

LA CONSTRUCCION POR VACIO DE LOS CANALES DE LOS SALTOS DE ESPOT Y DE SAN MAURICIO, DE HIDROELECTRICA DE CATALUÑA, S. A.

Por PEDRO DURAN FARELL,
Ingeniero de Caminos.

Se describe en el presente artículo, con abundante documentación fotográfica, la fabricación y puesta en obra de los tubos de gran diámetro de hormigón en masa vibrado y tratado por el vacío, que se han empleado con gran éxito en la construcción de los canales de los importantes aprovechamientos hidroeléctricos que se reseñan en el título.

Hidroeléctrica de Cataluña ha construido el sistema de saltos del río Espot, afluente del Noguera Pallaresa, para el aprovechamiento hidroeléctrico de un desnivel de unos 1 000 m.

El salto superior, denominado de San Mauricio, es en Y, uno de cuyos brazos se alimenta del río Espot mediante una toma profunda en el lago de San Mauricio, que se ha recrecido 18 m. El segundo brazo se alimenta del río Peguera, estando quebrado este brazo por el desnivel correspondiente al salto de Lladrés, que se ha utilizado durante el período de obras como central auxiliar. La cuenca superior del río Peguera, muy rica en lagos, de gran capacidad, podrá constituir una importante reserva de energía que será generada en los saltos del sistema.

El salto de San Mauricio tiene una altura de 550 m., una potencia de 20 000 CV. y una producción de 56 millones de Kw.-h. El salto de Lladrés, 125 m., 1 500 CV. y 3 millones de Kw.-h.

El salto inferior, denominado de Espot, se alimenta directamente del desagüe del salto de San Mauricio. Tiene una altura de 396 m., una potencia de 15 000 CV. en dos grupos y una producción de 45 millones de Kw.-h. Se encuentra también en construcción, como formando parte del sistema, aunque alimentado con aguas del Noguera Pallaresa, el salto de la Torrasa, cuyo único grupo de 6 300 CV. constituirá el tercero de la central del propio salto de Espot.

Hidroeléctrica de Cataluña, S. A., decidió la rápida construcción de este sistema de saltos de gran interés, por las excelentes condiciones de sus caudales fluyentes y regulados.

Saltos situados entre las cotas 1 000 y 2 000 sobre el nivel del mar, en pleno Pirineo, se asientan sus obras en laderas extraordinariamente escarpadas y difíciles. Y, como consecuencia, la construcción de sus canales de conducción tenía que presentar importantes dificultades.

Los canales de conducción tienen 3,9 Km. en el

salto de Espot, 6,5 Km. en el brazo del río Espot del salto de San Mauricio y 2 Km. en el brazo de Peguera, de este último.

Se estudió detenidamente el problema de la construcción de dichos canales, a base de un tiempo y de instalaciones mínimos, y se decidió el empleo del hormigón al vacío, de cuya patente es beneficiaria en España la casa Vaco, S. A., y por cuyo procedimien-

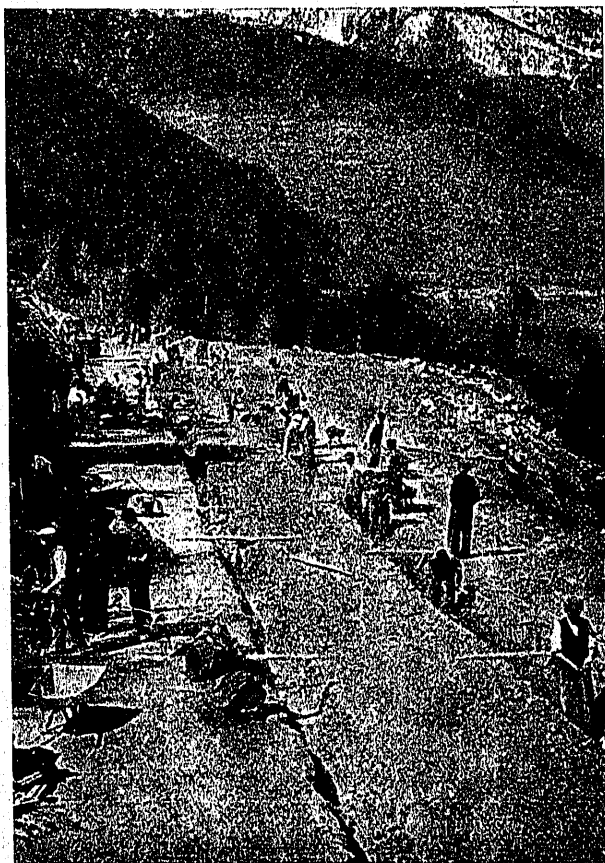
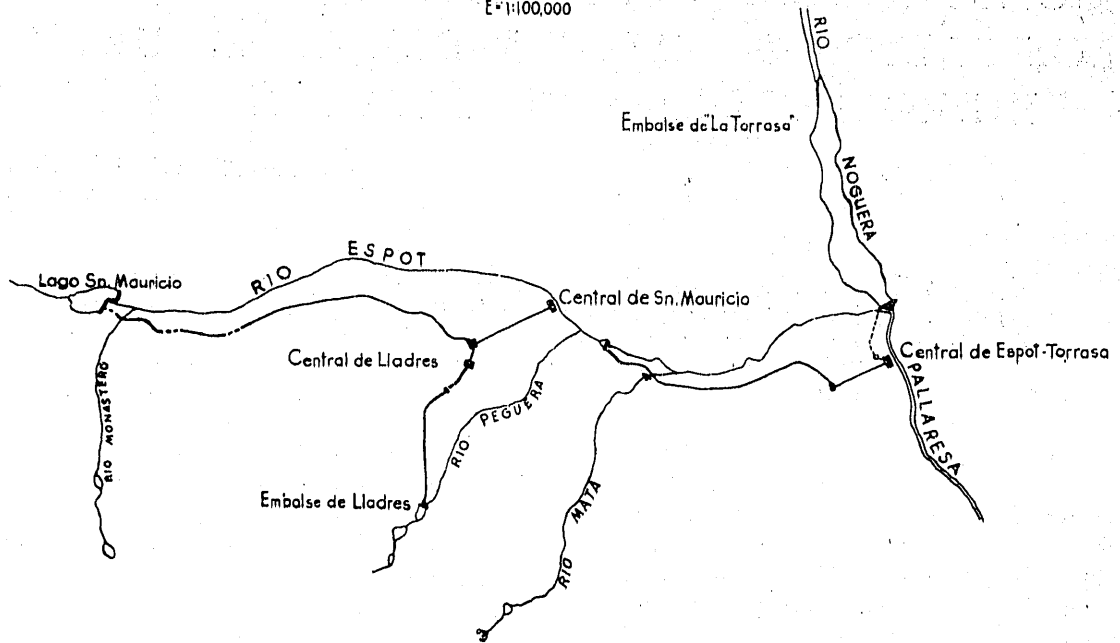


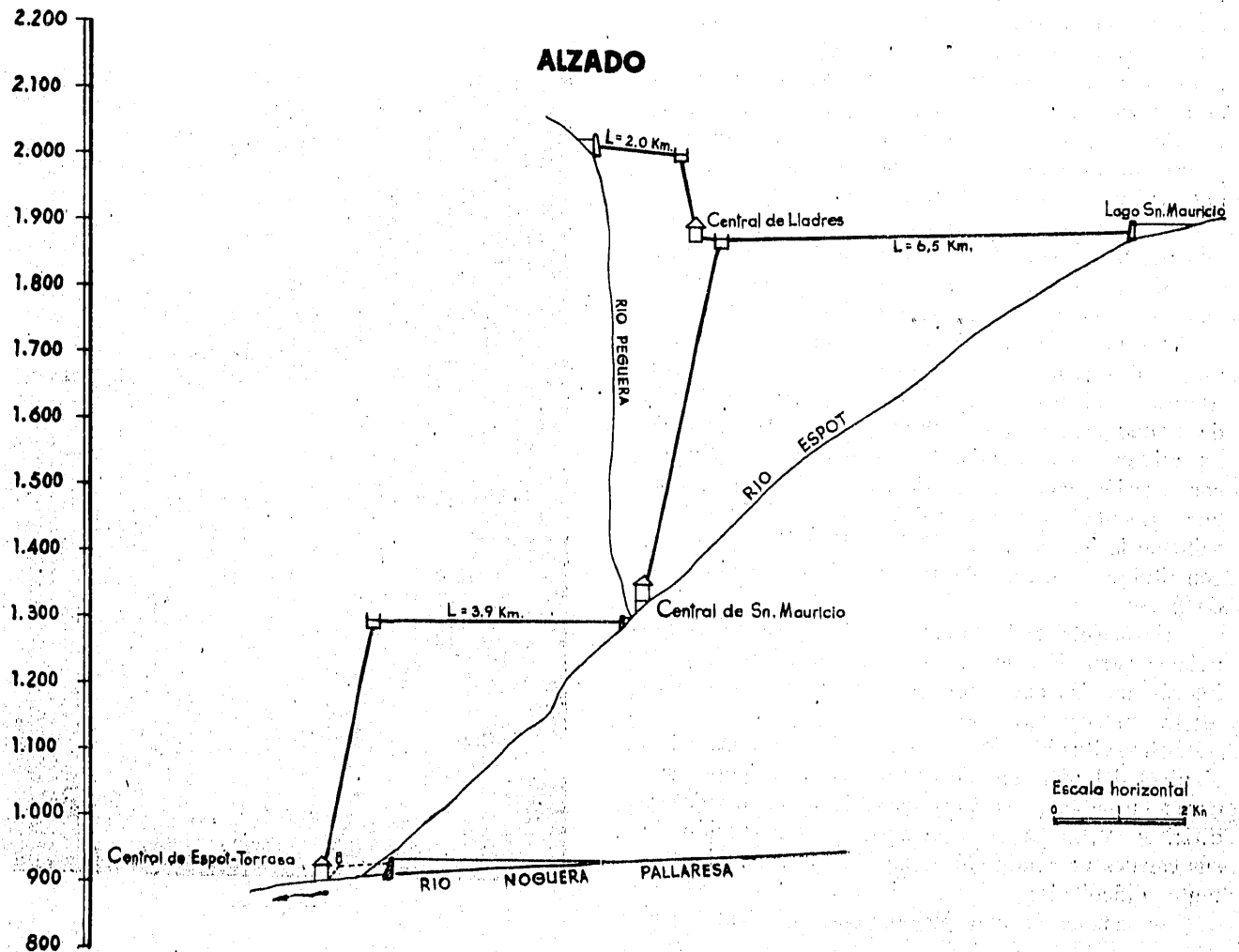
Foto 1.ª

PLANTA

E=1:100,000



ALZADO



Escala horizontal
0 1 2 Km



Foto 2.^a



Foto 3.^a

to es posible un desencofrado prácticamente inmediato del hormigón.

Para atenuar el grave problema de los accesos al canal, que plantea la dureza de las laderas, se pensó en la prefabricación de los elementos constitutivos del canal en un punto determinado del mismo, desde donde serían transportados debidamente a su punto de colocación.

Se adoptó para el canal la forma circular mediante tubos de 2 m. de longitud, 1,5 de diámetro interior y sólo 6 cm. de espesor de hormigón en masa, lo que constituye un *récord* mundial de esbeltez, y, desde luego, la primera aplicación en España de este procedimiento.

El canal del salto de Espot y del brazo del río Espot, del salto de San Mauricio, se construyó con tubos de las indicadas características, mientras que

el del brazo de Peguera, de este último salto, se construyó con tubos de 0,90 m. de diámetro interior, 6 centímetros de espesor y 1,50 m. de longitud, también con hormigón al vacío.

Los canales del salto de Espot y del brazo del río Espot, del salto de San Mauricio.

a) *Fabricación.* — Se realizaron unos ensayos previos, que demostraron la posibilidad de construir los indicados tubos, y seguidamente se montó la instalación de obra.

Esta instalación consiste, esencialmente, en una expansión (fotos 1.^a y 2.^a) en la explanación del canal, en la que se construyen con un gramil (foto 3.^a) unos zócalos (fotos 4.^a y 5.^a), sobre los que se fabrican verticalmente los tubos. El zócalo tiene por objeto dar



Foto 4.^a

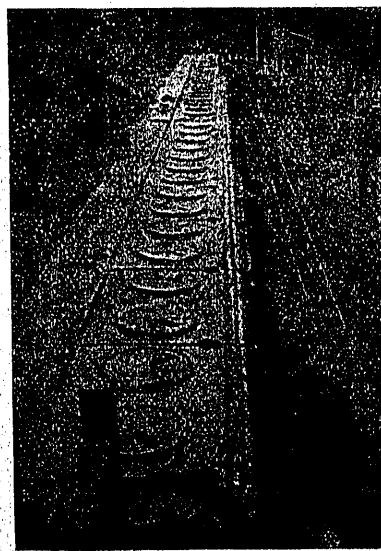


Foto 5.^a



Foto 6.^a

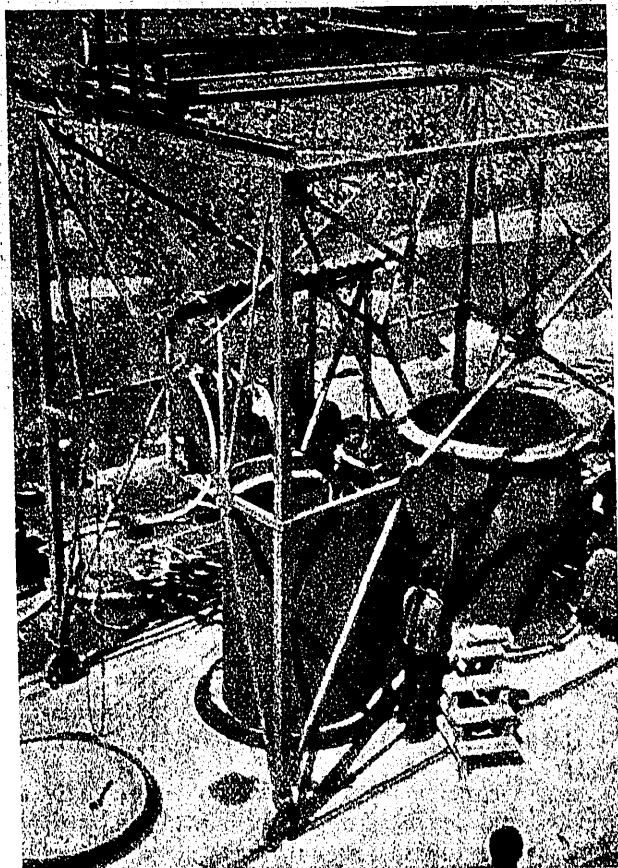


Foto 7.^a

a uno de los extremos del tubo la forma de enchufe, que permite constituir con el tubo contiguo la junta de cordón de cemento.

Los encofrados, tanto el interior como el exterior, son metálicos, recubiertos por cámara de vacío y tela-filtro, constituidos por tres sectores cada uno, reali-



Foto 9.^a

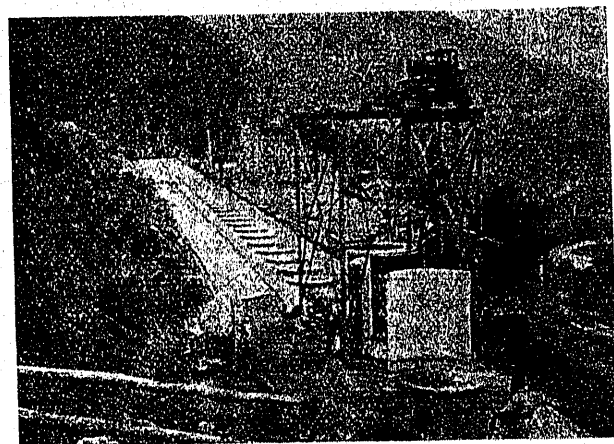


Foto 10.

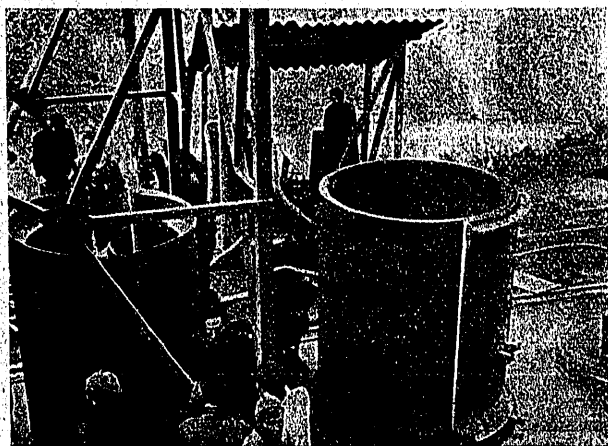


Foto 8.^a



Foto 11.

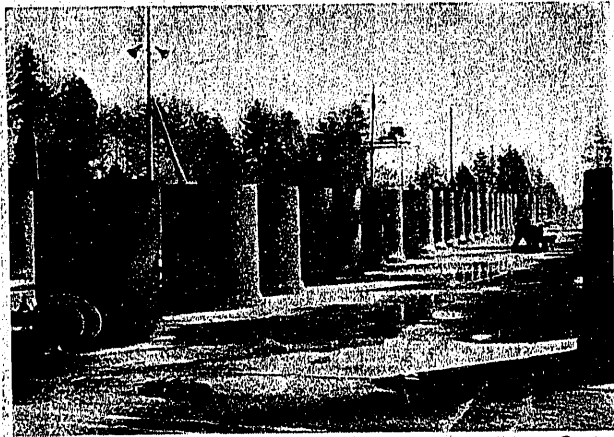


Foto 12.

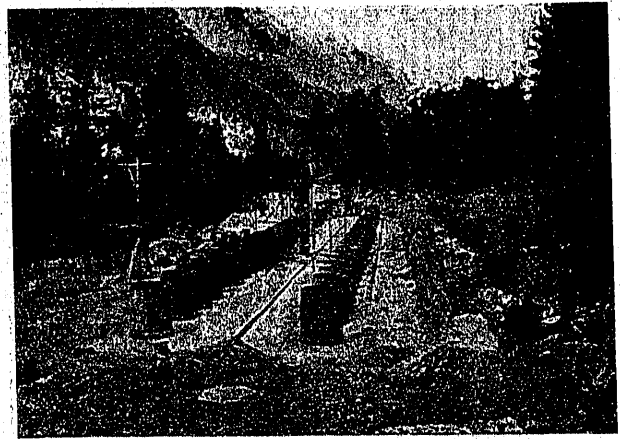


Foto 14.

zándose a través del molde exterior la succión, por vacío, del agua del hormigón.

El proceso de fabricación es el siguiente:

1.º Acoplamiento de los sectores de los encofrados interiores y exterior, guiados por el zócalo de hormigón, sobre el que se pone una junta de papel (de los sacos de cemento), para facilitar el despegue del tubo.

2.º Llenado de hormigón del espacio que limitan los dos encofrados. Simultáneamente hay que vibrar, empezando el vacío cuando la altura de hormigón alcance, aproximadamente, las dos terceras partes del tubo.

3.º Comprobación por tacto, que sólo da la experiencia, de que el hormigón ha adquirido la dureza que permite el desencofrado.

La duración óptima del vacío suele ser de unos diez minutos. Este es el tiempo correcto, ya que si, por cualquier causa, en varios tubos sucesivos hay que aumentar dicho tiempo, se produce un rápido

empeoramiento de la permeabilidad de las telas. Con vacíos rápidos, un juego de telas puede durar para 80-100 tubos, pero con vacíos lentos puede no sobrepasar los 20.

4.º Desencofrado interior y seguidamente exterior. Estas operaciones pueden verse en las fotos 6.ª, 7.ª, 8.ª y 9.ª.

Los ensayos previos al montaje de las instalaciones de fabricación determinan, en cada caso, las características de las distintas operaciones que exige la construcción de un tubo, y dependen, en gran parte, de las condiciones locales.

En nuestro caso, y desde luego tratándose de tubos de extraordinaria esbeltez, hemos podido comprobar que son fundamentales las siguientes condiciones:

- 1.ª Dosificación no inferior a 550 Kg./m.³.
- 2.ª Vibrado del hormigón.
- 3.ª Vacío solamente desde el molde exterior.

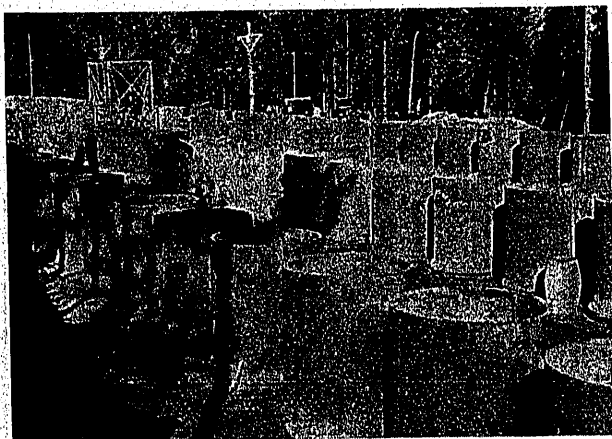


Foto 13.



Foto 15.

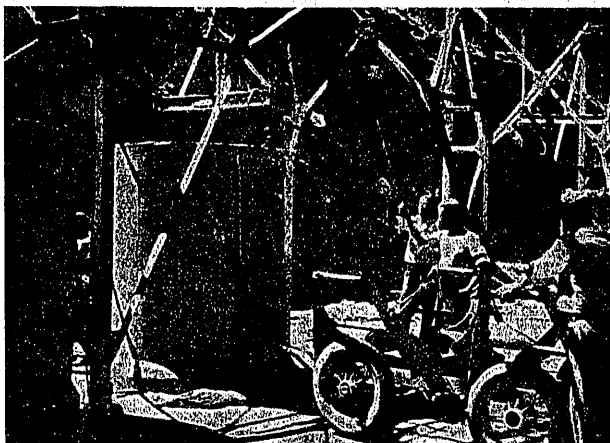


Foto 16.

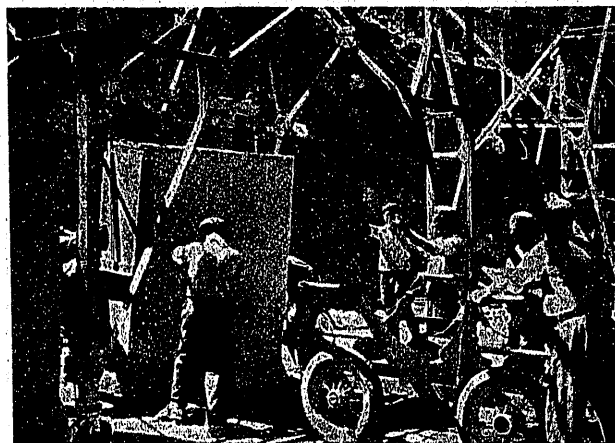


Foto 18.

Si no se cumplen las dos primeras, el vacío es débil y el proceso de succión lento, produciéndose en el desencofrado desconchamientos muy profundos en la masa, que se pega a las telas del encofrado.

Si no se cumple la tercera, y, por tanto, se hace, además, el vacío interior, se efectúa una verdadera



Foto 17.

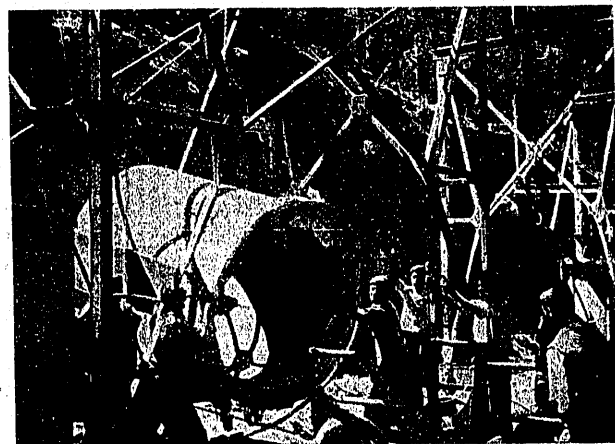


Foto 19.



Foto 20.

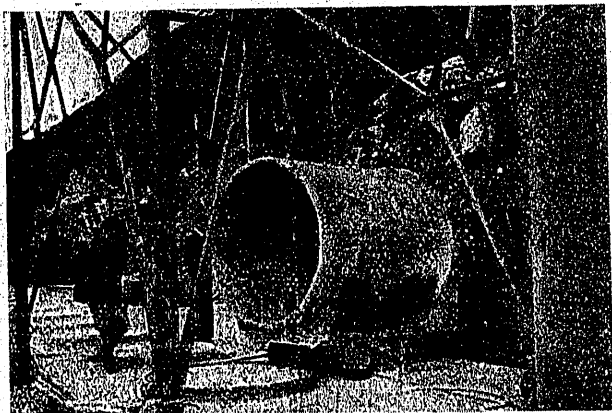


Foto 21.

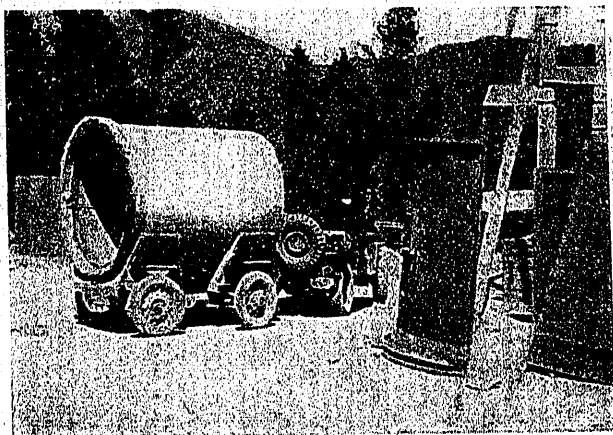


Foto 23.

fabricación de dos tubos concéntricos de aproximadamente 3 cm. de espesor cada uno, que por esbeltez pandean en el desencofrado.

Los tubos que constituyen los canales de Espot y de San Mauricio, fabricados por vacío en nuestras



Foto 22.



Foto 24.

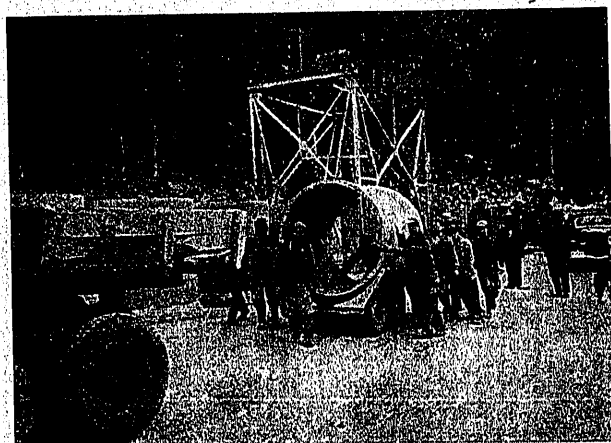


Foto 25.



Foto 26.



Foto 27.

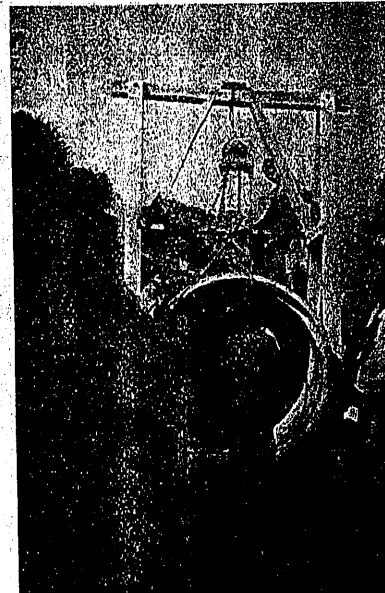


Foto 28.



Foto 29.



Foto 30.

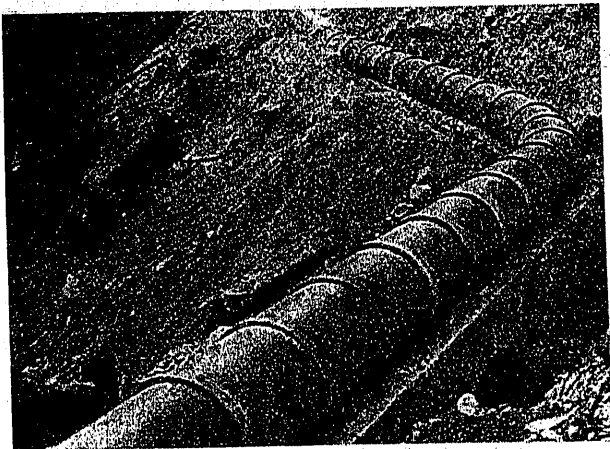


Foto 31.

instalaciones de obra, han sido sometidos a pruebas extraordinariamente duras, con excelentes resultados.

b) Instalaciones de fabricación en obra. — En el canal de Espot, de 3,9 Km. de longitud, se instaló una sola fábrica con 60 zócalos, sobre los cuales puede circular un pórtico (foto 10), en cuya parte superior lleva un cabrestante montado en un carro, sobre el cual tiene un movimiento longitudinal a la hilera de zócalos, mientras que el carro propiamente dicho lo tiene transversal. Con ello se pueden realizar las operaciones precisas para el encofrado y desencofrado.

En el canal de San Mauricio, de 6,5 Km. de longitud, se instalaron dos fábricas: una, junto al depósito regulador, con 200 zócalos (fotos 11, 12 y 13), y otra, próxima a la toma, con 60 zócalos (fotos 14 y 15), pudiéndose ver, a la derecha de la foto 15, una parte de canal con tubos estribados sin mamposteo ni recubrimiento.



Foto 32.



Foto 33.

Se equiparon con dos pórticos la primera y una la segunda, análogos a los de la fábrica del salto de Espot.

Los tubos fabricados por vacío pueden levantarse, por término medio, a los tres días.

El levantamiento se hace utilizando el mismo pórtico de fabricación y mediante unas ventosas (foto 16), accionadas por la bomba de vacío. Esta operación es muy sencilla y aparatosa, ya que en sólo unos segundos un tubo con sus 1 500 Kg. de peso es levantado del zócalo y colocado en posición horizontal sobre el carro que ha de llevarlo al canal (fotos 17, 18, 19, 20 y 21).

c) Transporte y colocación de los tubos en el canal. — Para el transporte de los tubos desde la fábrica al canal, hemos utilizado, generalmente, un carro especial fabricado en obra (foto 22) o remolques arrastrados por un jeep (fotos 23, 24 y 25).

En el canal se ha construido previamente una

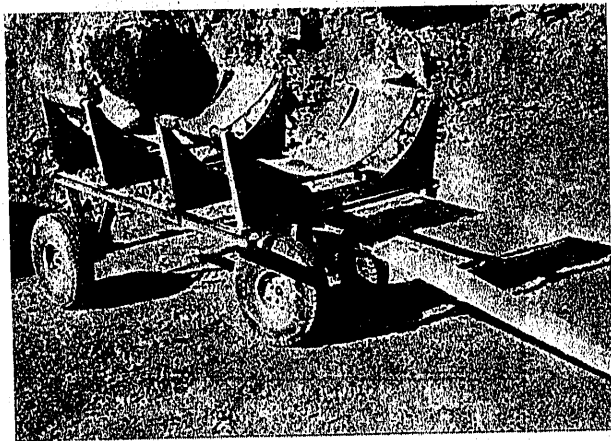


Foto 34.

solera de hormigón, con la pendiente característica del mismo. Se transporta el tubo por el canal y se le coloca en el lugar que le corresponde, mediante un sencillo pórtico de madera que lleva un diferencial que levanta el tubo del carro, permite retirar a este último y, mediante un ligero empuje, se enchufa con el tubo anterior, quedando con ello en su posición definitiva (fotos 26, 27, 28, 29 y 30).

Seguidamente se cubre la tubería con una capa de mampostería a base de mortero pobre y de las piedras que han salido de la excavación del propio canal (fotos 31 y 32). Terminado el mamposteo de los tubos, se recubre la tubería con tierra, quedando un camino de servicio por encima del propio canal, visitable mediante unas entradas distantes entre sí unos 200 m.

Para los canales del salto de Espot y del brazo del río Espot del salto de San Mauricio, se han construido 5 200 tubos.

Las brigadas de fabricación, constituidas por 12 hombres por pórtico y molde, se han ido familiarizando y perfeccionando en el sistema de tal forma, que los tiempos medios de las distintas fases en los últimos 2 000 tubos han sido los siguientes:

Encofrado	9 minutos.
Hormigonado, vibrado y vacío.....	14 »
Desencofrado	10 »
Levantamiento	32 segundos.



Foto 35.

Que corresponden, aproximadamente, a la fabricación de unos 20 tubos por molde en doce horas.



Foto 36.

Además de las excelentes características resistentes de los tubos, merece especial mención la escasa rugosidad de sus paredes, debido a las telas que están en contacto con el hormigón durante la fabricación del tubo. El coeficiente de rugosidad resultante, referido a μ de Strickler, ha resultado superior a 80.

Canal del brazo de Peguera, del salto de San Mauricio.

Los tubos correspondientes, que, como hemos dicho antes, son de 90 cm. de diámetro interior, se construyeron en el interior de un barracón, durante el invierno, y se sacaron al exterior a los dos días de su fabricación.

Llegado el buen tiempo y realizado el acopio (foto 33) al pie del funicular del salto de San Mauricio, se subieron por este último en un desnivel de 550 metros, y después, por el funicular del salto de Lladrés, en un desnivel de 125 m., llevándose seguidamente al canal con un remolque construido al efecto (foto 34), cuya total colocación en una longitud de 2 Km. y a la cota 2 100 s. n. m. se realizó en sólo veintiún días.

Una vez colocada la tubería (fotos 35 y 36) se estribó y recubrió debidamente, quedando igualmente por encima un camino de servicio.