

*Usina Hidroeléctrica  
de  
Rincón del Bonete, Río Negro.*



RIONE

COMISION TECNICA Y FINANCIERA DE LAS OBRAS HIDROELECTRICAS DEL RIO NEGRO

APARTADO DE LA "REVISTA DE INGENIERIA". - JULIO 1949

627.801  
URUu  
1949  
c.3

*Usina Hidroeléctrica*  
*de*  
*Rincón del Bonete, Río Negro.*



R I O N E



COMISION TECNICA Y FINANCIERA DE LAS OBRAS HIDROELECTRICAS  
DEL RIO NEGRO



-576 Hidroeléctrica de Rincón del Bonete

Trabajo presentado al Primer Congreso Panamericano  
de Ingeniería, realizado en Río de Janeiro en Julio de 1949

62 p. 82  
Usina  
1949  
c.3

3753 7

# Primer Congreso Panamericano de Ingeniería

Río de Janeiro, Julio de 1949

*Del informe del miembro relator de la Comisión de «Energía», Sr. Ing. Ciro Romano Farina: «El trabajo «Usina hidroeléctrica de Rincón del Bonete, Río Negro, Uruguay», es «una interesante «Memoria», que describe, con lenguaje preciso y en un resumen substancial, la primera etapa del vasto programa elaborado por la Rione (Comisión Técnica y «Financiera de las Obras Hidroeléctricas del Río Negro) para el aprovechamiento progresivo del desnivel existente en el curso del Río Negro.*

*«Difícil sería condensar mejor de lo que está en esta «Memoria» la materia tratada, «bajo la multiplicidad de los aspectos que presentan los varios problemas resueltos. Y «no pocas enseñanzas de orden práctico ofrece ese trabajo, el que, por lo mismo, merece «divulgación en los medios especializados, mediante su publicación en los Anales del «Congreso».*

*Resolución del Congreso: «Se recomienda la publicación íntegra, en los Anales del «Congreso, del trabajo titulado «Usina hidroeléctrica de Rincón del Bonete, Río Negro, «Uruguay» por tratarse de un trabajo muy interesante».*

# Usina Hidroeléctrica de Rincón del Bonete

## I. Generalidades

La República Oriental del Uruguay se había abocado, desde tiempo atrás, al estudio de la posibilidad de la utilización de sus recursos hidráulicos para la producción de energía eléctrica, cuya necesidad se hacía sentir tanto más cuanto que a pesar de las investigaciones realizadas no se habían hallado yacimientos de combustibles sólidos o líquidos.

La Ley N° 8308 del 16 de octubre de 1928 destinó fondos para la continuación de los estudios que ya se habían iniciado en el Río Negro y para estudios análogos en el Salto Grande del Uruguay y en el Río Queguay.

Las investigaciones preliminares mostraron la mayor factibilidad económica del aprovechamiento hidroeléctrico del Río Negro que ofrecía la ventaja de su mayor proximidad a los centros de consumo y la posibilidad de escalar su capacidad en forma que correspondiera al desarrollo de la República.

El Río Negro, es el río interior más grande del país; su desarrollo total es de 850 km. aproximadamente con un desnivel de unos 140 m. Nace en el Brasil, en el Estado de Río Grande del Sur y corre en una dirección nordeste - suroeste para desembocar en el Río Uruguay.

La cuenca total es de 69.100 km<sup>2</sup>. de los cuales 3.100 km<sup>2</sup> están en territorio brasileño.

Su pendiente no varía mucho, no existiendo saltos de cierta magnitud. Hasta la barra del Río Tacuarembó es en promedio de 0.29<sup>0</sup>/<sub>00</sub>. De allí a Paso de los Toros se reduce a 0.17<sup>0</sup>/<sub>00</sub> para aumentar nuevamente hasta el Río Uruguay a un 0.22<sup>0</sup>/<sub>00</sub>.

Por lo tanto para un aprovechamiento económico de la fuerza hidráulica se tuvo que proyectar un represamiento bastante considerable, cerrando el río por medio de una presa e instalando junto a ésta la usina hidráulica para aprovechar el desnivel entre las aguas de las retenidas y las aguas en el curso normal. La elección del sitio de ubicación de la presa debió hacerse entonces en base de las condiciones topográficas y geológicas.

Varios fueron los puntos estudiados; Isla de González un poco abajo de la desembocadura del Río Tacuarembó, Cerro de la Manga, Rincón de Cabrera y por último Rincón del Bonete 22 km. aguas arriba de Paso de los Toros.

El primero de los lugares previstos para la construcción de la presa se encuentra en la zona de los sedimentos del Gondwana que cubren el fundamento cristalino. La constitución de los mantos superiores de esta serie de rocas, decisiva para la fundación, era deficiente por su solidez e impermeabilidad y no pareció aconsejable levantar allí una presa de 30 a 35 metros de altura. Tampoco los



Rincón del Bonete. Emplazamiento general. Iniciación de los trabajos en la margen derecha.

perfiles de Cerro de la Manga y Rincón de Cabrera resultaron totalmente satisfactorios.

Finalmente se eligió para emplazamiento de la presa el lugar conocido por Rincón del Bonete donde se encontró en una quebrada relativamente cerrada de una cuchilla sólida un perfil favorable desde los puntos de vista topográfico y geológico, que presenta un aspecto satisfactorio respecto a la solidez e impermeabilidad de los mantos basálticos que se extienden desde las cuchillas hasta 125 metros debajo del fondo del río.

La presa y usina de Rincón del Bonete es la primera de una serie de obras a realizarse en el Río Negro, que, con su embalse actual, a nivel normal a cota + 80, permitirá la utilización media anual de 600 millones de kWh. hidráulicos. La elevación del nivel normal del embalse a la cota + 83, ya prevista en el proyecto, o la construcción de otra presa aguas arriba de Rincón del Bonete permitirá, por una mejor regularización del río, obtener 100 millones de kWh. anuales adicionales.

Entre Rincón del Bonete y la desembocadura del Río Negro en el Río Uruguay hay

todavía un desnivel de 50 metros, el que podrá ser utilizado en su casi totalidad con la construcción de nuevas presas y usinas escalonadas en el río mismo.

De acuerdo a los estudios preliminares, la solución económica para el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Negro aguas abajo de Rincón del Bonete sería la construcción de tres usinas dique con caídas medias entre 12 y 23 m.

Una vez construídas estas usinas la energía total media utilizable del Río Negro se elevaría a 1.800 millones de kWh. anuales.

La figura 1 indica la posible ubicación de estas obras.

#### Geología de Rincón del Bonete y de la cuenca abarcada por el lago

Desde su entrada en el Uruguay, la cuenca imbrífera del Río Negro ocupa una especie de cubeta tectónica que es angosta y algo perturbada en su parte superior, amplia y apenas movida en su parte inferior, que se abre hacia el oeste y suroeste, hacia el Río Uruguay.

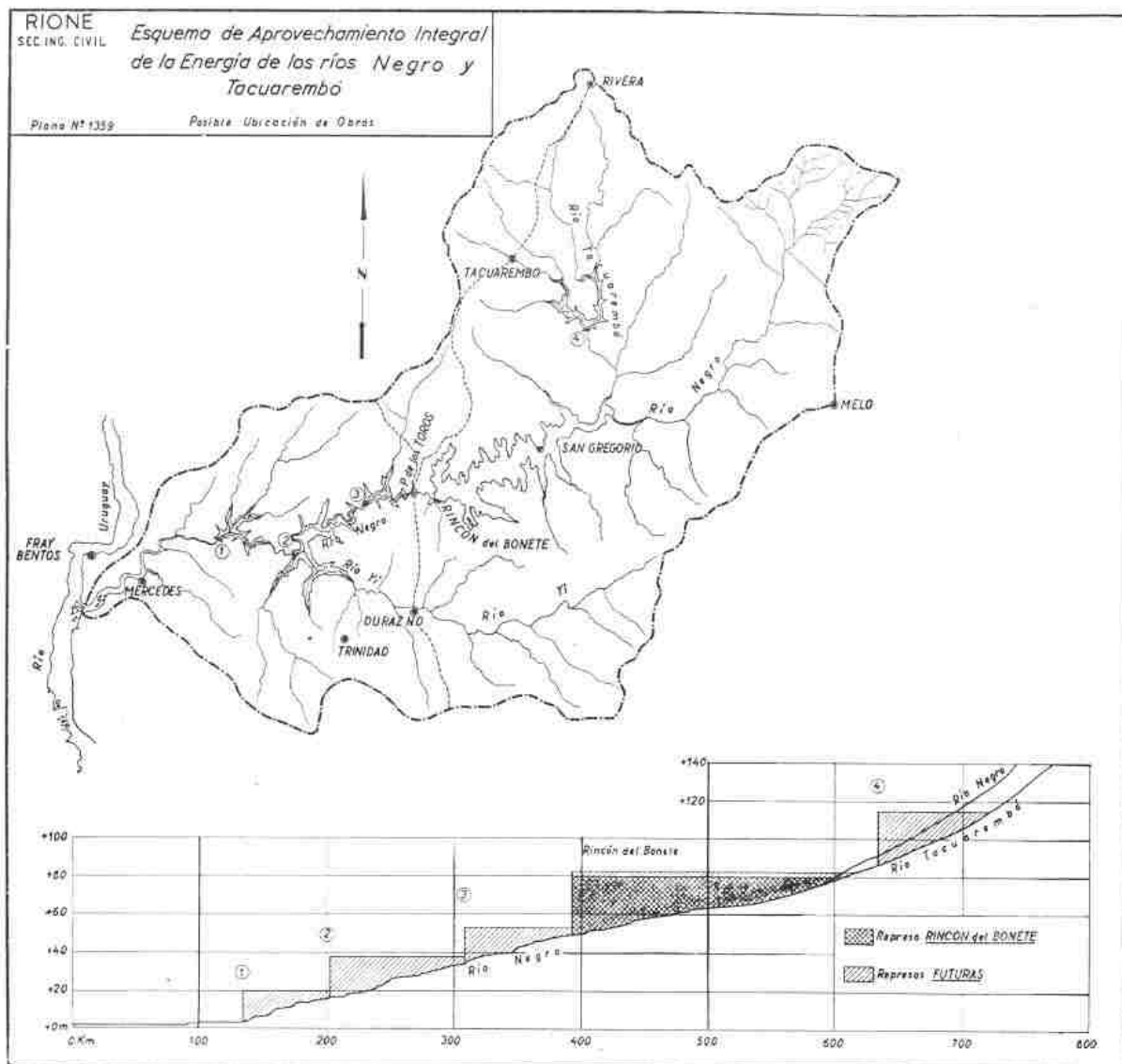


Fig. 1. - Esquema de aprovechamiento integral del Río Negro.

Al este y luego al sur, la cuenca está cercada por una masa continua de rocas del fundamento cristalino que se extiende hasta cerca del Río Uruguay y que se eleva considerablemente sobre el Río Negro y sobre el nivel del embalse. Al norte, el fundamento cristalino aparece solamente en dos elevaciones de orientación este-oeste, entre las cuales entra el Río Negro a la República O. del Uruguay como por un portal.

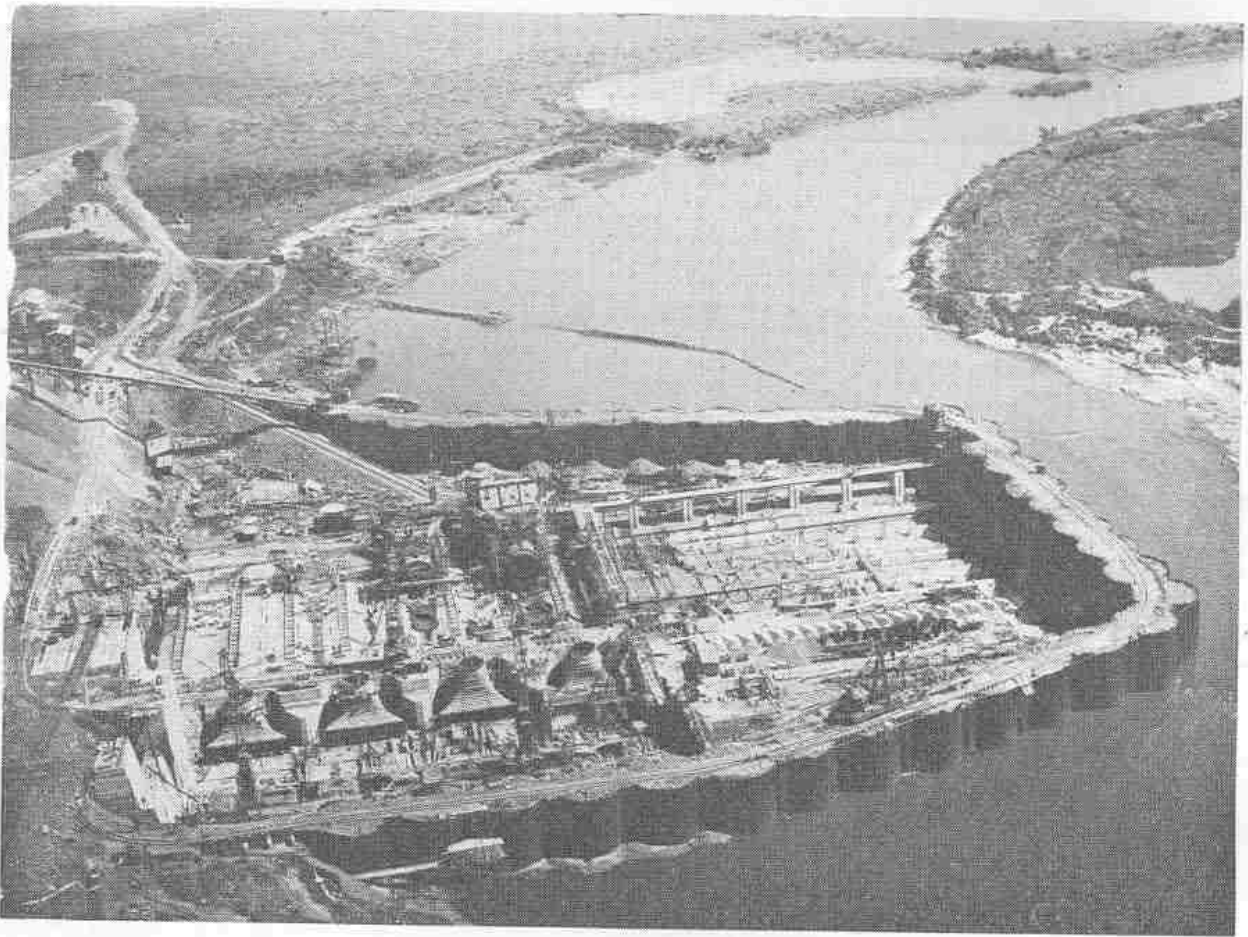
Sobre el fundamento cristalino aparece la serie de sedimentos pertenecientes a la formación de Gondwana, en primer término los depósitos del piso de Itararé y finalmente como miembro más reciente de la misma formación la serie de basaltos de Serra Geral.

Siguiendo el curso del Río Negro hacia aguas abajo se encuentran durante mucho tiempo los sedimentos de Itararé, sólo a la altura de San Gregorio comienzan a aparecer las rocas efusivas, al principio sólo en las cuchillas, pero hacia aguas abajo descende paulatinamente la superficie de separación entre los basaltos e Itararé.

Pocos kilómetros aguas arriba de Rincón de Cabrera esta superficie corta el fondo del río y en Rincón del Bonete los mantos de basalto ya tienen un espesor de 125 metros debajo del fondo del río.

La presa y la parte Oeste del embalse quedan dentro del basalto, en cambio la parte Este en los sedimentos de Itararé.





Zanja I. Montaje de los tubos de aspiración y tubos de presión de las máquinas 3 y 4. - Lecho amortiguador del vertedero. 8 de febrero de 1939

Estos sedimentos tienen una composición muy variada. Frecuentemente son areniscas de colores rojizos claros de grano mediano y fino, a menudo con interposiciones de bandas de arcilla o en sí arcillosas. En ciertos horizontes abundan grandes bloques de cerca de 1 m. de largo o mayores, a parte de rodados y guijarro anguloso de origen glacial. Son sedimentos poco cementados y fácilmente infiltrables cuando no contienen bloques y arcilla, pero su estratificación discordante generalmente no favorece la existencia de horizontes acuíferos muy extensos.

Los basaltos de Rincón del Bonete forman parte del enorme campo de lavas del Triásico superior y Liásico que se extiende en ambos lados de la parte inferior y media de los ríos Uruguay y Paraná. Se presentan en forma de mantos o escoriales que corresponden a distintas efusiones, y que en conjunto tienen cierto parecido con una serie sedimentaria bien estratificada. Estos mantos son casi horizontales con pequeñas inclinaciones hacia el Oeste y pocas perturbaciones insignificantes.

En Rincón del Bonete, donde el basalto

tiene un espesor de 160 m. debajo de las cuchillas, ha sido posible identificar ocho de estos mantos o escoriales.

En general un escorial está caracterizado por la presencia de una parte sólida central de basalto fresco entre dos capas, superior e inferior, alteradas o descompuestas.

El basalto en estado fresco es una roca sólida prácticamente impermeable, pero por su alteración se transforma finalmente en una masa de bloques en parte desmenuzable y hasta arcillosa, aunque solo excepcionalmente. Entre estos dos extremos existen muchos grados intermedios de alteración, varios de ellos de una solidez suficiente.

En general las capas de basalto son suficientemente sólidas como para fundar sobre ellas una presa de 40 metros. Sin embargo un tratamiento especial han exigido las partes alteradas, que se presentan con gran irregularidad, excavándose las si estaban cerca de la superficie o consolidándose con inyección de cemento o productos químicos cuando se encontraban a mayor profundidad.

Primitivamente, los mantos de formación reciente eran todos permeables, sea en sus

partes superiores ya alteradas o en sus cuerpos intactos atravesados por numerosas grietas de contracción por enfriamiento. En el transcurso del tiempo las grietas se fueron rellenando con material proveniente de las partes alteradas produciéndose así una impermeabilización creciente de la serie eruptiva.

No ha sido posible indicar con toda seguridad si las capas alteradas, más o menos porosas, de las superficies superior e inferior de los mantos se extienden sin discontinuidad sobre muchos kilómetros o se presentan únicamente en fajas o superficies limitadas. Sin embargo existe la posibilidad de que estas capas permeables se extiendan hasta muy lejos y favorezcan la filtración de las aguas del embalse.

Las numerosas perforaciones realizadas mostraron la existencia de una napa acuifera a presión a unos 30 metros sobre el nivel del mar es decir unos 20 metros debajo del lecho del río. La correspondencia entre las fluctuaciones de los niveles del río y la de los niveles piezométricos de la napa indican una comunicación que se produce unas decenas de kilómetros aguas arriba de la presa.

El estudio de las filtraciones a través de esta napa indica que éstas no tendrán consecuencia en cuanto a la estabilidad de la obra o de la economía del proyecto.

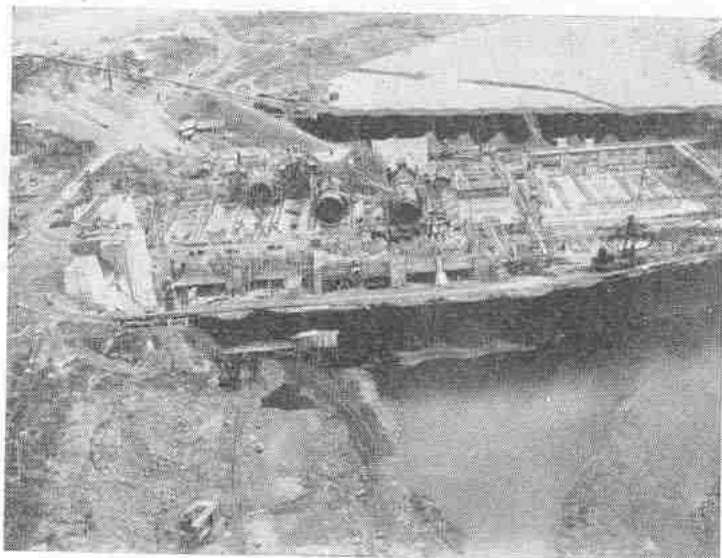
### Precipitación y escurrimiento

La precipitación media anual en la cuenca del Río Negro hasta Rincón del Bonete (37725 km<sup>2</sup>) es de 1.150 mm.

Las lluvias se caracterizan por su intensidad momentánea y la irregularidad con que ocurren. Sin embargo considerando un promedio de muchos años puede decirse que los días de lluvia predominan en los meses de otoño pero las lluvias de verano compensan con su intensidad su menor frecuencia.

Se nota también la existencia de sequías muy pronunciadas que se repiten aproximadamente cada 27 años y que fijan un ciclo climático bien determinado.

El escurrimiento acompaña a las lluvias con bastante retraso y está influenciado fundamentalmente por la evaporación natural. Así es que en los meses de poca evaporación, es decir en el invierno, el escurrimiento es máximo mientras disminuye rápidamente en los meses de verano. Estas fluctuaciones en el curso del año se acentúan mucho más en los



Rincón del Bonete: Vista de aguas abajo. - Montaje de los tubos de presión 2, 3 y 4. - Anillo de traviesa de la turbina 4. Revestimiento de hormigón de los tubos de aspiración 3 y 4. - 30 de marzo de 1939

períodos de sequías y de lluvias extraordinarias.

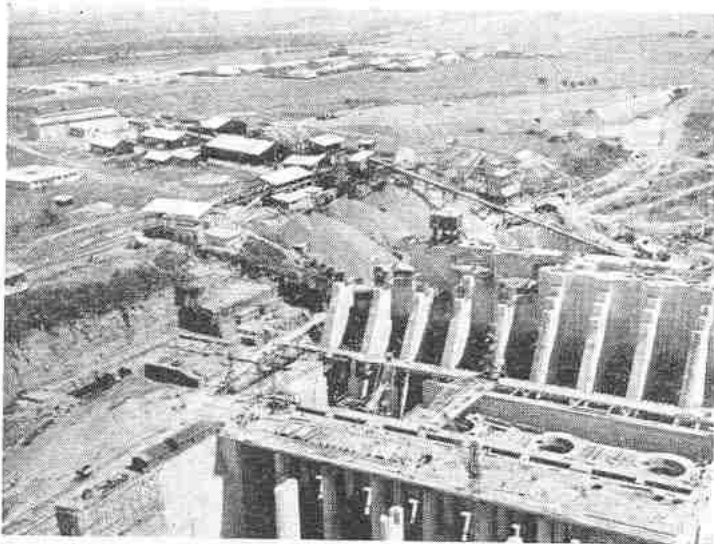
Las alturas de agua en el Río Negro se registran en distintas escalas desde el año 1908, habiéndose efectuado aforos en distintos períodos en Perfil Sarandí (cuenca 32.110 km<sup>2</sup>), Rincón del Bonete (cuenca 37.725 km<sup>2</sup>), Paso de los Toros (cuenca 38.410 km<sup>2</sup>) y Paso Palmar (cuenca 60.480 km<sup>2</sup>).

Son de especial interés, por su proximidad



Rincón del Bonete: Zanja I y excavación en la margen izquierda. - 3 de agosto de 1939





Rincón del Bonete: Vista desde aguas abajo. -  
 Infraestructura de la Usina. Pilares de la Usina.  
 Planta de trituration y pueblo obrero. -  
 11 de marzo de 1940

dad al lugar de emplazamiento de la obra y por la duración del registro de lectura de escalas (desde 1908 hasta la fecha), los aforos realizados en Paso de los Toros.

En base de ellos se han determinado los caudales medios mensuales y caudal medio anual y se ha confeccionado la curva de caudales acumulados que aparece en la fig. 2.

El gasto medio anual para el período 1908-1946 es de 16.55 km<sup>3</sup> equivalente a 525 m<sup>3</sup>/seg.

El gasto medio en Rincón del Bonete puede estimarse en relación a la superficie de las cuencas respectivas en 515 m<sup>3</sup>/seg.

En los gráficos de la figura 2 pueden observarse bien caracterizados los períodos de sequías y de grandes aguas así como el ciclo climático que éstos definen. En los años críticos de 1917 y 1946 el caudal anual se redujo a 1.84 y 1.86 km<sup>3</sup> o sea un 11% del caudal medio anual, en cambio en el período de grandes lluvias alcanzó a valores de 47.7, y 39.6 km<sup>3</sup> como en los años 1914 y 1941.

Esta diferencia tan grande en los caudales del río se debe más que a la diferencia entre la cantidad de agua llovida (entre 700 y 1900 mm. anuales) a la forma de distribución de las lluvias y su efecto en el coeficiente de escurrimiento que varía entre un 7% para los años de extrema sequía hasta más del 60% en los extremadamente lluviosos.

Estas diferencias son todavía más acentuadas si se consideran los valores diarios. Los valores característicos para el caudal del Río Negro medidos en la escala de Paso de los Toros para el período 1908-1946 son los siguientes:

Estiaje .....	10 m <sup>3</sup> /seg.
Gasto medio .....	525 »

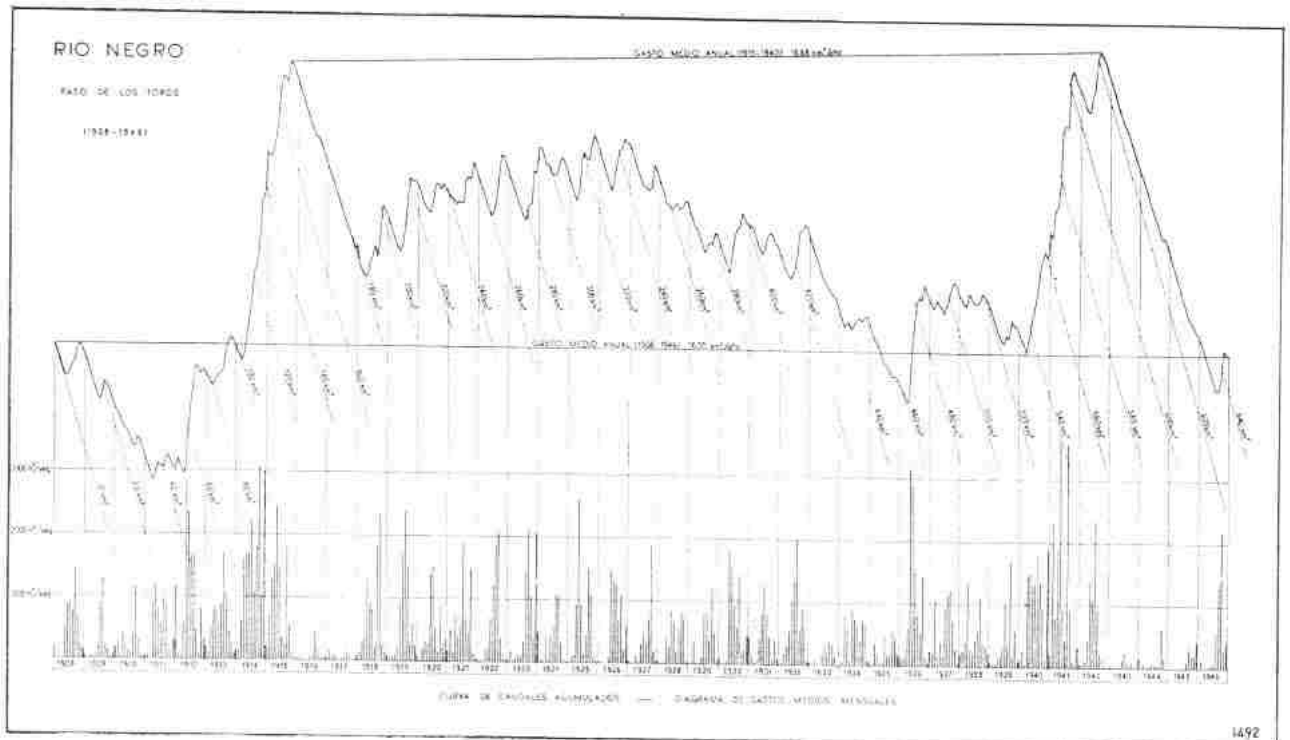


Fig. 2. - Caudales acumulados del Río Negro. Registro de Paso de los Toros

Gasto máximo producido  
al menos 5 veces ..... 5000 m<sup>3</sup>/seg.  
Gasto máximo producido  
al menos 2 veces ..... 5200 »  
Gasto máximo producido  
al menos 1 vez ..... 5500 »

La creciente máxima adoptada para el proyecto ha sido de 9000 m<sup>3</sup>/seg. que se reducirá por el efecto regulador del embalse a valores del orden de 5000 m<sup>3</sup>/seg.

### El embalse

A pesar de la altura relativamente reducida de la presa, el remanso debido a la poca pendiente del río se hace sentir sobre unos 140 km. medidos por el eje del lago.

La superficie del lago, al nivel normal + 80.00 es de 1140 km<sup>2</sup> y llega a 1495 km<sup>2</sup> a la cota + 83.00 correspondiente a las máximas crecidas estimadas.

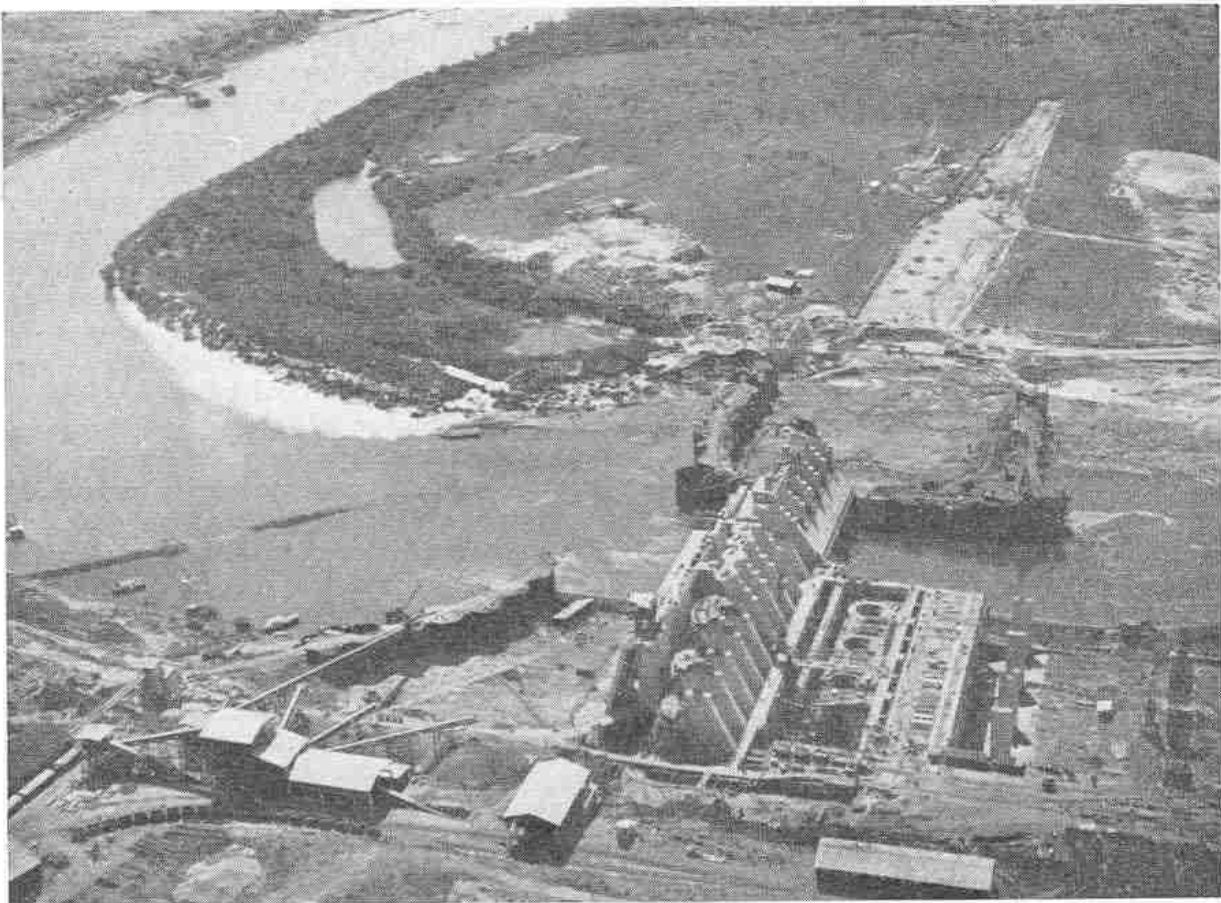
Al nivel mínimo de + 71.50 la superficie del lago se reduce a 465 km<sup>2</sup>.

El volumen útil del embalse comprendido entre las cotas + 71.50 y + 80.00 es de 6.4 km<sup>3</sup>, de los cuales 0.7 km<sup>3</sup> se reservan para asegurar la energía de pico durante los períodos críticos de sequía. (Reserva de hierro).

El volumen comprendido entre las cotas + 80.00 y + 83.00, de 4 km<sup>3</sup>, se destina a regular el pico de las crecidas extraordinarias.

El volumen útil del embalse, aun deducida la reserva de hierro, es de una magnitud que permite una regularización tal que para una derivación del 100% del caudal medio anual del río el déficit de agua es de sólo 22% y para una derivación del 80% el déficit es de 9.5% con lo que se hace factible el aprovechamiento económico de la casi totalidad de los caudales del río a pesar de las enormes variaciones en los aportes naturales.

En la figura 3 se indican las curvas de superficies y volúmenes del embalse, desagües por las compuertas del vertedero y curva de niveles aguas abajo de la presa.



Rincón del Bonete. - Vista general de la obra desde la margen derecha. - 11 de marzo de 1940



Rincón del Bonete: Dique visto desde aguas arriba. - Aberturas provisionarias en los pilares U8 a U13. - 11 de marzo de 1940



Rincón del Bonete: Zanja II. - Construcción de las bases de los pilares U3 y U7 y lecho amortiguador. - 10 de setiembre de 1940

### La represa

La longitud total de la represa es de 1170.50 m. La cota de coronamiento es + 84.30 para la primera etapa (nivel normal del embalse + 80.00) y de + 86.90 para la etapa final (nivel normal del embalse + 83.00). Las secciones del dique correspondientes a las tomas de la Usina y al vertedero se construyeron desde un primer momento hasta su altura definitiva. La altura del dique sobre su fundación más profunda es de 40.80 m. en su primera etapa y 43.40 m. en la etapa final, y de 35.00 y 37.60 respectivamente, sobre el lecho del río.

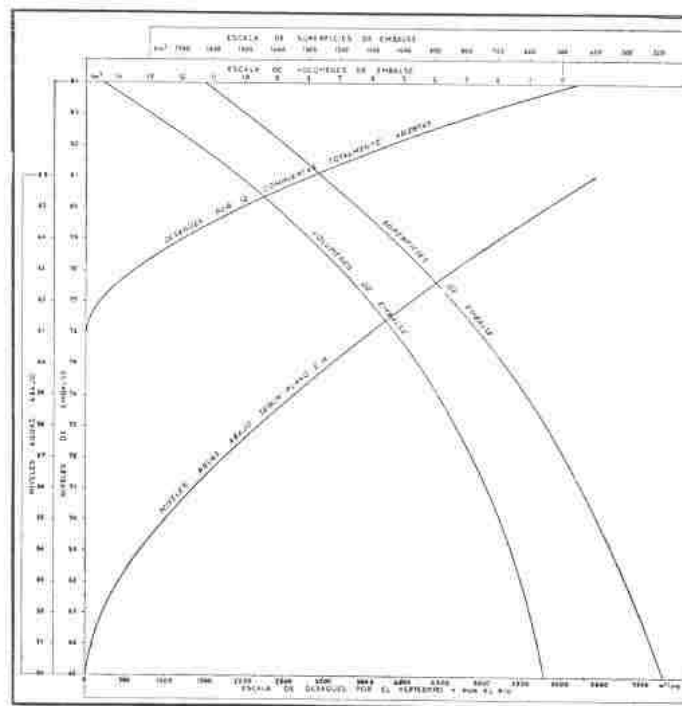


Fig. 3 - Curva de volúmenes, de superficies del embalse y de desagües por el vertedero, correspondientes al dique de Rincón del Bonete

Dada las condiciones del suelo de fundación, en el proyecto del dique se procuró reducir los esfuerzos de compresión del terreno, adoptándose para tal fin el tipo de muro hueco de hormigón con contrafuertes y una carpeta de cabezas redondas macizas (sistema Noetzli) semejante al del Río Salado (Méjico) y basado en el principio de que la transmisión de la presión del agua se efectúa directamente a los contrafuertes por medio de las cabezas redondas.

Así fué que se obtuvieron esfuerzos de compresión normales sobre el terreno del orden de los 3 y 4 kg./cm<sup>2</sup> y muy uniformemente distribuidos, que para el caso de un dique de gravedad se hubieran elevado a 8 kg./cm<sup>2</sup>.

La construcción de un dique de tierra o de enrocamiento fué descartada por su mayor costo y la dificultad de conseguir materiales apropiados.

Para los estribos del dique en las márgenes derecha e izquierda en que la altura es menor y la roca de fundación tiene mayor solidez se ha adoptado el perfil de gravedad, que resulta más económico que el pilar tipo Noetzli.

En resumen la presa se compone de:

Muro de gravedad en la margen derecha .....	53.50	m.
4 Pilares normales Noetzli de 12.50 de ancho c/u. ....	50.00	»
8 » de toma » » 11.00 » » » .....	88.00	»
1 » normal » » 11.00 » » » .....	11.00	»
13 » de vertedero Noetzli de 12.50 de ancho c/u. ....	162.50	»
5 » normales Noetzli de 12.50 de ancho c/u. ....	62.50	»
2 » de Transición de 12.50 de ancho c/u. ....	25.00	»
Muro de gravedad en la margen izquierda .....	625.00	»
Dique de tierra y roca .....	93.00	»
<b>Total</b> .....	<b>1170.50</b>	<b>»</b>

En las figuras 4 y 5 pueden verse los alzados y cortes de los pilares tipo Noetzli normal, de la toma y del vertedero, además el perfil de gravedad.

Un pilar Noetzli normal está constituido por una cabeza redonda de 12.50 m. de ancho y un contrafuerte de 2.00 m. de ancho que apoya sobre una plancha de fundación de 12.30 de ancho, con lo que se deja una canaleta de drenaje entre plancha y plancha de 20 cm. de ancho. La cabeza y el contrafuerte son de hormigón simple salvo una ligera armadura de unión entre cabeza y contrafuerte y entre contrafuerte y plancha de fundación.

La plancha de fundación está fuertemente armada.

Durante la construcción de las primeras secciones de cabeza redonda se observó una tendencia a producirse una pequeña fisura vertical en el eje de las cabezas por efectos de temperatura del fraguado. Esto se subsanó con el agregado de una pequeña armadura próxima al paramento aguas arriba de la cabeza, con la refrigeración del hormigón con agua del río y con la reducción de la altura de las capas de hormigonado a 1,20 m. Además en verano se permitió el hormigonado solamente durante las horas de la noche.

La toma está constituida por dos pilares gemelos para cada tubo de presión, en total ocho pilares, los que tienen un ancho de 11.00 m., mitad de la distancia entre ejes de turbinas. El tubo de presión pasa entre los dos contrafuertes y va anclado en un macizo unido a la plancha de fundación que es común para los dos pilares.

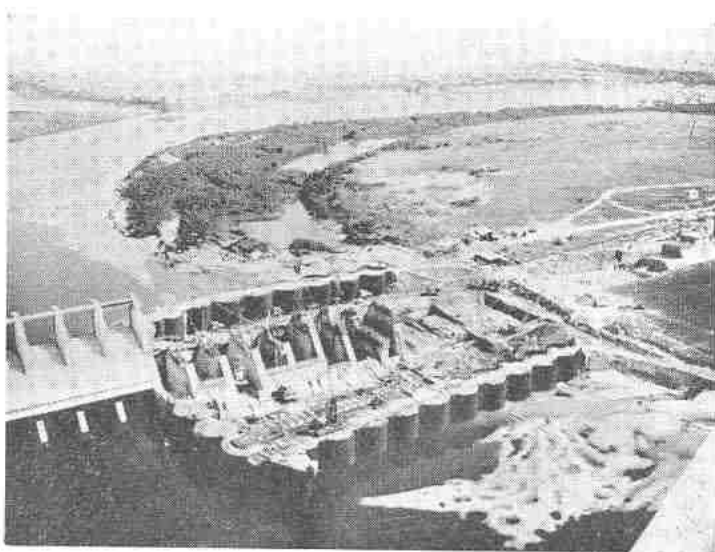
Hacia adelante van las torres donde se deslizan las compuertas de rodillos y de emergencia, la trompa de toma y la carpeta para el rastrillo limpia réjas (fig. 4). Estos pilares se han construido desde un principio

hasta la altura correspondiente a la etapa final, cota de coronamiento + 86.90.

El vertedero está situado en el centro del río, tiene un ancho total de 148 m. y está dividido en 12 vanos de 10,50 m. de luz por 11 pilas de 2 m. de espesor. La cresta del vertedero está a la cota + 76.00.

El vertedero permite desaguar, con las compuertas totalmente abiertas, 1950 m<sup>3</sup>/seg. para un nivel aguas arriba de + 80.00 y 4900 m<sup>3</sup>/seg. para un nivel + 83.00, lo que es suficiente para evacuar la crecida milenaria de 9000 m<sup>3</sup>/seg. adoptada en el proyecto, dado el enorme volumen regulador de crecidas del embalse.

Los pilares del vertedero son del tipo Noetzli a cabeza redonda y contrafuertes. La carpeta posterior está constituida por una losa de hormigón armado ensamblada a la cabeza posterior de los contrafuertes. Esta carpeta lleva en su parte inferior orificios



Rincón del Bonete; Zanja II. - Construcción de los pilares R2 y U1. - 11 de enero de 1941



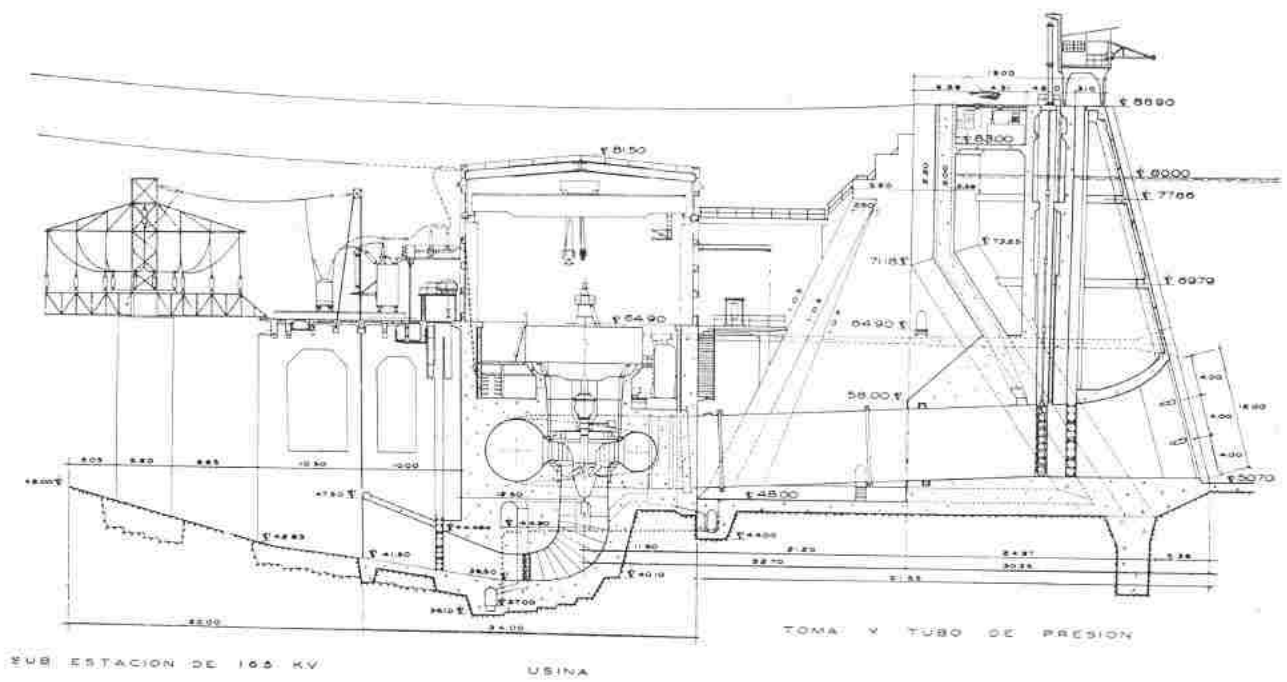


Fig. 4 - Sección transversal del dique y de la Usina de Rincón del Bonete

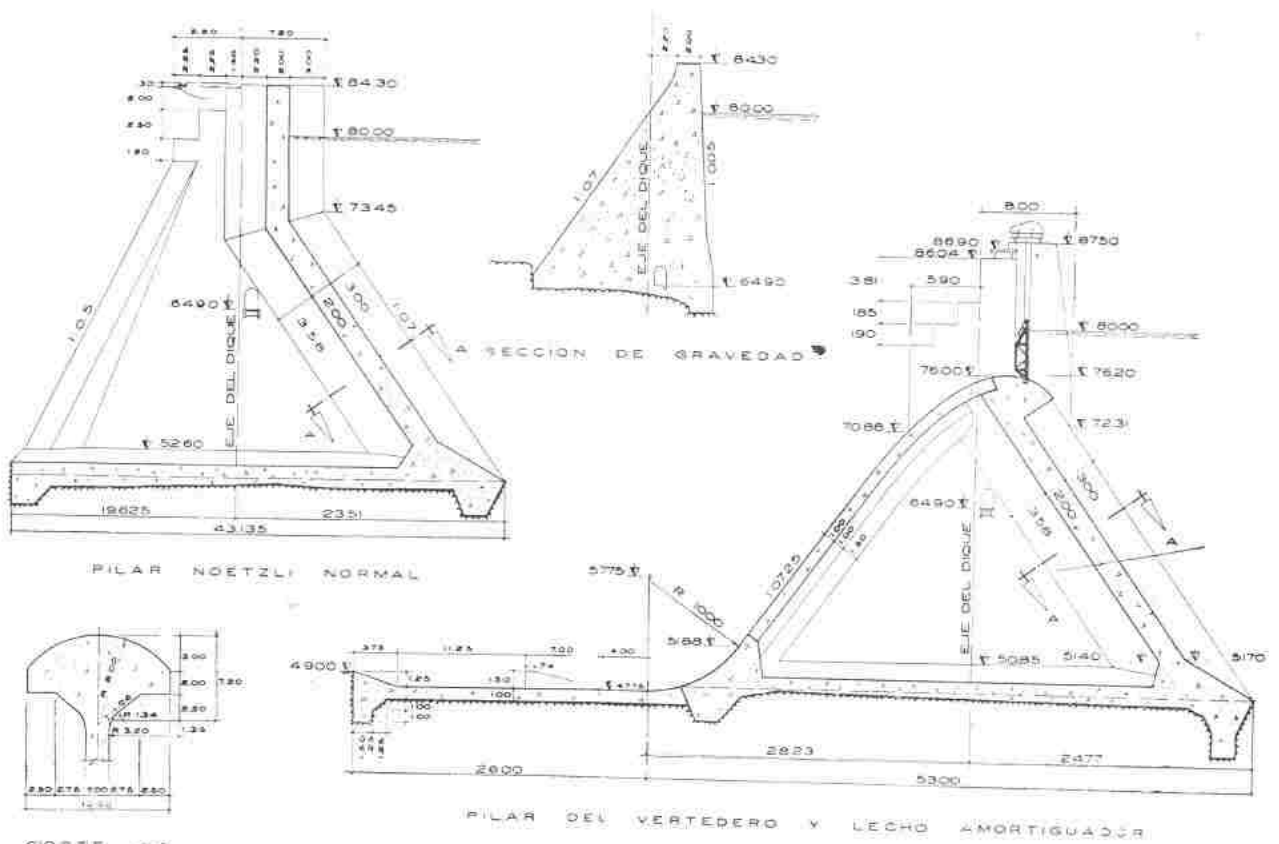


Fig. 5 - Secciones transversales del dique de Rincón del Bonete



de compensación para permitir el llenado y vaciado de los espacios entre contrafuertes de acuerdo a las fluctuaciones de los niveles aguas abajo del río.

El lecho amortiguador tiene una longitud de 26 metros y su forma fué determinada en base a ensayos con modelos reducidos. En la figura 5 puede verse un corte del pilar del vertedero y del lecho amortiguador.

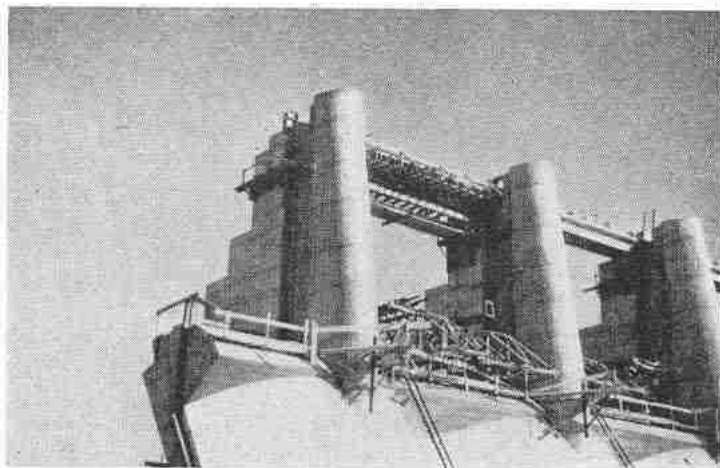
En la margen derecha, fuera de la presa, hubo que construir dos pequeños diques de tierra para cerrar dos hondonadas. Estos diques cuyo coronamiento está a la cota + 84.80 tienen una longitud y altura de 270.00 m. y 1.70 m. y de 389.65 m. y 3.70 m. respectivamente.

### Impermeabilización y consolidación del subsuelo

Como se explicó al tratar sobre la geología de Rincón del Bonete, el basalto sobre el cual está fundada la presa, presenta con gran irregularidad, zonas con diversos grados de alteración que han exigido un tratamiento especial de inyecciones de cemento y productos químicos para impermeabilización y consolidación del subsuelo.

Los trabajos de consolidación no tuvieron importancia, sino en una zona próxima a la margen izquierda en una extensión de unos 100 m. (pilares U1 a U7, R2 y R3). En cambio, las inyecciones de impermeabilización, efectuadas en forma de cortina a pie aguas arriba del dique alcanzaron grandes proporciones sea por su extensión, que abarcó casi todo el dique, como por su profundidad que fué de 25 a 30 m. bajo el lecho del río, alcanzando a las rocas sanas impermeables de gran espesor que constituyen el quinto escorial.

Al programar los trabajos en la pantalla aguas arriba fué necesario definir el grado de permeabilidad permitido, ya que es prácticamente imposible hacer una cortina totalmente estanca. El valor adoptado fué de 1 l. por metro lineal y por minuto a una presión de 4 atmósferas medida en un tramo de perforación de aproximadamente 4 metros de altura. El valor de la permeabilidad del subsuelo en la cortina longitudinal, se fué reduciendo, mediante inyecciones de cemento y de productos químicos hasta alcanzar el valor anteriormente admitido, y en general sobrepasado, llegándose a cifras in-



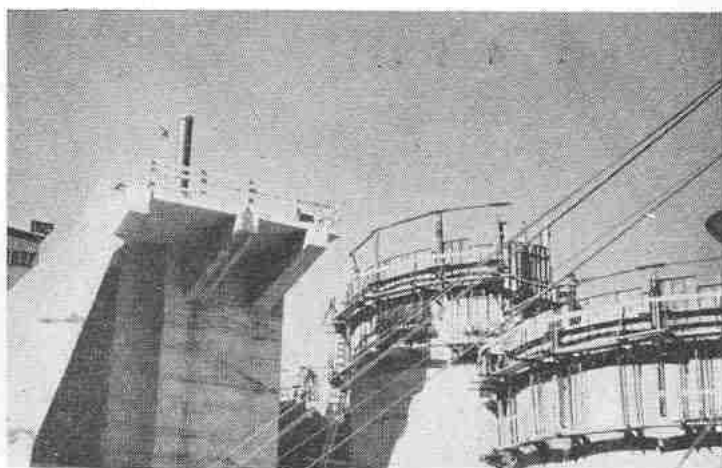
Rincón del Bonete: Cresta del vertedero, pilar y puente de servicio. - junio de 1940

feriores a los 5 l. por metro lineal y por minuto a la presión de 10 atmósferas.

La práctica seguida para la impermeabilización de la cortina longitudinal fué la corriente para esta clase de trabajos, los que se desarrollaron como sigue:

1º) Se inyectaron con lechada de cemento una serie de perforaciones que, cruzando el muro de guardia de aguas arriba terminaron en el quinto escorial. Estas perforaciones, en su conjunto, constituyen, una vez realizadas las inyecciones, la llamada «primera cortina longitudinal».

2º) A continuación se practicó la «segunda cortina longitudinal» ubicada también bajo el muro de guardia de aguas arriba, y a 1.80 m. hacia aguas abajo de la cortina anterior.



Rincón del Bonete: Pilares E8 y R1. Encofrado de las cabezas redondas. - junio de 1940

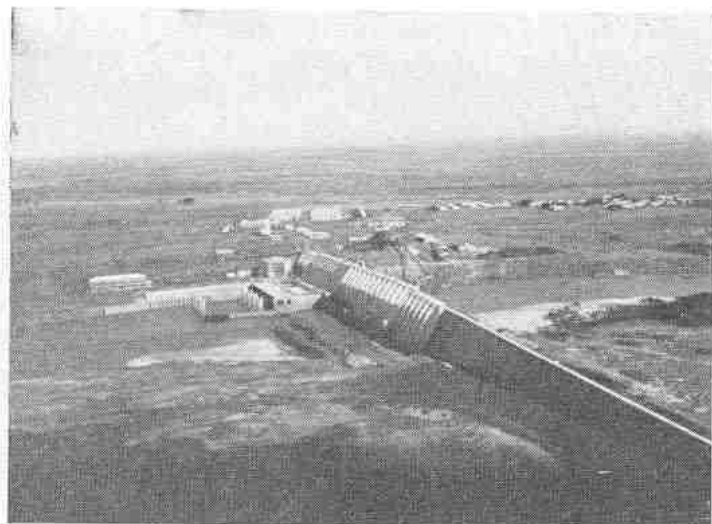


Rincón del Bonete: Creciente de agosto de 1941.  
- Zanja II inundada

3º) Donde el terreno no quedó suficientemente impermeable, se practicó, entre ambas cortinas, una tercera inyectada sea con cemento o con productos químicos.

De acuerdo a las características propias del terreno el esquema general dado recién se fué modificando en consecuencia, habiendo, por lo tanto, algunas zonas con las 2 cortinas de cemento solamente, o con una cortina de cemento y otra de productos químicos.

Para juzgar del efecto obtenido por una cortina se practicaron, en los lugares más permeables, y entre las perforaciones inyectadas, otras que sirvieron, por la medida de



Rincón del Bonete: Vista del dique desde la  
margin izquierda. - 11 de agosto de 1944

su permeabilidad, para averiguar el estado del terreno posterior a las inyecciones y, por consiguiente, para resolver sobre la conveniencia de ejecutar otra cortina.

Las cortinas de cemento se realizaron por medio de inyecciones en perforaciones distanciadas entre sí 4 metros y ubicadas en tresbolillo respecto a las perforaciones de la segunda cortina. A su vez cada perforación se inyectó en varias etapas, en sentido descendente, en general de 4 metros de altura a excepción de los lugares con napas acuíferas en que se disminuyó la altura de las etapas. Las perforaciones se prolongaron hasta entrar unos 2 m. en la roca gris del quinto escorial.

Mediante bombas hidráulicas o a aire comprimido se bombea a la etapa a inyectar, convenientemente limitada y cerrada herméticamente en su parte superior por medio de un obturador, una suspensión o mezcla de cemento en agua, de concentración generalmente creciente durante el proceso de inyección y cuyos límites pueden fijarse entre 10 y 150 kg. de cemento mezclado con 150 litros de agua, de acuerdo con la permeabilidad del terreno y de cómo se vaya desarrollando la inyección.

La inyección penetra en el terreno a presiones cuyos máximos varían de acuerdo a la estructura del terreno, la orientación de los planos de separación entre sus diversas capas (en nuestro caso casi horizontales), el alcance que se pretende para la inyección y, finalmente el peso del terreno y de la obra existente encima de la etapa a inyectar. Las presiones de inyección oscilaron, en general, desde 3 hasta 20 ó 25 atmósferas, ajustadas según las profundidades. Salvo casos especiales, se ha tomado como valor máximo de presión, expresada en atmósferas, el valor, en metros, de la profundidad de la etapa inyectada a contar desde la superficie de la roca.

El tipo de obturador empleado que dió mejores resultados es el construido con discos de caucho natural, de unos 10 a 15 cm. de altura total, que al comprimirse entre dos platos de hierro se ensancha y cierra la perforación. La compresión se hace mediante un tornillo de unos 40 mm. de diámetro y se transmite a los platos por doble cañería de 13 mm. al interior y 35 mm. al exterior.

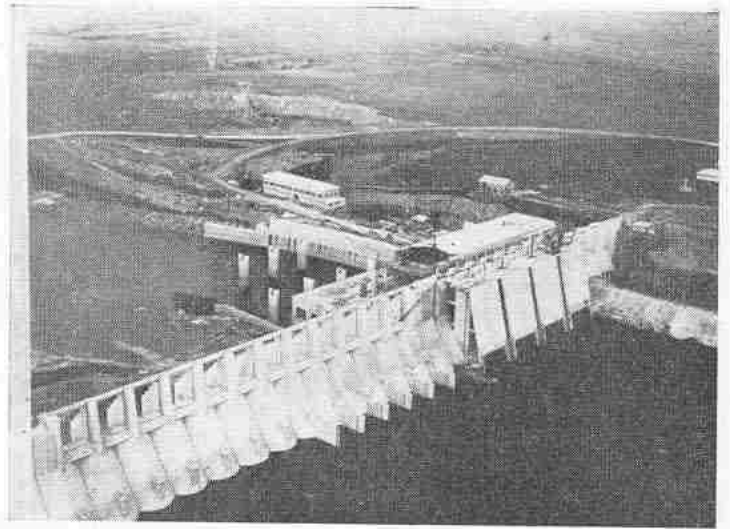
Terminada la inyección de una etapa se efectúa la reperforación algunas horas des-

pués y se toma la permeabilidad de la etapa inyectada. En los terrenos encontrados contra la margen derecha, la permeabilidad posterior a la inyección fué reducida, pero no sucedió lo mismo en la margen izquierda, en la segunda mitad del vertedero y pilares adyacentes. En esta zona la permeabilidad post-inyección alcanzó valores comparables a los originales lo que dió motivo a otra u otras inyecciones en la misma etapa. Este fenómeno se ha presentado en terrenos muy alterados, con mucha agua intercalada, aptos, por consiguiente para recibir gran cantidad de cemento.

Ahora bien, el empleo de etapas altas como son las de 4 m., y de bombas de inyecciones de relativo caudal trae como consecuencia pequeñas velocidades de penetración de la lechada en el terreno, con los asentamientos correspondientes, lo cual, unido al efecto de colmatación de las paredes de la perforación por filtrado del agua en las partes más firmes, trae como resultado un aumento de resistencia, que se va venciendo aumentando la presión hasta el límite estipulado. Reperforada la etapa, las partes más firmes son también más impermeables y menos filtrantes, localizándose el líquido en las zonas peores, en que ahora circula a mayor velocidad y con menos decantación por consiguiente. El hecho de haberse extraído testigos de reperforación con un reducido vacío al centro, por el que circuló la lechada, ha dado base a la teoría expuesta. A los efectos de tener una idea sobre las cantidades de cemento, en kg. inyectadas sucesivamente en la misma etapa, damos los correspondientes a algunas perforaciones:

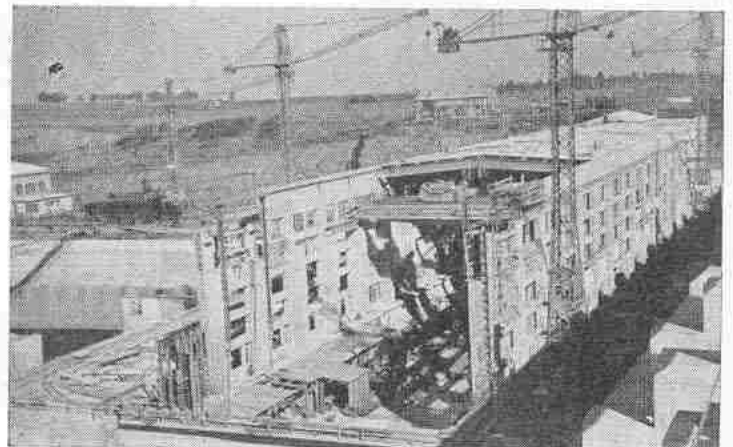
1ª	Inyección	512	291	287
2ª	»	1000	1050	1531
3ª	»	1750	1194	2094
4ª	»	800	1362	25
5ª	»	8	4	—

Hay terrenos en que las inyecciones de cemento, si bien reducen la permeabilidad, no son suficientemente eficaces. Es conocido que en terrenos de tipo arenoso no dan buen resultado, y esto es lo que ha sucedido en varias zonas del subsuelo de la cortina longitudinal. Se ha comprobado por la observación directa en pozos abiertos bajo las planchas de fundación, y en zonas bien inyectadas anteriormente con cemento, que éste, ca-



Rincón del Bonete: Dique: Vista desde la margen izquierda aguas arriba. - Aberturas provisionarias cerradas. - 6 de abril de 1945

si por regla general se extiende en forma de capas sinuosas más o menos horizontales y localizadas en los cuerpos blandos entre rocas más sanas o en el interior de un manto descompuesto. Como los terrenos arenosos no permiten pasar al cemento ni tampoco éste puede atravesarlos y comprimirlos como lo hace la mayoría de las veces, resulta que esos terrenos requieren otro tratamiento para su impermeabilización. En el dique de Rincón del Bonete se usaron, en estos casos, las inyecciones de silicato de sodio seguidas de otra de cloruro de calcio. Al encontrarse éste con el silicato reacciona según la ecuación:



Construcción del edificio de la Usina en Rincón del Bonete. - 16 de julio de 1945

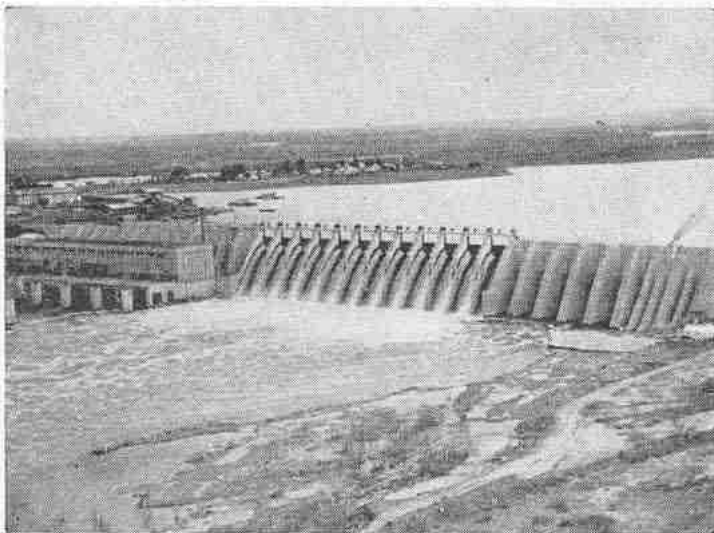




Rincón del Bonete: Vista parcial del vertedero

Se obtiene como resultado de la reacción silicato de calcio insoluble, y cloruro de sodio. Prácticamente la reacción no es exactamente igual a la indicada porque el silicato de sodio comercial no responde rigurosamente a la fórmula dada, derivada del ácido ortosilícico, sino que es una mezcla de silicatos sódicos de distinto orden.

No pudiendo hacerse la inyección de los dos productos unidos dado que la formación del silicato de calcio es prácticamente instantánea, es preciso hacerla separadamente, iniciándose con el silicato, con densidad me-



Rincón del Bonete: Vertedero descargando 2000 m<sup>3</sup>/seg.

dia de 37° Baumé, y continuándose después con el cloruro de calcio, con densidad de 35° B. Indudablemente este sistema de inyección ofrece lógicamente varios reparos, como ser: que si se está tratando un terreno firme como ser roca sana fisurada, el recorrido del cloruro es obligadamente el del silicato y en su movimiento impele hacia adelante al silicato, reaccionando sólo con el que está adherido a las paredes; que si el terreno es de poca consistencia, es posible que una primera parte de cloruro siga el camino del silicato, reduciéndose el lugar de pasaje por el precipitado formado, con el consiguiente aumento de resistencia y de presión lo que eventualmente (en la práctica ha sucedido corrientemente) provoca el escape del cloruro por otro camino; que aparentemente se inyecta mucho líquido con relación al precipitado sólido obtenido, aunque, cuando reaccionan totalmente los dos elementos, en las proporciones empleadas se tiene que 1 litro de silicato, mezclado con  $\frac{2}{3}$  de litro de cloruro da un volumen firme de precipitado de 1,150 litros.

La relación de volúmenes, con las concentraciones dadas, entre el silicato y el cloruro, en ensayos de laboratorio en que se mezcló bien ambos productos resultó ser algo menor de 2. En la realidad el mezclado mecánico no existe, sino que más bien hay que tener en cuenta el fenómeno de adhesión. Experimentado el proceso en tubería fina no absorbente se encontró que el volumen de cloruro tenía que ser mayor que el de silicato. En los terrenos no se encuentra parecido con las dos experiencias de laboratorio sino que más bien ofrecen un estado intermedio. Por estas circunstancias y por resultados de inyecciones de ensayo, se adoptó como relación de volúmenes el coeficiente 1,5, o sea 3 volúmenes de silicato y 2 volúmenes de cloruro.

Cuando se inyecta cemento no surge el problema de cuánto cemento se ha de inyectar puesto que el término de la inyección aparece al llegarse a la presión máxima admitida y mantenida con el mínimo gasto de lechada que permiten la maquinaria y la instalación. No es así con la inyección química. Por cuanto que la primera inyección no exige mayor presión para su ejecución, es necesario saber qué cantidad se ha de inyectar. En un principio, en base a ensayos, se estableció





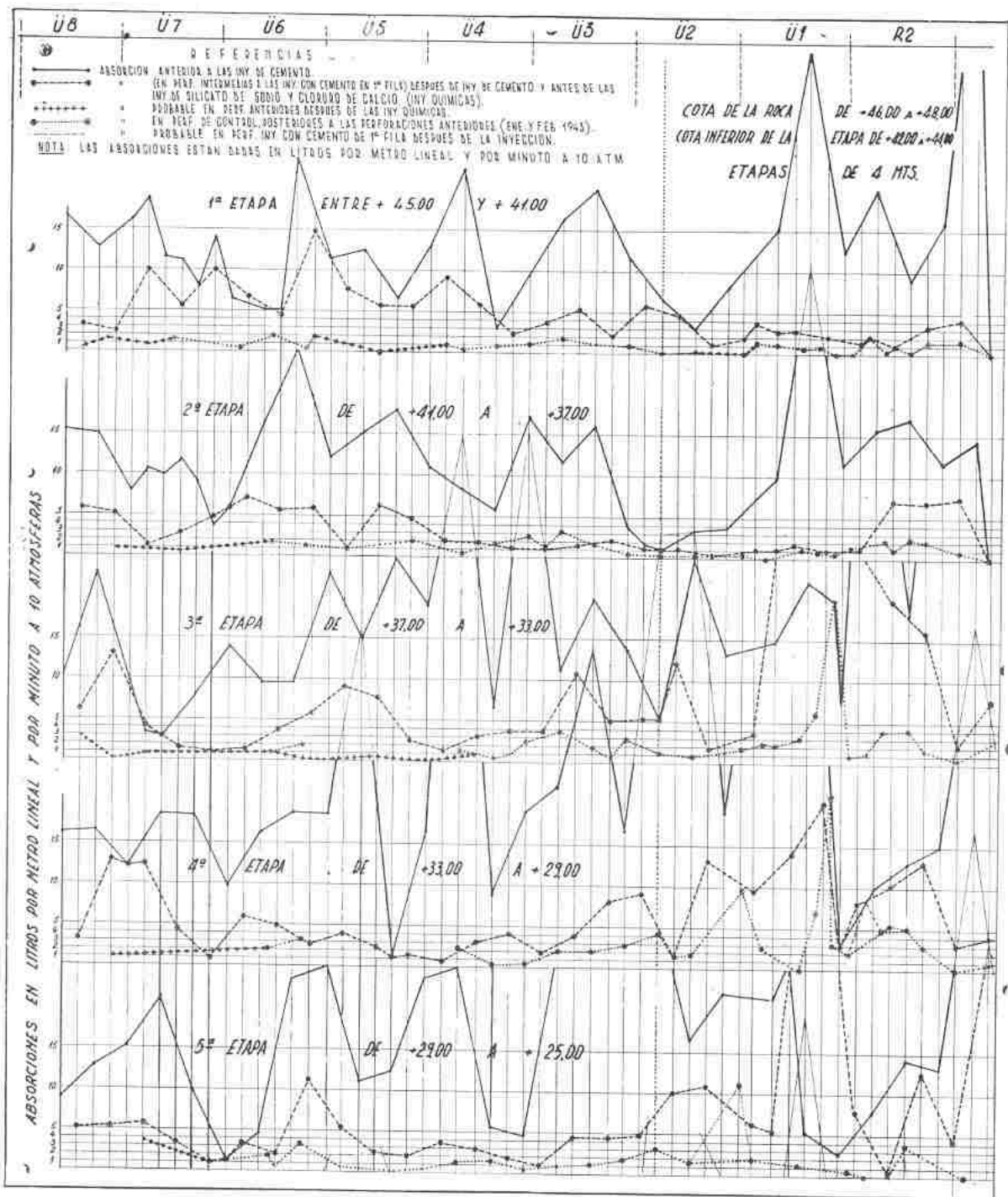


Fig. 7

El proceso de las inyecciones químicas sucesivas se continúa hasta alcanzar la presión máxima establecida o hasta reducir la permeabilidad a cierto valor (0 l./m./min. a 5 atms.), o hasta que el terreno en la zona próxima a la perforación, por efecto de la impermeabilidad alcanzada, es capaz de mantener durante varios segundos cierta presión (10 atms. o más), estando desde luego, desconectada la bomba inyectora.

El efecto de impermeabilización logrado

mediante el depósito de silicato de calcio es permanente, lo cual se pudo apreciar por las perforaciones de control practicadas bajo las aberturas provisionales en el vertedero, en zona inyectada químicamente 5 años atrás. Por ejemplo, frente al pilar U9 en la cortina longitudinal y entre las cotas 30 y 35 en que hay una importante napa acuífera, la permeabilidad del terreno original, medida en l./m./min. a 10 atmósferas fué aproximadamente de 22; después de las in-

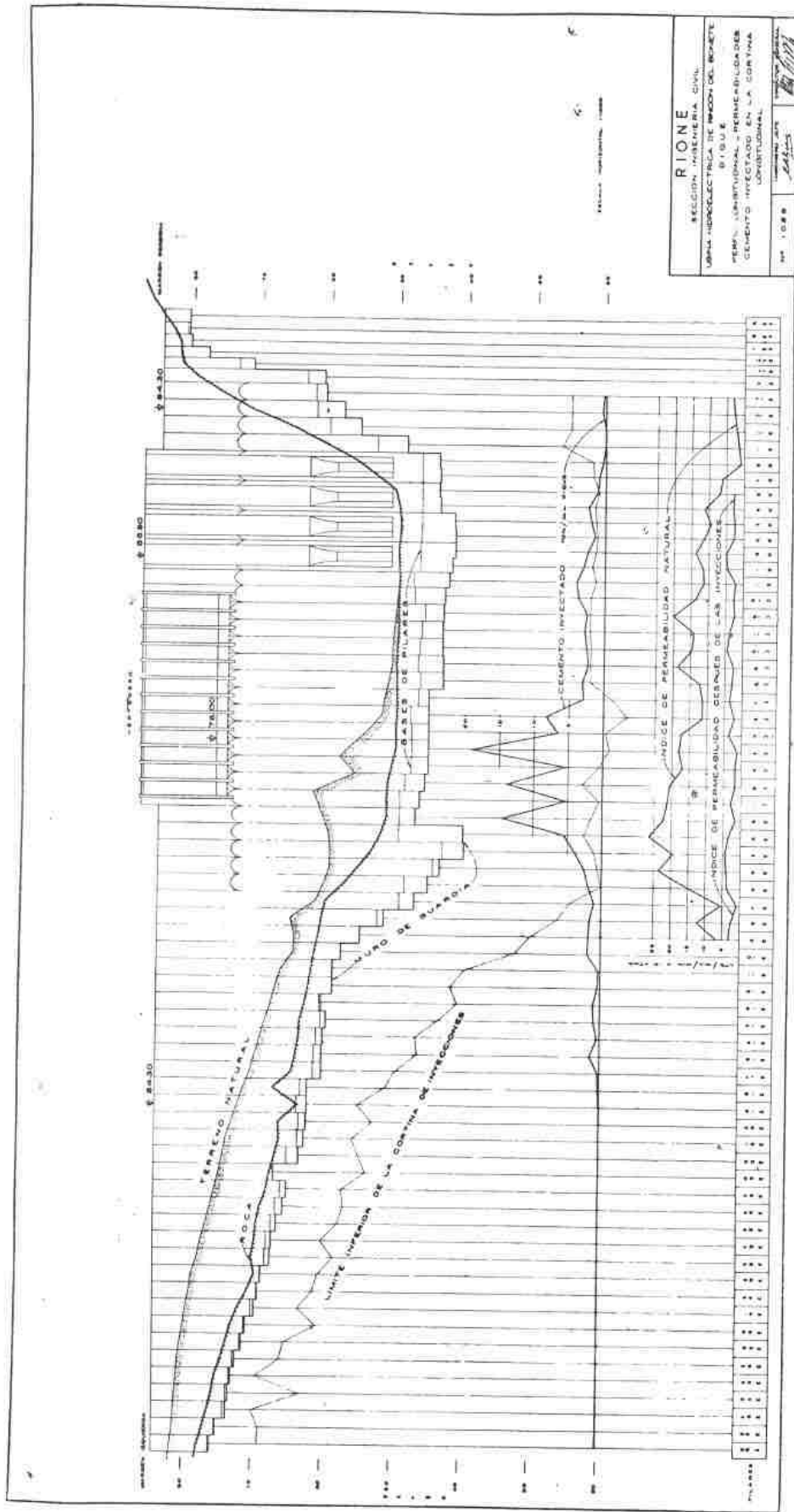


Fig. 8

yecciones de cemento ésta se redujo a 7, efectuándose de inmediato inyecciones químicas (1939). En diciembre de 1944 se efectuaron perforaciones de control realizándose pruebas de absorción de agua encontrándose que el valor de la permeabilidad se había reducido a 3 l./m./min. (Véase figura 6).

Para terminar, diremos que a juzgar por varias observaciones, parece ser que el efecto de las inyecciones químicas mejora con el tiempo, como si las partes de silicato y cloruro que no reaccionaron, se fueran encontrando y precipitando el silicato de calcio. Es posible que esto sea por las propias características de las soluciones y porque la velocidad del agua en los terrenos, al ser lenta, no arrastra los líquidos inyectados.

En las figuras 6 y 7 se indican para varias perforaciones la absorción de agua por metro lineal y por minuto a 10 atmósferas de presión antes de las inyecciones de cemento, antes de las inyecciones químicas en nuevas perforaciones, y en perforaciones de control ejecutadas después de las inyecciones químicas.

En la figura 8 se indica la permeabilidad media del terreno en la cortina longitudinal medida en l./m./minuto a 10 atmósferas antes y después de los trabajos de impermeabilización y la cantidad de cemento inyectada en la cortina longitudinal en toneladas por metro lineal de dique.

El metraje total de los trabajos efectuados en la cortina longitudinal es el siguiente:

Perforaciones .....	m.	8950
Cemento .....	Ton.	1686
Silicato de Sodio a 42°		
Baumé .....	»	198
Cloruro de Calcio Sólido .	»	73

En la margen izquierda, en la mitad del vertedero y pilares adyacentes, el subsuelo inmediato a la roca sana de fundación, y en un espesor de 2 a 3 metros se encuentra en un estado mayor de alteración que el resto del subsuelo. Por esto se trató dicho terreno con inyecciones de cemento a fin de consolidarlo. Estas inyecciones se hicieron en perforaciones de 10 a 14 metros en roca, cubriendo las planchas de fundación de la zona citada en forma de malla de unos 10 metros de lado. En la figura 9 se indica la cantidad de cemento inyectado en cada perforación.

Además y sistemáticamente, se hicieron inyecciones bajo todas las planchas de fundación con objeto de mejorar la roca inmediata a la fundación, inyecciones que se llamaron de unión. Estas inyecciones se hicieron en perforaciones de 2 metros de profundidad en la roca en forma de malla de 4 metros de lado y en general con un gasto de cemento insignificante.

El total de cemento inyectado en perfora-

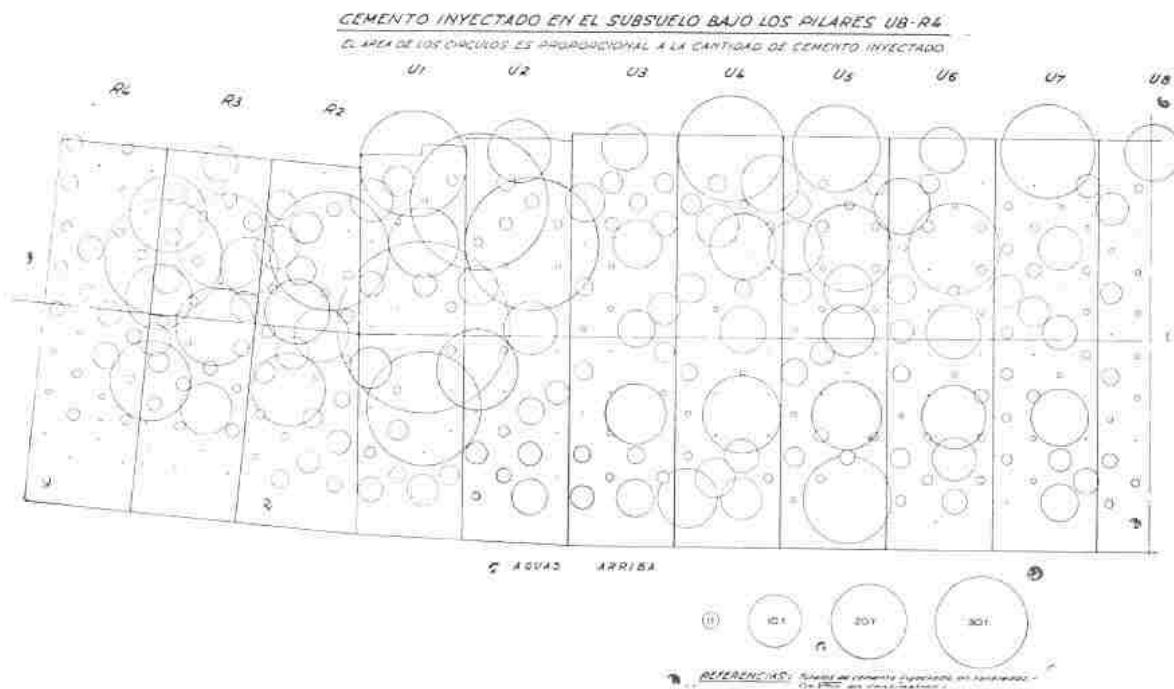


Fig. 9

ciones de unión y de consolidación fué para todo el dique de 1490 toneladas.

Las perforaciones se hicieron con máquinas Ingersoll Rand Coroc MD2. Las inyecciones, casi totalmente con maquinaria eléctrica sueca de la Swedish Rock Drilling Co., y parcialmente con bomba a aire comprimido de la Casa Häny (Suiza).

El gasto de lechada que daban las bombas suecas fué en general satisfactorio, pero en casos especiales de terrenos muy alterados se necesitó mayor gasto por lo que se inyectó con dos bombas acopladas en paralelo. El tipo de bomba sueca empleado permitía un gasto máximo de 20 litros de lechada por minuto a la presión de 25 atmósferas.

### **Control de deformaciones en el dique y niveles piezométricos de las aguas subterráneas**

Para medir las deformaciones en el dique se han instalado mojones de alineación del eje del dique, referencias para nivelación de precisión en los coronamientos de cada pilar, referencias para medir los movimientos relativos entre los coronamientos de cada pilar, plomadas en los pilares E1, E2, R2 y R7 y por último puntos fijos Tipo Norris en las planchas de fundación de varios pilares.

El más interesante de los diversos sistemas es el último, similar al ya usado en el dique «Norris» en U.S.A. ya que permite revelar en cualquier momento pequeñísimos movimientos verticales en los pilares del dique y sirve de control seguro para todo trabajo de inyección o consolidación del subsuelo.

Este sistema se basa en la medida directa, por medio de calibres de precisión, de la distancia entre un punto de la plancha de fundación y otro «punto» empotrado en la roca sana compacta del quinto escorial, a unos 25 metros debajo de las planchas de fundación. En esencia es una cañería de hierro galvanizado de 25 mm. de diámetro anclada a la roca del quinto escorial con lechada de cemento. Excepto su extremo inferior va aislada del terreno por medio de otra cañería de 50 mm. asfaltada exteriormente. El espacio entre esta cañería y el terreno se rellena con lechada de cemento o con mortero. Exteriormente termina el caño interior en un punto plano de acero inoxidable e igual punto se halla instalado en una pieza de hierro adecuada anclada a la plan-

cha de fundación. Las mediciones se hacen con calibre de hojas que aprecian el milésimo de pulgada directamente.

La altura piezométrica de las aguas subterráneas se mide por un sistema de perforaciones y tubos dispuestos cada 2 pilares y a razón de 3 perforaciones en cada uno de ellos. Una hacia aguas arriba próxima a la pantalla impermeable, otra en el eje del dique y una tercera aguas abajo. Las medidas se hacen desde la pasarela a cota + 64.90 en cañerías de 50 mm. de diámetro por medio de una sonda eléctrica.

Del estudio de los niveles piezométricos en distintos pilares para diferentes fechas y estados de nivel del embalse y del río, se desprende el efecto notable de la pantalla longitudinal y el reducido valor de las subpresiones, siempre inferior a la carga del pilar sobre el terreno.

### **Usina y Estación de transformación**

La usina está ubicada inmediatamente al pie del dique del lado derecho del río en forma tal que el canal inferior cae casi totalmente en el lecho del río.

El eje longitudinal de la usina es paralelo al del dique. Acoplada a la sala de máquinas hacia la margen derecha se encuentra la sala de montaje, a la cual entra directamente la vía de trocha normal que une Rincón del Bonete con Paso de los Toros. A continuación está la casa de comando situada por completo en desmonte. La usina, la sala de montaje y la casa de comando forman en conjunto un solo edificio bajo un mismo techo. Adosada a la sala de montaje, entre la usina y el dique se encuentra el local Diesel al que también llega la vía de trocha normal.

La sala de máquinas tiene una longitud interior de 86,10 m. y un ancho de 20,00 m. En ella están instalados los cuatro grupos generadores de 32.000 kVA c/u. con una distancia entre ejes de 22,00 m.

El piso de turbina está a cota + 57.53. El piso de generadores, a cota + 60.95, no cubre la totalidad de la planta, sino que termina con una baranda sobre el piso de turbinas hacia el lado aguas arriba.

El agua llega a la usina por tubos de presión de 7,00 m. de diámetro que atraviesan el dique. Los tubos de aspiración desembocan unos 10,00 m. aguas abajo del muro de

la usina y están subdivididos por diafragmas verticales.

Los tubos de presión, tubos de aspiración y el espacio entre pilares de la toma se drenan por un sistema de cañerías y canales que desembocan en el pozo de bombas situado contra la margen derecha aguas abajo de la usina.

La planta de la sala de montaje está a cota  $+ 64.90$ , lo mismo que la explanada de acceso a la usina. La longitud de esta sala es de 23.90 m.

Las paredes exteriores de la Usina y casa de comando son de hormigón visto. La superestructura de la usina consiste en pilares de hormigón armado sobre los que apoyan vigas de acero. El techo es de losas de hormigón recubiertas por chapas de aluminio acanalado. La estructura de la casa de comando es totalmente de hormigón armado con cubierta similar a la de la usina.

Inmediatamente aguas abajo de la usina existe una plataforma de hormigón armado a cota  $+ 64.90$  de un ancho de 20.50 m., de todo el largo de la sala de máquinas, donde está instalada la estación de transformación de 165 kV.

Excavada en la margen derecha y a la misma cota a  $+ 64.90$  se encuentra la explanada

de acceso a la usina y casa de comando donde están los transformadores de servicio propio y el taller de Rincón del Bonete.

En la figura 4 puede apreciarse un corte de la usina y estación de transformación.

### Pasabarcos

Originariamente, en el proyecto, se había previsto la construcción de un sistema de esclusas para facilitar la navegación en el Río Negro, a través del dique.

Sin embargo, dado que el volumen previsible de esa navegación no justificaba por el momento y posiblemente por muchos años el gasto que demandaría tal sistema de esclusas, se desistió momentáneamente de la construcción del mismo, sustituyéndolo por un pasabarco que cruza la garganta de Rincón del Bonete y que consiste fundamentalmente en un carro-carril que permite el transporte de embarcaciones de hasta un peso máximo de 100 t. cargadas. (Fig. 10).

La longitud total del pasabarco es de 1109.30 m.; 352.63 m. del lado del embalse en que la vía asciende desde la cota  $+ 68.30$  con una pendiente uniforme de 6%, y 756.67 del lado del río donde el descenso se produce con una pendiente variable entre 4.8%

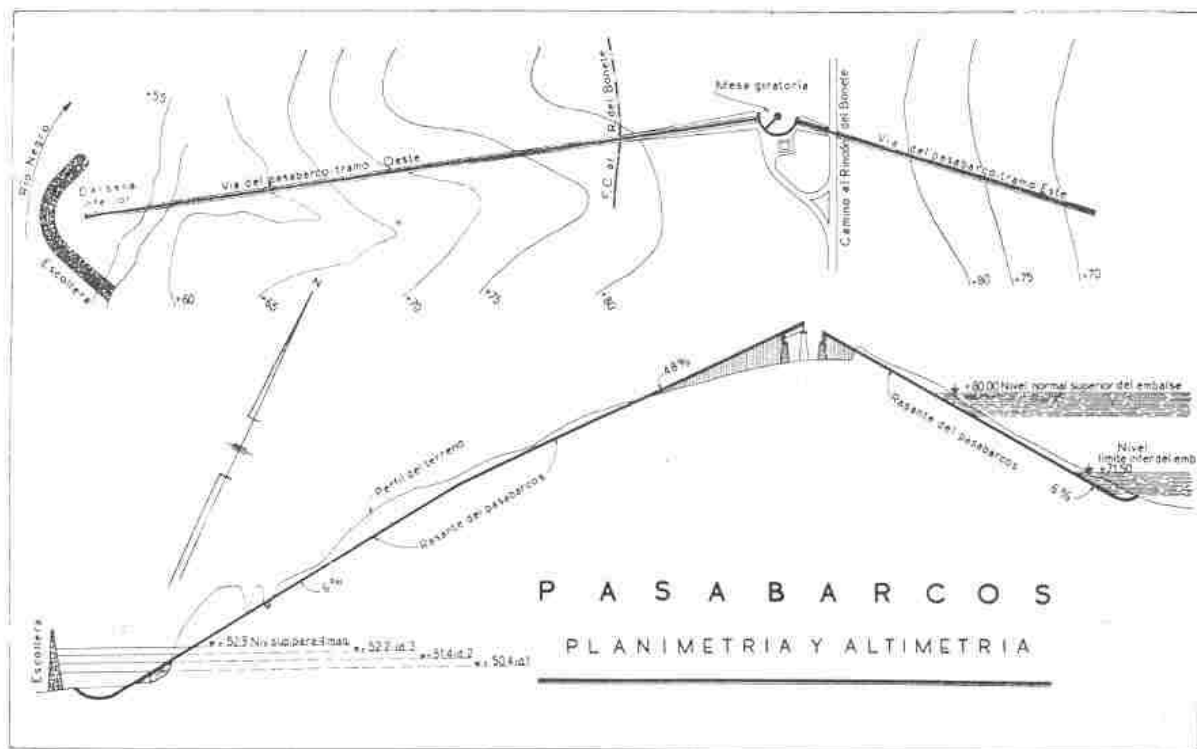


Fig. 10



y 6%. Una escollera de piedra protege la dársena del lado del río. La vía es de rieles de 100 libras por yarda (49.78 kg/m.), trocha 3.00, colocada sobre asientos de hormigón en la parte alcanzada por el agua y sobre durmientes de madera dura en el resto. El cambio de pendiente se hace por medio de una mesa giratoria en la parte más alta y el cruce del ferrocarril y el camino de Rincón del Bonete a Paso de los Toros se hace a nivel.

El pasabarcos fué proyectado para transportar embarcaciones de fondo plano de las siguientes características:

Peso máximo del barco cargado	100.000 kg.
Eslora máxima	25.00 m.
Manga máxima	6.30 »
Calado máximo	1.00 »

El equipo consiste en:

Un tambor-guínche de 1,829 m. de diámetro comandado por un motor eléctrico asíncrono de rotor bobinado, de 100 HP. por intermedio de una caja de reducción a engranajes helicoidales y una reducción final de engranajes rectos piñón-corona colocada directamente sobre el tambor-guínche, este último aloja 800 m. de cable de acero de  $6 \times 19$  hilos de  $1\frac{3}{4}$ " de diámetro, el cual,

pasando por una polea situada en el centro de la mesa giratoria, sostiene el carro pasabarcos y mantiene abiertas, mientras está en tensión, las zapatas de frenos del mismo.

Una mesa giratoria, constituida por dos largueros de perfiles I de 0,927 m. de alma y 21,426 m. de longitud, convenientemente arriostrados, que terminan en sendos cabezales, uno de los cuales se apoya —mediante dos carritos con dos rodillos c/uno— sobre la vía semicircular exterior de la mesa giratoria y el otro sobre un cojinete central de sostén y guía en bronce al estaño.

Un carro pasabarcos, también constituido por perfiles laminados I de 0,927 m. de alma y 20,878 m. de largo convenientemente arriostrados y con piso de madera impregnada; cuya velocidad de desplazamiento en bajada o en subida puede llegar a un máximo de 0,423 m/seg.

La instalación está provista además con freno hidráulico, eléctrico y regenerativo y de los enclavamientos necesarios para impedir la ejecución de maniobras erróneas.

#### Desviación de la vía del Ferrocarril Central del Uruguay

Los niveles que alcanzan las aguas del embalse cubren parte del antiguo trazado de la

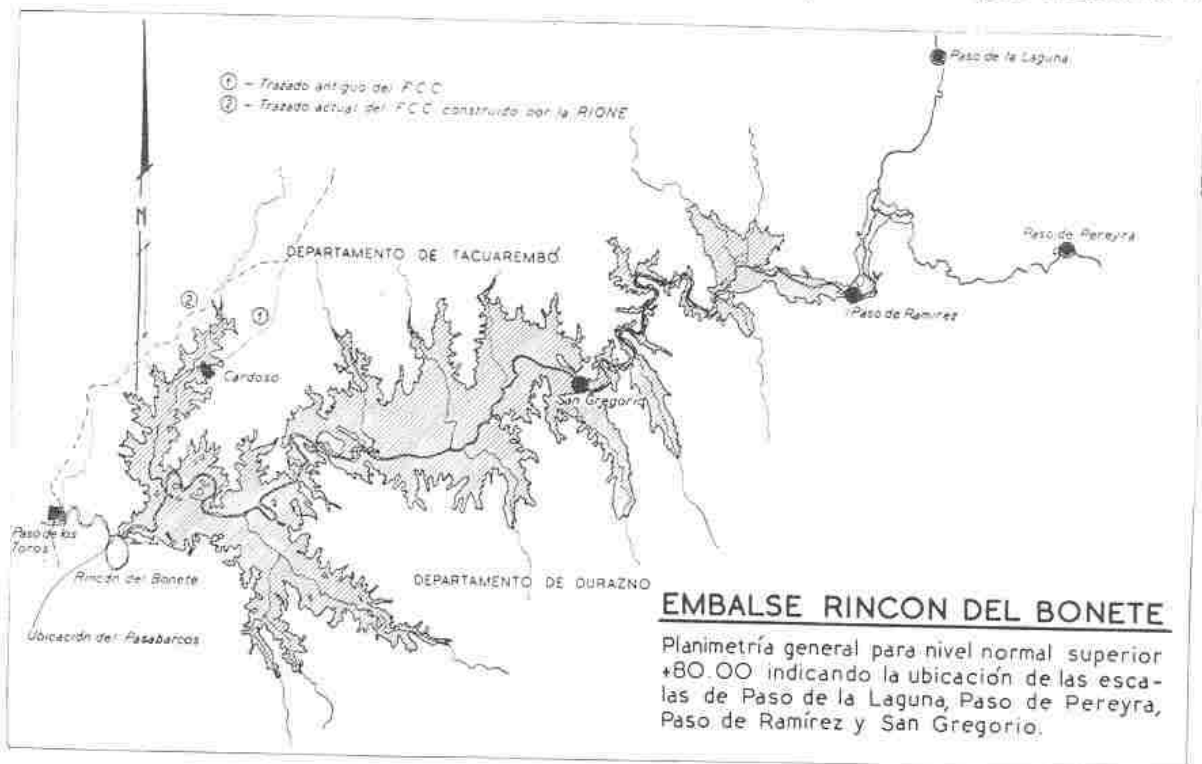


Fig. 11

vía a Rivera, a la altura de la Estación Cardoso. Para salvar esta situación fué necesario desviar la línea entre los kilómetros 298 y 328 manteniéndose el nuevo trazado a niveles superiores a la cota + 87.50. (Fig. 11).

El nuevo trazado de 26 km. de extensión (4 km. más corto que el anterior) tiene las siguientes características:

- Pendiente máxima: 12<sup>o</sup>/100.
- Radio mínimo: 800 m.
- Rieles tipo ASCE 70 de 35 kg./m.
- Durmientes de quebracho.
- Balasto de piedra partida.
- Las obras realizadas incluyen:
- 250.000 m<sup>3</sup> de desmontes.
- 8 puentes de hormigón armado.
- 26 alcantarillas.

2 estaciones con sus correspondientes instalaciones.

Atento a la imposibilidad de obtener tramos metálicos del exterior, todas las obras de arte se proyectaron en hormigón armado.

La obra principal fué el puente sobre el Arroyo Cardoso, puente recto de 144 m. de longitud de 3 secciones en viga continua de 4 tramos de 12 m. de luz cada uno, apoyados en pórticos de hormigón armado.

En la construcción de este puente se emplearon encofrados metálicos, soportándose el del tablero con un sistema de 4 vigas Pratts metálicas de 10.17 de luz que ya habían sido utilizadas en la construcción del dique de Rincón del Bonete, las que se apoyaban directamente sobre las palizadas previamente construidas.

Con el objeto de reducir las cargas sobre estas vigas, se hormigonaban primeramente sólo las vigas principales con cemento Incor. Una vez fraguado el hormigón ellas mismas soportaban el peso de la losa que era hormigonada en una segunda etapa.

En forma similar se ejecutó el hormigonado de los tramos de 15 m. de luz.

Se utilizó agregado seco triturado y mezclado en la planta de trituración de Rincón del Bonete, con lo que se aseguró además de una perfecta dosificación del agregado un suministro regular y económico.

## INSTALACIONES ELECTRO-MECANICAS

### 1. Generalidades

Del punto de vista electro-mecánico y refiriéndonos a la fig. 12, la obra y sus anexos, pueden considerarse integrados por tres partes fácilmente diferenciables: 1) la Planta Hidroeléctrica, 2) el Sistema de Trasmisión y 3) el Anillo de 31.5 kV.

La Planta Hidroeléctrica cuenta con instalaciones interiores al edificio de la Central, e instalaciones a la intemperie. El edificio de la Central se compone de tres partes principales: a) Sala de Máquinas, conteniendo las cuatro unidades generadoras y sus accesorios; b) Sala de Montajes, con los pozos necesarios para el armado de los rotores de la turbina y del generador y a la cual llega un empalme ferroviario que termina en la línea troncal del Ferrocarril Central del Uruguay; y c) Casa de Comando que contiene la Sala de Comando, los sistemas de distribución de

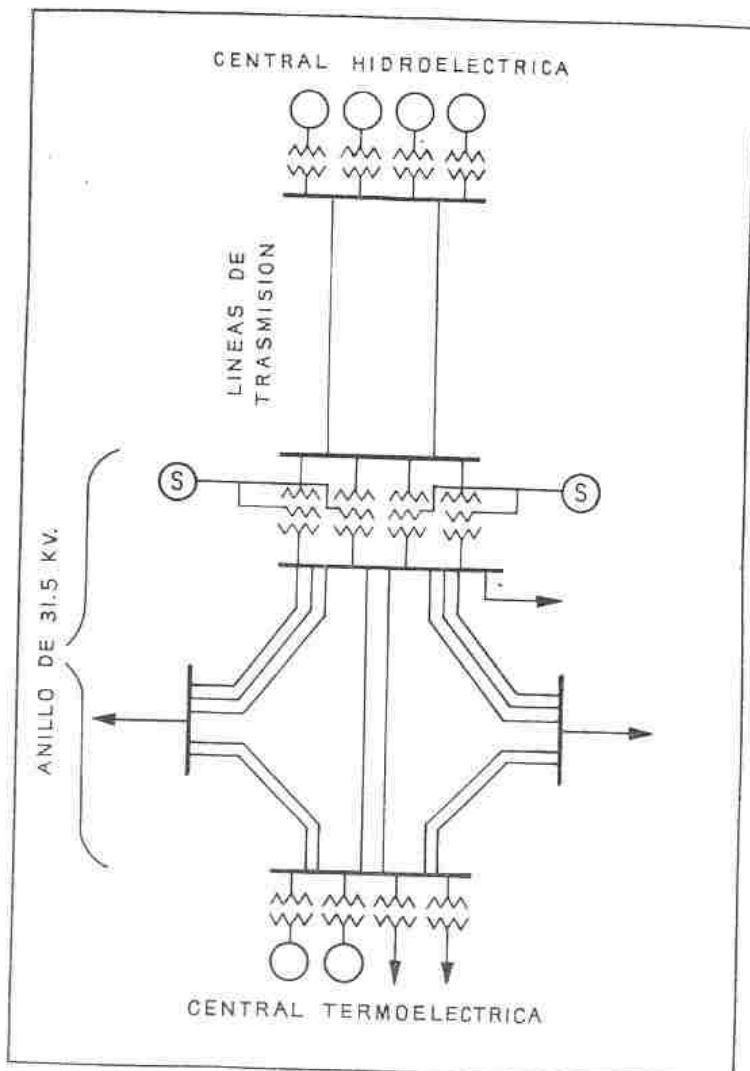


Fig. 12. - Esquema general del sistema eléctrico Rincón del Bonete-Montevideo, tal como fué realizado

13.8 kV, 380 V y 250 V (esta última: corriente continua). A la intemperie se hallan emplazadas las instalaciones de transformación y corte de alta tensión, comprendiendo transformadores elevadores de 13.8 kV/169 kV, interruptores de potencia, cuchillas desconectoras y sistemas de barras; también se hallan instalados a la intemperie los transformadores de servicio.

El sistema de Trasmisión está constituido por dos líneas paralelas de alta tensión (clase 161 kV) de 232 km. de longitud que interconectan las barras de alta tensión de la Planta Hidroeléctrica con las barras de alta tensión de la Sub-Estación Norte.

El Anillo de 31.5 kV constituye la base de la red primaria de distribución de la ciudad de Montevideo y está formado por cuatro sub-estaciones de transformación y/o de distribución. Las interconexiones entre ellas se realizan por medio de cables subterráneos. El resto de la red de 31.5 kV está formado por cables subterráneos que arrancan en forma radial de las mencionadas cuatro sub-estaciones (Fig. 13). Vimos que, la Sub-estación Norte se halla conectada con el Sistema de Trasmisión; las instalaciones de alta tensión de esta sub-estación, son similares a las de la Planta Hidroeléctrica y se hallan también, a la intemperie. El resto de las instalaciones eléctricas de esta sub-estación así como las instalaciones eléctricas de las otras tres sub-estaciones (excepto los transformadores de la Sub-estación Batlle) son interiores a los edificios respectivos. Las dos unidades turboeléctricas de la Central «José Batlle y Ordóñez» (de 31.250 kVA, 6.3 kV y F.P. = 0.8 c/u.) se hallan conectadas a través de sendos bancos de transformadores de la sub-Batlle con las barras de 31.5 kV de dicha sub-estación. Los dos transformadores reguladores alimentan el sistema principal de barras de 6.3 kV de la Central Batlle. (Fig. 16).

## DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES

### II. Maquinaria hidráulica

*Toma.* — La toma de agua se efectúa a través de aberturas individuales para cada máquina, practicadas en el paramento inclinado de la estructura de toma, estando el umbral de las mismas a la cota + 50.70 m. Dichas aberturas de 14 × 14 m. están pro-

tegidas por rejas de planchuelas verticales separadas 150 mm. una de otra.

La sección de toma en las rejas de 14 × 14 m. se reduce, mediante una trompeta aductora, a una sección cuadrada de 7 × 7 m. de una longitud de 4 m. en la cual se ubican las compuertas de rodillos para el cierre regular del tubo de presión y el nicho para la compuerta de emergencia en 4 secciones, para caso de reparación de la primera.

Las compuertas de rodillos tienen comando a distancia, manual y automático, y son accionadas por un servomotor de aceite al ser izadas; el comando automático es accionado por los interruptores de límite. La operación de descenso, se efectúa por gravedad en 60 segundos. La compuerta lleva dos válvulas de segmento de 1.70 × 0.20 m. c/u. para el llenado del tubo de presión antes de proceder a izarla; un relé hidráulico impide que la compuerta pueda ser izada antes que el tubo esté lleno.

Una máquina limpia rejas, corriendo a la cota + 86.90 permite la extracción de troncos y brozas retenidos por las rejas de entrada y además facilita las maniobras de montaje y desmontaje de los elementos de la toma y opera las compuertas de emergencia.

Por no ser las rejas de entrada inspeccionables ni desmontables sino con el auxilio de un buzo, fueron protegidas por metalización por proyección, con zinc, a razón de aproximadamente 1.200 g. por metro cuadrado, aplicándose además, sobre el metalizado, una mano de pintura para estructuras bajo agua.

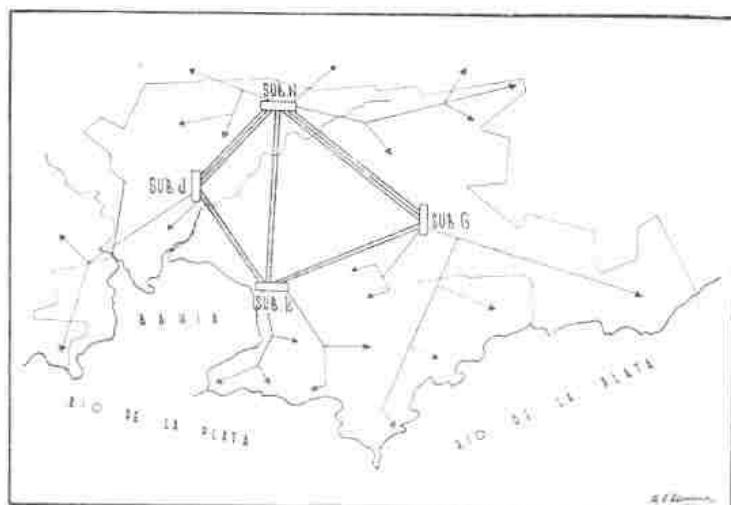


Fig. 13. - Esquema topográfico del anillo de Montevideo

**Tubo de presión y carcasa espiral.** — A partir del marco de la compuerta de rodillos se desarrolla el acordamiento de la sección cuadrada de  $7 \times 7$  m. con la sección circular de 7 m.  $\varnothing$  del tubo de presión.

El tubo de presión, lo mismo que el acordamiento mencionado están contruídos con chapas de acero dulce de 21 mm. de espesor remachados con doble cubrejuntas; los primeros 13 m. de su desarrollo — a partir de la compuerta de rodillos — quedan empotrados en un macizo de hormigón que forma parte de la presa disponiéndose varios anillos de refuerzo en la parte de acordamiento (de 5.70 m. de longitud) y un anillo de empotramiento a 1.50 m. del borde aguas abajo del macizo de hormigón. Al entrar en la Sala de Máquinas el tubo

de presión queda empotrado en otro macizo de hormigón solidario con las fundaciones de las máquinas, disponiéndose allí otro anillo de empotramiento. La parte intermedia, de 15 m. de longitud queda suspendida entre dos juntas de dilatación y articulación que forman parte del tubo.

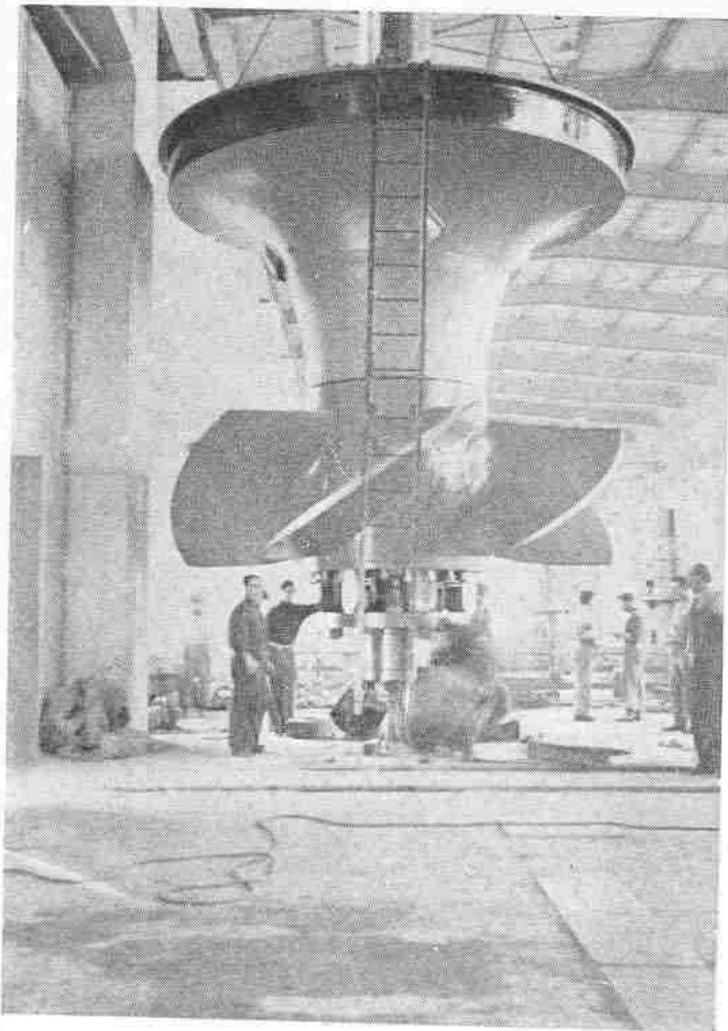
La carcasa espiral, también contruída con chapas remachadas, de 16 a 20 mm. de espesor, se une al tubo de presión y al anillo de traviesas. Este último elemento, en 6 piezas de acero fundido, bulonadas entre sí, transmite a la fundación su propio peso y todas las cargas provenientes de la máquina en servicio normal y también el par de cortocircuito del generador.

Los centros de los anillos de traviesas (ejes de las máquinas) distan entre sí 22.00 m.

Sobre el anillo de traviesas descansa el anillo de soporte del generador, de doble pared de chapa de acero dulce, enteramente soldado, sobre el cual se apoyan el puente de soporte de las partes giratorias (puente principal) y el estator con el puente de soporte de las excitatrices, cojinetes de guía superior, cabezal de aceite Kaplan e instalaciones accesorias (puente superior). El puente principal está contruído por dos largueros solidarios con la caja del cojinete de soporte (estructura soldada) y dos brazos laterales articulados; sobre él descansan las partes giratorias de la máquina mediante un cojinete de soporte del tipo General Electric Co.

**Turbina.** — La turbina hidráulica de patente Smith-Kaplan contruída por la S. Morgan Smith Co., York, Penna, consta de un rodete tipo Kaplan (paso variable) de 6 palas cuyo centro se encuentra a la cota + 50.50 m.

El cubo de la hélice, fundido en acero, en una sola pieza, aloja todos los mecanismos de cambio de paso accionados a través de un vástago interior al eje de la máquina, por un servomotor exterior al rodete, que forma parte integrante del eje mismo y que se alimenta por cañerías concéntricas interiores al eje del generador, desde el cabezal de aceite Kaplan, situado en la parte superior de la máquina; las paletas, fundidas en acero integralmente con su muñón de fijación y giro en el rodete, se hallan protegidas en las partes susceptibles de cavitación por una capa de acero inoxidable 18 Cr. 8 Ni., de 6 mm. de espesor, depositado por soldadura eléc-



Rincón del Bonete: Rotor de una turbina en Sala de Montaje. - Finalización del armado de los mecanismos de giro de las paletas



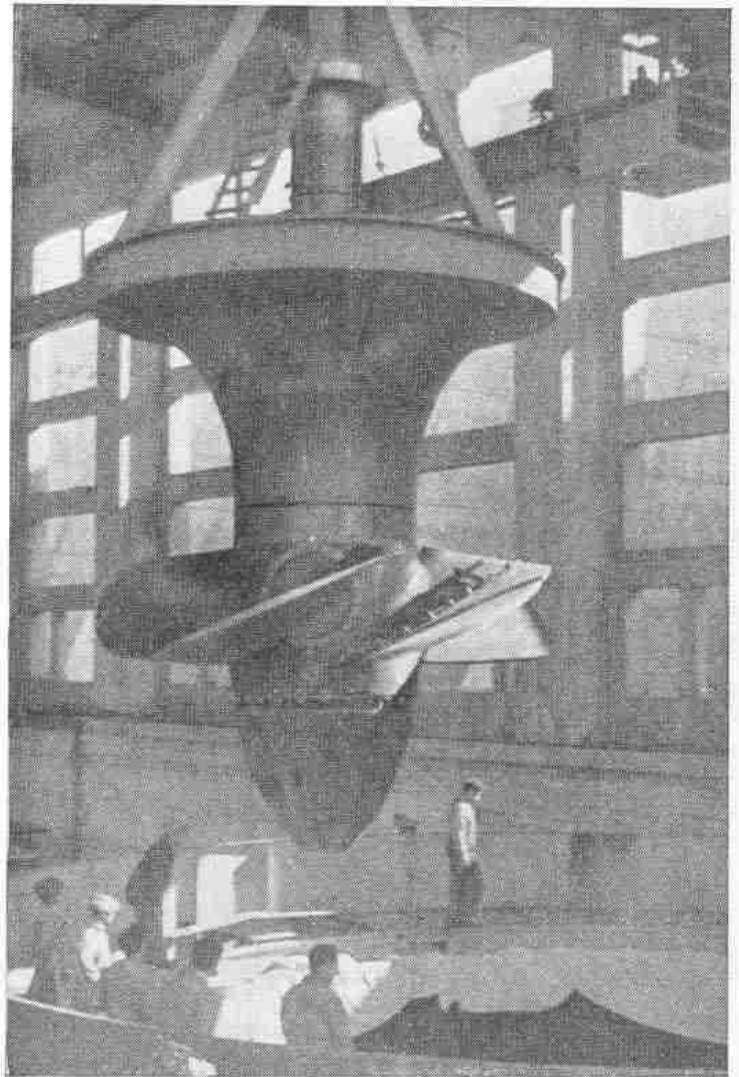
trica. El interior del cubo se mantiene lleno de aceite en el cual se crea una sobrepresión determinada mediante un depósito elevado dispuesto alrededor del eje, a la cota +54.70 m., y rotando con éste.

El distribuidor, del tipo de regulación exterior, consta de 24 compuertas reguladoras de acero fundido con protecciones contra corrosión y desgaste, de acero inoxidable; la superficie de trabajo de las placas superior e inferior del distribuidor están constituidas por chapas recambiables de acero dulce; la regulación de la abertura de compuertas se efectúa mediante dos servomotores de aceite que accionan directamente el anillo del distribuidor al cual están ligadas las compuertas por un bielismo adecuado que incluye un seguro de ruptura.

Las características de contrato, de la turbina, son las siguientes:

Potencia máxima 45.000 HP; Potencia con 21.1 m. caída y 54.4 m. nivel aguas abajo, 40.000 HP; Potencia con 16.7 m. caída y 54.4 m. nivel aguas abajo, 30.000 HP. La máquina cumple ampliamente estas especificaciones y da los 45.000 HP., sin llegar a condiciones de cavitación, con caídas arriba de 22 m. El límite efectivo de potencia (tuerca limitadora de carga) se ha fijado en 52.000 HP., potencia que da con caídas arriba de 26 m., sin llegar a condiciones de cavitación.

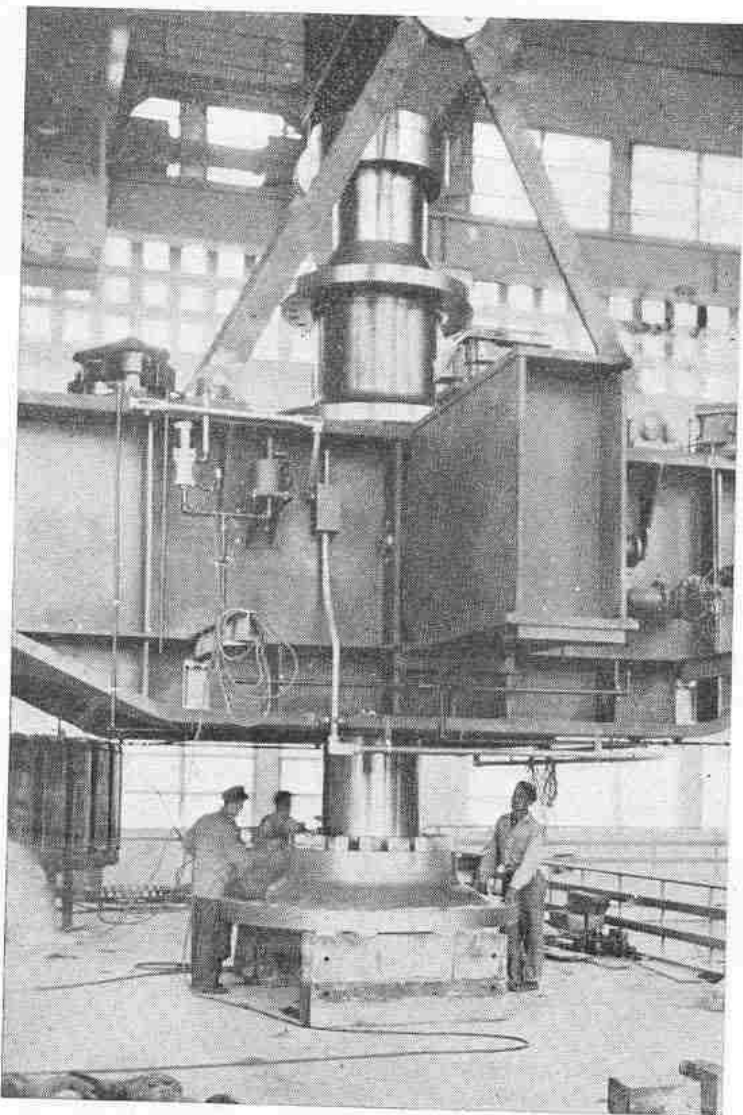
La velocidad máxima de embalamiento para 32.00 m. de caída, con las compuertas del distribuidor totalmente abiertas y las paletas del rodete en la posición más favorable para el embalamiento, alcanza a 365 r.p.m.; y la turbina ha sido dimensionada para soportar esta velocidad. Por otra parte, las velocidades de embalamiento alcanzadas con las aberturas de compuerta correspondientes a las cargas máximas admisibles para la máquina no pasan de las 320 r.p.m. Esta circunstancia ha permitido prever un dispositivo de limitación automática de la abertura de compuertas en forma tal que permitiendo las aberturas correspondientes a las cargas máximas admisibles no permita, en vez, llegar a las aberturas que podrían provocar velocidades de embalamiento superiores a las 330 r.p.m. que es la velocidad impuesta para el generador por razones constructivas y económicas. Tal limitación se obtiene mediante una tuerca de límite comandada eléctrica-



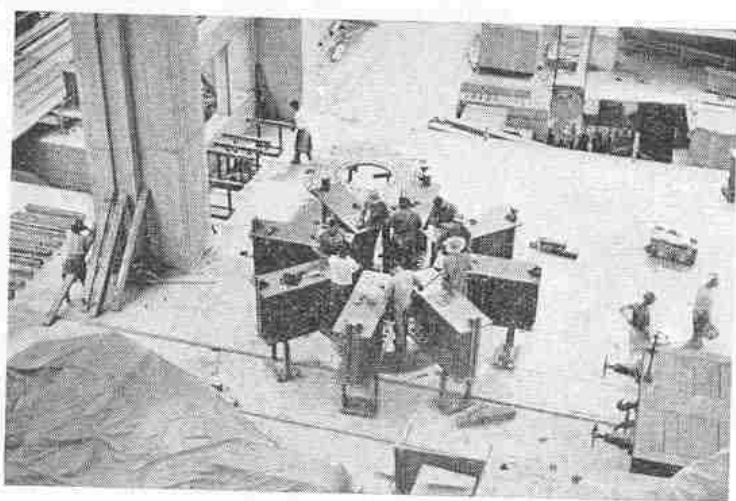
Rincón del Bonete: Rotor de una turbina listo para ser introducido en su emplazamiento definitivo.

mente en función de la caída bruta disponible y que limita la carrera del servomotor.

La parte giratoria de la unidad descansa en un cojinete de soporte patente General Electric Co., cuya parte fija (placa fija) consiste en dos zapatas semicirculares en metal blanco sobre acero, apoyadas sobre resortes y cuya parte rotante (placa giratoria) está constituida por dos zapatas semicirculares de acero, rígidamente ligadas al eje del rotor mediante bujes de empuje y pernos de sujeción. Tanto la placa fija como la placa móvil se hallan ranuradas radialmente lo que establece doce discontinuidades equidistantes en sus respectivas superficies de contacto. La carga total que soporta ese cojinete, se



Rincón del Bonete: Estructura de soporte del Cojinete de empuje y parte del eje de una unidad en la Sala de Montajes



Rincón del Bonete: Iniciación del armado de un rotor de generador en la Sala de Montaje

compone de aproximadamente 400 t. correspondientes al peso de todas las partes giratorias, y de aprox. 480 t. correspondientes al empuje hidráulico máximo. La carga nominal del cojinete, según fábrica, es de 2.000.000 lb. (aprox. 906 t.). El cojinete está contenido en una caja llena de aceite que es enfriado en un enfriador exterior a la máquina, provisto de dos electrobombas de circulación (una de corriente alterna y una de corriente continua). El eje rotante está guiado por 3 cojinetes de guía en metal blanco, todos ellos lubricados con aceite; uno de ellos (cojinete de guía de la turbina) está colocado en la tapa de la turbina inmediatamente arriba del rodete; los otros dos (cojinete de guía inferior y superior del alternador) están colocados a uno y otro lado del rotor del alternador, estando el inferior de ellos inmediatamente arriba del cojinete de soporte, apoyándose —como éste— en el puente principal.

La regulación de la turbina se efectúa por medio de un regulador del tipo de «gabinete de gobierno» («cabinet actuator») de la Woodward Governor Co. instalado al costado del alternador, cuya sensibilidad garantida es de 1/50 de 1%. El regulador está provisto de limitador de abertura de compuerta y ajuste de velocidad (entre  $-15\%$  y  $+5\%$ ) accionables a mano localmente o eléctricamente, desde la Sala de Comando; dispositivo de disparo automático accionado por las protecciones esenciales de la máquina, y de velocidad sin carga accionado por ciertas protecciones; dispositivo para ajustar la caída de velocidad desde 0% hasta 5%; dispositivo de amortiguamiento, y demás auxiliares correspondientes a este tipo de regulador; válvula de aire para el comando a mano o automático de los frenos del generador, etc.. El cabezal centrífugo del regulador es accionado eléctricamente desde un generador de magneto permanente dispuesto en el extremo superior del eje de la máquina y directamente acoplado al mismo. La capacidad de regulación es de 47.000 kg. (338.000 lb. ft.) con presión de trabajo comprendida entre 21 kg./cm<sup>2</sup>. (300 lb./sq<sup>2</sup>.) y 17.5 kg./cm<sup>2</sup>. (250 lb./sq<sup>2</sup>.). El sistema regulador permite el cierre o la apertura total del distribuidor en 5 segundos a máxima caída (32 m.) y mínima presión de trabajo (17.5 kg./cm<sup>2</sup>); y el cierre de los álabes del rodete en 10 segundos y

su apertura en 5 segundos. Los tanques de presión —instalados en el piso de turbinas, conjuntamente con el tanque sumidero del sistema de regulación— tienen una capacidad igual a 20 veces el volumen de los servomotores de la turbina (5 vol. de aceite y 15 de aire a la presión máxima de trabajo). El tanque sumidero tiene una capacidad de 110% del volumen total de aceite en el sistema de regulación. Directamente encima del tanque sumidero van instaladas dos bombas de aceite, de engranajes, para abastecimiento del tanque de presión; estas bombas tienen una capacidad de 1100 l/min. (300 gal/min.) cada una y están provistas de comando automático, regulable, accionado por la presión de aceite en el tanque de presión. Un panel dispuesto frontalmente en el armario del regulador contiene el tablero de señales luminosas de defectos y los aparatos indicadores y registradores que muestran y registran el estado de las partes vitales de la máquina, como ser: temperatura de los distintos cojinetes, del aceite del cojinete de empuje y del aire a la salida de los refrigeradores del generador, presión del sistema de aire comprimido (frenos del alternador), presión del aceite de regulación, carga de la máquina, etc..

El peso total de las partes correspondientes a la turbina es de aproximadamente 300.000 kg. correspondiendo 130.000 kg. a las partes rotantes de la misma; la pieza de montaje más pesada llega a 24.000 kg.

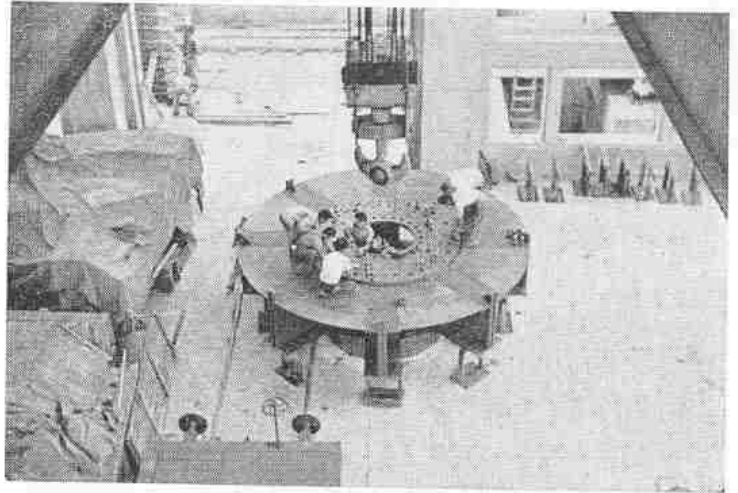
No se ha dispuesto ninguna descarga de fondo, del embalse, de modo que la única descarga al río aguas abajo es la de las turbinas en operación:

2 máquinas a plena carga, con el lago al nivel normal descargan, en total, aproximadamente 260 m<sup>3</sup>/seg., elevando el nivel aguas abajo a + 52.30 m.

4 máquinas a plena carga, con el lago al nivel normal descargan, en total, aproximadamente 260 m<sup>3</sup>/seg., elevando el nivel aguas abajo a + 53.60 m.

4 máquinas con 30.000 kW. cada una y el lago a + 71.50 m. (nivel mínimo) desaguan aproximadamente 650 m<sup>3</sup>/seg. y el nivel aguas abajo llega a + 53.90 m.

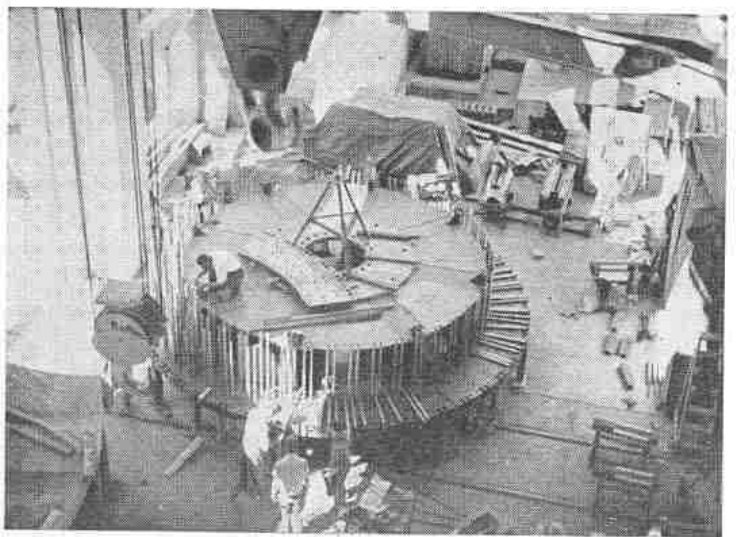
Se han dispuesto las siguientes protecciones para la turbina: sobre velocidad (145% de la velocidad normal), presión insuficiente del aceite de regulación, inundación del co-



Rincón del Bonete: Continuación del armado iniciado según foto anterior

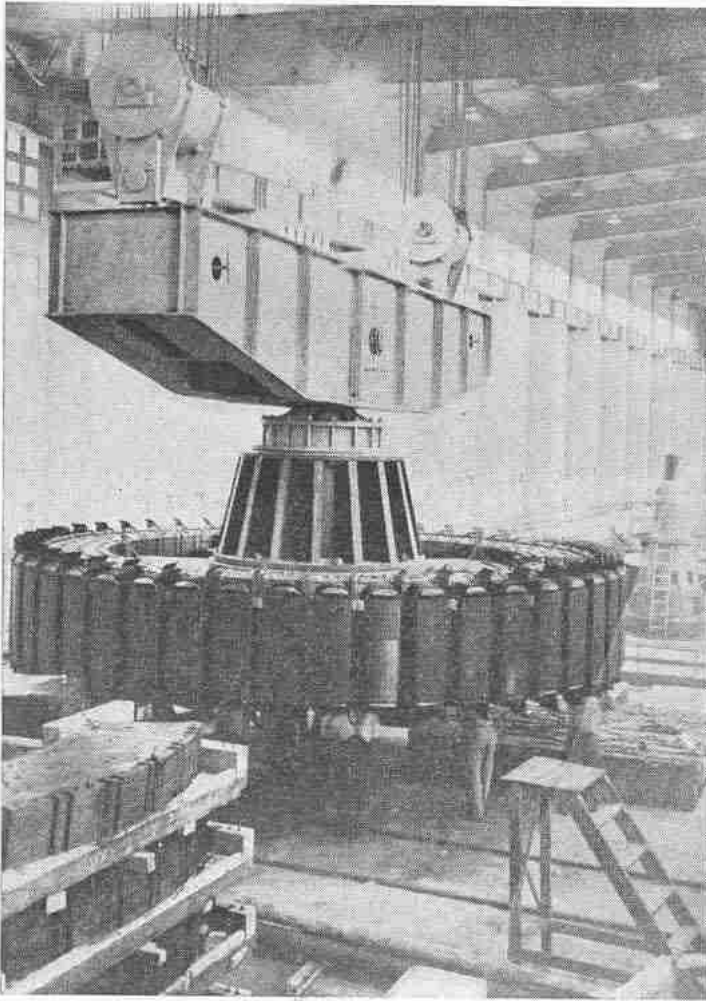
lector de pérdidas del cabezal Kaplan, temperatura excesiva de la empaquetadura de los prensa-estopa del cabezal Kaplan y temperatura excesiva de los cojinetes de soporte y guía de la máquina, todas las cuales causan la parada de la máquina.

*Tubos de aspiración.* — Son del tipo acodado; su sección es circular de 4.72 m. de diámetro en el arranque del codo, debajo del anillo de garganta de la turbina, pasando a rectangular de 15.68 × 2.86 m. a la terminación del codo, a 5.50 m. del eje de la máquina, continuando luego la divergencia hasta llegar a una sección de 18.50 × 6 m. en la desembocadura del tubo aguas



Rincón del Bonete: Comienzo de la colocación de las láminas del rotor





Rincón del Bonete; Rotor terminado listo para ser trasladado por las dos grúas operando en conjunto, hasta su emplazamiento definitivo

abajo, a 22.50 m. del eje de la máquina. La parte del codo propiamente dicha —desde su arranque bajo el anillo de garganta hasta su terminación a 5.50 m. del eje de la máquina— está revestido de chapa de acero de 9 mm. de espesor anclada al hormigón que lo rodea. La rama horizontal del tubo, desde los 5.50 m. hasta los 22.50 m. aguas abajo del eje de la máquina está dividida en dos mitades mediante un tabique vertical longitudinal de 1.75 m. de espesor; el arranque de este tabique frente al codo del tubo está también revestido de chapa de acero.

Para el cierre del tubo de aspiración se dispone de compuertas de tablero, individuales para cada máquina, que se alojan en nichos dispuestos a 14.50 m. aguas abajo del

eje de la máquina, donde la sección libre del tubo es de  $2 \times 8 \times 4.11$  m. La compuerta consiste en  $2 \times 4$  tableros de  $8.30 \times 1.05$  m. cada uno compuesto con dos vigas I longitudinales de 0.60 m. de altura, cabezales de deslizamiento, viguetas de arriostamiento transversal y forro de chapa de acero de 14 mm. de espesor. La impermeabilización entre secciones del tablero se realiza mediante vigas de madera y entre el tablero y las guías de apoyo, mediante juntas de goma. Para la maniobra de las compuertas se dispone de una grúa corrediza sobre una vía a lo largo de los pozos de compuertas, sobre la plataforma a la cota + 64.90.

Cuando la máquina está en operación, el nicho de la compuerta en la parte correspondiente a las paredes y techo del tubo de aspiración, se rellena mediante un marco de acero cuyo perfil interior sigue el perfil interior del tubo de aspiración, a fin de evitar que se produzcan torbellinos.

### III. Instalaciones del vertedero

El vertedero fué proyectado teniendo en cuenta una avenida extraordinaria de determinado desarrollo —deducido de las máximas crecidas registradas (pico máximo de  $5.500 \text{ m}^3/\text{seg.}$ )— y suponiendo, según se dijo antes, un pico máximo de  $9.000 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , que según el método de probabilidad de las crecidas (aplicado en un período de observación de 23 años) podrá presentarse una vez cada 1.000 años.

Normalmente el vertedero está cerrado mediante compuertas de una altura de 5 m., cuyo canto superior queda a la cota + 81.00 m., es decir, 1.00 m. por encima del nivel normal del embalse lleno.

Estas compuertas son del tipo de compuertas corredizas, verticales, y cada una a provista de  $2 \times 2$  rodillos con cojinetes de agujas. Van alojadas en nichos practicados en los pilares entre aberturas, apoyándose en guías de perfiles laminados empotrados en el hormigón. La estructura de la compuerta consiste en dos vigas longitudinales principales de 1.00 m. de altura, dos cabezales de cajón en los cuales se alojan los rodillos, viguetas transversales y arriostamientos, con un revestimiento de chapa de acero de 12.5 mm. de espesor (lado aguas arriba). Las juntas de cierre están constituidas por tirantes



de madera dura que ajustan sobre la superficie de las guías perfiladas. Las superficies expuestas de las guías fueron metalizadas por proyección, con zinc; la estructura metálica de la compuerta fué pintada con tres manos de minio de plomo en un vehículo de base fenólica.

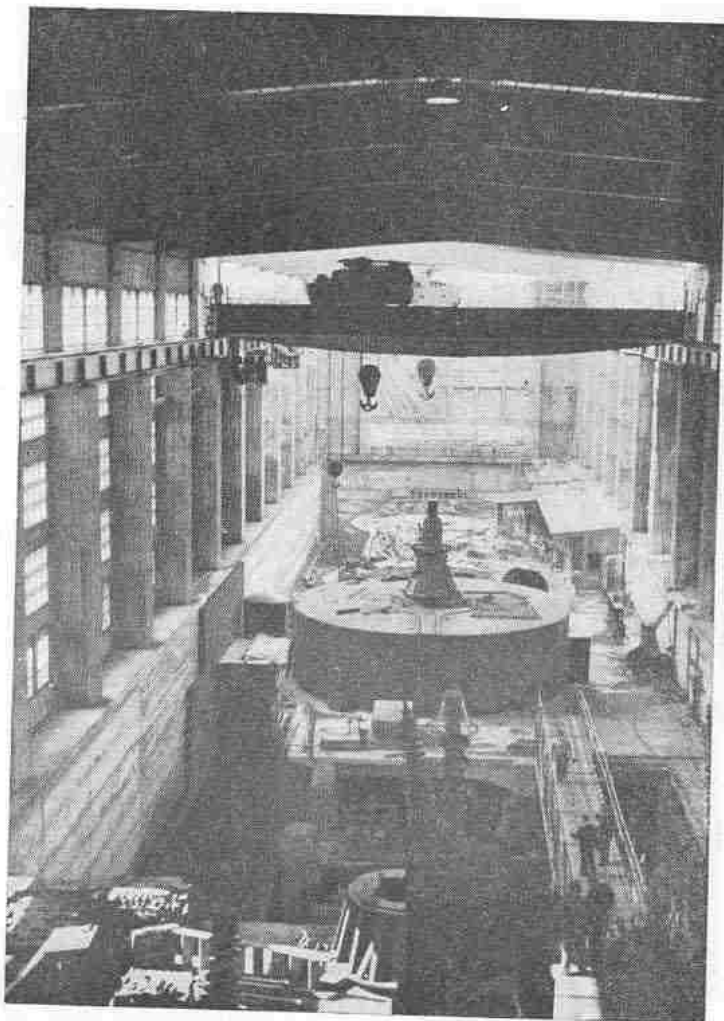
Cada compuerta es accionada individualmente, por un electromotor de 3 HP —dispuesto en el centro del vano— que mediante una caja de reducción de doble sin fin y corona acciona un eje longitudinal que a su vez acciona reducciones de engranajes rectos, en serie, dispuestos en uno y otro extremo, que finalmente mueven los tambores en que se arrollan las cintas de cable de acero que sostienen la compuerta; la velocidad de izado es de 25 a 30 cm. por minuto; el peso propio de la compuerta —de aproximadamente 20.000 kg.—, es ampliamente suficiente para provocar el descenso.

Estas compuertas fueron suministradas por Dravo Corp. de Pittsburgh Pa. U.S.A.

#### IV. Instalaciones auxiliares

##### a) Grúas de la Sala de Máquinas.

En la Sala de Máquinas se dispone de dos grúas puente, viajeras, cada una de ellas equipada con un carro corredizo que lleva un gancho principal de una capacidad de 118.000 kg. y un gancho auxiliar para 22.600 kg. El puente es de estructura enteramente soldada salvo la unión central de las vigas principales que fué remachada en obra. La vía de traslación de las grúas es soportada por largueros perfilados que se apoyan en pilares de hormigón armado de la superestructura de la sala. La línea de alimentación de energía eléctrica es del tipo de riel alimentador trifásico, blindado, existiendo una línea independiente para cada grúa. Para maniobrar el rotor del generador —que es la pieza más pesada y pesa 206.000 kg.— se utiliza una viga especial que se suspende de los ganchos principales de las dos grúas y lleva, a su vez, en el centro, la pieza especial de levantamiento de la que se suspende el rotor; el conjunto de estos dispositivos adicionales de levantamiento pesa 20.000 kg. La grúa fué dimensionada en base de un coeficiente de seguridad 5 respecto de la resistencia de ruptura del material y teniendo



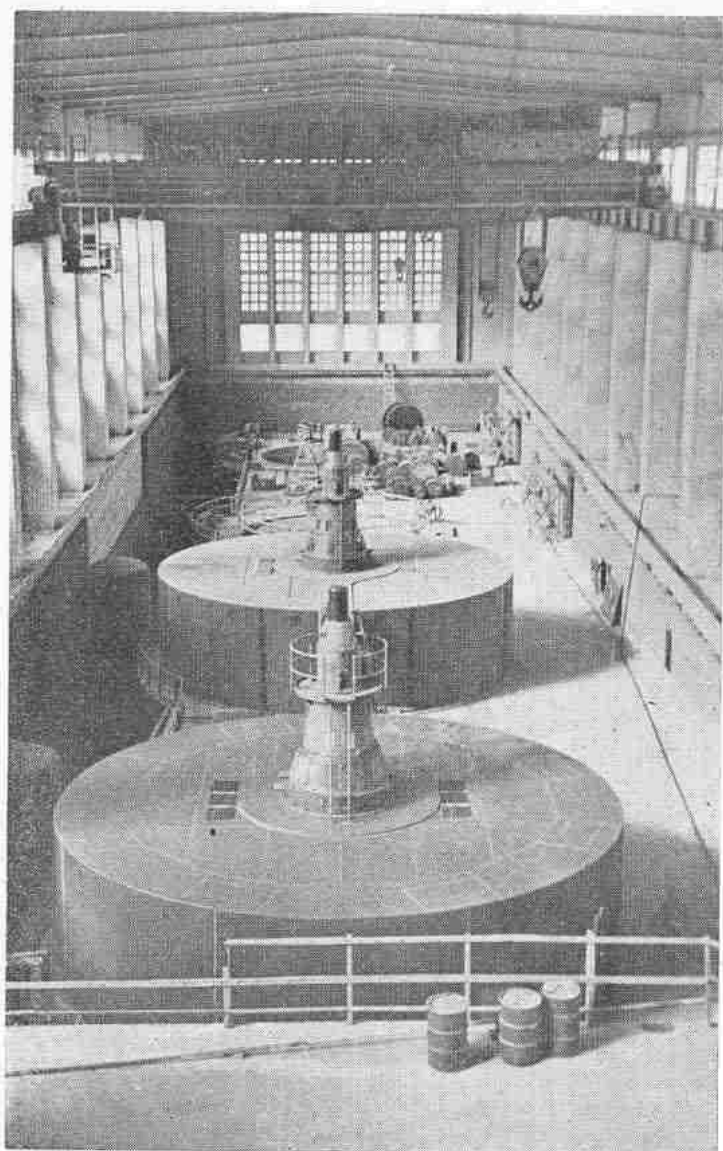
Rincón del Bonete: Sala de Máquinas poco antes de entrar en servicio la primera unidad generadora. - En primer plano los transformadores, aun en Sala de Montaje. - 26 de diciembre de 1945

do en cuenta todas las cargas incidentes, incluso la influencia de las cargas dinámicas provenientes de aceleración, impactos, frenado, etc..

Estas grúas fueron suministradas por Harnischfeger Corp. de Milwaukee, Wisconsin, U. S. A.

##### b) Bombas de achique.

Para el vaciado de las turbinas y —eventualmente— el desagüe de las filtraciones en la Usina y en el recinto entre ésta y el dique se dispone de dos bombas axiales de pozos profundos, de una capacidad de 18.000 l/min. c/una a 28.00 m. de elevación estática, instaladas en un pozo de bombas ubi-



Rincón del Bonete: Sala de Máquinas al entrar la segunda unidad en servicio. - 22 de setiembre de 1946

cado inmediatamente delante de la Sala de Máquinas, en la margen derecha del canal de salida, en el cual desemboca el canal colector de pérdidas que a su vez tiene dos ramificaciones: una bajo el lado aguas abajo de la Usina, y a la cota  $+ 37.00$  m., y otra entre la Usina y la presa, a la cota  $+ 44.90$  m. Las bombas —cuyos impeledores están a la cota  $+ 35.80$  m. son accionadas por electro-motores trifásicos, instalados en una plataforma a la cota  $+ 61.40$  m., que están gobernados por interruptores de flotador; la transmisión es del tipo standard de eje pro-

tegido, en el interior del tubo de impulsión, con lubricación por agua.

La instalación de desagüe se completará en breve con una bomba del mismo tipo, pero de una capacidad de solamente 945 l./min. suficiente para el desagüe de las filtraciones regulares en la Usina y recinto entre ésta y la presa, quedando las bombas grandes únicamente para el vaciado de las turbinas.

#### c) *Medida y registro de niveles y caudales.*

En la planta se han dispuesto dos pozos para la medición de los niveles aguas arriba y aguas abajo de la presa; el primero está situado en la estructura de la toma y el segundo inmediatamente delante de la Usina, en la margen derecha. Un flotador acciona — por intermedio de una cinta de acero inoxidable — el volante de un potenciómetro instalado en la parte superior del pozo, potenciómetro que forma parte integrante del circuito de medición de un aparato registrador «Micromax», de Leeds & Northrup, ubicado en el tablero de registradores de la Sala de Comando.

Existe además, a unos 1.500 m. aguas abajo de la Usina, una torre de medición de niveles con una instalación local de registro.

Para la medición de los caudales desagüados por las máquinas se dispuso en cada máquina un sistema de piezómetros Winter-Kennedy ligado a un medidor de flujo «Centrimax» de Leeds & Northrup, instalado en el piso de turbina, que a su vez acciona en el sistema de medida de un aparato de integración y registro «Micromax» de la misma fábrica, ubicado en el tablero de registradores de la Sala de Comando.

#### d) *Varios.*

La planta dispone además de: instalación contra incendio con bombas de alta presión especialmente destinadas a ese servicio y cañerías que cubren las distintas dependencias de la planta, con tomas convenientemente ubicadas; instalación para limpieza de aceite aislante (instalación portátil) y de aceite de máquinas (instalación fija) ambas por centrifugado y filtrado en filtro-prensas, con calentamiento; planta de abastecimiento de agua potable, de una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/h., con tratamiento por decantación, filtros rápidos y clorinación por hipoclorito de cal-

cio; usina diesel de emergencia con una potencia instalada de  $2 \times 540$  kVA. con F.P. = 0.6 a 380/220 Volt.

## V. Sistema eléctrico

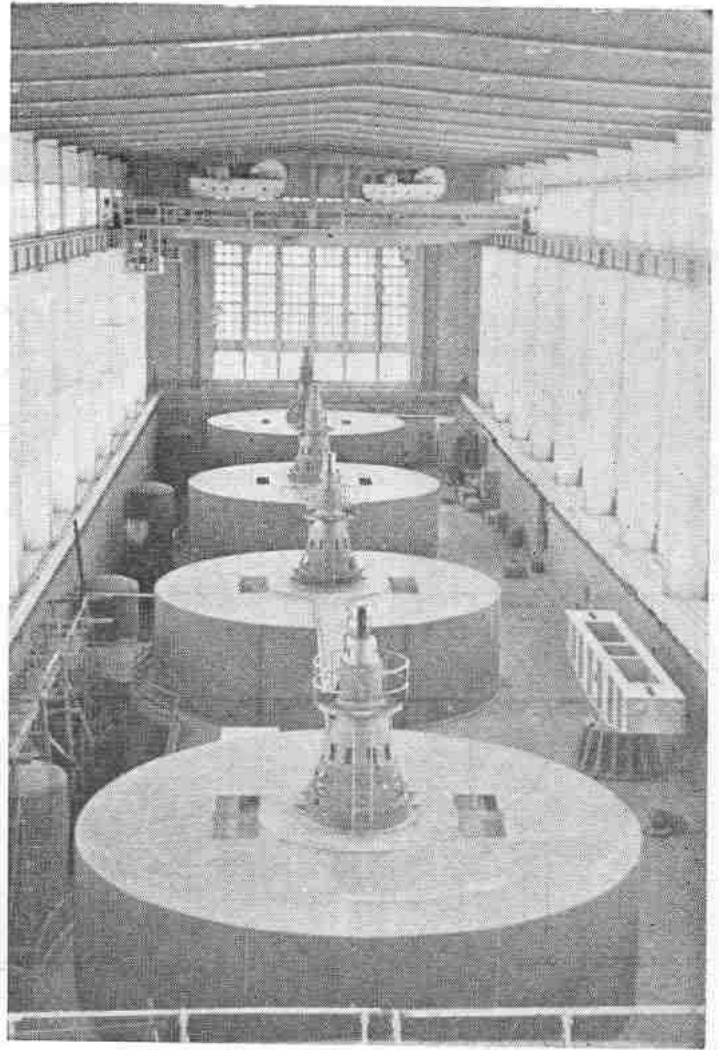
### a) Generadores de Rincón del Bonete.

Los generadores de la Planta Hidroeléctrica de Rincón del Bonete, son de eje vertical, construidos por la General Electric Co., de las siguientes características nominales (standards americanos): 32.000 kVA con F.P. = 0.95; 13.8 kV; 1.340 amp.; 50 ciclos; 125 r.p.m. Operando en las condiciones nominales en forma continua, la elevación de la temperatura sobre la temperatura ambiente no es mayor de 60°C, en ninguna parte del generador, cuando la temperatura del aire que entra al mismo (aire recirculado de enfriamiento) no excede de 40°C. El generador puede dar 115% de la potencia nominal, esto es, 36.800 kVA., en servicio continuo con F.P., tensión y frecuencia nominales sin que la elevación de la temperatura exceda 80°C. sobre 40°C del aire de enfriamiento. La medida de la temperatura se efectúa mediante detectores de tipo resistencia emplazados dentro del estator y por medida de resistencia del rotor. Los primeros están conectados a registradores Micromax de puente de Wheatstone y el segundo a registrador Micromax de puente Kelvin. Todo el material aislante tanto del rotor como del estator pertenece a la clase «B» (standards de A.S.A.).

El rotor es de polos salientes (48 polos) de un diámetro exterior de 7,465 m. siendo el entrehierro de 19 mm. En cada pieza polar, existe una parte del arrollamiento amortiguador, que es del tipo discontinuo. El rotor está calculado para soportar una velocidad máxima de embalamiento de 330 r.p.m. Su eje se halla acoplado directamente al de la turbina.

Cada generador tiene su propio sistema de excitación, constituido por una excitatriz piloto (dínamo Compound de larga derivación) y una excitatriz principal de excitación independiente (ver fig. 14) cuyos rotores están calados sobre prolongaciones del eje de la máquina.

El reóstato de regulación, intercalado en el circuito de excitación de la excitatriz principal, es del tipo de puente de Wheatstone. Un regulador automático de tensión tipo



Rincón del Bonete: Vista de Sala de Máquinas de la Planta Hidroeléctrica (Próxima a su terminación)

G. F. A. 4 de General Electric Co., opera a distancia el electromotor que comanda los contactos de regulación de las resistencias del puente.

El regulador automático es capaz de provocar respuesta ultra rápida, a ascensos o descensos bruscos de tensión, por intermedio de dos comandos adicionales, que le permiten introducir o suprimir bruscamente resistencias de cierta entidad en las ramas variables del puente.

Otras características de interés son las siguientes:

Rendimiento con 32.000 kVA y F.P. = 1.0 (no menor de) 97%.

Relación de cortocircuito (no menor de) 1.2

Constante de inercia  $H = 4.055 \text{ kW seg/kVA nom.}$

$(WR^2 = 36 \times 106 \text{ lb. pie}^2).$

Reactancia subtransitoria  $X''_d = 21\%$ .

Reactancia transitoria directa  $X'_d = 29\%$ .

Reactancia sinerónica  $X_d = 80\%$ .

Reactancia inversa  $X_2 = 25\%$ .

Relación nominal de respuesta de la excitatriz 0.5

En lo que respecta a la conexión del neutro, como se ve en la fig. 14, las tres fases estáticas están conectadas en estrella y el neutro puede ser conectado a través de una cuchilla al borne primario de un transformador monofásico de relación 13.8 kV/480

V., cuyo borne de salida está unido a tierra y cuyo secundario está cerrado sobre una resistencia de 1.52 Ohms.

### b) Transformadores principales.

Los transformadores principales han sido construidos por la Westinghouse Electric Co. y tienen las siguientes características comunes:

Todos ellos han sido diseñados para trabajar a la intemperie. Los tanques son totalmente herméticos (sealed-air), sin ningún dispositivo de respiración o expansión, pueden resistir una diferencia de presión de  $1 \text{ kg/cm}^2$  entre exterior e interior en cualquier sentido. Como elemento de seguridad, están dotados de un diafragma de vidrio que se rompe un poco antes de que esa diferencia llegue a  $1 \text{ kg./cm}^2$ , estableciendo comunicación entre el interior del tanque y la atmósfera. En los transformadores reguladores (ver más adelante), este diafragma se halla reemplazado por una válvula de seguridad.

La disposición de los bobinados y núcleos corresponde al tipo acorazado (shell type). Bobinado y núcleo se hallan sumergidos en aceite cuya circulación es forzada por medio de dos electrobombas que lo impulsan a través de sendos enfriadores adosados exteriormente a los tanques. La aislación usada en los bobinados es clase A (standards de la A. S. A.).

Todos los transformadores, se hallan provistos de relés térmicos especiales (relés TRC de Westinghouse) que permiten cargar el transformador de acuerdo con la temperatura del cobre de los bobinados (operation by copper temperature; ver «Loading Transformers by Copper Temperature» H. V. Putman, W. M. Dann — A.I.E.E. Transaction Oct. 1939).

Además todos estos transformadores, están provistos de una doble indicación de temperatura: a) por termómetro de bulbo sumergido en la parte superior del aceite; b) por detector de temperatura del tipo de resistencia, rodeado de un elemento calefactor recorrido por unã corriente proporcional a la corriente de carga del transformador y sumergido en la parte superior del aceite. Este detector da la temperatura llamada del «punto más caliente» (Hottest-spot).

Niveles de aislación: 15,161, 161, 34.5 y 15

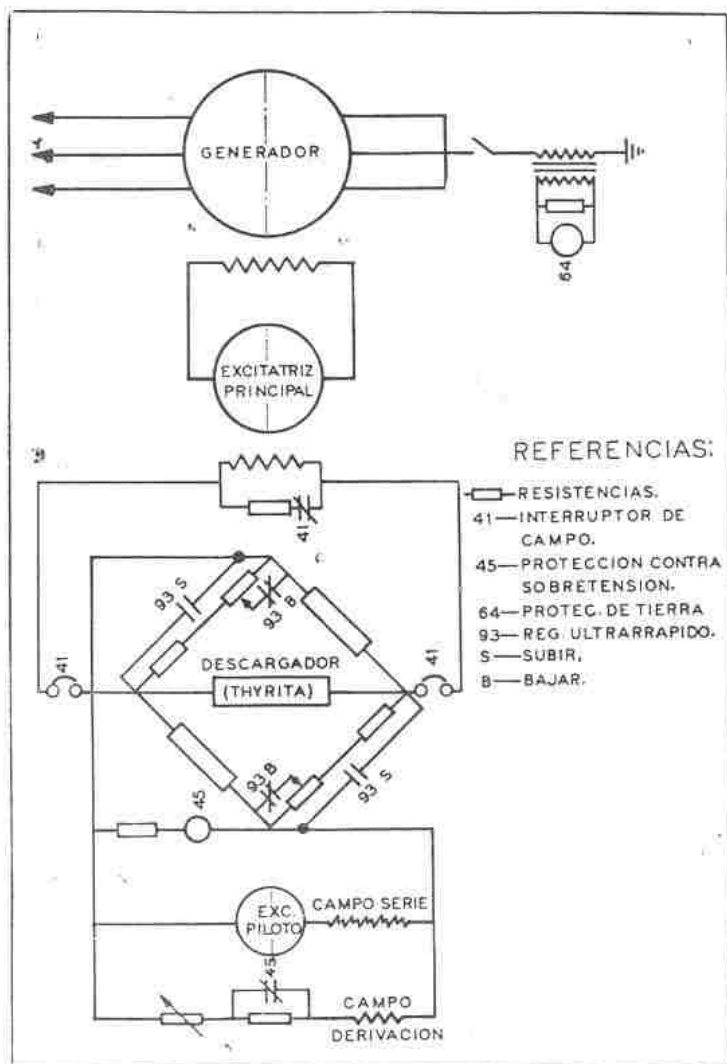


Fig. 14



kV respectivamente para los arrollamientos 13,8, 165, 150, 31,5 y 6,3 kV.

*Transformadores de Rincón (Planta hidroeléctrica).* — Son refrigerados por agua que por diferencia de nivel recorre tubos en U dispuestos en el interior de los enfriadores.

Las unidades están formadas por bancos de tres transformadores monofásicos cuyas bobinas de baja tensión se encuentran conectadas en triángulo y las de alta tensión en estrella con el neutro ligado rigidamente a tierra.

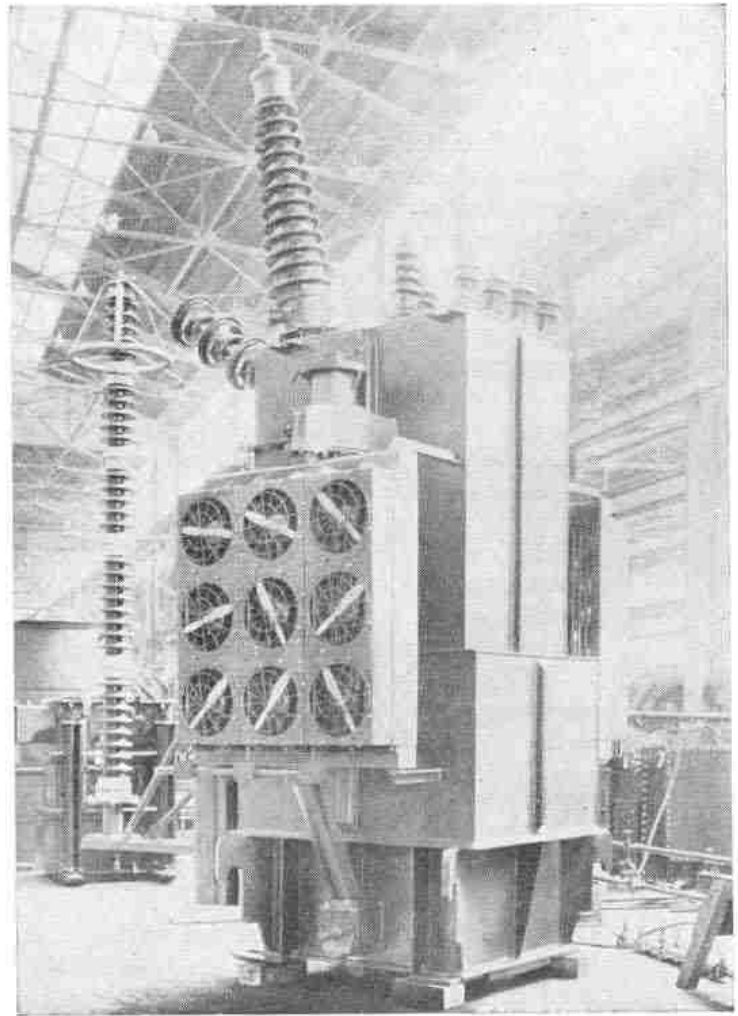
Pueden llevar 33.000 kVA permanentemente, sin que su elevación de temperatura exceda 55°C (medidos por resistencia) sobre una temperatura de 25°C del agua que entra al enfriador (de acuerdo con las reglas C57 de la A.S.A.).

La relación de transformación del banco es de 13,8 kV/165 kV ( $\pm 2,5\%$  y  $\pm 5\%$ ), referida a las tensiones entre fases. La reactancia de paso es de 12% en 33.000 kVA. El rendimiento mínimo garantizado de estas unidades con F. P. = 1,0 y con 60% de la carga nominal es de 99,21%.

*Transformadores de la Sub-estación Norte.* — Son refrigerados por aire y están constituidos por bancos de tres transformadores monofásicos de tres arrollamientos con enfriadores a ambos lados, están expuestos al aire impulsado por un conjunto de ventiladores. Los bobinados de alta tensión (primarios) están conectados en estrella con el neutro ligado rigidamente a tierra. Las bobinas de media tensión (secundario) están conectadas en estrella con el neutro ligado por intermedio de una cuchilla, a una barra general que está puesta a tierra a través de una resistencia de 18 Ohms.

Las bobinas de baja tensión (terciario) están conectadas en triángulo; además, estos bobinados están provistos de tomas intermedias para obtener 20% y 25% del valor de la tensión total, a los efectos de suministrar tensión reducida para el arranque de los compensadores sincrónicos instalados en la misma subestación.

La carga permanente que puede soportar este banco de transformadores sin que su elevación de temperatura exceda 55°C (Medida por resistencia) sobre una temperatura de 40°C del aire impulsado (reglas C57 de la A.S.A.) son de: 29.000 kVA en el lado de alta tensión; 31.800 kVA en media ten-



Transformador monofásico constituyente de los bancos de transformación trifásicos de la Sub Estación Norte. Obsérvese el emplazamiento del pararrayos, adosado al tanque

sión y 10.500 kVA en baja tensión. La relación de transformación del banco es de 150 kV ( $\pm 2,5\%$  y  $\pm 5\%$ )/31,5 kV/6,3 kV., referida a las tensiones entre fases.

Las reactancias de paso son:

Primario a secundario 11,50% en 29.000 kVA  
» » terciario . 13% en 10.500 kVA  
Secundario a terciario 9,50% en 10.500 kVA

El rendimiento mínimo garantizado de estas unidades, con F. P. = 1,0 y con 60% de la carga nominal es de 99,10%.

*Transformadores de la Sub-estación Batlle.* — En la Sub-estación Batlle existen dos tipos de transformadores principales que examinaremos separadamente. Además está pre-

visto instalar en el futuro otros de mayor potencia que corresponderán a las futuras unidades de potencia proyectadas para la ampliación de la Central Termo-eléctrica, «Balle y Ordóñez».

a) Transformadores de los Turbo-alternadores: Cada unidad está constituida por un banco de tres transformadores monofásicos enfriados por aire, como los de la Sub-estación Norte. Los bobinados de alta tensión están conectados en estrella con el neutro ligado por intermedio de una cuchilla, a una barra general que está puesta a tierra a través de una resistencia de 18 Ohms. Los bobinados de baja tensión están conectados en triángulo. La carga permanente que puede soportar este banco de transformadores sin que su elevación de temperatura exceda 55°C (medida por resistencia) sobre una temperatura de 40°C del aire impulsado (reglas C57 de la A.S.A.) es de 33.000 kVA. La relación de transformación del banco es de 31.5 kV  $\pm$  2.5 y  $\pm$  5%/6.3 kV, referida a las tensiones entre fases. La reactancia de paso es de 9% en 33.000 kVA. El rendimiento mínimo garantizado de estas unidades con F. P. = 1.0 y con 60% de su carga nominal es de 99.28%.

b) Transformadores reguladores: Cada unidad está constituida por un transformador trifásico cuya característica saliente, es que permite variar su relación de transformación bajo carga valiéndose de tomas en los bobinados de baja tensión. El margen de regulación bajo carga, es de  $\pm$  10% en el voltaje de baja con un total de 16 escalones. Su accionamiento será normalmente controlado en forma automática por un equipo adosado exteriormente al tanque del transformador.

Los enfriadores son del mismo tipo que los anteriormente descritos. Los bobinados de alta tensión están conectados en estrella y los de baja tensión están conectados en triángulo.

La carga permanente que pueden soportar estos transformadores en las mismas condiciones que los anteriormente descritos, es de 20.000 kVA cada uno.

La relación de transformación es de 31.5 kV ( $\pm$  2% y  $\pm$  2.5%)/6.3 kV ( $\pm$  10%). La capacidad de carga se reduce al pasar el cambiador al entorno (0), (-10%).

La reactancia de paso es de 9% en 20.000 kVA para la posición (0). El rendimiento

mínimo garantizado de estas unidades con F. P. = 1.0, con 60% de carga nominal y a 75°C es de 99.10%.

Una válvula de seguridad, especialmente diseñada al efecto, establece comunicación entre el interior del tanque y la atmósfera cuando la presión interna es próxima a 1 kg/cm<sup>2</sup>.

#### c) Interruptores 161 kV.

Los lados de alta tensión de las Sub-estaciones de transmisión Rincón del Bonete y Norte comprenden 6 interruptores trifásicos 161 kV cada uno (2 para las líneas y 4 para los transformadores). Estos interruptores son de los «Multiflow Deion-grid» de la Westinghouse, tipo GM-3.

Cada unidad está constituida por un banco de 3 interruptores monofásicos ligados mecánicamente (las operaciones de apertura y cierre son simultáneas en las 3 fases). Han sido diseñados para instalación a la intemperie. Son los únicos interruptores en baño de aceite con que cuenta el sistema. El accionamiento del cierre es electro-neumático lo que permite un cierre muy rápido, lo cual resulta una ventaja muy deseable en casos como el nuestro en que se ha previsto aplicar dispositivos de *recierre* automático rápido, en caso que la experiencia en el funcionamiento así lo aconseje. El comando de apertura es eléctrico. Cada banco está provisto de su compresor y pequeño tanque de aire comprimido. Las características eléctricas nominales de estos interruptores son: voltaje 161 kV; corriente 800 amps. poder de corte 2.500 MVA.; corriente de interrupción a voltaje nominal 9.000 RMS amps.; máxima corriente de ruptura 10.500 RMS amps.; y tiempo requerido para interrumpir el circuito, medido desde el instante en que es excitada la bobina de disparo hasta la extinción del arco (para potencias aparentes entre 25% y 100% de la nominal): 5 ciclos, en base a frecuencia de 60 períodos por segundo.

#### d) Instalaciones de 161 kV.

Tanto en la Central Hidroeléctrica como en la Sub-estación Norte, es decir en ambos extremos de las líneas de transmisión, existen sistemas similares de instalaciones a la intemperie, que comprenden los transformadores e interruptores de 161 kV. y las cuchillas

y barras que permiten su interconexión. El sistema adoptado, como puede verse en las figuras 15 y 16, es de doble barra a las cuales se llega pasando por sendas cuchillas desconectadoras, accionables por electromotor comandado desde la Sala de Comando.

Las barras son de tipo flexible y se hallan suspendidas de las estructuras. El conductor empleado es el mismo cable usado en las líneas de transmisión. La sujeción a la estructura, se realiza mediante cadenas de 12 elementos del mismo tipo que los empleados en las líneas de transmisión (10" x 5 3/4").

Para la protección de estas instalaciones contra rayos directos se han dispuesto cables y puntas de guardia que cubren convenientemente la sub-estación. Los transformadores están protegidos contra sobretensiones por descargadores individuales del tipo «SV autoválve» de Westinghouse.

Salvo las cuchillas de línea y las seccionadoras de barras que tienen un solo brazo por fase y se abren en plano vertical, todas las otras, tienen dos brazos y se abren por rotación antagónica de éstos en un plano horizontal.

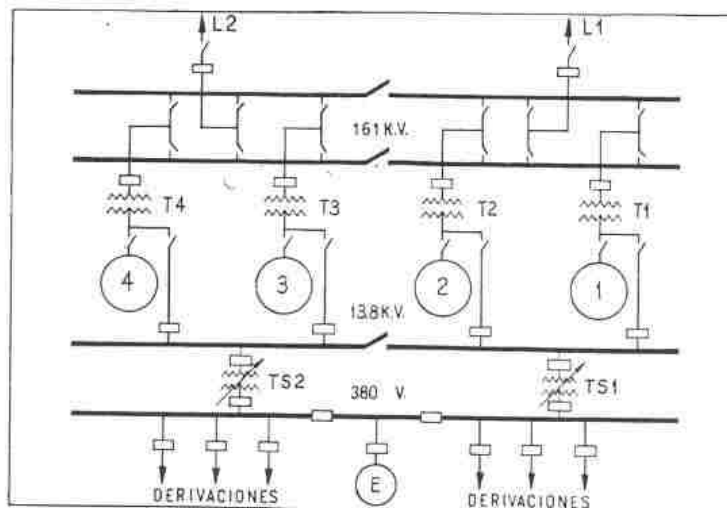


Fig. 15. - Esquema eléctrico de Rincón del Bonete, tal como fué realizado

Las cuchillas seccionadoras de barras, son las únicas que carecen de accionamiento a distancia.

c) *Celdas e interruptores de 13.8 kV. (Rincón del Bonete).*

Los interruptores y las celdas de 13.8 kV., así como sus equipos complementarios fueron suministrados por la Westinghouse Electric Co.

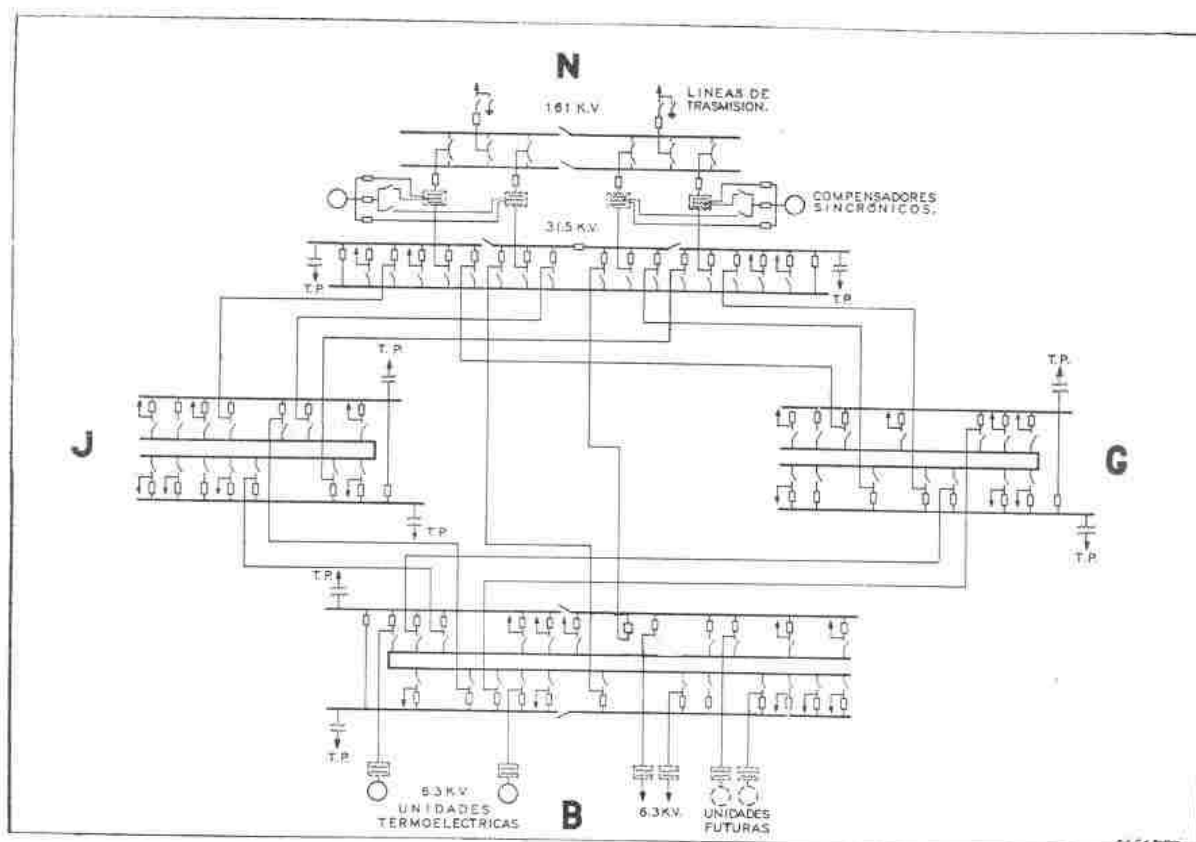


Fig. 16. - Esquema eléctrico del anillo de Montevideo, tal como fué realizado

Los terminales de las tres fases del alternador, así como su neutro, se hallan conectados a respectivas barras rígidas recubiertas individualmente con «micarta». Estas barras se encuentran encerradas en celdas metálicas (metal clad switchgear) en donde se hallan instaladas las cuchillas desconectadoras, transformadores de corriente, de potencial y de puesta a tierra con resistencia de carga, equipos de protección (descargadores y capacidades en paralelo), cajas terminales de cables y reóstato del regulador de voltaje.

Para la alimentación de los servicios internos de la planta, así como de las futuras líneas rurales, existe una sala en donde se hallan instaladas las celdas metálicas que contienen el sistema de barras 13.8 kV., y los interruptores correspondientes a las llegadas desde los generadores (una para cada máquina) y a las salidas para los transformadores de servicio y del sistema rural.

Los interruptores de 13.8 kV., son unidades tripolares con accionamiento eléctrico y con corte del arco en aire mediante cámaras «Deion» con soplado electromagnético. Son de tipo 150 — U — 22 de Westinghouse y tienen las siguientes características nominales: Voltaje 15 kV.; corriente 1.200 amps; poder de corte asimétrico 500 MVA; y tiempo requeridos para interrumpir el circuito medido desde el instante en que es excitada la bobina de disparo hasta la extinción del arco, 8 ciclos, en base a frecuencia de 60 períodos p. seg.

En esta parte de las instalaciones existe un sistema completo de bloqueo para evitar malas maniobras, en particular, la de que se conecten dos unidades en paralelo a través de barras de 13.8 kV. El sistema de bloqueo consiste en una combinación de bloqueo eléctrico y de bloqueo con cerraduras (key interlock).

#### f) Celdas e interruptores de 31.5 kV.

Los interruptores y las celdas de 31.5 kV así como los equipos complementarios de ellos, fueron fabricados por la Westinghouse Electric Co.

Cada Sub-estación del anillo, cuenta con un sistema de barras principales y otro de barras auxiliares a las cuales puede transferirse una cualquiera de las conexiones de 31.5 kV. de la sub-estación mientras se ins-

pecciona o repara su correspondiente interruptor de barras principales. Como puede verse en la fig. 16 ambos sistemas de barras se hallan divididos en dos. Las dos partes de barras principales se encuentran ligadas por un interruptor de seccionalización. Además, en las subestaciones Norte y Batlle las dos partes de barras principales son, a su vez, seccionables por dos grupos de cuchillas seccionadoras. Las barras auxiliares se alimentan por intermedio de sendos interruptores acopladores. Ambos sistemas de barras son del tipo de celdas metálicas (metal clad switchgear).

Las celdas se encuentran aisladas de tierra por la interposición, en la base, de una placa de «micarta» de 2.5 cm. de espesor. Todas las celdas pertenecientes a una misma sección, se encuentran ligadas por una barra de cobre la que luego de pasar por un transformador de corriente se halla conectada a tierra.

La corriente en el secundario de ese transformador permite detectar cualquier corto circuito entre barras de fase y estructuras metálicas de las celdas (véase la parte correspondiente a protección).

Las celdas, además de dar cabida a los sistemas de barras, contienen los interruptores de 31.5 kV., cuchillas, terminales de cable y transformadores de potencial y corriente (éstos últimos instalados en los aisladores pasantes de los interruptores).

Los interruptores de 31.5 kV son unidades tripolares con accionamiento electro-neumático y con corte de arco en cámara «Deion» con soplado de aire. Pertenecen al tipo 345-CA-1500 (indoor compressed air circuit breakers) de Westinghouse y tienen las siguientes características eléctricas nominales: voltaje 34.5 kV.; corriente 1.200 amps.; poder de corte asimétrico 1.500 MVA.; corriente máxima eficaz total asimétrica de interrupción a 31.5 kV., 27.500 amps.; y tiempo de interrupción del circuito, medido desde el instante en que es excitada la bobina de disparo hasta la extinción del arco: 8 ciclos, en base a frecuencia de 60 períodos p. seg.

En todas las instalaciones 31.5 kV. de las cuatro sub-estaciones, existe un sistema completo de bloqueo con cerraduras (key interlock) para evitar la realización de malas maniobras, en particular, la de abrir cuchillas en carga, etc.



## Servicios internos de la Planta Hidroeléctrica

Los servicios internos se alimentan mediante un sistema de distribución trifásico de 380 V. entre fases. Los servicios esenciales se alimentan también desde un sistema de distribución en corriente continua a 250 V.

La alimentación de la red de 380 V. se obtiene con transformación del voltaje de generación 13.8 kV. a 380 V., mediante dos bancos de transformadores monofásicos a la intemperie. Cada banco de transformadores tiene una potencia nominal de 1.000 kVA., lo cual es ampliamente suficiente para los requerimientos internos de la planta, población adyacente (viviendas del personal), instalaciones del pasabarcos y provisoriamente a la villa de Paso de los Toros (distante 12 km.). En el futuro, Paso de los Toros será alimentada por la red rural proyectada, de 66 kV. A los efectos de mantener constante el voltaje del lado de 380 V. a pesar de las variaciones que necesariamente experimenta el voltaje en el lado de 13.8 kV., al variar la potencia transmitida a Montevideo, se dispone en cada banco de un auto-transformador trifásico de regulación automática cuya salida alimenta a los transformadores de servicio de 13.8 kV/380 V. El regulador automático está provisto de compensación para caída de tensión para mantener constante los 380 V. a pesar de las variaciones de carga local.

En caso de emergencia, inspección o reparaciones en que sea conveniente la parada completa de la planta, se dispone de grupos diesel eléctricos los que se encargarán de los suministros de corriente alterna para la planta y población. El sistema de corriente continua es alimentado por una batería de acumuladores Exide de 120 elementos con capacidad de descarga de 280 amp. horas, en 8 horas, la que se mantiene en carga a 250 voltios por el método de carga flotante (floated battery) mediante dos grupos motor-generador «Diverter Poles» de 10 kW. cada uno. En condiciones de funcionamiento normal, el sistema de corriente continua alimenta los circuitos de señalación y control de toda la planta. En casos de extrema emergencia, cuando falta la corriente alterna de 380 V., los servicios esenciales pasan automáticamente a servirse de la red de corriente continua (bombas de circulación de aceite

para los cojinetes de las máquinas, iluminación de emergencia, bombas de achique de las turbinas, etc.).

### g) Servicios internos de las sub-estaciones del anillo de 31,5 kV.

Sub-Estación Norte: los servicios de corriente alterna son atendidos a 220 V., 3 fases, y comprende bombas de circulación de aceite de transformadores, ventiladores de transformadores, equipos de onda portadora para telefonía, iluminación y fuerza motriz.

Para el suministro de esta energía se cuenta con dos transformadores de 6.300 a 220 V., de 300 kVA. cada uno, trifásicos, con tomas para 6615 / 6460 / 6145 / 5985 V., del tipo sumergido en aceite con refrigeración propia (O.I.S.C.), y dos reguladores automáticos de tensión del tipo de inducción de 30 kVA c/uno, trifásicos, 6.300 V., 10% de regulación. Normalmente trabaja un solo grupo regulador-transformador, siendo este grupo la fuente de alimentación preferida para las barras, quedando el otro grupo como de emergencia, el cual entra en circuito por el cierre automático del interruptor correspondiente, lo que se realiza con accionamiento de relés de tensión sobre la fuente preferida. De esta manera se tiene siempre tensión de servicio, ya que el esquema de conexión adoptado permite amplia flexibilidad de alimentación: para eso un grupo regulador-transformador puede conectarse sobre los grupos de transformadores principales 2 y 3, mientras el otro grupo regulador-transformador puede conectarse sobre los grupos de transformadores principales 1 y 4. La conexión entre el regulador de tensión y el arrollamiento de 6.300 V. de los transformadores principales se hace con cuchillas desconectadoras y fusibles, colocados a la intemperie.

Los servicios de corriente continua son atendidos por una batería Exide de 120 vasos, capacidad de descarga 180 amp-hora en 8 horas, mantenida a 250 volts en carga flotante (floated battery). Estos servicios comprenden los circuitos de señalación y control de toda la estación, los equipos de onda portadora para la protección de las líneas de transmisión y la iluminación de emergencia. La carga de la batería la proporcionan dos grupos motor-generadores «Diverter Poles» de 5 kW cada uno.

Sub-Estación Batlle: se utilizan 220 V. tri-

fásicos provenientes de la Central Batlle para los servicios internos, bombas y ventiladores de los transformadores, iluminación y fuerza motriz y 250 V., corriente continua para los circuitos de señalación y control de toda la estación y para la iluminación de emergencia.

Ambos circuitos son alimentados desde la central térmica usándose interruptores W DK-15 De Ion en aire.

Sub-estaciones «G» y «J»: los servicios de corriente alterna son alimentados a 220 volts, tomados de la red urbana y los de corriente continua por baterías Exide Chloride de 120 vasos tipo EM-9 con una capacidad de 198 amp. de descarga en 1 minuto (bajando a 1.75 volts por vaso). El sistema de carga es el mismo que en las otras instalaciones pero empleando cargadores estáticos de óxido de cobre.

#### h) Anillo de 31.5 kV.

Las cuatro sub-estaciones del anillo se hallan interconectadas por un sistema de cables subterráneos en forma de romboide incluyendo su diagonal menor. El menor de los lados mide 4,6 km. (Sub B - Sub J) y el mayor, 7,3 km. (Sub B - Sub G). Cada trazo de interconexión mostrado en las figs. 13 y 16 corresponde a un cable de tres conductores. Exceptuando los dos cables entre la Sub-Estación J y la Sub-estación B y uno de los cables entre la Sub-estación B y la Sub-estación G que pertenecían al antiguo sistema de distribución de Montevideo, los restantes tienen las mismas características, algunas de las cuales pasamos a describir:

Fabricante: General Cable Co.

Sección del conductor: 350 MCM.

Tensión nominal: 34,5 kV.

Aislación de papel.

Blindaje individual de cada conductor con cinta de cobre.

Recubierto con plomo.

Protegido por yute y cinta de acero.

El sistema subterráneo de 31,5 kV. tiene su neutro conectado a tierra a través de resistencia de 10 ohms en cada una de las dos sub-estaciones de transformación (Sub B y Sub N).

Con fines de servir al sistema de protección a las comunicaciones telefónicas y al telemando, del equipo supervisor, se halla tendido un cable telefónico subterráneo de 26

pares, siguiendo los cuatro lados del romboide. Este cable tiene como aislación una doble capa de papel seco.

#### i) Compensadores sincrónicos.

Los dos compensadores sincrónicos y sus accesorios (excepto relés e instrumentos) a instalarse en la Sub-estación Norte, son fabricados por Allis Chalmers y tienen las siguientes características nominales: 6,3 kV.; 50 ciclos; 750 r.p.m.; 20.000 kVAR con F.P. = 0, sobre-excitado y con elevación de temperatura que no excederá 60°C en el estator y 80°C en el rotor cuando funcione en forma continua en las condiciones nominales. También es capaz de dar 10.000 kVAR con F.P. = 0 sub-excitado.

El enfriamiento es por aire renovable que pasa a través de filtros adecuados. Para caso de incendios se cierran las comunicaciones con la atmósfera y se vierte CO<sub>2</sub>, automáticamente.

El arranque se efectuará con el 20% (o 25%) de la tensión nominal y con alta presión de aceite en los cojinetes. La secuencia de las operaciones del arranque se realiza automáticamente.

Cada compensador tiene sus excitatrices principal y piloto y su regulador automático de voltaje.

Los compensadores sincrónicos tienen, además de las protecciones indicadas en los párrafos correspondientes a éstas, las que pasamos a describir y que están todas constituidas por relés Westinghouse: Protección térmica (relé BL-2); de balance de fases (relés CM); de baja tensión e inversión de fase (relé CP); de rotor atascado (relé ND); de voltaje a tierra (relé CV); de sobretensión (relé CV); además de todos los dispositivos que aseguran la secuencia correcta de las operaciones del arranque.

Otras características eléctricas (valores calculados) son las siguientes:

Reactancia sub-transitoria:  $X''_a = 26\%$

Reactancia transitoria:  $X'_a = 40\%$

Reactancia sincrónica:  $X_a = 217\%$

Relación de corto circuito:  $= 0.54$

Los compensadores sincrónicos serán instalados dentro de un edificio; las celdas metálicas que contienen las cuchillas, interruptores y terminales de cables necesarios para

las operaciones de arranque y marcha normal van a la intemperie (outdoor metal clad switchgear) próximas a los bancos de transformadores.

Los interruptores son de baño de aceite, del tipo DZ-100 B de Allis Chalmers y de las siguientes características nominales: Voltaje 7.5 kV.; corriente 2.000 amps.; poder de corte asimétrico 250 MVA.; y máxima corriente eficaz total asimétrica de interrupción 36.000 amps.

#### j) Protecciones de zona.

A los efectos de lograr una protección selectiva eficaz, el sistema eléctrico total ha sido dividido en once zonas principales como se muestra en la fig. 17. Todos los relés que se indican, son de Westinghouse Electric Co.

*Zona 1.* — Generadores de la Usina Hidroeléctrica. Protección diferencial de porcentaje de alta velocidad. Relés HA.

*Zona 2.* — Unidad Generador-Transformador (Planta Hidroeléctrica). Protección diferencial de porcentaje. Relé CA-4 con relé TSI supresor del impulso debido al transitorio de la corriente magnetizante.

*Zona 3.* — Línea de transmisión. Protección con onda portadora sobre un conductor de línea. Relés HZ de impedancia, relé HRP de falta a tierra y relé RSN auxiliar de onda portadora e impedidor de falsa desconexión por inestabilidad.

*Zona 4.* — Transformadores principales de la Sub-estación Norte. Protección diferencial de porcentaje. Relés CA-4 con relé TSI (ver Zona 2).

*Zona 5.* — Compensadores sincrónicos. Protección diferencial de porcentaje. Relés CA.

*Zonas 6, 7, 8 y 9.* — Barras principales de 31,5 kV. de las Sub-Estaciones del anillo. Protección de falta entre fase y celda metálica, por observación de corriente entre barra equipotencial de celdas y tierra. Relé SC.

*Zona 10.* — Cables del anillo de 31.5 kV. (una Zona para cada cable). Protección diferencial con cable piloto. Relés HCB (de componente positiva y homopolar).

*Zona 11.* — Transformadores reguladores y transformadores de las unidades termoeléctricas. Protección diferencial de porcentaje. Relés CA.

#### k) Protecciones de respaldo.

A los efectos de aumentar la seguridad de la protección, existe otro sistema de protecciones —superpuesto al ya descrito— de menor grado de selectividad y llamado a intervenir en caso de que fallara la protección por zonas.

La protección de respaldo (back-up protection) se encuentra realizada principalmente en base a relés de sobrecorriente, con discriminación direccional o no, para sobreintensidad por conductor de fase o para intensidad a tierra, y, en el caso de las líneas de transmisión también relés de impedancia.

En la fig. 18, se muestra el emplazamiento de tales relés y se indica esquemáticamente su tipo.

#### l) Oscilógrafos automáticos.

A los efectos de controlar en ejercicio el comportamiento de los dispositivos de protección se ha instalado un oscilógrafo automático en la Sub-Estación Norte y se piensa instalar otro en Rincón del Bonete, en conexión con los relés de las líneas de transmisión.

#### m) Protecciones contra sobretensiones.

Ha sido objeto de estudio especial, toda la parte expuesta a la acción de descargas atmosféricas. Los niveles de aislación se han coordinado de modo de prevenir la ruptura de aislante en las partes más costosas dando posibilidad a que las descargas se canalicen en forma que el daño sea nulo o mínimo.

En la fig. 19, puede verse el escalonamiento de niveles de aislación en base a su comportamiento con ondas de impulso de  $1\frac{1}{2} \times 40$  microsegundos (standard americano).

El detalle de las curvas, es como sigue:

- 1) Cadena de 12 aisladores de  $10'' \times 5\frac{3}{4}''$
- 2) Cadena de 10 aisladores de  $10'' \times 5\frac{3}{4}''$
- 3) Soporte de 4 aisladores de  $17'' \times 14\frac{1}{2}''$
- 4) Pasante de transformadores (Bushings)
- 5) Arrollamiento de transformadores
- 6) Nivel de aislación básico
- 7) Voltaje de descarga en un descargador de 145 kV nominales con una corriente de 50 KA de cresta en 3 microsegundos y elevación de 20 KA por microsegundo.
- 8) Voltaje de descarga con onda de  $1\frac{1}{2} \times 40$  en el descargador de 145 kV.

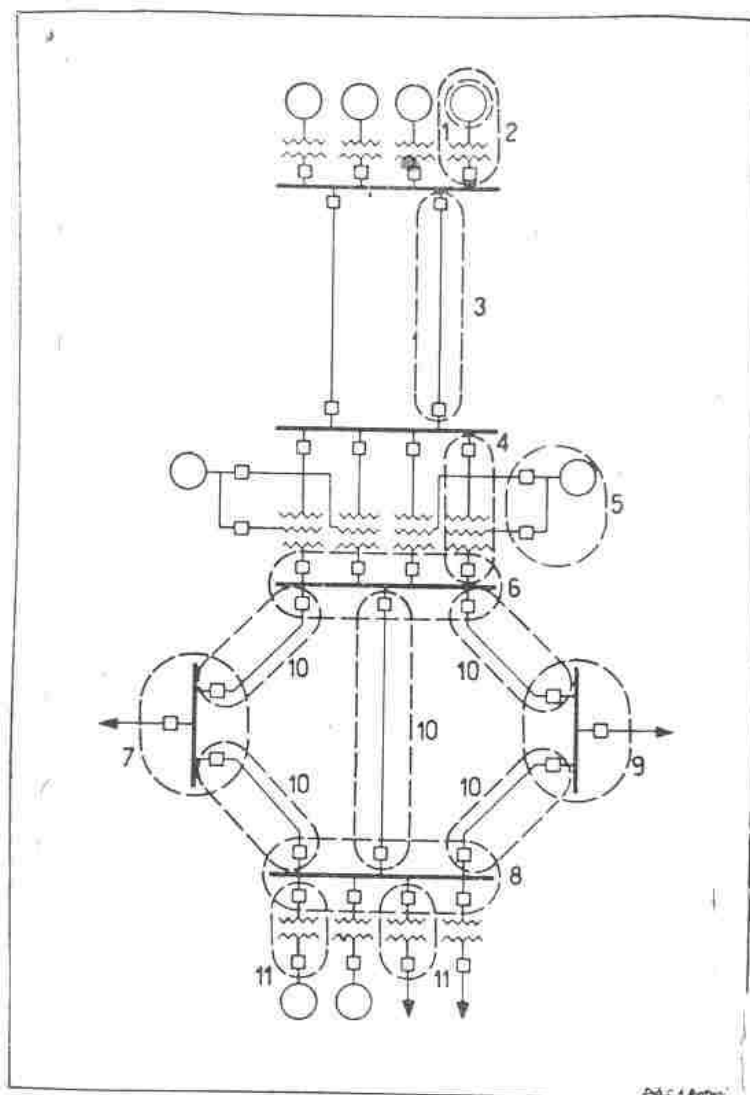


Fig. 17

9) Voltaje máximo probable en caso de apertura de circuito (Switching Surge).

Ya hemos dicho que los transformadores principales de la Planta Hidroeléctrica y de la Sub-estación Norte tienen su neutro conectado rígidamente a tierra, de modo que no son de temer sobretensiones por faltas a tierra. En lo que respecta a sobretensiones de origen atmosférico y a las ocasionadas por la operación de interruptores, su amplitud se encuentra limitada por descargadores (lightning arresters de Westinghouse Electric Co.) de las siguientes características eléctricas: Voltaje nominal 145 kV. RMS.; voltaje de descarga en 60 ciclos 305 kV. RMS.; y voltaje de cresta de la mínima onda de  $1\frac{1}{2}$  — 40 microsegundos que produce descarga; 465 kV. Como de todos los aparatos

eléctricos expuestos a aquellas sobretensiones, los de más costosa reparación son los transformadores, los descargadores han sido aplicados directamente a las salidas de cada transformador monofásico de la Planta Hidroeléctrica y de la Sub-estación Norte.

Las líneas de trasmisión, están protegidas por conductores de guardia, habiéndosele dado gran importancia a la baja resistencia de puesta a tierra en los mástiles (ver detalles en el capítulo correspondiente a Líneas de Trasmisión).

En la Planta Hidroeléctrica, (sub-suelo basáltico) el sistema de tierras se halla conectado a rejas y conductores enterrados en el lago y en el río, alrededor de la planta.

Para el estudio de las descargas de origen atmosférico en las líneas de trasmisión y en los descargadores de las sub-estaciones Rincón del Bonete y Norte se dispone de un equipo de barras magnetizables (magnetic links) y correspondientes auxiliares, adquirido a la General Electric Co.

#### n) Comunicaciones telefónicas.

Como complemento necesario para el funcionamiento del sistema se han instalado dos centrales telefónicas automáticas (PAX); una en la Central Hidroeléctrica con las derivaciones necesarias para la población de Rincón (casas del personal superior); y otra en la Sub-estación Batlle, que cubre las cuatro estaciones del anillo y la central térmica Batlle y Ordóñez.

El equipo instalado en la Central Hidroeléctrica, tiene como particularidades interesantes, el «llamado por código» (code call) y la «conversación en conferencia» que permite que varias personas situadas en otros tantos aparatos puedan mantener una conferencia. El equipo instalado en la Sub-estación Batlle y Ordóñez tiene solamente «conversación en conferencia».

Ambas centrales telefónicas se hallan relacionadas automáticamente entre sí por intermedio de equipos de onda portadora (teléfono de alta frecuencia) utilizando dos conductores de la línea 161 kV. Un «repetidor» de los cortes del mecanismo de discado envía impulsos bajo forma de señal modulada que en el destino provocan el funcionamiento de la central automática allí instalada, haciendo posible llamar desde ciertos aparatos telefónicos pre-establecidos de un



extremo, a cualquier aparato instalado en el otro extremo, en forma totalmente automática.

En ambas Salas de Comando de la Central Térmica Batlle y Ordóñez y de la Central Hidroeléctrica, hay aparatos telefónicos especiales que les da derecho preferencial de paso. Mediante su empleo es posible interferir cualquier otra comunicación que esté desarrollándose por el carrier a fin de establecer inmediata comunicación entre ambas Salas.

o) *Equipo supervisor.*

En la Sala de Comando de la Central Termoeléctrica Batlle y Ordóñez se instalará un tablero supervisor que permitirá maniobrar desde él todos los interruptores (y las cuchillas operadas a motor) de las cuatro Subestaciones del sistema de transmisión 31.5 kV. Además se tendrá lectura (telemida) de distintas magnitudes eléctricas de interés para la vigilancia y el comando del sistema. A efectos de facilitar la visualización de cualquier maniobra, se instalará un diagrama completo de dicho sistema (análogo al diagrama mostrado en la figura con la señalización luminosa automática del estado momentáneo del sistema (Mimic diagram).

p) *Estudios generales sobre el funcionamiento del sistema eléctrico.*

En dos oportunidades se llevaron a cabo estudios de Estabilidad Dinámica y de Regulación sobre analizadores de Redes (A.C. Network Analyser). El primero de ellos tuvo lugar en 1942, habiéndose empleado el Analizador de Redes de la Westinghouse Electric Corporation en East Pittsburgh, Pa. El segundo se llevó a cabo en 1946, sobre el Analizador de Redes del Instituto Tecnológico de Massachusetts.

Uno de los primeros problemas que fué objeto de estudio en el Analizador de Redes, fué el de determinar la forma de dar entrada a Montevideo, a la energía proveniente de la Planta Hidroeléctrica. Indudablemente intervinieron aquí además de los factores puramente electrotécnicos, los estéticos y de previsión interpuestos por el gobierno municipal de la ciudad. Se llegó así a la solución del sistema de transmisión 31.5 kV., con cuatro Sub-estaciones de transformación y/o distribución ya descripto.

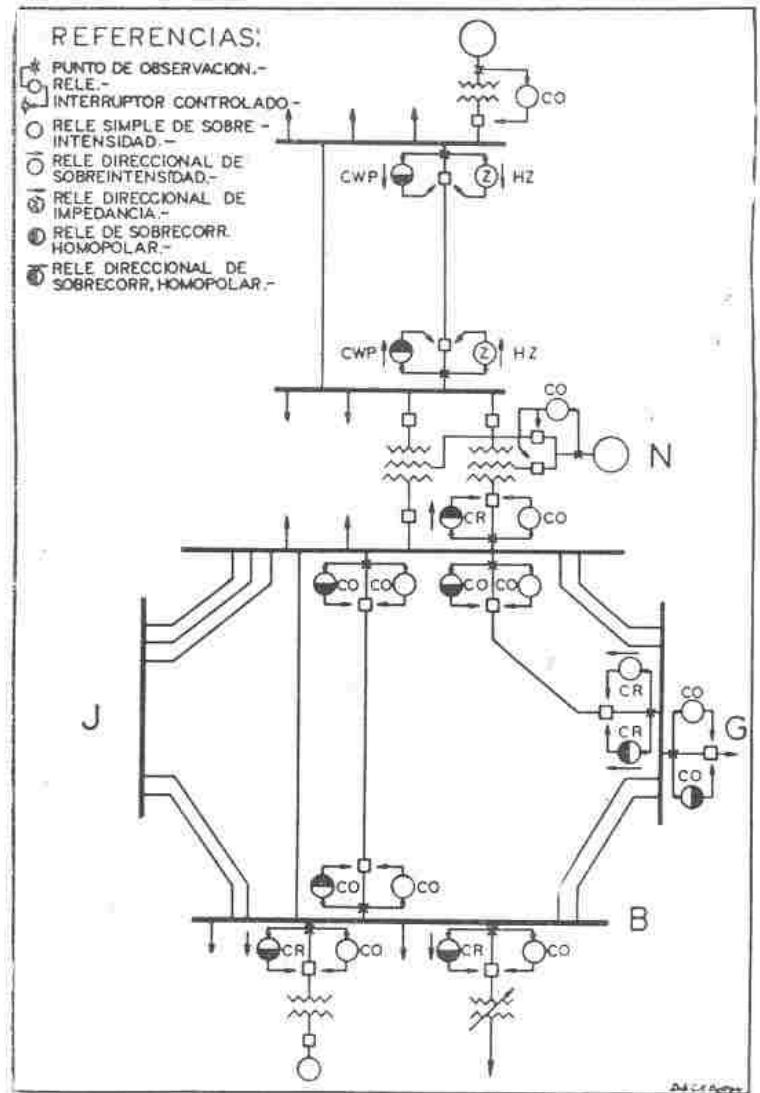


Fig. 18

Se estudiaron las velocidades de corte para los distintos interruptores del sistema a fin de asegurar la estabilidad dinámica en casos típicos de faltas, a saber: a) doble fase a tierra en una de las líneas de transmisión y b) falta trifásica en un cable del anillo de 31.5 kV. Se constató así, la necesidad de contar con un tiempo máximo total de corte de 0.10 segundos para las líneas de transmisión y de 0.15 segundos para los cables del sistema de transmisión 31.5 kV. Esto fué lo que determinó la adopción de protecciones ultra-rápidas a saber: relés direccionales de impedancia y de corriente homopolar con transferencia de señal por onda portadora para las líneas de transmisión y protección diferencial por cable piloto para los cables del sistema de transmisión 31.5 kV.

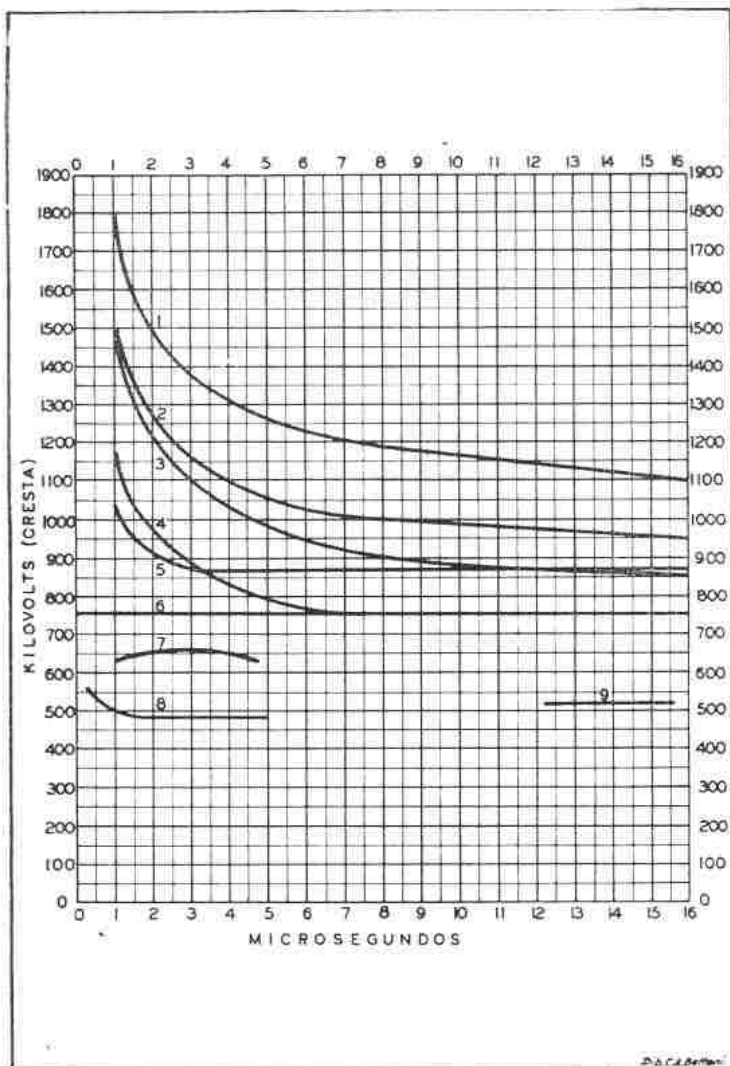


Fig. 19

También se concretó en dichos estudios la necesidad de compensar el factor de potencia en la sub-estación Norte con el doble objeto de mejorar el rendimiento de las instalaciones y de permitir mayor flexibilidad en la regulación de voltaje, no solamente en funcionamiento normal sino en caso de perderse una línea, temporalmente, a causa de una falta. Se determinó que las capacidades de los compensadores sincrónicos debía totalizar 40 MVAR. Se estudió también, la posibilidad de utilizar los antiguos alternadores de la Central Calcagno como compensadores sincrónicos adicionales.

Utilizando la capacidad nominal de los compensadores sincrónicos de la sub-estación Norte es posible satisfacer los siguientes tipos de funcionamiento: a) Con una sola

línea de transmisión absorber la potencia nominal total de la Planta Hidroeléctrica (128 MVA) con tal de tener los turbo-alternadores de la Central Batlle y Ordóñez generando únicamente kVAR. b) Con las dos líneas y con un aporte de 50 MW (F.P. = 0.88) por parte de las Centrales Termoelectricas es posible satisfacer una demanda de 176 MVA (F.P. = 0.92) en Montevideo funcionando la Central Hidroeléctrica a capacidad nominal (128 MVA, F.P. = 0.95).

También está previsto instalar recierre ultra rápido en los interruptores de la línea de transmisión si la experiencia en el ejercicio demuestra su conveniencia.

## VI. Línea de transmisión

El sistema de transmisión de energía Rincón del Bonete-Montevideo consiste en dos circuitos trifásicos, paralelos,  $3 \times 150 \text{ mm}^2$  cada uno, 232 km. de longitud, 150 kV. tensión nominal.

Por razones de seguridad los dos circuitos se disponen en dos alineaciones de mástiles independientes, separadas 100 m. una de otra (sección rural) hasta unos 20 km. antes de llegar a Montevideo, donde pasan a una alineación única de mástiles para dos circuitos (sección «pre-rural»), en razón de las dificultades que existen para llevar dos alineaciones separadas, por tratarse de un territorio muy subdividido y poblado destinado a huertas y granjas.

La consideración del diámetro y la sección de conductor necesarios y de las condiciones eléctricas y mecánicas de los tipos de conductor que permitían obtenerlos, así como la preferencia por conductores de cobre a semejanza de otras condiciones, llevó a la elección de conductores huecos de cobre del tipo HH de General Cable, sin ningún soporte interior.

El conductor tiene un diámetro exterior de 21 mm. y una sección de cobre de  $150 \text{ mm}^2$  (valen para ambos una tolerancia de  $\pm 2\%$ ) y está constituido por 7 segmentos ensamblados a caja y espiga y cableados a largo paso (20 veces el diámetro del conductor); la carga de ruptura del cable terminado alcanza a 5.800 kg.; el módulo de elasticidad final del conductor es de  $11.600 \text{ kg/mm}^2$ . La resistencia eléctrica nominal por km. del conductor terminado, a  $20^\circ\text{C}$  y con corriente alternada 50 ciclos, es de 0.1186 Ohms (valen

las tolerancias que resultan de las admitidas para el diámetro y el área).

Razones económicas llevaron a la adopción de torres de acero galvanizado; se estudió la posibilidad de utilizar mástiles de madera pero no fué posible conseguir en tiempo en el Uruguay ni en los países vecinos, postes de características adecuadas.

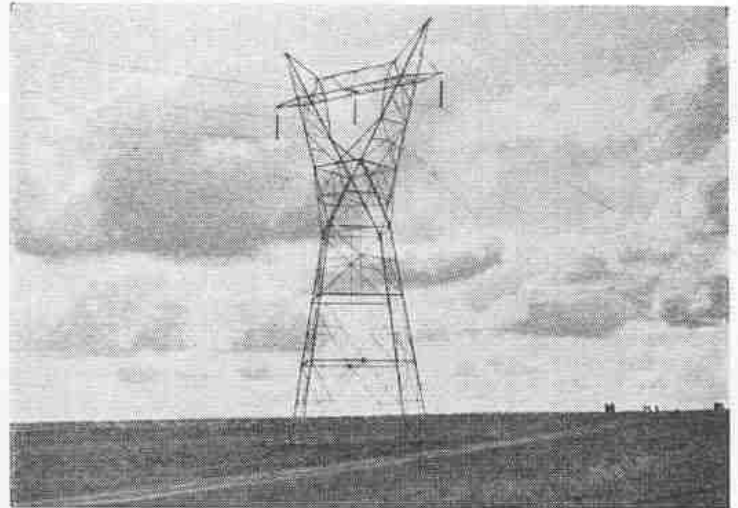
El vano nominal en la sección rural de la línea es de 300 m. siendo el vano real máximo de 380 m. y el mínimo de 232 m. Los vanos de la Sección pre-rural de la línea son algo menores siendo el máximo 298 m. y el mínimo 105 m.

La disposición de los conductores y cables de guardia y las distancias de los conductores al mástil se determinaron según las prácticas actuales para proyectos de líneas a prueba de rayos directos, sobre la base de un nivel isocerámico 30 (30 tormentas eléctricas por año). En todo el recorrido de la línea pueden conseguirse fácil y económicamente resistencias de puesta a tierra muy bajas —no mayores de 5 Ohms—, salvo en puntos aislados en que es necesario recurrir a contrapesos. Una aislación de 10 elementos tipo casquete  $305 \times 146$  mm. ( $10'' \times 5\frac{3}{4}''$  Standard americano) permite, en estas condiciones y para vanos de 300 m. un nivel de protección contra rayos de 15.000 kV, correspondiendo una probabilidad calculada de desconexiones por rayos de 2 por año para el conjunto de las dos líneas.

Para las líneas de un solo circuito (sección rural) se adoptó el tipo de mástil de base ancha, girada a  $45^\circ$  con respecto a la dirección de la línea («rotated type» de American Bridge) con los conductores dispuestos en napa horizontal y dos cables de guardia dispuestos en torrecillas elevadas sobre el puente de conductores en forma de cubrir los conductores exteriores bajo un ángulo de  $19^\circ$ .

Para el tramo de alineación única con doble circuito (sección pre-rural) se adoptó el tipo de mástil tronco piramidal de base estrecha de tres crucetas superpuestas, con los conductores dispuestos en dos triángulos de base horizontal a uno y otro lado del fuste y dos cables de guardia dispuestos en la tercera cruceta, cubriendo los conductores bajo un ángulo de  $20^\circ$ .

La distancia entre conductor y cable de guardia en la torre es de 5.34 m., ( $17'6''$ ) y

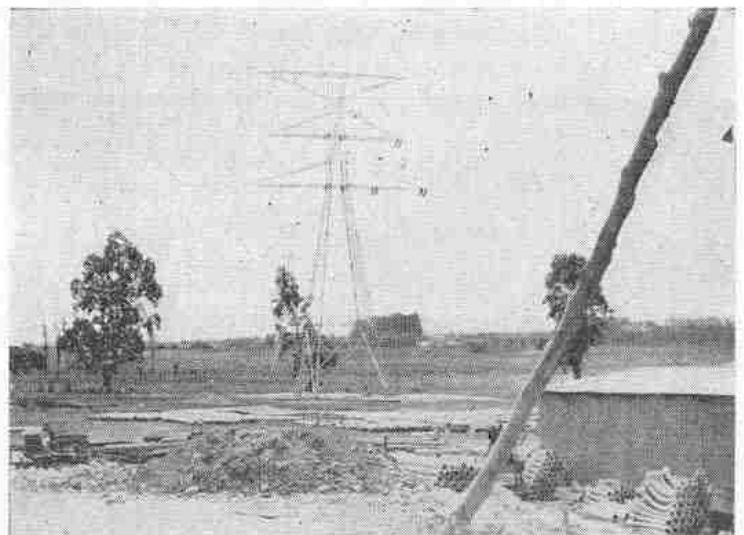


Mástil rural empleado en las líneas de transmisión Rincón del Bonete-Montevideo

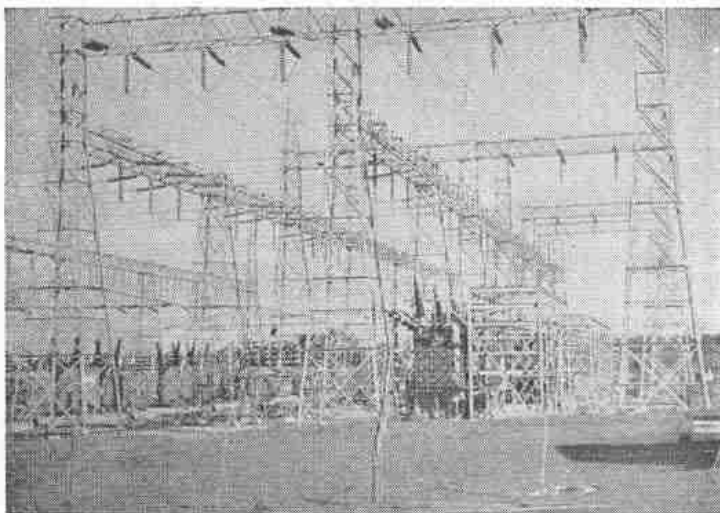
en el medio del vano de 7.62 m. ( $25'$ ) a  $10^\circ\text{C}$  para el vano nominal de 300 m.

En las torres de simple suspensión las cadenas aislantes están constituidas por diez elementos normales tipo casquete de  $305 \times 146$  mm. ( $10'' \times 5\frac{3}{4}''$ ). En vanos con seguridad aumentada (cruces de vías férreas, caminos y ríos) se utilizan cadenas dobles de  $2 \times 10$  elementos. En los anclajes normales se utilizan cadenas dobles de  $2 \times 10$  elementos.

Las características principales de los aisladores son los siguientes (en base a las normas americanas para ensayo de aisladores):



Línea de transmisión de energía Rincón del Bonete-Montevideo. Tipo de mástil para doble circuito empleado en la zona pre-rural



Vista de las estructuras de la Sub Estación Norte (Instalaciones de alta tensión a la intemperie). Pueden verse los transformadores e interruptores de alta tensión

Carga máxima de un elemento a solicitaciones combinadas mecánicas y eléctricas .....

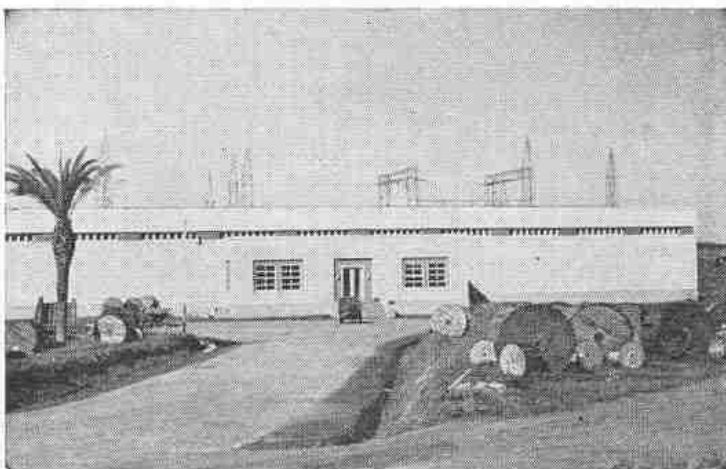
6.800 kg.
15.000 lb.

Tensión de contornamiento en seco de una cadena de 10 elementos, a frecuencia industrial .....

590 kV.

Tensión de contornamiento en seco de una cadena de 10 elementos bajo lluvia .

415 kV.



Edificio de la Sub Estación Norte.  
22 de octubre de 1948

Tensión de contornamiento en seco de una cadena de 10 elementos crítica bajo onda de choque  $1\frac{1}{2} \times 40$  m.s. } + 945 kV.  
| - 930 kV.

Tensión de perforación de un elemento ..... 107 kV.

No se utilizan cuernos ni anillos de guardia en las cadenas aislantes.

Se han dispuesto anclajes en todos los ángulos; los tramos rectos muy largos se subdividieron, mediante torres de anclaje, en secciones no mayores de 9.5 km.

Las distancias del conductor al mástil se establecieron en forma tal que con la cadena (y el conductor) inclinada por un viento de 120 km/h. —relativamente frecuente en nuestro país— se mantenga seguramente el nivel de aislación de la línea fijado por la longitud de la cadena aislante.

Los cables de guardia son cables de acero Siemens Martin extra galvanizado, de siete hilos, 9.5 mm. ( $\frac{3}{4}$ " diámetro exterior nominal, carga mínima de ruptura 3.150 kg. (6.950 lb.), peso aproximado por mil metros 405 kg.

A efectos de obtener una resistencia de tierra no mayor de 5 Ohms. (medida con ohmetro de tierra Siemens), gran parte de los mástiles está puesta a tierra mediante contrapesos radiales y/o contrapesos continuos, según la naturaleza del terreno.

Para los contrapesos se utilizó alambre de hierro para tierra (amerground) fuertemente galvanizado, de 5.6 mm. de diámetro exterior (AWG N° 5), carga de ruptura 878 kg. (1.940 lb.).

En cada circuito trifásico se disponen tres rotaciones completas del tipo «a omisión» (halting barrelling) en los 212 km. de línea rural y una en los 20 km. de línea pre-rural. Para ello se dispusieron en cada una de las dos alineaciones de la línea rural 12 torres de transposición, y 2 más en la línea pre-rural.

Las uniones y grapas de amarre del cable HH son del tipo a compresión, esto es, aplicados al conductor por compresión, con una prensa hidráulica especial, en el lugar. Las grapas de suspensión son del tipo especial pa-



ra cable HH desarrolladas por General Cable y Ohio Brass, de gran longitud (47 cm.), y pueden soportar el conductor en ángulos verticales de hasta 30° (suma de los ángulos de salida de los cables con la horizontal) con un radio de curvatura del conductor no menor de 680 mm. Son de un solo aguantador central de presión, solidario con la grapa, el cual toma 90% de la periferia del conductor. La grapa es capaz de desarrollar una retención de 1.360 kg. (3.000 lb.).

Las uniones del cable de guardia son también del tipo a compresión. En los mástiles de suspensión los cables de guardia están soportados con grapas de suspensión comunes del tipo de gorrón. En los mástiles de ángulo y amarre están soportados mediante grapas de amarre tipo universal.

No se aplicaron amortiguadores de vibración, salvo en un punto, a la salida de la línea de la usina hidráulica donde se observaron vibraciones sostenidas atribuibles a condiciones favorables para que se produzcan corrientes de aire que originan vibraciones. Se utilizaron allí amortiguadores del tipo torsional de General Cable (una masa metálica excéntrica al conductor, rigidamente aplicada a éste, a cierta distancia de la grapa de amarre).

El tendido de los conductores y los cables de guardia se realizó en base a las siguientes especificaciones:

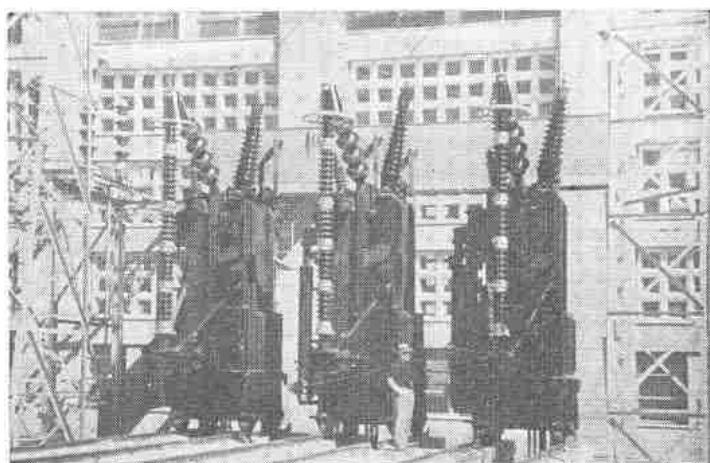
a) Con viento de 88 kg. por m<sup>2</sup> de superficie proyectada y 10°C de temperatura del conductor el esfuerzo unitario no debe pasar de 16 kg/mm<sup>2</sup> para el cable HH y 21 kg/mm<sup>2</sup> para el cable de guardia.

b) Sin viento y a 16°C de temperatura del cable el esfuerzo unitario no debe pasar de 1/4 de la carga de ruptura.

c) En los vanos de seguridad aumentada, el esfuerzo unitario para las condiciones bajo a) se reduce a 12 kg/mm<sup>2</sup> para el cable HH y 16 kg./mm<sup>2</sup> para el cable de guardia.

Las condiciones dominantes son las b) excepto para los vanos de seguridad aumentada, para las cuales las condiciones dominantes son las c).

En nuestro país no hay nieve por lo cual sólo hay que considerar sobrecargas debidas al viento. La considerada arriba corresponde a un viento de unos 145 km/h. que



Rincón del Bonete: Banco trifásico de transformadores elevadores en la Planta Hidroeléctrica. Los pararrayos aparecen inmediatamente delante de los tanques de los transformadores (1946)

se presenta algunas veces por año en nuestro país.

Para el dimensionado mecánico de los elementos del mástil rigieron las prescripciones que figuran en la pág. 354.

Presión del viento sobre conductores y cables de guardia: 88 kg./m<sup>2</sup> sobre superficie proyectada.

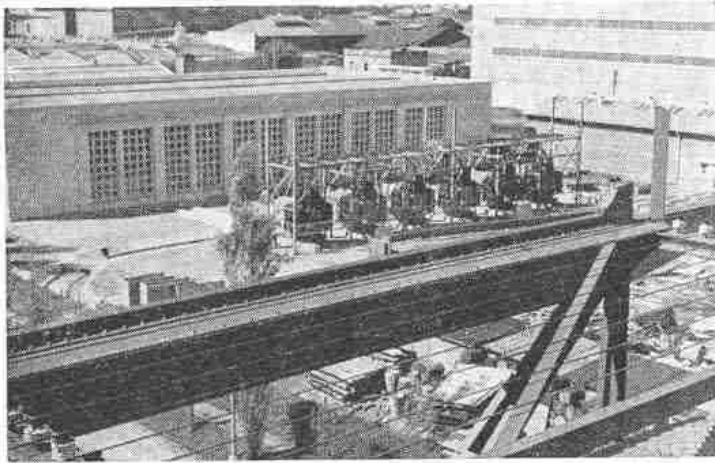
La «seguridad efectiva» de los mástiles fué comprobada en fábrica mediante ensayos efectuados sobre 1 mástil de cada uno de los tipos específicos principales.

Todos los mástiles tienen fundaciones de hormigón constituidas por fustes que envuelven individualmente prolongaciones de anclaje de los esquineros de la torre y se apoyan en el terreno individualmente o solidariamente, mediante losas de hormigón armado o pilares de hormigón ciclópeo según la naturaleza del terreno.

Investigaciones hechas en el lugar permitieron clasificar los terrenos en tres grupos, a saber:

1º) Arenas sucias conglomeradas con limos y arcillas, con abundante agua freática, para los cuales no puede determinarse una capacidad de carga aceptable.

2º) Arcillas; margas con capacidades de 1 a 2 kg./cm<sup>2</sup>; granitos y basaltos muy descompuestos que admiten carga de 3 kg./cm<sup>2</sup> o más y son de fácil excavación; y arenas limpias en bancos extensos que admiten también 2 a 3 kg./cm<sup>2</sup>.



Edificio de la Sub Estación Battle.  
22 de octubre de 1948

3º) Afloramientos graníticos firmes o basaltos superficiales con capacidad de 5 a 10 kg/cm<sup>2</sup>, fisurados en diversos grados.

En los terrenos de 2º y 3er. grupo se utilizaron fundaciones de fustes terminados en losas individuales, dimensionadas en forma de reducir la presión en el terreno a valores admisibles (esquinero comprimido) y, además, determinar un cono de arrancamiento (con ángulos de 30º) de dimensiones suficientes para contrarrestar el levantamiento (esquinero extendido). La profundidad de fundación es de 2.00 m. para mástiles de simple suspensión; 2.20 m. para mástiles de

doble suspensión, de transposición o de anclaje, en alineación recta; y 2.60 m. para mástiles de ángulo. Para cada tipo se dimensionaron tres variantes, para cargas en el terreno de hasta 1 kg./cm<sup>2</sup>, 2 kg./cm<sup>2</sup> y 3 kg./cm<sup>2</sup>; como la base para 3 kg./cm<sup>2</sup> tiene el patín mínimo necesario para contrarrestar el levantamiento, no fué necesario considerar posibilidades de mayor carga específica en el terreno.

En los terrenos de 1er. grupo fué preciso recurrir a la hinea por havages de 4 pequeños tubos de 1.50 m. Ø exterior y 1.20 m. Ø interior (caños de hormigón) en correspondencia con cada uno de los fustes que soportan el mástil, desde una profundidad de 5 m. hasta 8 m. rellenos con hormigón ciclópico, obteniéndose así una capacidad de carga de 16.000 kg., para una presión en la base de 0.75 kg./cm<sup>2</sup> y una fricción lateral de 0.100 kg./cm<sup>2</sup>. En caso de fustes de gran altura (6 a 9 m. sobre el suelo) éstos se vincularon rigidamente mediante un cuadro de vigas de hormigón armado apoyadas en los tubos del que emergen los fustes que soportan el mástil. En las zonas inundables de las márgenes de ríos y arroyos se utilizaron fundaciones especiales que se levantaron hasta sobrepasar la altura de la máxima crecida conocida.

Para la estabilidad de las fundaciones se estableció un coeficiente de seguridad de

Presión del viento sobre mástiles	{	De un solo circuito: 310 kg./m <sup>2</sup> sobre superficie proyectada de 1 cara. De 2 circuitos: 265 kg./m <sup>2</sup> sobre superficie proyectada de 1 cara.
-----------------------------------	---	---

Conductores y cables de guardia rotos	{	Mástiles de suspensión: Un conductor o un cable de guardia; tiro unilateral de 80% de la tensión máxima.
	{	Mástiles de amarre
	{	a) 3 conductores y 2 cables de guardia; 100% de la tensión unilateral correspondiente. b) Un conductor roto 100% de la tensión unilateral correspondiente (torsión).

Seguridad efectiva	{	Con todos los conductores sanos: 1.5 Con conductores rotos: 1.15
--------------------	---	---

1.8 para el caso de todos los conductores sanos y de 1.35 para los casos de conductores rotos, torre de amarre y torre terminal.

El volumen total de hormigón de las bases de ambas líneas llega a 18.000 m<sup>3</sup>.

El trazado de la línea no presenta dificultades notables salvo el cruce de los cuatro ríos mayores (Río Negro, Yi y Santa Lucía Chico y Grande) y algunas regiones inundables en la costa de ciertos arroyos. El terreno es ondulado (amplitudes de ondulación no mayores de 30.00 m.), con altitudes no mayores de 145 m. sobre el cero de Montevideo, siendo la altitud del arranque en Montevideo + 25.00 m. y + 65.00 m. en Rincon del Bonete.

El trazado se desarrolla en la dirección general Norte-Sur, al Oeste de la carretera de Paso de los Toros-Montevideo y a una distancia de 2 a 6 km. de la misma, con lo cual se obtuvo un trazado corto, no muy alejado de la carretera y que no dará origen

a perturbaciones notables en los circuitos principales de telecomunicación. Previamente a todo trabajo se efectuó un relevamiento planimétrico y altímetro del trazado y un reconocimiento del terreno con cuyos elementos se procedió a estudiar la distribución de los mástiles en base a un vano nominal de 300 m. y una distancia mínima del conductor al suelo de 7 m. para la línea rural y 8 m. para la línea pre-rural.

Para la rápida localización de faltas en la línea se dispone de un equipo localizador de faltas basado en la superposición de una corriente de frecuencia creciente lanzada en la línea desde un extremo, con la onda reflejada en el punto de defecto; el análisis del diagrama registrado de las ondas superpuestas en el extremo del localizador permite determinar el tipo de defecto y su distancia a ese extremo (Método desarrollado por los ingenieros de Safe Harbor).

Montevideo, mayo de 1949.

## DIRECTORIO Y SECCIONES TECNICAS DE LA "RIONE"

### Directorio de la "Rione"

*Presidente:* Ing. Eduardo Terra Arocena, Director del Instituto Geológico del Uruguay.

*Focales:* Ing. Heraclio Ruggia, Presidente de la U.T.E.; Sr. Carlos Sapelli, Vice-Presidente del Banco de la República; Agr. Arq. José M<sup>o</sup> Oses, Director de Catastro; Dr. Tomás de la Fuente; Sr. Aníbal Uriarte Payán.

*Secretario General:* Cdor. Amilcar Capo Savio.

### Oficinas

*Director General:* Ing. Luis Giorgi.

### Sección Ingeniería Civil

*Ingeniero Jefe:* Ing. Carlos A. Giavi.

*Jefe de la Sección Construcciones:* Ing. Manuel Sallés.

### Sección Electro-Mecánica

*Ingeniero Jefe:* Ing. Juan C. Rezzano.

*Jefe de la Planta Hidroeléctrica:* Ing. Luis A. Cagno.

*Jefe del Sistema de Transmisión e Interconexión:* Ing. Víctor H. Campistrous.

*Jefe de Trabajos Mecánicos:* Ing. Antonio de Anda.

*Jefe de Trabajos Eléctricos:* Ing. Franco Vázquez Praderi.

*Ingeniero Adjunto, Sistema de Transmisión e Interconexión:* Ing. César Ferrari Castro.

*Ingeniero Adjunto, Sistema de Transmisión e Interconexión:* Ing. Arturo Rodríguez Gabard.

*Ingeniero Adjunto, Trabajos Eléctricos:* Ing. Ruben Dal Monte.

*Asesor en Electrónica:* Sr. José J. Martínez.

### Sección Expropiaciones y Topografía

*Agr. Jefe de la Sección Expropiaciones:* Agr. José A. Richero.

*Agr. Jefe de la Sub-Sección Topografía:*  
Agr. Ramón Gutiérrez Carbonell.

*Agrimensores:* Agrs. Nelson Soria; Ed-  
gardo Goyret; César Herrera.

**Asesores**

Ing. Víctor B. Sudriers; Dr. Lorenzo Vi-  
cens Thievent; Cont. Juan Ferrando; Sr.  
Francisco Fernando Tochetti Lespade.

