los tirantes el flotador estaba además reforzado por un diafragma parcial *d* y unas abrazaderas anulares y radiales.

Los compartimientos extremos de cada flotador estaban provistos en su parte superior de una válvula *v* de 10 centímetros, unida á una cañería del mismo diámetro, por cuyo intermedio se podía vaciar ó llenar la capacidad; otra válvula *v'* servía para el paso del aire.

El compartimiento central del flotador llevaba una válvula de fondo *s*, gobernada por una larga varilla que atravesaba el flotador. Por medio de esta válvula se podía admitir el agua en el flotador para regular exactamente la flotabilidad. Una segunda válvula *s'*, de 75 milímetros, estaba colocada en la parte su-

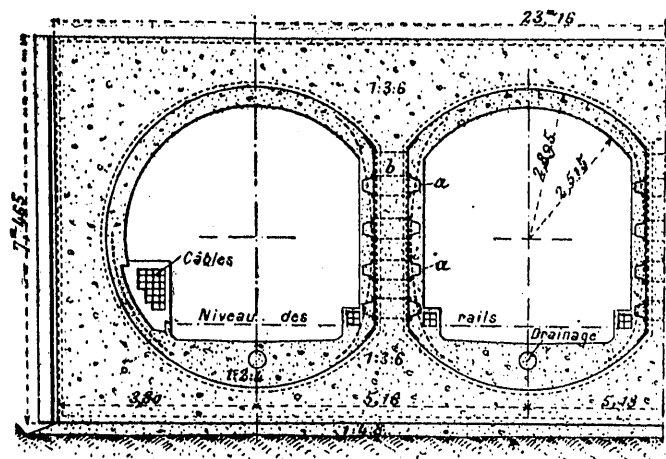


Fig. 6.^a

tros de altura, que ha servido, después de la inmersión, para penetrar en el túnel.

Los cajones se montaron en un taller que los contratistas instalaron en la orilla del río á 1.600 metros, próximamente, del emplazamiento del túnel. Este taller estaba establecido de mane-

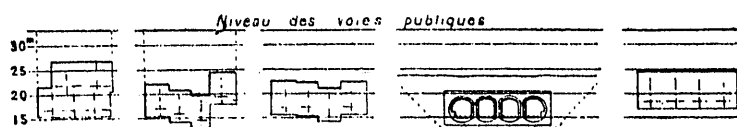


Fig. 7.^a

ra que la base del cajón fuese alcanzada por el agua en marea alta y esta disposición es la que ha permitido poner en el agua el cajón como luego veremos.

Como ya hemos dicho, para que el cajón pudiera flotar, se habían cerrado los extremos de los tubos por unos tabiques móviles de madera. Otros dos diafragmas se dispusieron en cada uno de los tubos, en las cuartas partes extremas de su longitud,

terior del flotador y se prolongaba por un tubo que descendía casi hasta el fondo. En fin, una tercera válvula *s''* en la parte superior llevaba una tubería a la cual se podía unir un tubo flexible para llevar el aire comprimido y expulsar el agua en caso de necesidad.

Para facilitar la alineación de los cajones cuando se hacía su colocación, se han montado en cada uno de sus extremos dos mástiles *m* y *m'* (fig. 11) de acero, de 13,10 metros de altura, uno sobre cada tubo extremo.

Estos mástiles, arriostrados de manera de permanecer exactamente verticales, llevaban unos brazos horizontales con unas miras que permitían la alineación.

Dragados.—En el emplazamiento del túnel se ha tenido que dragar una excavación de 24 metros de anchura en el fondo, de una profundidad media de 9,65 metros bajo el lecho del río, y cuyos lados se encontraban inclinados según un talud natural de 1 : 2 (figuras 3.^a & 5.^a).

Esta excavación estaba destinada a contener el cajón y a

junto. La inmersión del cajón duró un poco más de una hora; sólo emergían los cilindros flotadores superiores. Se abrieron entonces las compuertas de los compartimientos centrales de los flotadores y, en cuarenta minutos, próximamente, una vez llenos estos compartimientos, se hundió la estructura completa en el agua, con una flotabilidad negativa de 10 toneladas, próximamente, soportada solamente por las dos grúas.

Para regular con exactitud la posición del cajón, se le hizo descansar por cada extremo sobre cinco piezas de apoyo, colocadas en el fondo de la excavación en el sitio elegido por unos buzos. El primer cajón, así colocado, se había descendido con un desplazamiento longitudinal de 67 centímetros y uno transversal de 1,20 metros, ocasionados por el flujo. La posición de la estructura se corrigió por medio de los tornos y de las amarras colocados en los ángulos del cajón, observándose la alineación por las miras que llevaban los mástiles extremos.

Las secciones siguientes se sumergieron del mismo modo en el orden de las letras señaladas en las figuras 4.^a y 5.^a Cada

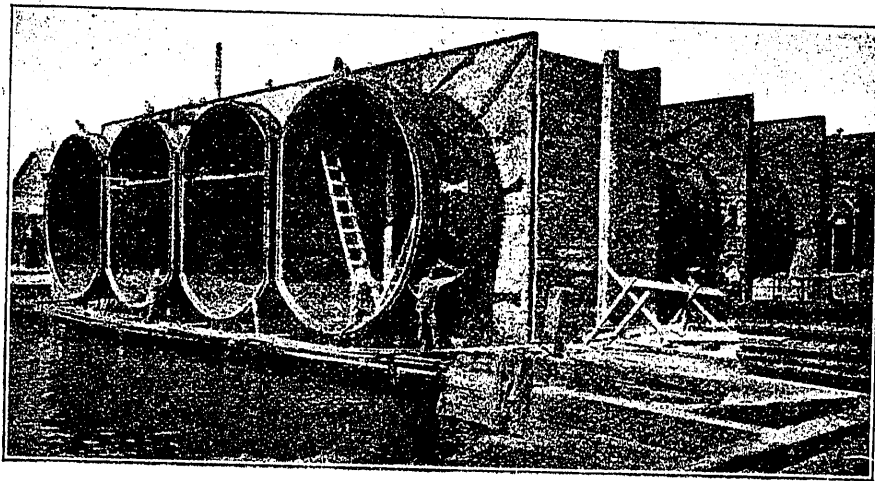


Fig. 8.^a

permitir que se le rodeara con un bloque de hormigón vertido bajo el agua, cuya parte superior debía estar sensiblemente debajo del nivel primitivo del cauce del río.

Debajo de una capa de fango de 3 á 5 metros de espesor se ha encontrado un suelo formado de arena, de arcilla y de piedras, algunas veces muy duro, y cuya excavación ha sido bastante larga. Se ha excavado un total de 210.000 metros cúbicos de escombros en dieciocho meses. Además, se hicieron saltar con dinamita 1.500 metros cúbicos de roca, próximamente, en la orilla septentrional del río, por medio de un perforador montado sobre una chalana.

Inmersión de los cajones.—Terminado el primer cajón, se le ha remolcado en una longitud de 1.600 metros separándole de su emplazamiento, por medio de tres remolcadores, dos á la cabeza y uno detrás. Se le amarró luego por sus cuatro ángulos á unos grupos de pilotes hincados en el lecho del río. Un martinete de vapor amarrado á los mismos pilotes llevaba unos tornos de vapor por medio de los cuales se producían los movimientos necesarios para la colocación rigurosa del cajón. Éste, en fin, se fijaba, por un quinto amarre, al brazo de una grúa flotante de 10 toneladas, amarrada á lo largo de uno de los lados de la estructura. En el otro lado se encontraba la instalación flotante para la fabricación del hormigón necesario, provista también de una grúa de 10 toneladas.

Para producir la inmersión del cajón, cuyo fondo de madera se había quitado, se empezó por desmontar parcialmente los tabiques extremos de los dos tubos centrales, y se abrieron las compuertas de 30 centímetros de los compartimientos extremos de los tubos exteriores; al mismo tiempo, se fijaron unos tubos flexibles á las tuberías de salida del aire de 5 centímetros, y, por la maniobra de las llaves de escape de aire, se pudo regular la introducción del agua, y, por consecuencia, el descenso del con-

cajón se unía al precedente por dos varillas pilotes *t*, de 125 milímetros de diámetro y un metro de longitud, fijadas por un extremo á la pieza de fundición que servía de base al mástil de regulación, y por el otro, libre, penetraba en el agujero cónico de una pieza de fundición correspondiente, fijada en el punto conveniente en la base del mástil del cajón siguiente (fig. 11). Se colocaba una clavija tan pronto como se hacía la unión, la cual servía para solidarizar inmediatamente los dos cajones, en espera de su unión definitiva. Ésta se realizaba por medio de pernos que apretaban una contra otra las caras formando bridas de las abrazaderas roblonadas en los extremos de los tubos. Estos pernos, de 22 milímetros de diámetro, se ponían en su sitio por buzos.

Hormigonado exterior del túnel.—El relleno del cajón alrededor de los tubos ha necesitado el empleo de 30.000 metros cúbicos de hormigón que se preparaba por medio de hormigonadoras dispuestas sobre un pontón de 10,70 x 35,30 metros. La instalación contenida en este pontón comprendía tres hormigonadoras, dos calderas de vapor de 45 caballos, un compresor de aire, cinco tolvas de hormigón elevadas con aparatos elevadores, tres tolvas de 6 metros cúbicos para la arena y la grava, en fin, tres depósitos de agua dulce.

Las tolvas elevadas, de donde se vertía el hormigón por gravedad en el cajón, por una cañería móvil, estaban montadas en el vértice de los pilares de 15 metros de altura, dispuestos á lo largo de uno de los mayores lados del pontón. Estaban suspendidas á este pilar de manera de poder bajar ó subir á voluntad, según el grado de avance del trabajo. Unas cubetas de 750 decímetros cúbicos, abastecidas por las hormigonadoras, se elevaban en cada pilar entre guías y llenaban las tolvas.

Estaba el pontón dispuesto transversalmente al extremo del cajón sumergido y amarrado de manera que cada tolva corres-

pondía al intervalo de dos tubos ó á uno de los espacios extremos del cajón. Al principio de la operación las tolvas, bajadas, estaban en la parte inferior de los pilares, de manera que las cañerías que las prolongaban descendiesen hasta el fondo del cajón. Se vertió primero en las tolvas una cierta cantidad de hormigón bastante seco, para expulsar el agua que llenase las cañerías, después se continuó por el envío continuo de hormigón normal, levantando las cañerías á medida que era necesario. Unos buzos vigilaban la colocación del hormigón y verificaban la ausencia de cavidades.

Los cajones se colocaban de manera que el borde de los dia-

cies de segregación en la masa. El hormigonado completo de un cajón duraba treinta y dos días.

El plano de unión de dos cajones sucesivos se encontraba en medio de uno de los compartimientos determinados por los diafragmas extremos. En este compartimiento se empleó un hormigón más rico que en los otros, con objeto de aumentar la impermeabilidad de la junta, siendo su dosificación de 1 : 2 : 4.

Vaciado y hormigonado interior de los tubos.—Cuando todos los tubos estuvieron sumergidos, unidos y hormigonados exteriormente, se procedió á vaciar el interior de los tubos. Para esto se llegó á los cuatro tubos por unos pozos verticales constituidos

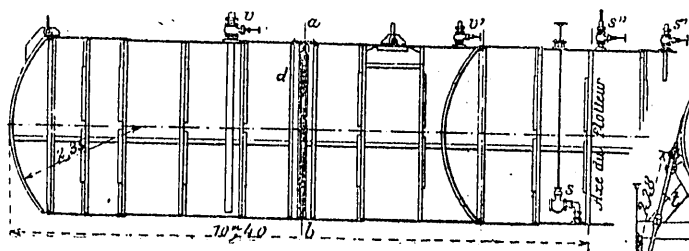


Fig. 9.ª

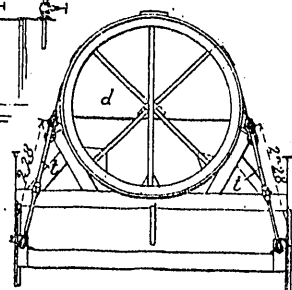


Fig. 10.

fragmas estuviese de 30. á 60 centímetros sobre el fondo de la excavación; la generatriz inferior de los tubos estaba así á un metro ó á 1,30 metros del fondo de la misma. Estando este espacio completamente relleno de hormigón, los tubos descansan sobre una sólida fundación. La dosificación del hormigón empleado así en la parte inferior era de 1 : 4 : 8.

Cuando la base del cajón fué de este modo incrustada en el

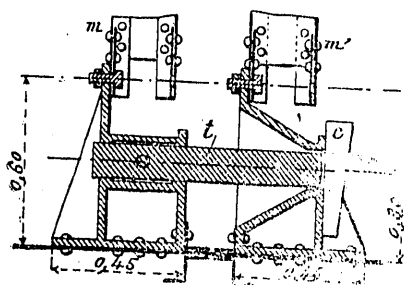


Fig. 11.

hormigón, formando éste un soporte completo para los tubos, se quitaron los flotadores.

El hormigón añadido en seguida para formar las paredes entre los tubos, cuya dosificación era 1:3:5, se componía de guijarros más finos que los del precedente, para que pudiera correr mejor entre las paredes.

Cada uno de los compartimientos limitados entre dos diafragmas, y que eran en número de 13 por cajón, se llenó en ocho horas por un equipo de 35 hombres, comprendiendo dos buzos. La operación, que llevaba consigo la colocación de 360 metros cúbicos de hormigón, próximamente, se efectuó cada vez de una manera continua, de manera de evitar la producción de superfi-

por cilindros de palastro montados sobre los tubos por unos buzos.

Como ya hemos dicho, se habían instalado con este objeto en el extremo del primer cajón unos enlaces verticales, cerrados por diafragmas movibles, y á los cuales bastó sujetar con pernos los cilindros para formar los pozos. En estos pozos se instalaron dos pulsómetros de 10 centímetros, una bomba centrífuga de 15 centímetros y una de 23. Estos cuatro aparatos, funcionando á una altura de agua de 15 metros, próximamente, extrajeron 30.500 metros cúbicos en trece días. Se pudo entonces descender á los tubos, quitar el fango que había penetrado en ellos y no se había extraído con las bombas y acabar después la junta entre los cajones sucesivos. Impermeabilizadas algunas fugas, el túnel quedó perfectamente seco é impermeable y se pudo trabajar á la presión atmosférica.

La superficie interior de los tubos fué, en fin, cubierta por un revestimiento de hormigón armado (fig. 6.ª), cuyo espesor es de 30 centímetros á lo largo de las paredes verticales, de 37 centímetros en las partes abovedadas, llegado á 85 centímetros en la base del túnel en que el revestimiento forma un zampeado horizontal. Los hierros de armadura tienen 25 milímetros de diámetro y están espaciados normalmente 30 centímetros. El hormigonado de las paredes verticales y de las partes abovedadas se hacía después de apisonado el zampeado, por medio de moldes de madera de 9 metros de longitud, desmontables, los cuales se trasladaban en el túnel á medida que se avanzaba en el trabajo. La dosificación del hormigón era de 1 : 2 : 4.

Los enlaces de los tubos con las partes del túnel construidas de la manera ordinaria, se realizaron al abrigo de ataguías de 18 metros, próximamente, de profundidad, de tablestacas metálicas, establecidas en cada extremo.

