

## Planta hidro-eléctrica de Maitenes

POR

M. ESPINOSA HERRERA.

La planta hidro-eléctrica de Maitenes, perteneciente a la Cia. Chilena de Electricidad Ltd., está situada a orillas del Río Colorado a unos 13 Kilómetros de su confluencia con el Río Maipo.

*Canal.*—Esta planta aprovecha las aguas del río Colorado, que captá a una elevación de 1320,70 mts. sobre el nivel del mar y con llevadas hasta la cámara de carga por un canal de capacidad de 13 m<sup>3</sup> por segundo en los primeros 500 mts. y 11 m<sup>3</sup>. por segundo en el resto del canal.

Este canal de aducción tiene un largo de 8 800 mts., de los cuales 3 694 son de canal abierto revestido con albañilería de talud de  $\frac{3}{4}$ : 1 y emplantillado de concreto, 1 896 mts. de túnel en roca sin revestimiento, 1 421 mts. de acueducto de concreto sin refuerzos y 1 089 mts. de canal en tierra con taludes de 1 : 1.

La pendiente máxima del canal es de 1,7 por mil usada en los primeros 500 mts., con el fin de mantener una velocidad alta que impida la sedimentación. En el resto del trazado las pendientes son de 1,5 por mil en los túneles y acueductos y 0,4 por mil en los tramos del canal abierto. En el desarrollo total del canal hay una pérdida de caída de 7,60 mts.

Las secciones han sido calculadas por la fórmula de Chezi  $V = \frac{1}{N} \sqrt{s} s^{\frac{1}{2}}$

tomando los siguientes valores del coeficiente N.

- N = 0.016 para canal abierto revestido
- N = 0.025   "   "   "   en tierra
- N = 0.013   "   túnel revestido   "
- N = 0.035   "   "   en roca   "
- N = 0.013   "   canal cubierto   "

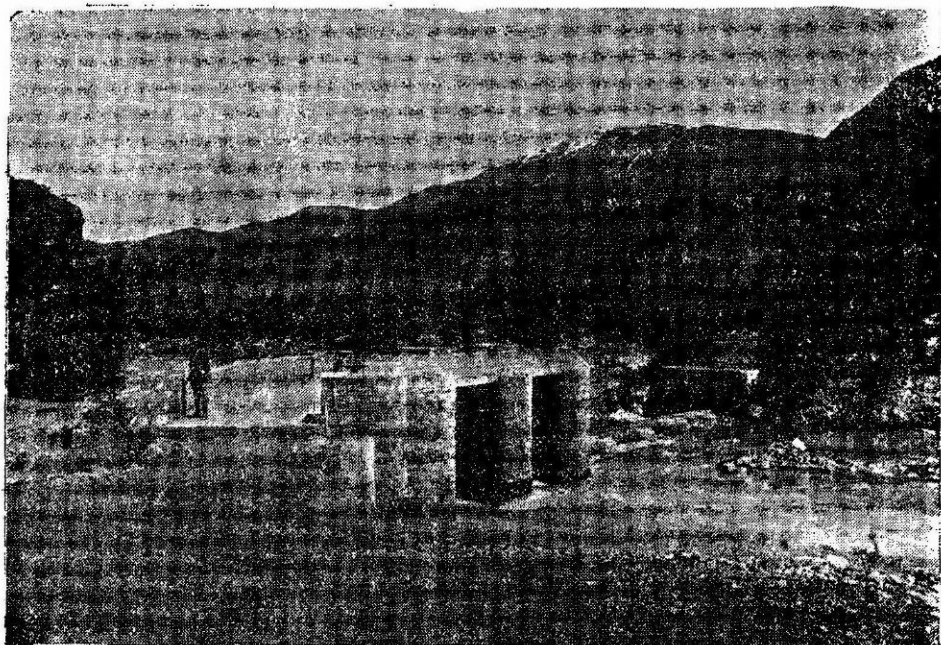


Fig. 1.—Bocatoma

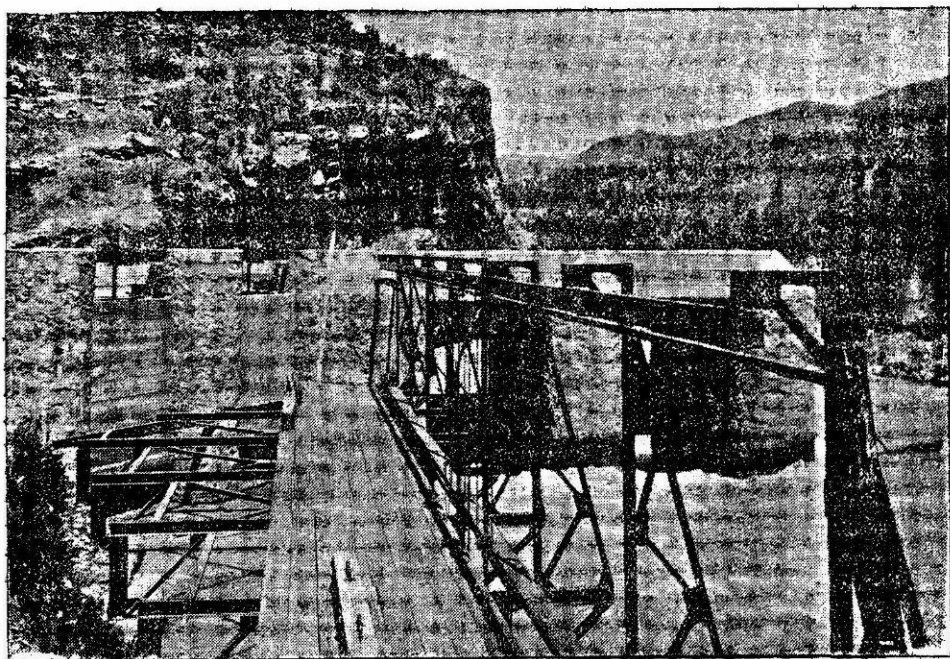


Fig. 2.—Bocatoma. Rejillas y tablonés del vertedero de entrada.

*Bocatoma.*—La bocatoma está formada por una presa al través del río, presa constituida por 24,50 mts. de un muro de albañilería y dos compuertas de 3 mts. de ancho. El total de la presa es de 34,50 mts. Para evitar que entren al canal piedras, ripios y sedimentos gruesos; la captación del agua se hace por rebalse. El rebalsadero que protege la entrada al canal tiene 21 mts., de largo y está ubicado paralelamente a la dirección de la corriente.

La presa a través del río con un nivel superior al rebalsadero de entrada fija la altura de agua en la época de caudal mínimo, permitiendo la entrada al canal de 13 m<sup>3</sup>. por segundo y permitiendo al mismo tiempo que en épocas de crecidas pase el exceso de agua por su berma.

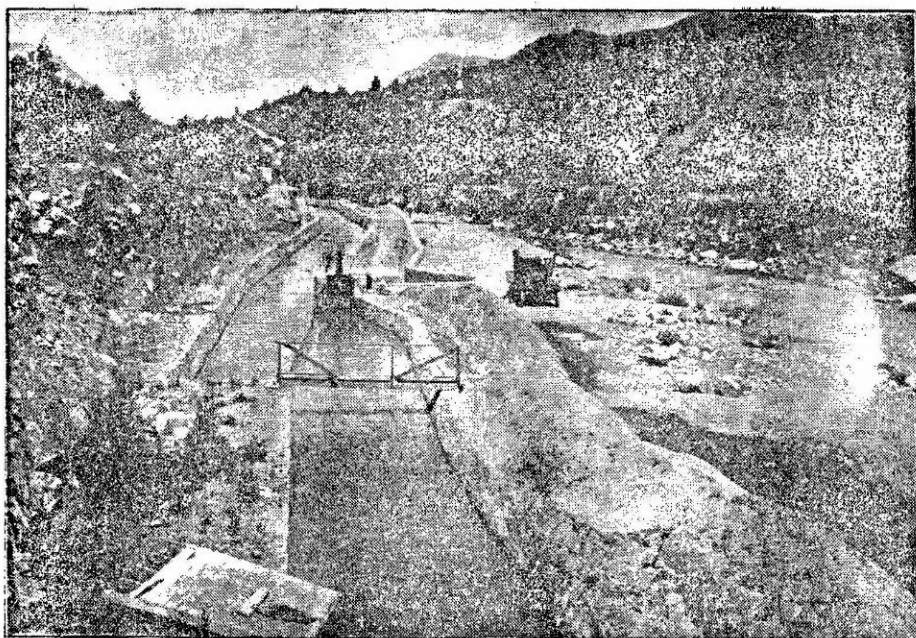


Fig. 3.—Desripador y vertedero de regularización

Las compuertas de la presa permiten descargar los materiales de acarreo que se depositan frente al rebalsadero de entrada, aumentan la capacidad de descarga de la presa y en combinación con las dos compuertas de 2.50 mts. del canal permiten la regularización del gasto de éste en las épocas de crecida.

El rebalsadero de entrada de 21 mts. de largo está a una elevación media de 1320.70 y la presa tiene su berma a una elevación de 1321.30 lo que, con una diferencia de nivel de 0.60 mts., permite la entrada de los 13 m<sup>3</sup> por segundo requeridos para el canal.

*Vertedero de Regulación.*—Este vertedero está colocado a 230 mts. de la bo-catoma a la salida del túnel N.º 1 y está destinado a devolver al río el exceso de agua que pueda haberse captado. Su disposición es muy sencilla y consiste solamente en un rebaje del canal hasta una altura que no permita pasar sino 13 m<sup>3</sup> por segundo, rebalsando el resto a un canal lateral que la devuelve al río

*Desripiador.*—El desripiador está colocado a 330 mts., de la bo-catoma y consiste simplemente en un ensanchamiento y ahondamiento brusco del fondo del canal. Para disminuir la velocidad se ha aumentado la sección en esta parte del canal al mismo tiempo que se ha rebajado el fondo en forma de embudo, de cuyos vértices inferiores parten dos alcantarillas, por las cuales (por medio de una compuerta de fondo) se devuelve el agua al río.

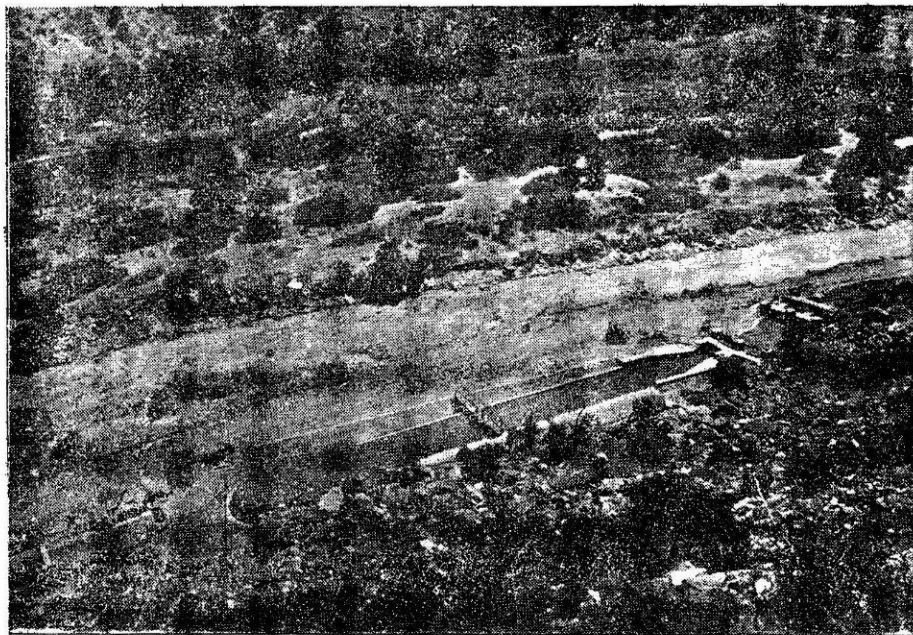


Fig. 4.—Desarenador

*Desarenador.*—El desarenador consiste en un agrandamiento considerable de la sección del canal, lo que permite una gran reducción de la velocidad del agua. Esta estructura consiste en un depósito de 60 mts. de largo, 6 mts. de ancho en su parte superior y una profundidad media de 5 mts. En todo el contorno de este estanque hay un vertedero de 112 mts., de largo. La napa de agua pasa por este rebalsadero en forma que vaya creciendo desde 1 cmt., en su origen hasta 0.28



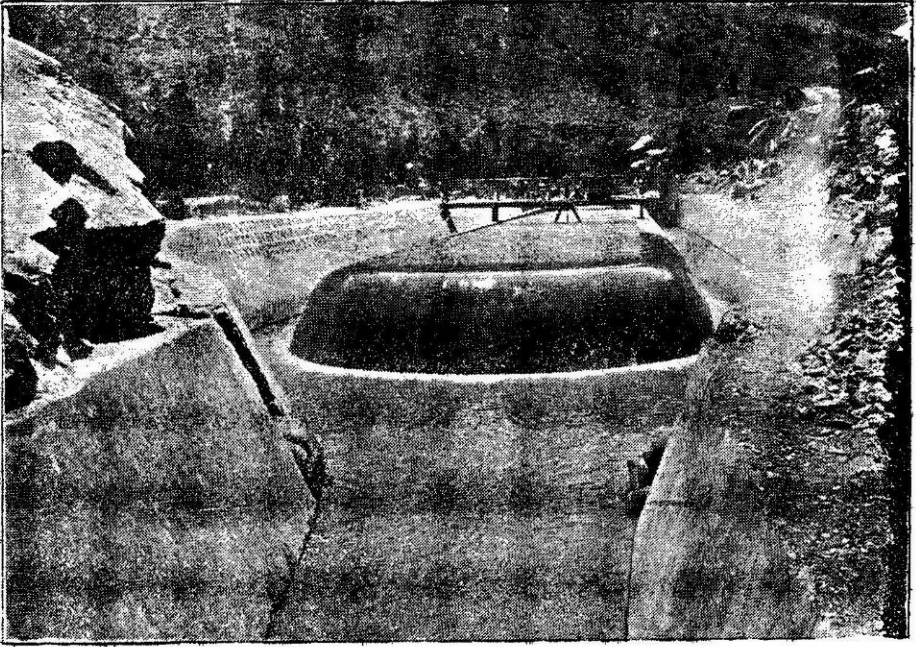


Fig. 5.—Desarenador. Vertero de salida

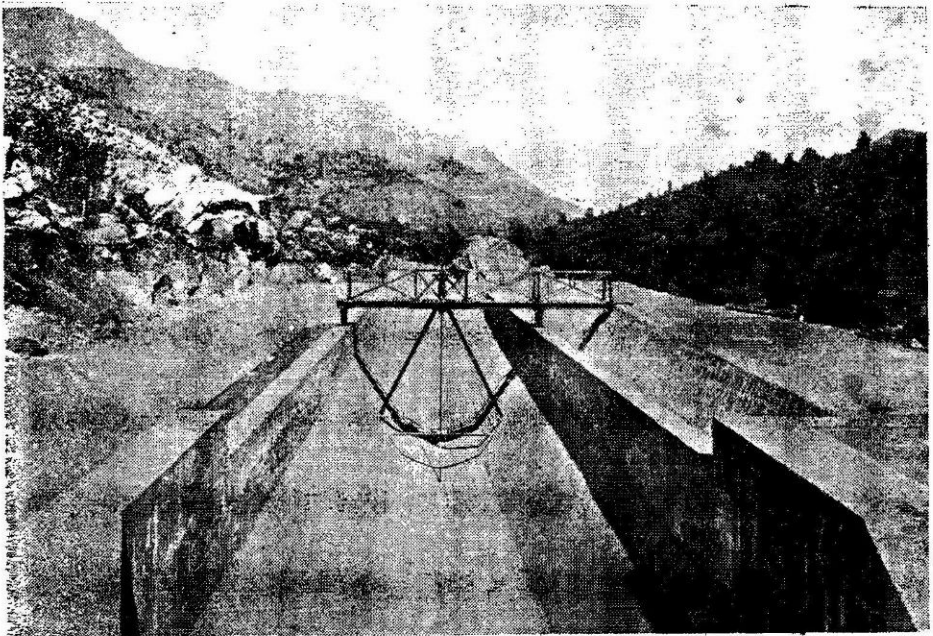


Fig. 6.—Desarenador. Válvula cónica.

mts., en su parte circular final. La arena que se deposite se extrae por una válvula cónica invertida colocada en el fondo de su parte central. El fondo del desarenador tiene una gran pendiente transversal y una pendiente longitudinal de sus dos extremos hacia la válvula. Esta válvula de fondo descarga sobre un túnel de gran pendiente, que devuelve las aguas al río.

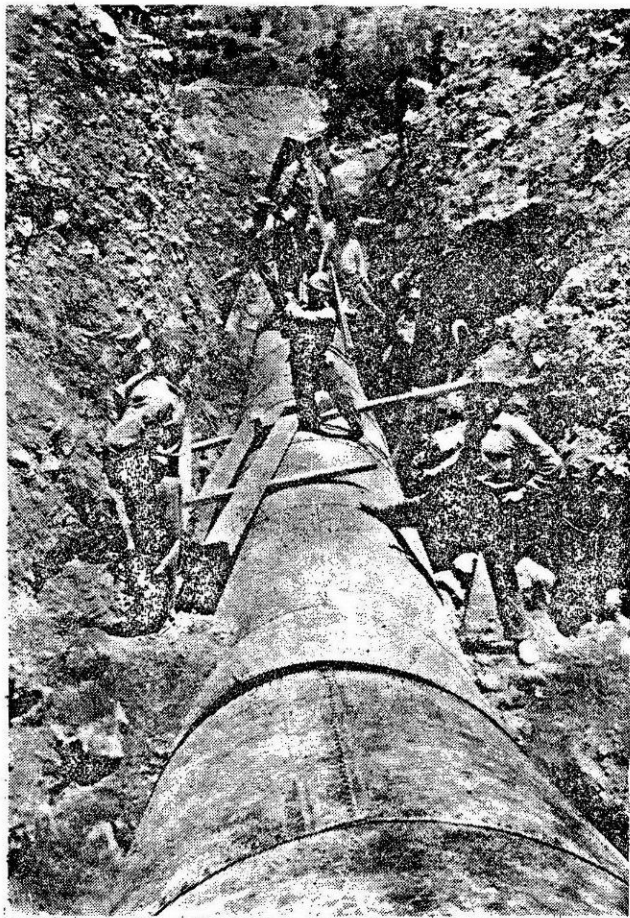


Fig. 7.—Vertedero Km. 2×300. Cañería de descarga

*Laguna de Sedimentación.*—Como resultado de los experimentos efectuados en el río Colorado y en el canal de Maitenes se encontró que la bocatoma eliminaba 10,7%, el desripador 10,8% y el desarenador 29,5% de los sedimentos que arrastran como máximo las aguas del río Colorado.

Con el fin de evitar que el 51% de los sedimentos pasasen hacia las turbinas se proyectó una gran laguna de sedimentación.

Esta laguna debía satisfacer las siguientes condiciones:

1.º Gran capacidad de precipitación para que deposite los sedimentos finos que tienen una velocidad de sedimentación de 4 m/m. por segundo de velocidad mínima y 11 m/m. por segundo de velocidad media,

2.º Gran facilidad de limpieza que permita un aseo rápido y económico.

La laguna de sedimentación se ha proyectado en el Km. 14×100 lugar que ofrecía una topografía apropiada al objeto.

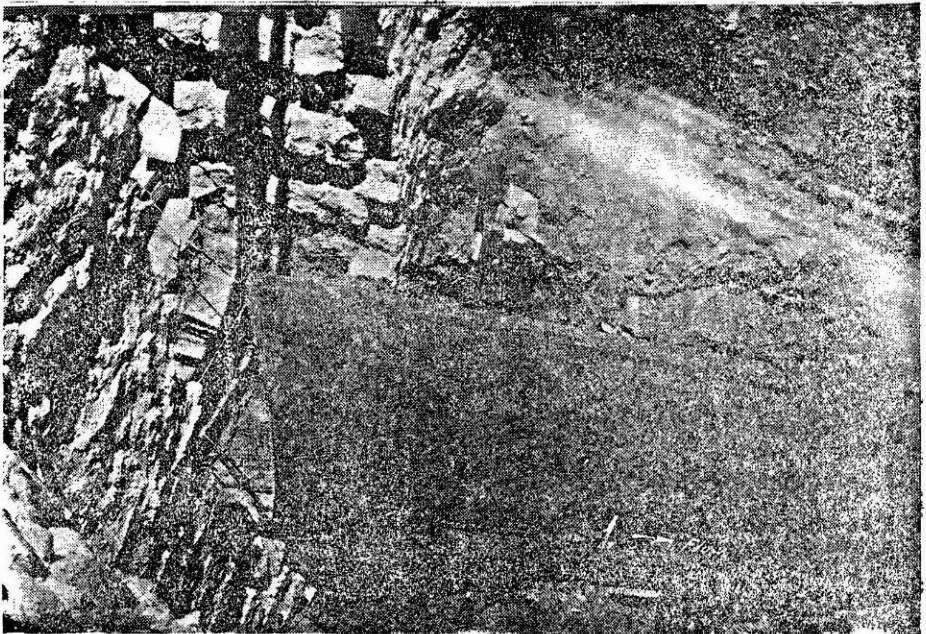


Fig. 26.—Cañería Vertedero Km. 2+300

Se le dieron las siguientes dimensiones:

Largo efectivo.....	150	mts.
Profundidad media .....	5	''
Ancho .....	25	''
Sección transversal .....	125	m2.
Capacidad .....§.....	13,700	m3.
Velocidad media del agua.....	0.088	m:seg.
Tiempo que demora el agua en pasar por la laguna.....	28,4	m.

En una estructura de esta naturaleza requiere especial cuidado la entrada del agua, de modo que permita una distribución uniforme para que la corriente no se localice y pierda de este modo su eficiencia. Con este fin se construyeron 5 canales de distribución, que se diseñaron para mantener la misma velocidad e impedir el depósito de los sedimentos en ellos.

Para permitir solamente el paso hacia el canal principal de una delgada napa de agua superficial, al final de la laguna se diseñó un vertedero curso de 80 mts. de largo. No habiendo altura disponible este vertedero se proyectó como vertedero sumergido y su cálculo se hizo por la fórmula de Bazin, dando un espesor de la napa de 0.21 m.

Con el objeto de facilitar la limpieza, además de las compuertas de entrada de los canales de distribución, que permiten producir golpes de agua en sentido longitudinal, se colocaron 11 compuertas sobre la verma que separa la laguna del canal lateral, compuertas que permiten producir descargas de agua transversalmente a la laguna. Para la limpieza de la parte próxima al vertedero se colocaron 5 compuertas, pudiendo además rebalsar el agua en este vertedero en sentido inverso. El fondo de la laguna totalmente revestido de piedra en seco se le ha dado pendiente hacia un grupo de dos válvulas cónicas invertidas de 0.70 m. de diámetro y que descargan en un tunel de fuerte pendiente que conduce el agua cargada con sedimentos al río.

El grupo de estas dos válvulas permite vaciar la laguna en 1½ hora y ejecutar limpieza en tres o cuatro horas sin ningún inconveniente y con un gasto muy módico.

*Rebalsaderos.*—En el canal de Maitenes existen cinco rebalsaderos: el primero, del cual ya hemos hecho mención, está destinado a regular el gasto del canal; los otros cuatro tienen por objeto proteger el canal y sus obras de arte.

El rebalsadero ubicado en el K. 2 300 es rebalsadero de superficie y descarga sus aguas a un canal lateral del cual son alejadas por medio de una cañería de fierro de 1.50 mts. de diámetro y 133 m. de longitud; esta cañería en su parte final termina en una cámara amortiguadora.

El rebalsadero de la quebrada Marcelo, localizado en el K. 5 + 000, ha sido ejecutado de sifones, debido al pequeño espacio para la obra. Las aguas son alejadas por medio de una cañería de 1.50 mts. de diámetro y 88 mts., de largo hasta una cámara amortiguadora. Estos dos rebalsaderos han exigido el alejamiento del agua del canal por medio de cañerías a causa de la mala calidad del terreno, que no permitía la construcción de un canal abierto.



Los rebalsaderos siguientes están colocados cerca de la cámara de carga, uno de ellos a 400 mts., más arriba, en el punto de localización de la Planta de Sobrecarga. Este es un rebalsadero de superficie que permite la descarga de 19 m<sup>3</sup> por segundo, es decir, el gasto del canal más el de la planta de sobrecarga. Este rebalsadero descarga a una quebrada natural que conduce directamente el agua al Río Colorado. El rebalsadero siguiente, localizado 160 mts., más abajo de la cámara de carga, está destinado a mantener un nivel constante en esta estructura, rebalsando las aguas cuando se produce un levantamiento brusco a causa de la paralización de una o de todas las unidades. Su descarga se hará a un canal inferior de gran pendiente y pequeña sección que las conduce a la Quebrada de Maitenes y ésta, al Río Colorado.

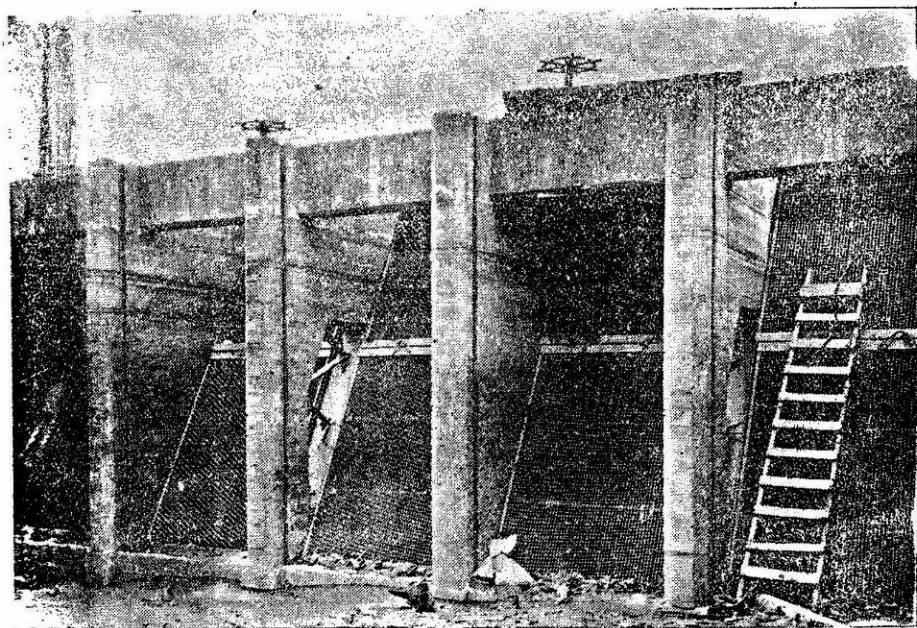


Fig. 8.—Cámara de carga. Rejillas

*Cámara de Carga.*—De esta estructura nace la cañería de presión, habiendo una cámara independiente para cada uno de los tres tubos, pudiendo así usarse el número que se desee.

Las compuertas usadas son del tipo Taintor operadas a mano o eléctricamente y pudiendo desconectarse del mecanismo elevador para cerrarse rápidamente por su propio peso.

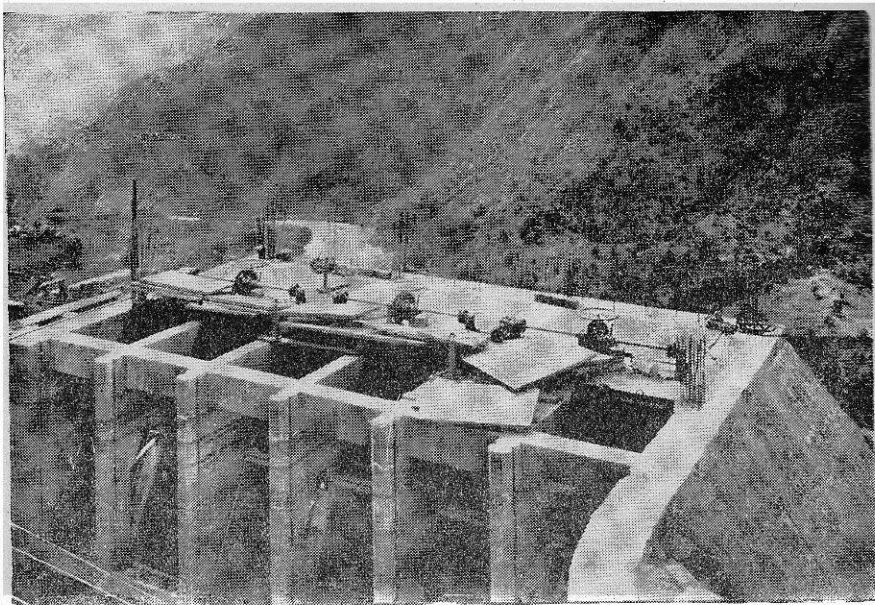


Fig. 9.—Cámara de carga. Rejillas de entrada

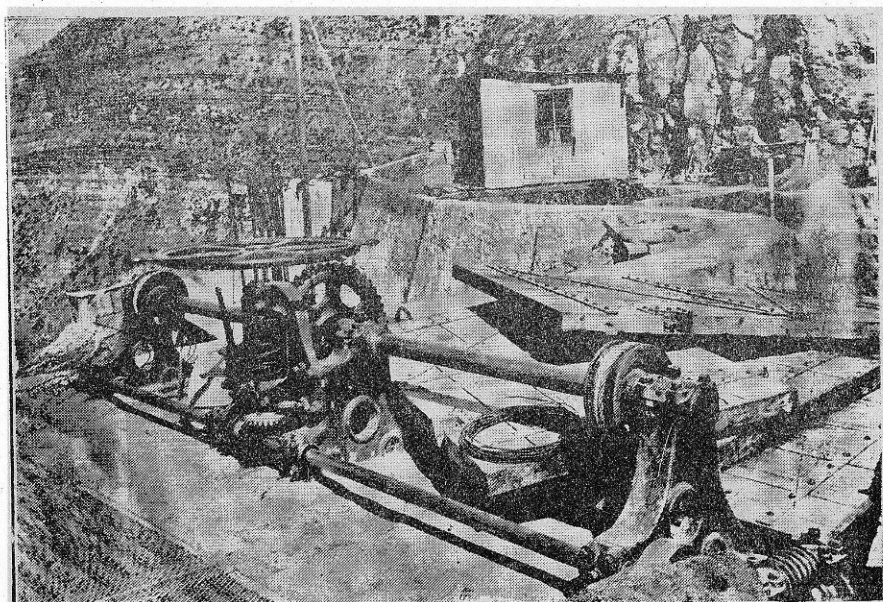


Fig. 10.—Cámara de Carga, Aparato elevador de las compuertas "Taintor"

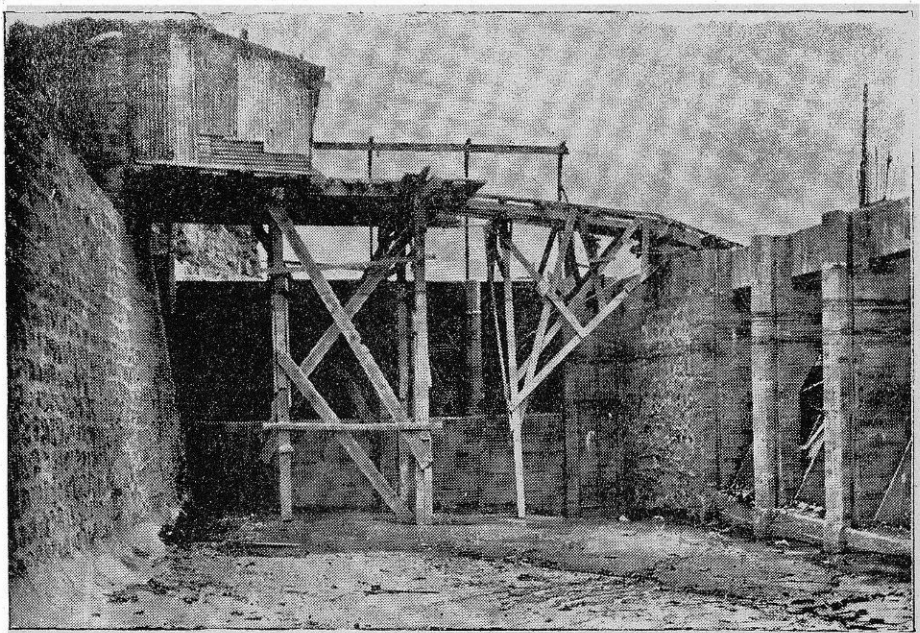


Fig. 11.—Cámara de carga

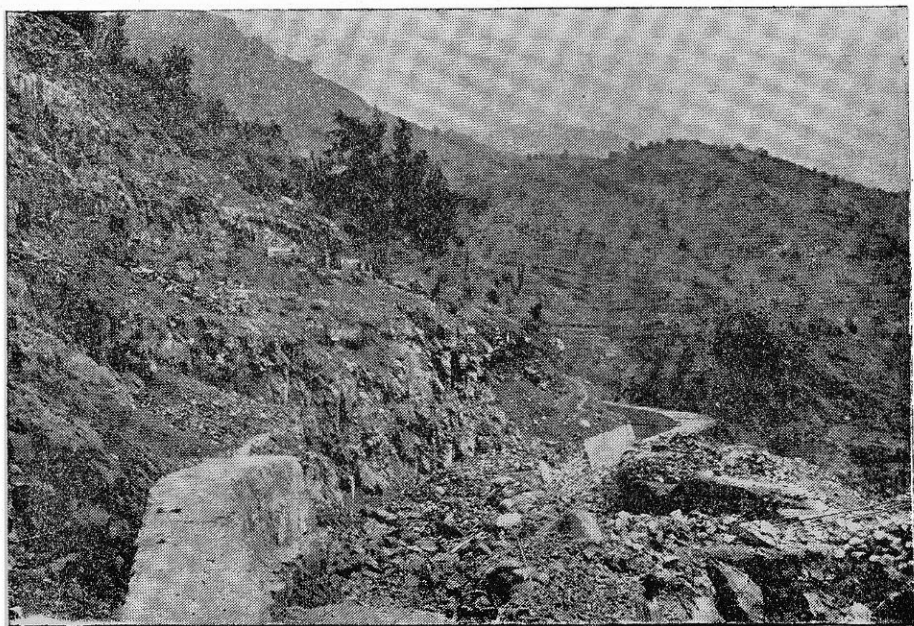


Fig. 27.—Cámara de carga. (Canal de descarga)

Cada cámara tiene además sus rejillas de protección y compuertas de madera que permiten aislarlas para efectuar reparaciones sin interrumpir el funcionamiento de las otras. Estas cámaras tienen además un tubo de drenaje que permite desaguarlas y limpiarlas.

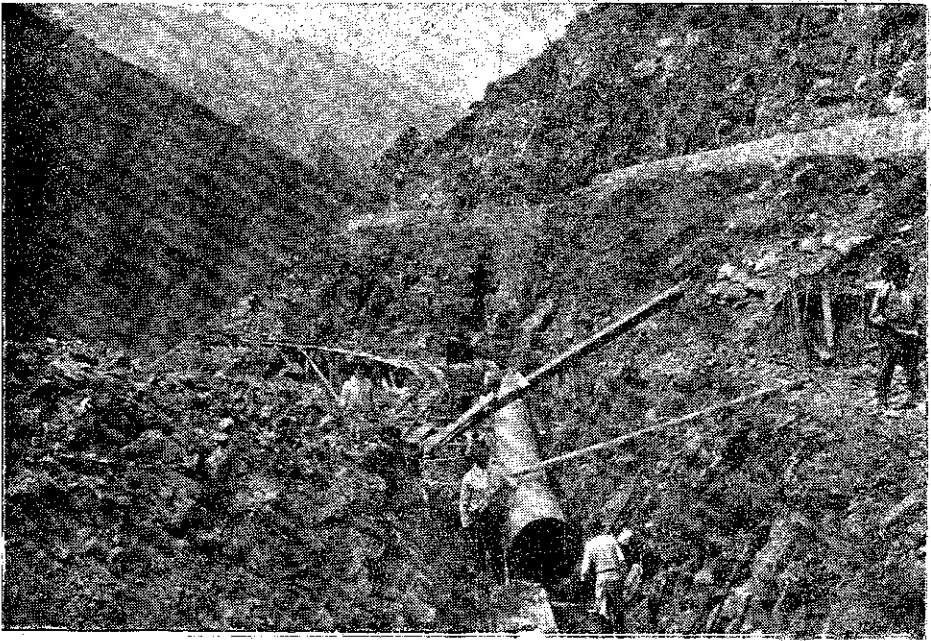


Fig. 12.—Cañería de descarga de la cámara de carga

El canal en toda su extensión comprendida entre la planta de sobre-carga y la cámara de carga ha sido encanchada para que permita un gasto de 19 m<sup>3</sup>. por segundo como asimismo obtener un almacenamiento de 5 400 m<sup>3</sup>., para que suplemente las variaciones de la carga con pequeñas fluctuaciones de su nivel.

*Tubos de carga.*—El desnivel entre el agua máxima en la cámara de carga y el canal de descarga es de 180 mts., cayendo el agua por los tubos de presión (que son tres) y que conducen el agua a cada una de las tres unidades de la planta. Dos de estas cañerías tienen la capacidad suficiente para la dotación total del canal o sea 11 mts<sup>3</sup>., por segundo quedando el tercero destinado al volumen de agua que provendrá de la planta de sobre-carga.

Las cañerías que descansan sobre sillas de concreto tienen una longitud total de 379.50 mts., siendo los primeros 132 de 1 524 mts., de diámetro, vienen en seguida otros 152 mts., de 1 372 mts., de diámetro y el tramo final de 113 mts., de largo y 1 219 mts., de diámetro. El cambio de sección se hace por embudos de 1,25 mts., de largo.



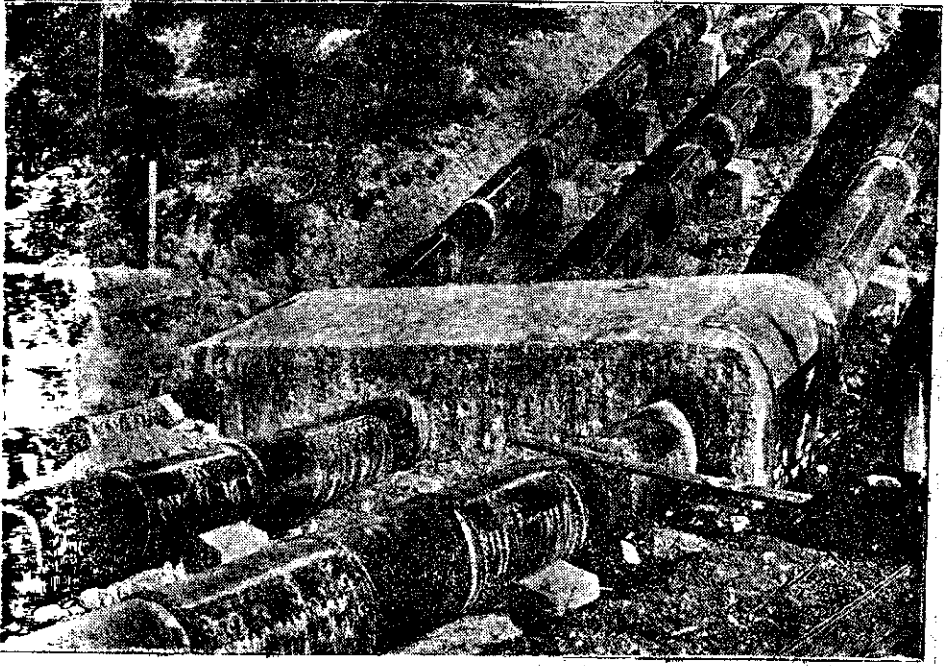


Fig. 14. Cañerías. Anclaje.

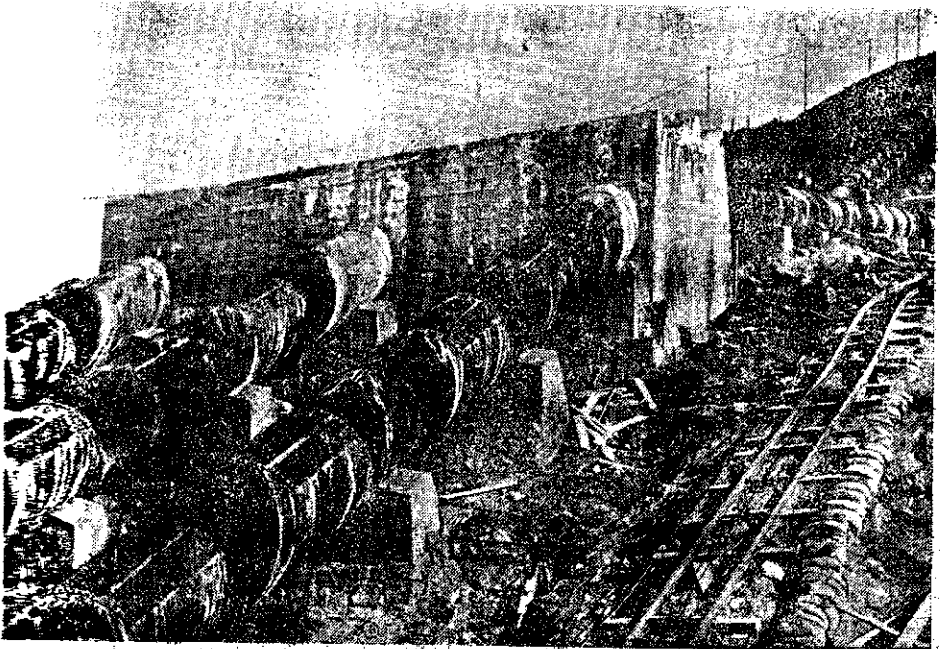


Fig. 15.—Cañerías. Anclaje.

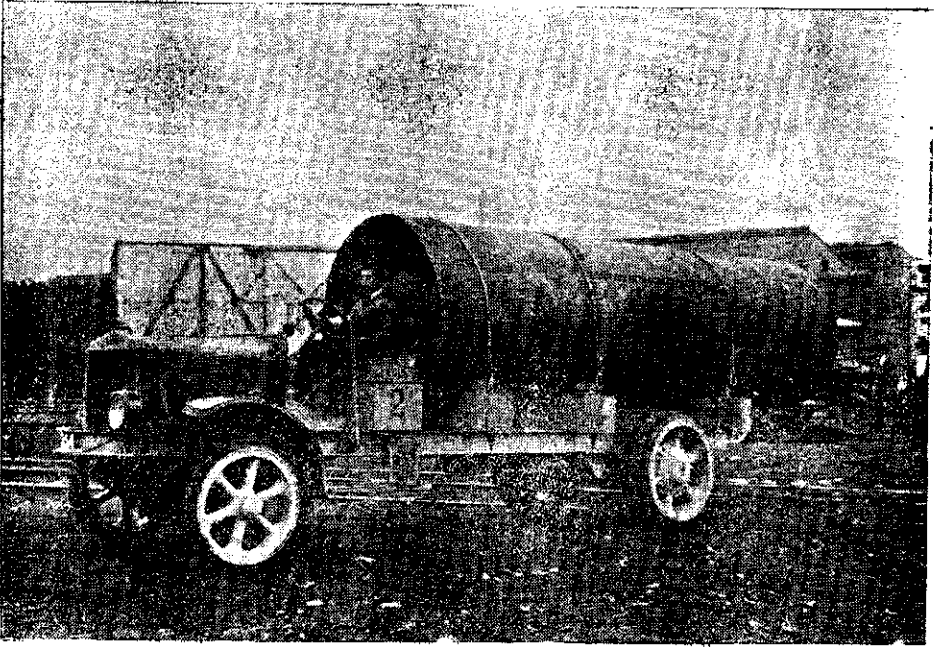


Fig. 16.—Transporte de las cañerías en camión

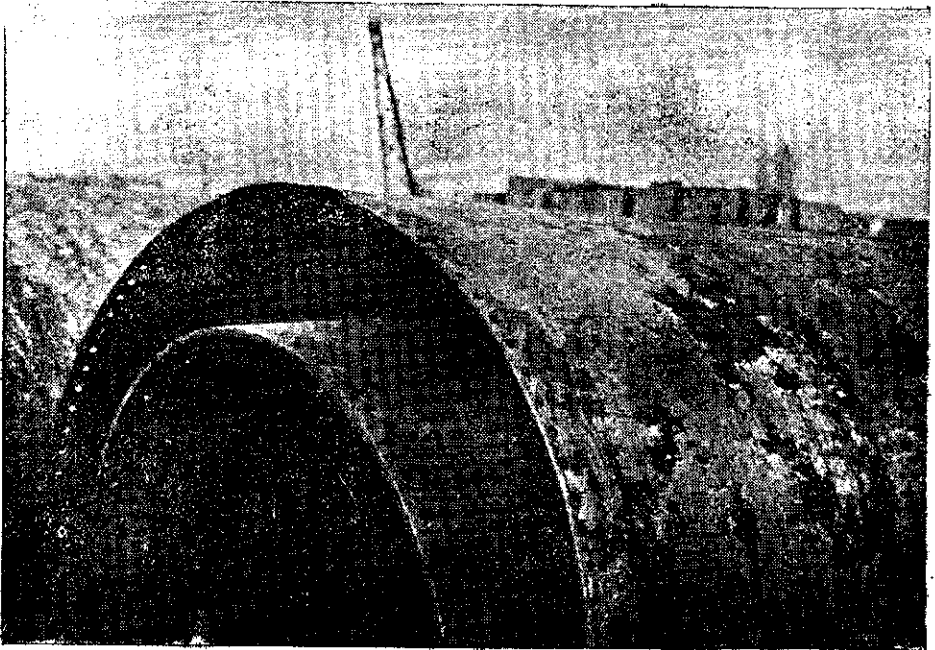


Fig. 17.—Trozos de la cañería principal

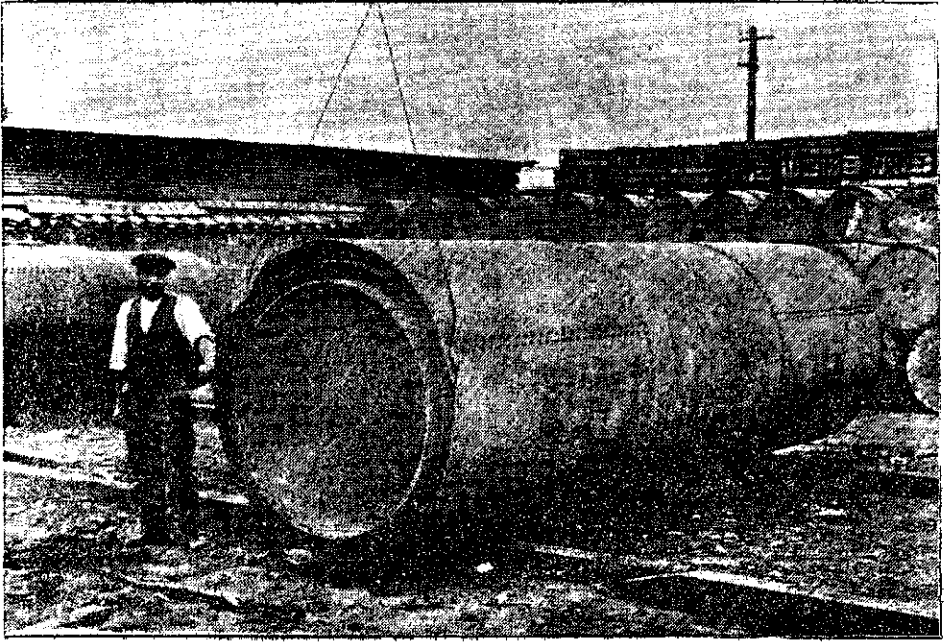


Fig. 18.—Trozos de la cañería principal



Fig. 19.—Transporte de la cañería en carreta.

La cañería está construída de planchas de acero de  $\frac{1}{4}$ " de espesor en la parte superior, espesor que va aumentando gradualmente hasta  $1\frac{1}{16}$ " en la sección inferior. Las planchas están remachadas en sentido longitudinal y transversal por remaches que varían de arriba hacia abajo desde  $5\frac{1}{8}$ "  $7\frac{1}{8}$ ".

Los tubos de carga tienen un anclaje que asegura su estabilidad, en cada uno de sus codos. A continuación de cada anclaje existe una juntura de expansión destinada a evitar las tensiones debidas a los cambios de temperatura. Al llegar a la casa de fuerza cada tubo está provisto de una válvula de mariposa que puede operarse eléctricamente o a mano.

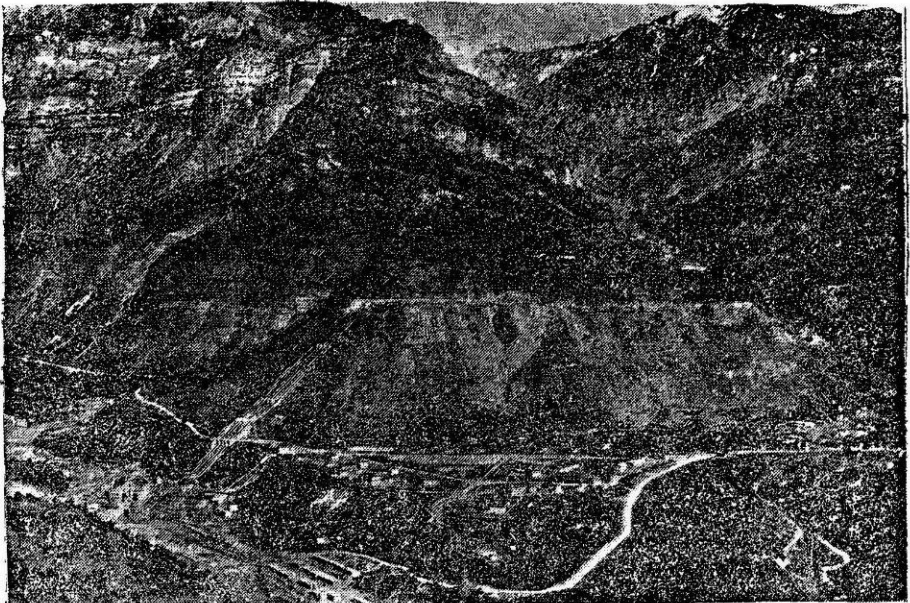


Fig. 13.—Vista general de la planta

*Casa de Fuerza.*—La central hidro-eléctrica de Maitenes está compuesta de tres unidades.

Una turbina Pelton, tipo re-acción, de eje horizontal, de 177 mts., de caída efectiva, 11 300 HP. y 600 R. P. M.

Las turbinas están montadas sobre descansos de empuje tipo "Kingsbury" y tienen un regulador de aceite Pelton y un amortiguador.

Un Generador Westinghouse, trifásico, 50 ciclos por segundo, 8 125 K. W., 6 600 Volts; 600 R. P. M. y un excitador Westinghouse, "shunt" 60 K W., 125 Volst.



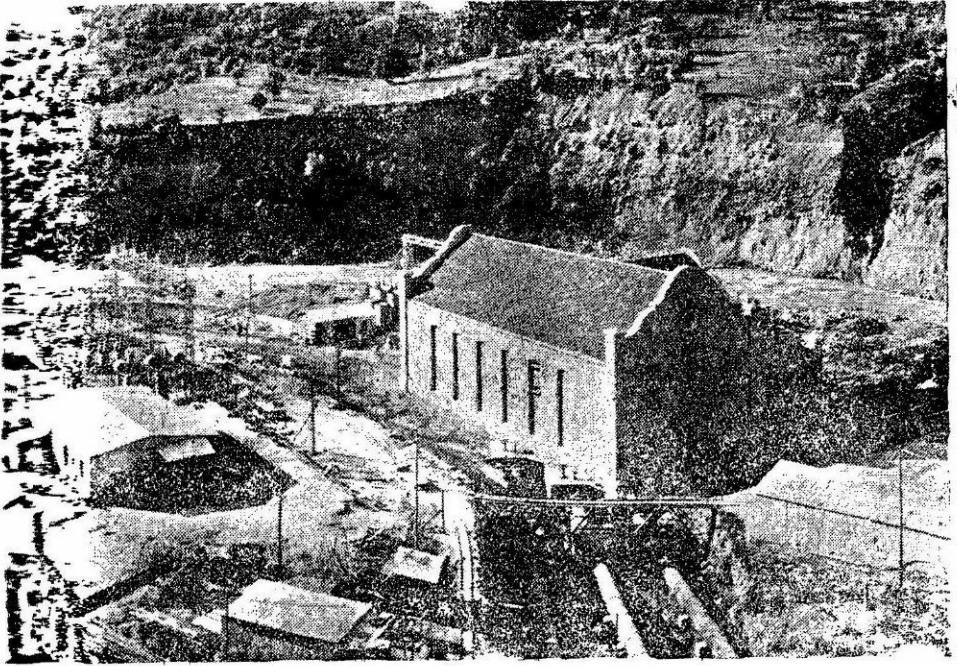


Fig. 20. Casa de fuerza

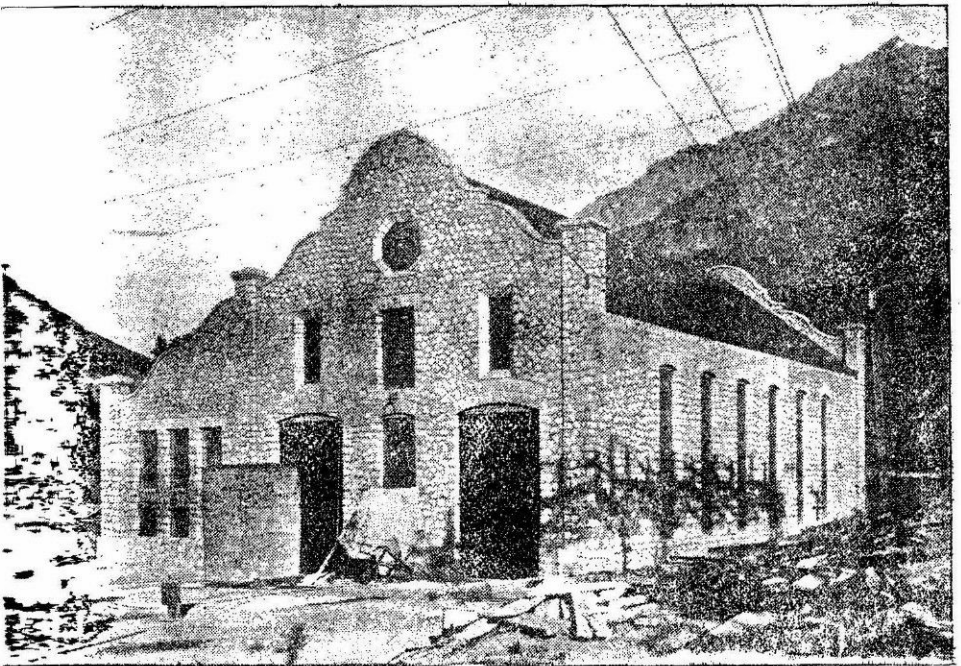


Fig. 21.—Casa de fuerza

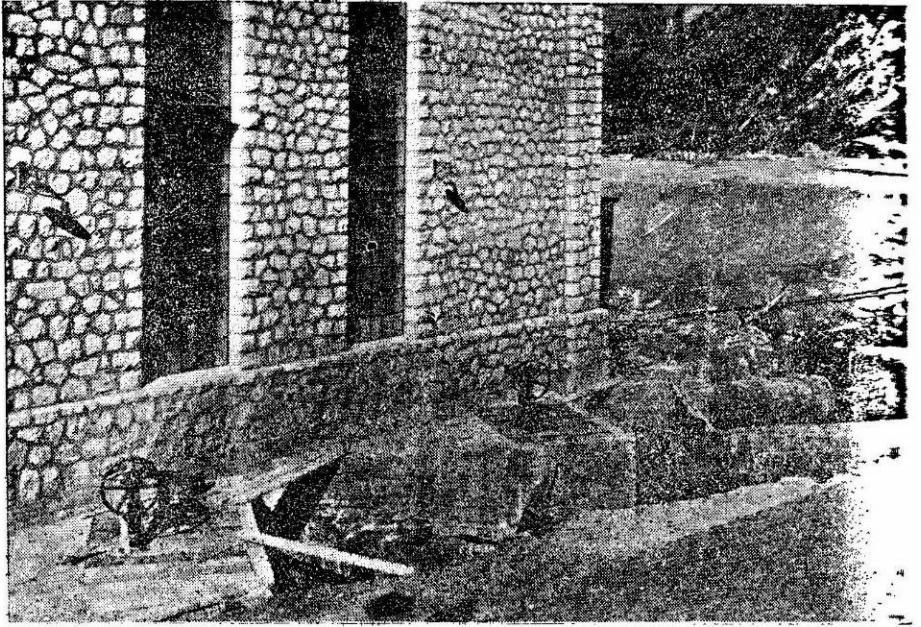


Fig. 22.—Válvulas de Mariposa

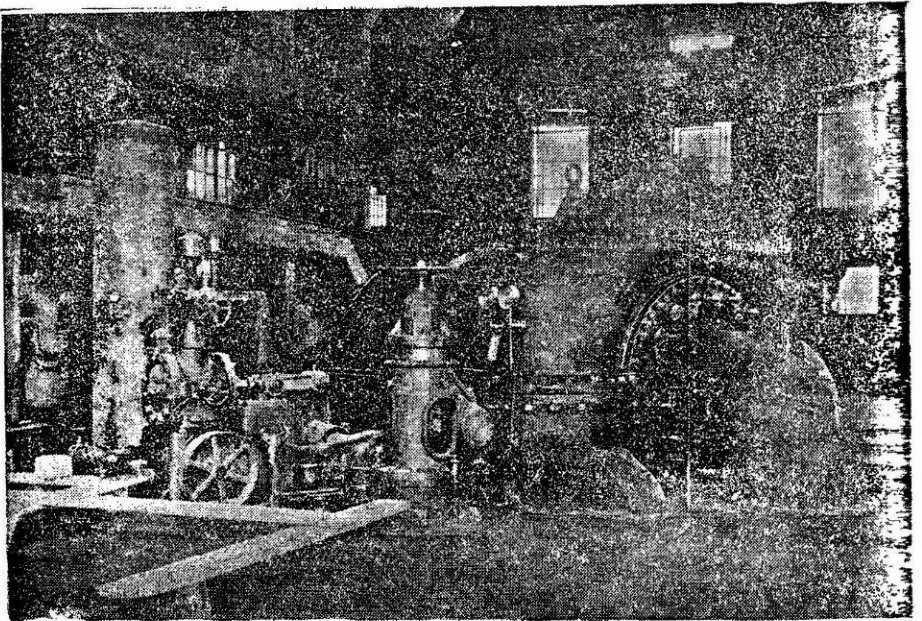


Fig. 23.—Turbina y Generador

Los cables de los generadores son llevados por conductos subterráneos a los compartimentos de los tableros de distribución. La distribución de la energía se hace en las barras ómnibus que van en la parte superior de los compartimentos.

Los cables surtidores de los transformadores van por conductos subterráneos desde los compartimentos principales hasta los transformadores que están a cielo descubierto cerca de la casa de fuerza. Se ha adoptado el tipo de Sub-estación transformada a cielo abierto (Out door Sub-station).

Hay 7 transformadores General Electric, monofásicos, 50 ciclos por segundo, 600 K. W., 6 600-110 000 volts., con enfriamiento de agua. Estos 7 transformadores están divididos en dos bancos de a tres y uno de repuesto, este último puede reemplazar eléctricamente a cualquiera de los otros seis mediante un sencillo cambio de conexiones.

Los cables de 110 000 Volts de los transformadores pasan al patio de alta tensión. En este patio está instalado todo el equipo de 110 000 Volts consistiendo en interruptores de cueros, interruptores de cuchillo, interruptores de aceite y pararrayos. Los cables pasan directamente del patio de alta tensión a la primera torre de la línea de Transmisión.

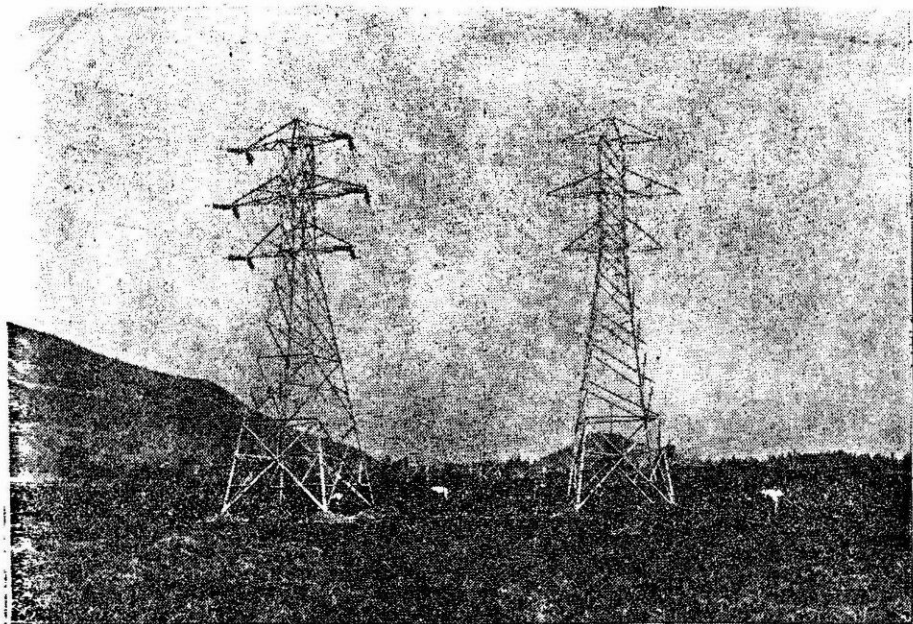


Fig. 24.—Línea de transmisión

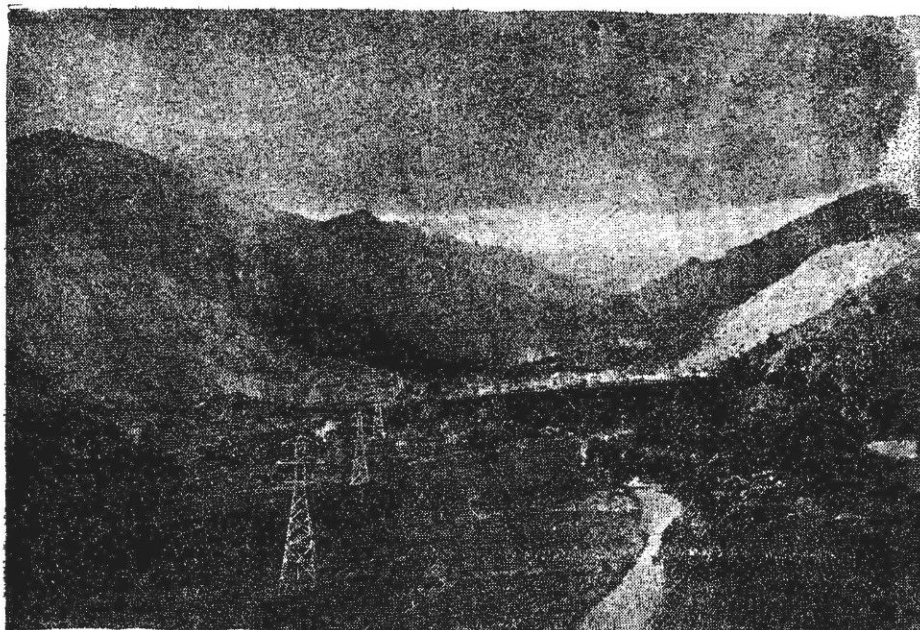


Fig. 25.—Línea de transmisión

*Línea de Transmisión.*—La línea de transmisión de 110 000 Volts de Maiteines a Santiago tiene una longitud de 54 Kmts.

Las torres son de acero galvanizado, desarmables de 21 mts., de altura, y se encuentran esparcidos a intervalos de 180 mts., aproximadamente, siendo el intervalo mayor de 360 mts., para atravesar el río Mapocho al llegar a Santiago.

Las torres son de dos tipos:

Torres tipo normal que se usan en las partes rectas de la línea.

Y las torres de ángulo, o torres pesadas, que se usan en los vértices de la línea o en los tramos extraordinariamente largos.

*Conductores.*—La línea consta de dos circuitos trifásicos o sea 6 cables N.º 00 (67,4 m.<sup>2</sup>).

Los aisladores son de tipo Locke N.º 7 500 y van en grupos de 7 en los cordones de suspensión y de 8 en los cordones de tensión.

*Cable de Tierra.*—El cable de tierra va de tope a tope de las torres en toda la longitud de la línea y es de acero galvanizado de 3/8" de diámetro.

*Vientos.*—Las torres llevan vientos en ángulos muy agudos de intervalos muy grandes y en otros casos que se ha estimado necesario. Los vientos son de cables de acero de 1/2" de diámetro.



La línea de transmisión termina al costado del cerro San Cristóbal en la sub-estación receptora que está por terminarse en la calle Pío IX casi al lado de la entrada del cerro. Para el funcionamiento actual de la planta se ha instalado en el mismo sitio una sub-estación transformadora provisoria.

*Canal de Descarga.*—La devolución de las aguas al río se lleva a efecto a una distancia de 200 mts., de la casa de fuerza por medio de un canal abierto, excavado en tierra, sin revestimiento. En la parte más próxima a la casa de fuerza ha sido necesario construir un muro de defensa entre el canal y el lecho del río debido a la poca consistencia del terreno. En el término del canal existe un rebalsadero de 50 mts., de largo por sobre el cual se verteran las aguas al río. Este rebalsadero tiene por objeto mantener un nivel mínimo en el canal de descarga. Al extremo de este canal existe una compuerta de fondo destinada a desaguarlo completamente y proceder a su limpieza.

#### ESTANQUE Y PLANTA DE SOBRE-CARGA.

En el mismo cerro en que está ubicada la cámara de carga y turbería, en un faldeo adecuado al objeto, se construyó el estanque, cuyo nivel máximo queda a la cota 1382 o sean 69 mts., más alto que el nivel del agua de la cámara de carga. Este estanque tiene una capacidad de 110 000 m<sup>3</sup>. y ha sido necesario excavar 180 000 m<sup>3</sup>. para su ejecución, será alimentado en parte por un canal de 2 Km., de largo y 1 m<sup>3</sup>., por segundo de capacidad, captando con este objeto las aguas de la quebrada de Maitenes.

En el Km., 7 + 700 o sea 400 mts., más arriba de la cámara de carga, está ubicada la planta de sobre-carga.

Esta planta se compone de dos grupos iguales constituidos en la forma siguiente cada uno:

Un generador conectado por un lado con una turbina de 4 m<sup>3</sup>., por segundo de capacidad y por el otro con una bomba de 2 m<sup>3</sup>., por segundo.

Durante las horas que la dotación de 11 m<sup>3</sup>., por segundo del canal principal no sea totalmente requerida en la planta principal, funcionarán las bombas de la planta de sobre-carga elevando el agua al estanque donde junto con la proveniente de la quebrada Maitenes quedará almacenada para usarse en las tres o cuatro horas de carga máxima.

Cuando funcionen las turbinas, bajarán del estanque 8 m<sup>3</sup> por segundo que desarrollarán en la planta de sobre-carga 5 600 HP., efectivos. Este volumen de agua pasará en seguida al canal principal y cámara de carga permitiendo el funcionamiento de las tres unidades de la planta principal.

En estas condiciones, siendo la planta de Maitenes de 22 600 HP., como planta normal, podrá desarrollar en la horas de sobre-carga hasta 39 500 HP.

El estanque de sobre-carga tiene la forma de un riñón de 180 mts., de largo y un ancho de 50 mts., más o menos y 11 mts., de profundidad. Este estanque está provisto de una compuerta de fondo que permitirá vaciarlo por medio de un túnel, a la quebrada Maitenes y al mismo tiempo efectuar su limpieza.

A la llegada al estanque del canal de la quebrada de Maitenes se ha colocado un rebalsadero de seguridad del estanque en combinación con un desarenador de este canal.

La cañería de presión tiene 140 mts., de largo y 1,90 mts., de diámetro. Sale del estanque por medio de un túnel y antes de llegar al primer codo está provista de una válvula de mariposa que se opera a mano eléctricamente.

Esta cañería única sirve tanto para hacer subir el agua por medio de las bombas al estanque como para que baje por ella y haga funcionar las turbinas.