

## SECCION TECNICA

# RIOGRANDE

Ingo. Hernando Cadavid C.

*DYNA* al dar publicación al presente artículo, no hace más que rendir un homenaje de admiración a la obra que actualmente es la de más valor dentro de la Ingeniería Nacional y a un grupo de ingenieros que en todo instante han colaborado en esta obra magna.

Parte de la información que se publica en este artículo, ha sido extractada del trabajo presentado por el Ingo. José Tejada S. al Segundo Congreso Bolivariano de Ingeniería, reunido en Quito en julio de 1948.

### INTRODUCCION

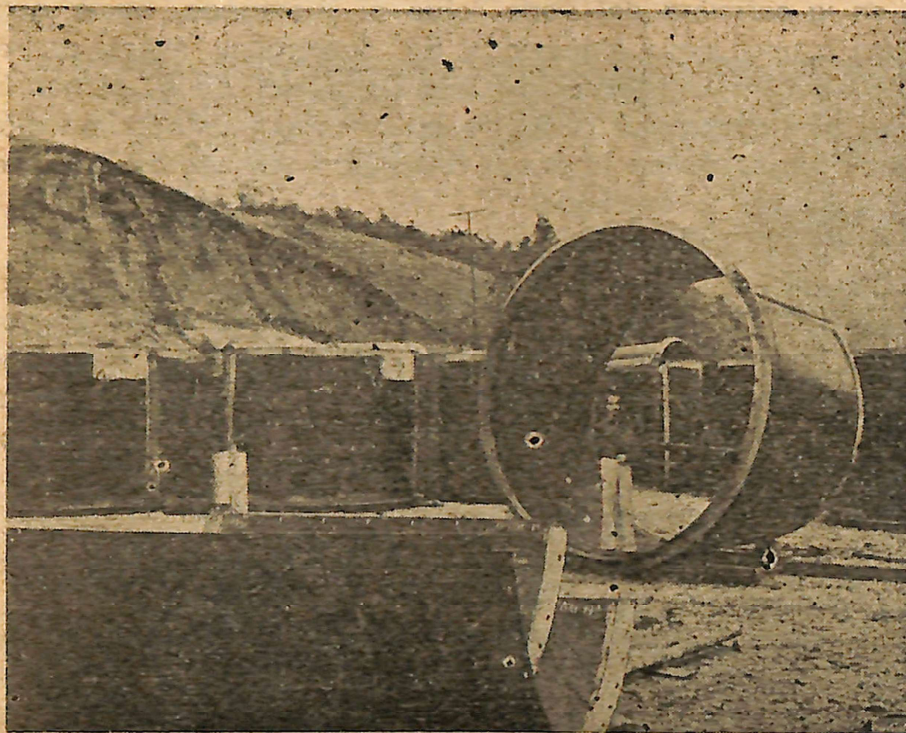
En 1939 Medellín y los municipios vecinos tenían casi copada la capacidad generadora de Guadalupe, que por ese entonces era de 30.000 kw., se imponía pues una solución rápida que hiciera frente al creciente desarrollo urbano e industrial de Medellín y de los municipios vecinos. Actualmente se abastece a un núcleo de 450.000 habitantes en una zona de 750 km<sup>2</sup> y que comprende a Medellín y once municipios circunvecinos.

Guadalupe ofrecía una solución parcial, una nueva unidad, y posteriormente otro desarrollo utilizando las aguas del cárcamo de la central actual; sin embargo esto no era más que una solución transitoria a la cuestión, pues se veía que el ensanche y posteriores desarrollos pronto estarían copados y aun antes de su terminación. En realidad se buscaba también dar Kw-H a bajo precio, de tal manera que con ello se estimularan muchas de nuestras industrias, aún en estado incipiente y que se crearan otras, pues es bien sabido que nuestro departamento es agrícola y pobre y que la base de nuestra riqueza radica principalmente en la industria; se imponía entonces conseguir energía barata, esto es, una central de gran capacidad.

La primera medida tendiente a remediar esta situación fue montar la nueva unidad en Guadalupe, debido a que la financiación y estudios de la gran central requerían mucho tiempo, además la segunda guerra mundial acababa de empezar, muchos mercados esta-



ban cerrados y por lo tanto los materiales empezaban a escasear. Todo esto trajo como consecuencia que los planes de la gran central se vieran entorpecidos en forma parcial. Montada la nueva unidad de Guadalupe con 10.000 Kw. de capacidad y que fue dada al servicio a mediados de 1943, el Departamento Técnico de la Energía se entregó de lleno a los estudios del nuevo desarrollo de Guadalupe y de la gran central, los cuales habían sido iniciados en 1941. Por otra parte el Concejo Municipal de Medellín y la Junta de Empresas Públicas, se encargaban de la parte legal y financiera del proyecto.



Tubería para revestimiento del túnel

En esa forma surgieron las Centrales de Río grande, con 250.000 Kw. en cuatro desarrollos sucesivos y que posiblemente para dentro de unos dos años y medio, se tendrán los primeros 50.000 Kw. en servicio; correspondientes a un primer desarrollo de 75.000 Kw. y como veremos más adelante es el más costoso y el más demorado de todos.

#### Proyectos.

Desde octubre de 1941 se iniciaron los estudios con base en un levantamiento aerofotogramétrico de la Avianca. En dicho levantamien-



to se muestra que la mayor pendiente del río está entre los sitios llamados "Puente de Ochoa" y "Remolino"; se hizo un estudio entre estos dos sitios, lo que trajo como resultado, una sola central, con una longitud de la conducción superficial, de 14 Kms.; una longitud de la tubería de carga, de 1.650 mts. y una caída de 590 mts.

Simultáneamente con ello se estaba adelantando un estudio aguas arriba de Puente de Ochoa, el que dio por resultado que entre Puente de Ochoa y la carretera del Norte (que sale de Medellín y va hasta Tarazá) era posible aprovechar 400 mts. de caída. Esto fue suficiente para que se abandonara el proyecto de una central en Remolino y se estudiara más bien el trayecto entre el llamado Puente Nacional, en la carretera del Norte sobre el Río grande, hacia abajo y con miras a una serie escalonada de desarrollos sucesivos; dicho proyecto tenía la ventaja sobre el de Remolino, de la menor inversión inicial para empezar a utilizar la energía generada, además de tener como vía de acceso la carretera del Norte en uno de los extremos del sector de río aprovechado.

A partir de la playa de "Juntas" más o menos un kilómetro abajo del "Puente Nacional" se empezaron estudios topográficos de la región y por ambas márgenes del río, con el objeto de determinar cuál tenía mejores condiciones para los desarrollos; hubo que dividirse el estudio en sectores favorables para la localización de las casas de fuerza y por los cañones de agua tributarios al río, habiéndose decidido por la margen derecha para todos los desarrollos.

La central del segundo desarrollo, por cualesquiera de las dos márgenes, quedaría ya situada más abajo de "Puente de Ochoa".

Los estudios indicaron que se podía aprovechar todo el sector de río estudiado y que eran factibles cuatro desarrollos escalonados con las siguientes características generales:

Desarrollo	Long. cond.	Long. tot. caída	Alt. tot. caída	Alt. tot. útil
Primero	3.230 mts.	840 mts	270 mts.	244 mts.
Segundo	3.850 "	700 "	200 "	177 "
Tercero	3.180 "	770 "	312 "	284 "
Cuarto	3.600 "	430 "	200 "	178 "
Total	13.860 "	2.470 "	982 "	883 "

La conducción estaría constituida por una serie de túneles unidos entre sí, en los pasos de los cañones que atraviesan, por tramos de tubería de acero. La adopción de la conducción por túneles se hizo en el primer desarrollo, por una comparación entre las pérdidas por



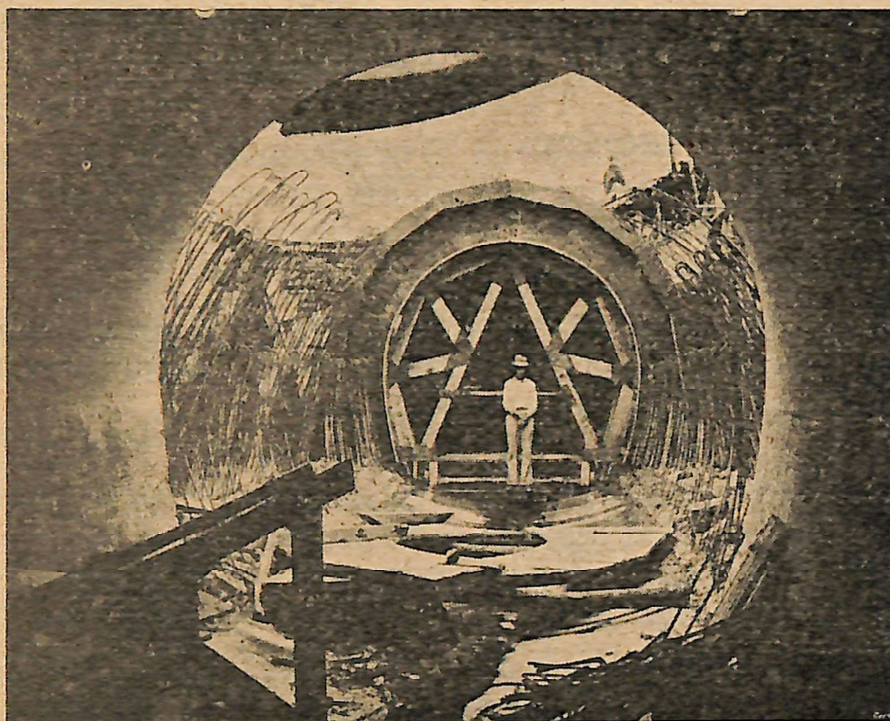
fricción y por curvatura entre los dos sistemas de túneles y conducción superficial, estableciéndose una diferencia favorable de 9 mts. para los túneles; esta diferencia da un aumento en la caída útil de 9,00 mts. que para un caudal de trabajo de 33,00 mts.<sup>3</sup>/seg. y con un factor de carga de 0,60 dan:

$(10 \times 33 \times 9 \times 0,75 \times 24 \times 0,60 \times 360)$ .

11.547.360 Kw-H/año de aumento en la posible generación anual.

### HOYA DEL RIOGRANDE

La hoya del Río grande en lo que concierne a este primer proyecto tiene una área aproximada de 1.200 Kms. cuadrados y está si-



Galería de descarga del vertedero

tuada en una región por encima de los 2.100 mts. sobre el nivel del mar, es por lo tanto una región de frecuentes y abundantes lluvias; esto hace que el Río Grande sea un río de régimen muy variable; una breve noticia de ello la pueden dar los siguientes datos:

Caudal mínimo del río 13,0 mts. cúbicos/seg. en febrero de 1948.

Caudal máximo 350 mts. cúbicos/seg. el 28 de abril de 1943.

Los aforos se hicieron lo más cuidadosamente posible, con correntómetro de molinete y para diversas alturas fluviométricas (0,52,



0,62, 0,67, 0,89) que dieron caudales de: 15,24, 17,84, 20,48, 30,29 mts. cúbicos/seg. respectivamente. Con estos aforos se trazó la curva preliminar de caudales y se determinó un nivel correspondiente a 20,00 mts. cúbicos/seg., ese nivel se hizo destacar en el gráfico y se ha observado que pocas veces el río ha estado por debajo del nivel que se adoptó para calcular la capacidad generadora de las centrales.

### Capacidad de las centrales.

Se hizo un estudio partiendo de los gráficos de carga de las centrales que tenía en servicio la Empresa en ese entonces, gráficos que mostraron que podía adoptarse un factor de carga de 0,60. Al proyectar el primer desarrollo se hizo necesario el estudio de un embalse de regulación diaria, que suministrara todo el caudal básico durante 24 horas y que de acuerdo con un factor de carga de 0,60, la capacidad por segundo del embalse, o mejor dicho, el caudal de trabajo fuera de:

$$Q = \frac{20 \times 3600 \times 24}{0.60 \times 24 \times 3600} = 33,33$$

mts. cúbicos/seg., adoptándose un caudal de 33,00.

Para un caudal de 33 mts. cúbicos/seg. y las caídas útiles ya encontradas, dan una capacidad generadora de  $10 \times Q \times H \times 0,75$ , entonces la capacidad de cada desarrollo será:

PRIMERO.....	$10 \times 33 \times 244 \times 0,75 = 60.390$	Kw.
SEGUNDO.....	$10 \times 33 \times 177 \times 0,75 = 43.807$	"
TERCERO.....	$10 \times 33 \times 284 \times 0,75 = 70.290$	"
CUARTO.....	$10 \times 33 \times 178 \times 0,75 = 44.055$	"
TOTAL.....	218.542	Kw.

Esta no viene a ser la última capacidad generadora la cual quedó definitivamente en 250.000 Kw. repartidos así:

Central	Capacidad	Caída útil	Longitud de cond.	Long. tubería carga
Nº 1 Mocarongo	75.000 kw.	310 mts.	4.000 mts.	1.017 mts.
Nº 2 Pan de Azúcar	50.000 "	200 "	3.885 "	697 "
Nº 3 El Mango	75.000 "	312 "	3.185 "	770 "
Nº 4 Cristalina	50.000 "	200 "	3.607 "	427 "

La división de la caída en cuatro representa las siguientes ventajas: Se puede hacer la construcción gradual de los cuatro desarro-



llos a medida que se requieran y sin gastos excesivos iniciales, como serían si se tratara de crear un solo desarrollo para toda la caída con una gran central y una gran longitud de conducción; pero el factor de más peso es la seguridad, pues un daño en uno de los cuatro desarrollos no repercute tanto como uno en el desarrollo único. Cabe anotar que la formación geológica de la región es de carácter reciente.

Las cuatro centrales operan normalmente en serie con agua proveniente de la central anterior, agua que ha sido previamente liberada de materias en suspensión por los tanques desarenadores de la central N° 1; esto tiene gran importancia en la vida de las máquinas, pues un agua cargada de sedimentos desgasta con rapidez los anillos de sello y otras piezas que forman los pequeños espacios libres entre los rodets y las partes estacionarias de una turbina para alta caída y tipo de reacción, como son las que se van a usar en Riógrande.

La operación independiente de cada central se hace necesaria para casos de emergencia; esto se hace con una toma auxiliar provista de dispositivos de sedimentación para materiales gruesos.

Entre centrales 2, 3 y 4 hay depósitos regularizadores de capacidad suficiente para compensar las diferencias momentáneas de carga que puedan ocurrir entre una y otra central.

### **Primer desarrollo.**

"MOCORONGO.—El lugar elegido para la localización de la presa de embalse estaba situado en un principio a más o menos un kilómetro abajo del "Puente Nacional" en la carretera del Norte (Casi exactamente al frente del sitio en donde está situada la Mayoría). El embalse alcanzaba hasta 4 Kms. aguas arriba del eje de la represa.

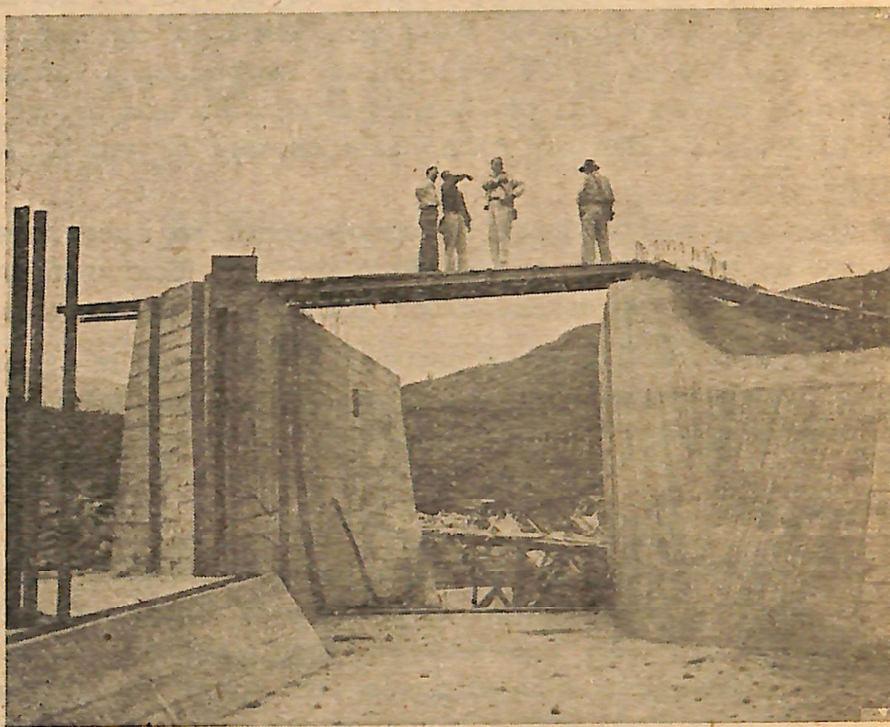
Se continuaba sin embargo estudiando la posibilidad de sacarle mayor partido a la región, ya que la localización de la represa en ese sitio ofrecía dos inconvenientes, a saber:

La represa era de gran costo y de difícil ejecución, pues los trabajos estaban siempre expuestos a las grandes avenidas del río, además de tener que dotarla de vertederos con capacidad para las máximas crecientes. El segundo inconveniente era debido a la gran cantidad de material de acarreo que el río arrastra, se presentaba el peligro de un rápido atarquinamiento en las grandes crecientes. Los estudios que antes se mencionaron, comprendían una región aguas arriba del puente sobre la carretera del Norte. El mayor objeto de los



estudios era buscar una hoya tributaria que permitiera una fácil construcción de la presa y del embalse regulador, que no tuvieran el inconveniente de tenerlos localizados en la hoya principal del río.

Un lugar que por su situación y topografía merece llamarse ideal, fue localizado en la hoya llamada "Quebradona" y que cae al río a unos tres kilómetros arriba del puente. La hoya presenta las características siguientes: estrecha en su parte inferior, ensanchándose a unos 150 mts. arriba de su desembocadura en el río y formando un pequeño valle de fondo más o menos horizontal y rodeado de coli-



Bocatoma — Espacio para compuerta de desfogue

nas de 80 a 100 mts. de altura. En estas condiciones se podría construir el embalse con la capacidad pedida. Otra ventaja "circunstancia casual y extraordinariamente favorable" es: en la parte superior de la hoya desemboca un canal natural, antiguo corredero del río o de un brazo del mismo, que hoy está seco debido a que los mineros, para trabajar la parte superior del río, desviaron su curso. Existe además, en el punto donde el antiguo cauce se separa del actual del río, un lecho de roca dura y sana (Cuarzodiorita, que es la roca constituyente de la región) y a muy poca profundidad del antiguo cauce. Dadas estas circunstancias, éste fue el sitio elegido



para la construcción de una presa de desviación, para así alimentar el embalse. En los antiguos correderos se están construyendo los desarenadores, ya que, como se dijo antes, el río en toda época lleva una buena cantidad de material de acarreo, siendo necesario que el agua que va al embalse llegue lo más limpia posible. Con esta nueva localización del embalse se aumenta la caída útil en 75 mts., la longitud de la conducción en 770 metros y la tubería de descarga en 210 metros, aumentos que quedan muy bien compensados con las ventajas del nuevo proyecto.

El Río grande, formado por el río Grande y el río Chico, abarca una extensa hoya hidrográfica de unos 1.176 Kms. cuadrados, situada al norte de Medellín y en la cual se encuentran los municipios de Belmira, Entreríos, San Pedro y Don Matías. Esta hoya es limítrofe con la hoya del río Guadalupe, calculada en unos 376 Kms. cuadrados, o sea que la extensión de las hoyas está en relación de 3 a 1.

El primer desarrollo está situado en terrenos del municipio de Don Matías, por la carretera del Norte, a unos 60 Kms. de Medellín y a unos 8 Kms. de Don Matías, con una altura promedio sobre el nivel del mar de unos 2.100 mts.; una temperatura media de 16° C, habiéndose registrado bajas frecuentes hasta los 5° C.

El primer desarrollo de RIOGRANDE, como toda obra de esta magnitud, requiere obras e instalaciones de cierta clase y que por sí solas representan una fuerte inversión inicial. Se hizo pues necesario construir edificios para oficinas, almacenes, proveedurías, talleres, hospital, campamentos para ingenieros y obreros, etc., así como la construcción de una red interna de carreteras, el montaje de talleres, planta eléctrica auxiliar y casas para empleados. De estos edificios y obras algunos son de carácter permanente y otros provisionales.

La obra para su construcción se ha dividido en 4 grandes secciones, todas bajo la dependencia de un Ingeniero Jefe; cada sección con un Ingeniero Jefe de Sección y un Ingeniero Ayudante; hay además un Almacenista y un Médico Jefe con su respectivo Ayudante. Toda esta administración depende de la Gerencia de la Empresa de Energía Eléctrica, con asiento en Medellín. Prestan también concurso los departamentos técnico y consultivo de la misma empresa, con sede también en Medellín.

Las secciones en que está dividida la construcción son las siguientes:



PRIMERA SECCION, comprende obras de captación y embalse.

SEGUNDA SECCION, comprende conducción, tanque de equilibrio, transportes y por ahora administración de Mayoría.

TERCERA SECCION, comprende tubería de carga y casa de fuerza, además esta sección ha ejecutado las obras eventuales que para el segundo desarrollo era necesario construir.

CUARTA SECCION, comprende los estudios económico y técnico de las obras que se van a ejecutar de acuerdo con los ingenieros de sección y tiene, además, a su cargo la línea de transmisión.

Podría decirse también que hay una quinta sección y es la que comprende almacén, talleres, plantas auxiliares, etc. La alimentación y campamentos para obreros están bajo la directa administración de cada sección.

#### Edificios.

Ya habíamos mencionado dos clases de edificios, **provisionales** y **permanentes**. A los primeros pertenecen aquellos que sólo se usarán durante la construcción; son: plantas auxiliares, campamentos y algunos talleres. Al segundo grupo pertenecen: hospital, casino, depósitos, proveeduría y algunas casas para empleados. Además la empresa ha contribuido en buena forma a la construcción de una capilla y paga los servicios de un Capellán.

#### Vías.

Los diferentes frentes de trabajo están unidos entre sí por una red interna de carreteras, con especificaciones adecuadas y bastante bien sostenidas en su totalidad. La red tiene aproximadamente 25 Kms. de extensión que de por sí representan una fuerte inversión tanto en construcción como en sostenimiento.

La construcción costó \$ 600.000,00 aproximadamente y su sostenimiento vale \$ 400,00 por Km. y por año. La red, como es lógico, tiene su punto de convergencia en los talleres y almacenes.

### PRIMERA SECCION

Tiene a su cargo la captación y el embalse, que comprenden las siguientes obras principales:

Represa de desviación, cuyo objeto no es más que desviar el cauce del río para así alimentar el embalse. La represa es del tipo de gravedad y tiene vertedero superior, está construída en concreto ciclópeo 40% de piedra y un volumen total de más o menos 1.800 mts. cúbicos; su longitud total es de 49 mts. y su altura es de 7 mts.



En una de las épocas de sequía se construyó una **ataquía** diagonal al curso del río y que tuvo por objeto desviarlo, para así poder construir la primera parte de la presa. Esta parte correspondiente a la margen derecha lleva un **vano** de 5.00 mts. de ancho por 8.33 mts. de altura e incluye una estructura para compuerta vertical.

Cambiando la posición de la **ataquía** se desvió el curso hacia la derecha para que descargara por el **vano** de la parte construída y así poder construir la segunda parte.

Esta segunda parte incluye otro vano para compuerta radial, tipo "Tainter" de 4.50 mts. de ancho y 3.50 mts. de altura; está situada en seguida de la estructura de entrada al desarenador. Esta compuerta tendrá descarga inferior en lámina y su operación incluye el arrastre de los sedimentos que se formen en el piso de la toma en frente a las rejas de entrada. El piso tiene una pendiente hacia la compuerta.

La reja de entrada consiste en rieles horizontales a 20 cm. de separación vertical y que sirven para detener cuerpos flotantes de gran volumen.

La disposición horizontal del enrejado permite la limpieza automática por el flujo de agua a lo largo de la reja; los materiales son arrastrados aguas abajo, pues pueden desplazarse lateralmente sin obstruir la reja.

El vertedero superior de la represa está calculado para 300 mts. cúbicos/seg., con una lámina vertiente de 3.00 mts. de altura.

En la margen derecha del río habrá un vertedero auxiliar para el caso de grandes avenidas.

La parte aguas abajo de la represa estará provista de un zampeado de bloques de concreto que mermarán el poder de erosión de las aguas a la vez que las aquietan y forman un colchón de agua.

### **Desarenadores.**

Sus características principales son:

Longitud total 240 mts. y efectiva de 150 mts. para decantación; ancho 40 mts.

El desarenador está dividido longitudinalmente en dos secciones independientes con el objeto de mantener una en trabajo, mientras la



otra se limpia. Cada sección está provista de muros longitudinales de guía, así como de compuertas radiales de entrada y salida. La limpieza intermitente se adoptó al comprobar en Guadalupe que la limpieza continua, o de sistema "Dufour", se prestaba a frecuentes obstrucciones por deposición de cuerpos semi-flotantes en el fondo del sedimentador, obstruyendo así los orificios que comunican el fondo con el canal de purga, lo que resta eficiencia a la operación.

El desarenador comienza con una pendiente hacia abajo de 4.6% en una longitud de 40 mts., o sea hasta las compuertas de purga. Esta pendiente fuerte permite el arrastre de materiales pesados hacia la zona de purga. Las compuertas de purga son de tipo tubular, con diámetro de 0.86 mts. asiento en el fondo y descarga directa sobre el canal de purga. De la zona de compuertas hacia adelante empieza una contrapendiente del 1.9% hasta la zona de rejillas y compuertas de salida, que es donde empieza la transición con el canal de conducción.

El desarenador es capaz de descargar 40 mts. cúbicos por segundo, con una velocidad media de 20 cm. por segundo.

Se considera que en la longitud efectiva de 140 mts. se depositan todas las partículas de tamaño superior a 0,05 m. m. pasando al embalse sólo partículas coloidales y lodos muy finos.

La limpieza de un sedimentador se verificará abriendo las compuertas de purga, cerrando totalmente las de salida y parcialmente las de entrada. Por el fondo acanalado del desarenador corre una lámina de agua de gran velocidad que arrastra los sedimentos al canal de descarga.

El flujo del desarenador al canal de conducción se regula por compuertas automáticas y que mantendrán constante el nivel de agua.

El canal de descarga del desarenador es de sección rectangular, 2.00 mts. de ancho por 2.50 mts. de altura, una pendiente de 0.75% y desemboca en el río a unos 60 mts. abajo de la represa de desviación. La excavación para los desarenadores es cerca de 8.000 mts. cúbicos.

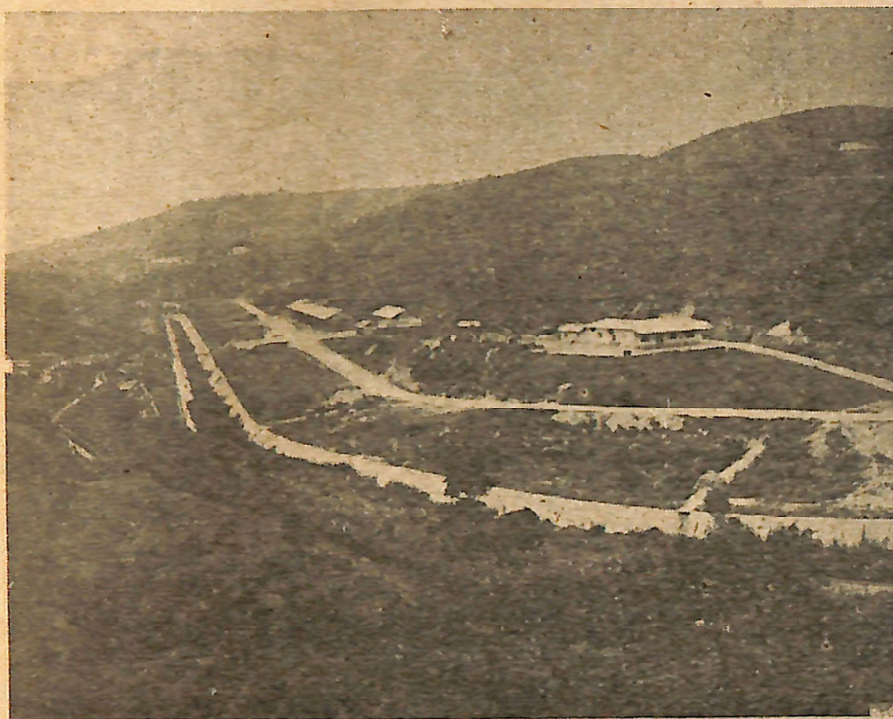
La obra va toda en concreto reforzado.

#### **Canal de conducción.**

El canal que lleva las aguas de los desarenadores al embalse tiene una longitud total de 920 mts., una pendiente del uno por mil,



es de sección trapezoidal, con paredes inclinadas a  $45^\circ$  y 2.40 mts. de base; a una altura de 2.20 mts. corresponde una descarga de 20 mts. cúbicos/seg. y una de 3.00 mts. para la descarga máxima de 40 mts. cúbicos/seg. Con el fin de evitar pérdidas por infiltración y para que estas infiltraciones no pongan en peligro la estabilidad del canal, se ha construido un drenaje a ambos lados y a todo lo largo del canal. Este drenaje va directamente al embalse.



Canal de conducción

Una parte del canal tiene revestimiento de piedra, el cual corresponde a la primera parte construida, pero debido a su alto costo se resolvió cambiarlo por revestimiento de concreto.

El alineamiento del canal contempla curvas de  $2^\circ$ ,  $4^\circ$  y  $6^\circ$ , en cuerdas de 5 mts.

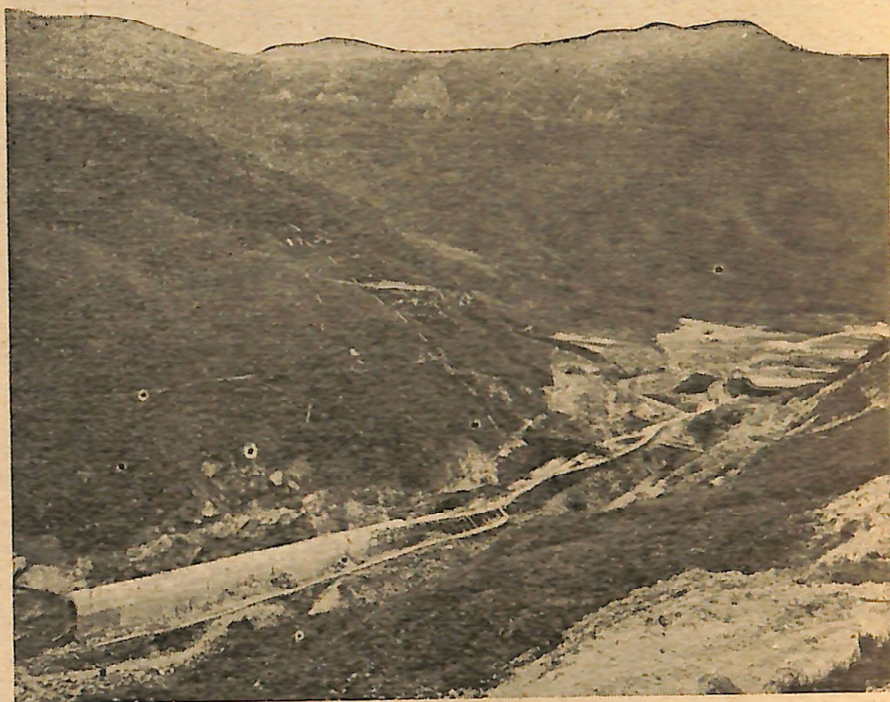
El canal está terminado en su totalidad.

#### **Embalse. — Represa.**

El embalse tendrá una capacidad de 4'300.000 metros cúbicos de los cuales 3'100.000 son efectivos para una regulación quincenal. El nivel de agua máxima está en la cota 2.100 y el de aguas mínimas en 2.085. El área cubierta por el embalse es 28 hectáreas.



Hasta hace unos meses la represa estaba proyectada en roca y tierra con escollera y en la cual se aprovechaban ciertas ventajas para la consecución y transporte de la roca y la tierra, pero debido a que no se contaba con personal experto en la construcción de este tipo de represas y como resultado de una consulta a varios ingenieros americanos, entre ellos William P. Creager, éstos convinieron, después de visitar los trabajos, cambiar por una presa de tie-



Sitio de la represa y galería de la descarga del vertedero

rra apisonada. Esta tendrá las siguientes condiciones: altura 34 mts., longitud de cresta 150 mts. y volumen total del terraplén 200.000 mts. cúbicos.

El embalse tendrá torres de compuertas y vertedero cuya capacidad de descarga combinada es de 220 metros cúbicos por segundo.

La galería de descarga de los vertederos pasa por debajo de la represa, tiene forma de herradura standard, con radio de 3.35 m., una longitud de algo más de 175 mts. y pendiente del 1%. Se vació por tramos de 5 mts. con formaleta montada sobre rieles y articulada para la fácil desencofrada. El canal lleva en ciertos tramos muros cortadores que retardan la velocidad de las aguas de filtración y así



se previene la tubeficación o "piping", que de efectuarse, pondría en peligro la estabilidad de la represa.

Se están estudiando, sobre modelos, los diseños para torres de vertedero. El primero y más antiguo está compuesto de 8 sifones dispuestos en círculo y de cebado a diferentes alturas; estos sifones tienen sus conductos dentro de la torre dispuestos en forma helicoidal a fin de evitar choques y las consiguientes vibraciones. El otro diseño es del tipo de embudo y cresta circular; es de más fácil construcción que el primero y presenta menos peligro de obstrucción que los sifones; pero las vibraciones son mayores debido a las variaciones bruscas de la columna líquida, además los sifones requieren poca fluctuación en el nivel para su operación, lo que aumenta en sí la capacidad efectiva de almacenamiento.

La captación de aguas del embalse se hace por medio de una torre de compuertas que da acceso al primer túnel. La torre tiene una altura aproximada de 28.00 mts. Las compuertas, 2.80 de ancho y 4.20 de altura, son de tipo "Caterpillar" con apoyo de rodillos.

El sistema de conducción está constituido por un conducto circular de 3.35 mts. de diámetro. La longitud de la conducción es de 3.313 mts. en túneles y 580 en descubierto; estos últimos comprenden el paso del río en tres luces de 13.50 mts. c/u. Los túneles están perforados en su totalidad, van revestidos en concreto y llevarán un refuerzo en lámina de acero en tramos que representan el 75% de su longitud total. Estos tubos de acero vinieron al país en secciones de 120° y están siendo acondicionados para su colocación.

Los túneles son rectos en su alineamiento, contemplándose el cambio de dirección en los pasos de los cañones en donde ya se están vaciando los anclajes.

Los túneles tienen una descarga máxima de 33.00 mts. cúbicos por segundo. El primero tiene una pendiente en conjunto, con la parte descubierta antes de pasar el río, de 8%. El segundo y tercero tienen una pendiente ascendente de 0.14% hasta llegar a la línea de caída. Esta pendiente ascendente tiene el objeto de evitar un posible fuerte impacto del agua contra las válvulas en la parte superior de la tubería, lo que podría ocurrir en el llenado de ésta.

La parte más baja de la conducción está en el paso del río y cuya altura piezométrica es de 43 mts. En este sitio se tendrá una válvula de libre descarga para el drenaje de la conducción.



**Chimenea de equilibrio.**

La cámara de equilibrio está situada a unos 90 mts. del final del último túnel, es de tipo diferencial, sección circular, excavada en el terreno con un diámetro de 2.50 mts. y 35 mts. de altura. El tanque va revestido en acero y soldado en el fondo al revestimiento del túnel. La cámara de comunicación entre el túnel y la chimenea interior (3.20 de diámetro) está compuesta de 12 orificios con un área total de 2.40 mts. cuadrados; los orificios están provistos de tapas metálicas removibles, calculándose una regulación satisfactoria con 8 orificios abiertos.

**TERCERA SECCION****Tubería de presión.**

En un principio se montarán 2 tuberías, cada una con una longitud de 1.017 mts. y diámetro de 2.00 en el tercio superior, 1.88 en el medio y 1.73 en el inferior. El espesor en este último es de 35 m. m.

La variación de diámetros se debe a la economía y facilidad de transporte, pues se pueden transportar tres tubos como si fuera uno solo. La capacidad de cada tubería llena es de 11.00 mts. cúbicos por segundo.

La tubería se transportó en secciones de 6 mts. de largo con juntas longitudinales, soldadas eléctricamente y en los extremos en forma de campana para facilitar su unión, lo cual también se hará con soldadura eléctrica. Se proveerán juntas de extensión entre dos anclajes.

La entrada del agua a las máquinas la regulan válvulas de mariposa, provistas de dispositivos de cierre y que actuarán cuando la velocidad del agua en el tubo pase de cierto límite, por ejemplo la rotura de un tubo.

Los tubos se colocarán por medio de un malacate y de una grúa pescante de 25 toneladas y de un radio de acción de 31 metros.

**Casa de fuerza.**

Está situada en el paraje "Mocorongo", en el vértice formado por la confluencia de la quebrada del mismo nombre y el Riógrande. De las tres unidades se montarán dos como primera etapa; la tercera, cuando la demanda así lo exija. La casa de máquinas va distribuída así:



En el piso inferior o sótano, las turbinas con sus válvulas y equipo de regulación; en el piso principal y que está al nivel de entrada, los generadores que irán encerrados por pedestales de concreto situados contra el muro del lado de la descarga de las turbinas; los transformadores irán en la parte exterior al otro lado del mismo muro. Los controles irán en una sala aislada por muros de vidrios y los interruptores, pararrayos y estructura de alta tensión, en el techo de la casa.

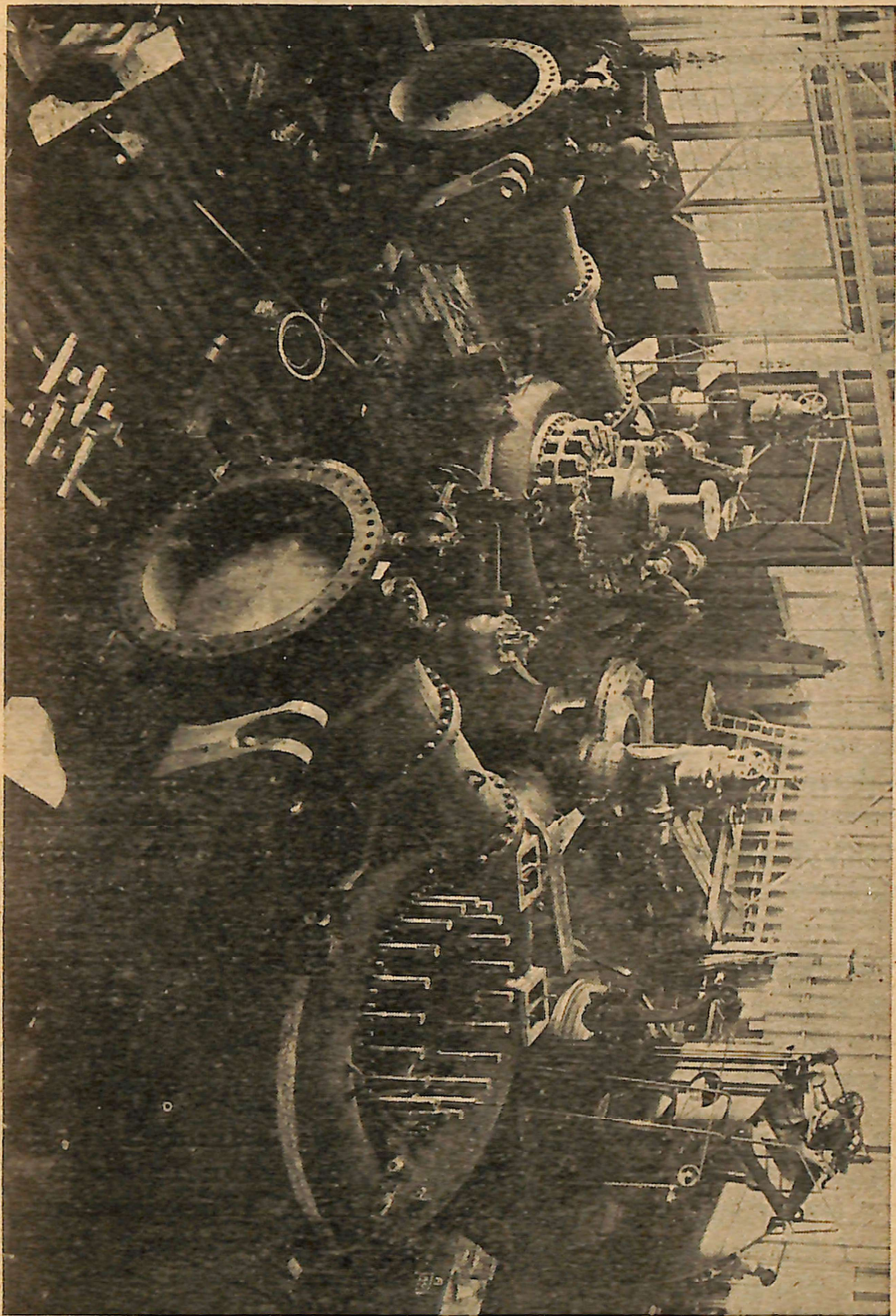
### **Turbinas.**

Fabricadas por la Pelton Water Wheel Co. de San Francisco, California, EE. UU., tipo Francis, de reacción, eje vertical 600 r p. m., caída efectiva 305 mts. y caudal de 11.00 mts. cúbicos por segundo. Capacidad de cada turbina 40.000 H. P., diámetro del rodete 1.74 mts., velocidad específica 24 unidades inglesas, o sea 93.8 unidades métricas; las características de caudal y capacidad están comprendidas en la zona límite de utilización de ruedas de impulso y turbinas de reacción. Resulta interesante la siguiente comparación: Una rueda Pelton de eje vertical, para el caso de Río Grande, necesitaría cuatro inyectoros tangenciales y una rueda de 2.40 mts. de diámetro con unas 300 r p. m. El tipo de reacción para este caso es más eficiente y más compacto que el tipo de impulso; esto lo han comprobado equipos con 20 años de operación. Las turbinas están controladas por reguladores de aceite "Woodward", tipo gabinete, con todos los instrumentos de registro y control, de la turbina y el regulador, montados en el tablero de control de éste.

El caracol de la turbina está comunicado con una válvula de alivio del tipo de aguja, la cual es accionada por el regulador, abriéndose simultáneamente con cualquier movimiento de cierre de las paletas directrices. En esta forma se elimina en gran parte el golpe de ariete que se produciría por un cierre brusco de las paletas.

Los generadores fabricados por la Westinghouse Electric Corp., son de eje vertical, capacidad normal 31.300 K V A, que, con un factor de potencia de 0.80, dan 25.000 Kw. El diseño permite sobrecargar hasta 32.800 K V A y sin elevación perjudicial de temperatura generan a 6.900 voltios, 3 fases y 60 ciclos; los excitadores principal y piloto van acoplados a la prolongación del eje y por encima del generador. Las máquinas van integradas con sus equipos de regulación, ventilación, circulación y enfriamiento del aceite, presión para los reguladores, extinción de incendios, frenos hidráulicos y mecánicos.

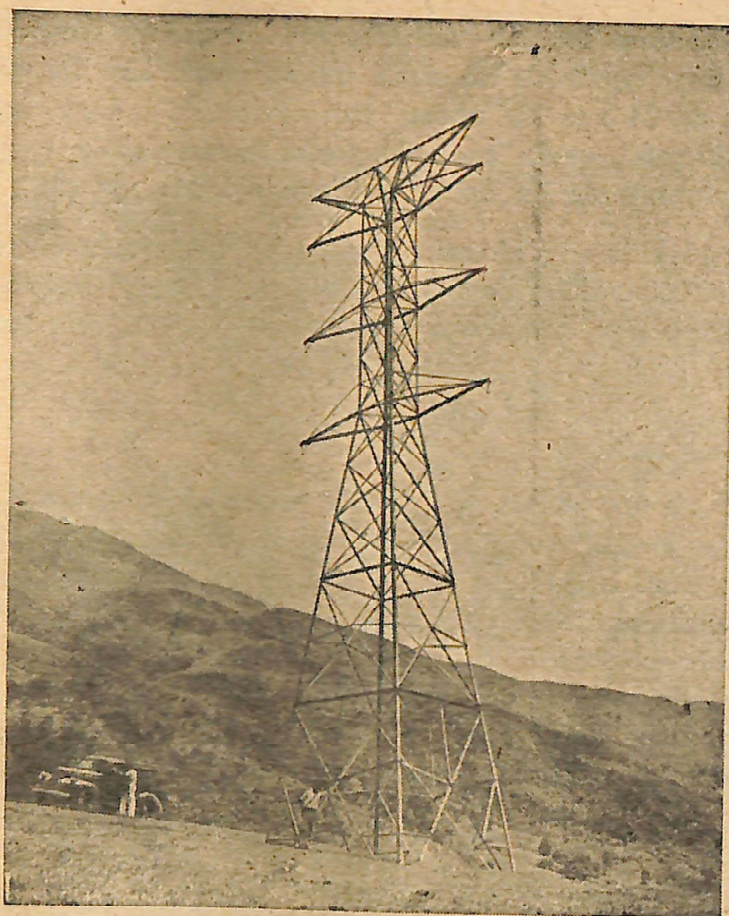




Turbinas durante el montaje de prueba



La casa de fuerza tendrá una grúa puente para 65 toneladas y una auxiliar para 10 toneladas. Habrá además dentro de la misma estación generadora un equipo auxiliar de 500 Kw. para suministrar energía a la estación y auxiliares, en casos de emergencia. Estará también dotada de taller y depósitos.



Una de las torres para la línea de transmisión

El equipo de transformadores, elevadores de voltaje, de 6.900 a 115.000 voltios irán en la parte exterior del edificio, al mismo nivel de los generadores y con longitud mínima de conexión a los mismos; van enfriados por aire, pero llevan un equipo auxiliar de ventilación para el caso de presentarse la máxima sobrecarga de 35.000 KVA por cada banco y con el fin de dar seguridad de inspección al equipo de cuchillas interruptores, pararrayos, barras colectoras, etc.; éstas van montadas en el techo de la casa de fuerza y están comunicados con ésta por un ascensor. Desde el techo se hace directamente la conexión con la línea de transmisión.



### **Línea de transmisión.**

Tiene una longitud aproximada de 48 kms. Se efectuará a 110.000 voltios por dos circuitos trifilares en paralelo con la condición de que uno solo de ellos es capaz de transmitir, sin pérdida excesiva, en caso de emergencia.

Los conductores son de aluminio con lámina de acero de 47.000 miles circulares; cerca de 22 m.m. de diámetro. Las torres de acero galvanizado de 24 mts. de altura, van colocadas a una distancia promedio de 320 mts., están protegidas por líneas a tierra para cada circuito. El montaje de la línea ya llegó a Medellín.

A unos 15 kms. de Medellín habrá un intercambio con la línea actual de 110.000 voltios de Guadalupe; por lo tanto habrá un circuito para Río grande y otro para Guadalupe por cada línea de transmisión.

### **Obras eventuales.**

Atrás habíamos mencionado la construcción de obras eventuales para el segundo desarrollo por parte de la tercera sección; estas obras consisten en una boca-toma y un canal; obras que, como están situadas en terrenos ocupados por la casa de fuerza y otras obras de la Central, era necesario construirlas antes que la casa de fuerza. Tienen el objeto de que cuando por alguna circunstancia no esté trabajando el primer desarrollo, el segundo no se interrumpa, pues las aguas del cárcamo de un desarrollo pasarán directamente a la otra central.

### **Distribución.**

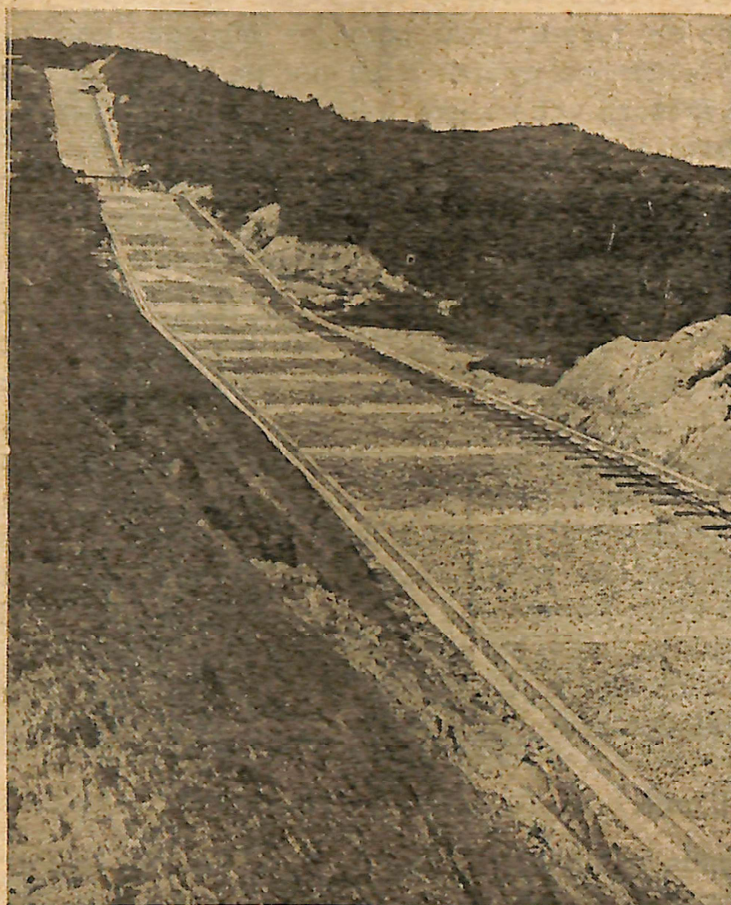
Para la distribución en el valle de Medellín se proyectan dos nuevas sub-estaciones de transformación de 110.000 voltios a 13.200 voltios, para las cuales ya se están recibiendo transformadores y otro equipo. Una de ellas quedará situada al Norte y la otra al Sur de la ciudad, conectadas entre sí y alimentadas independientemente por los circuitos de Río grande y Guadalupe. Con esta disposición se podrá reemplazar el sistema radial de distribución, por el sistema de reja o parrilla, que permite un mínimo de pérdidas y un máximo de eficiencia en el servicio. Se tiene, así, la seguridad casi absoluta de que los 50.000 Kw. de la primera etapa de Río grande sumados a los actuales 40.000 Kw. de Guadalupe, más 10.000 Kw. del ensanche construido, dan un total de 100.000 kw., que podrán ser suministra-



dos a la ciudad y municipios vecinos en servicios sin interrupciones y mediante los requisitos de la técnica moderna.

### Almacén.

Cuando Riógrande esté terminado, se verá que el almacén general legalizó todo, desde un clavo hasta las turbinas y generadores y que todo lo que se iba utilizando tenía su respectiva acta de inser-



Excavación para las tuberías de presión

vible. Si una herramienta en cualquier accidente de trabajo se perdía, se abría una rigurosa investigación para así establecer la responsabilidad y levantar el acta respectiva. Un control cuidadoso de lo que sale y entra a los almacenes de Riógrande es llevado tanto allá como en Medellín y, en un momento dado, se pueden conocer las cantidades existentes de cada artículo, tanto en el alma-



cén como en los sub-almacenes, la forma como se están gastando, sus precios unitarios, etc.

Cada frente de trabajo tiene un sub-almacén, el cual está bajo el control directo del Ingo. de sección y del respectivo inspector.

### **Talleres.**

La dotación de los talleres es excelente, es muy raro el caso de que haya que apelar a los servicios de otros talleres.

Los talleres construyeron el equipo de ventilación para los túneles, el equipo de revestimiento para los mismos, han reparado herramientas y el equipo que se daba por perdido. Actualmente están funcionando fogones económicos a base de fuel-oil para las cocinas de los campamentos; esos fogones están dando el magnífico resultado que dio el que se fabricó por vía de ensayo; su diseño pertenece a la construcción. Cabe también anotar el hecho de que Río grande se mantenía escaso de tornillos comunes, porque la rata de fabricación era inferior a la demanda, pues bien, con piezas inservibles de algunas herramientas se fabricó una máquina para hacer tornillos, la cual, en unas pocas horas, da una existencia suficiente para mucho tiempo, con las consiguientes economías. Esto, de por sí, no es un hecho notable, sino una prueba de que en Río grande se procura aprovechar todo, hasta donde sea posible. El equipo que se usa dentro de los túneles para hacer el cambio de vagonetas cargadas por vagonetas descargadas, fue diseñado y construido en Río grande. Este equipo aprovecha el aire comprimido que abastece los taladros y su resultado ha sido bastante eficiente.

En todos los frentes de trabajo existen pequeños talleres para llenar necesidades urgentes y de poca importancia.

### **Plantas auxiliares.**

Las plantas auxiliares, a más del servicio que están prestando, tienen un pasado interesante.

La planta auxiliar N° 1, antigua planta del Orfanato de Medellín, está instalada en Mocarongo y aprovecha las aguas de la quebrada del mismo nombre. Su capacidad generadora es de 500 Kw. con una caída de 200 mts.

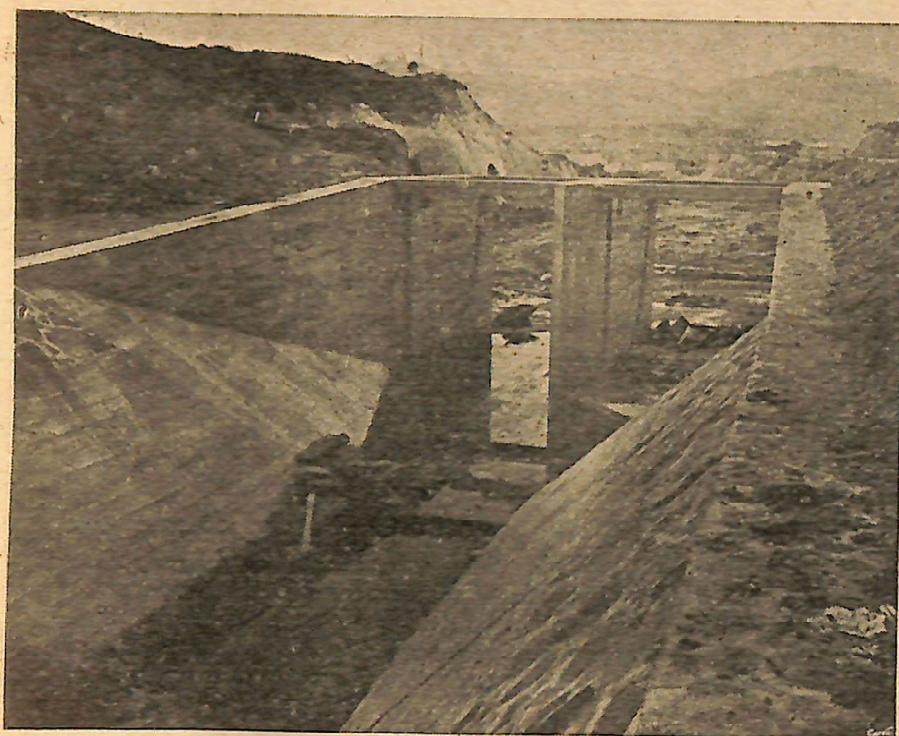
Pronto fue insuficiente la capacidad de la N° 1, y entonces se aprovechó la caída que daba la acequia de una antigua mina, que presta sus servicios a una de las balastreras; este lugar fue Quebradona y está localizado a unos 80 mts. aguas abajo de la represa de embalse.



El equipo eléctrico e hidráulico pertenece a la primera central hidroeléctrica que tuvo Medellín, tiene pues más de 40 años de servicio. Es la antigua planta de Santa Elena y aprovecha una caída de 68 mts.

#### **Balastreras.**

Los agregados gruesos y finos son provistos por dos balastreras: una en Quebradona y otra cerca a la Mayoría. Estos depósitos dan agregados de muy buena calidad y a un precio bastante bajo. Pa-



Salida del tanque sedimentador y comienzo del canal de conducción

ra su extracción se usa el equipo común y corriente de una mina de aluvión y sus resultados han sido más que satisfactorios.

#### **Policía.**

Existe una Inspección de policía, gracias a ella los desórdenes tan comunes en trabajos de esta índole, han sido muy reducidos.

#### **Transportes.**

La Empresa cuenta con un buen equipo de vehículos automotores, aunque a veces es insuficiente debido a la magnitud y celeridad de los trabajos. Para el transporte de la maquinaria pesada de la casa de fuer-



za, la Empresa acaba de recibir cuatro camiones de 10 toneladas de capacidad cada uno, y un remolque de 25 toneladas.

### RESUMEN

En general las especificaciones del primer desarrollo de las Centrales de Río grande se pueden resumir en el siguiente cuadro:

Longitud de la represa de toma	49 mts.
" del tanque desarenador	250 "
" del canal de conducción	920 "
Capacidad del embalse	4'300.000 mts. cúbicos.

#### Represa

Altura de la represa	34 mts.
Longitud de la cresta de la represa	150 "

#### Torre de vertederos

Altura	31 mts.
Diámetro	8 "

#### Canal de descarga del embalse

Longitud	175 mts.
Diámetro	3.35 "

#### Conducción

Longitud de cubierta	580 mts.
" en túneles	3.313 "
Descarga máxima	33 mts. cúbicos/seg.
Capacidad del tanque de equilibrio	3.000 mts. cúbicos.

#### Tubería de presión

Longitud	1.017 mts.
----------	------------

#### Diámetros de tubería

Inicial	2 mts.
Final	1.73 "
Caída utilizable	316 "

Tres turbinas "Francis" de 600 RPM.

Tres generadores de 25.000 Kw., y  
12 polos cada uno

Número de torres en la línea de transmisión 145

Longitud de la línea de transmisión 48 Kms.

#### Servicio sanitario.

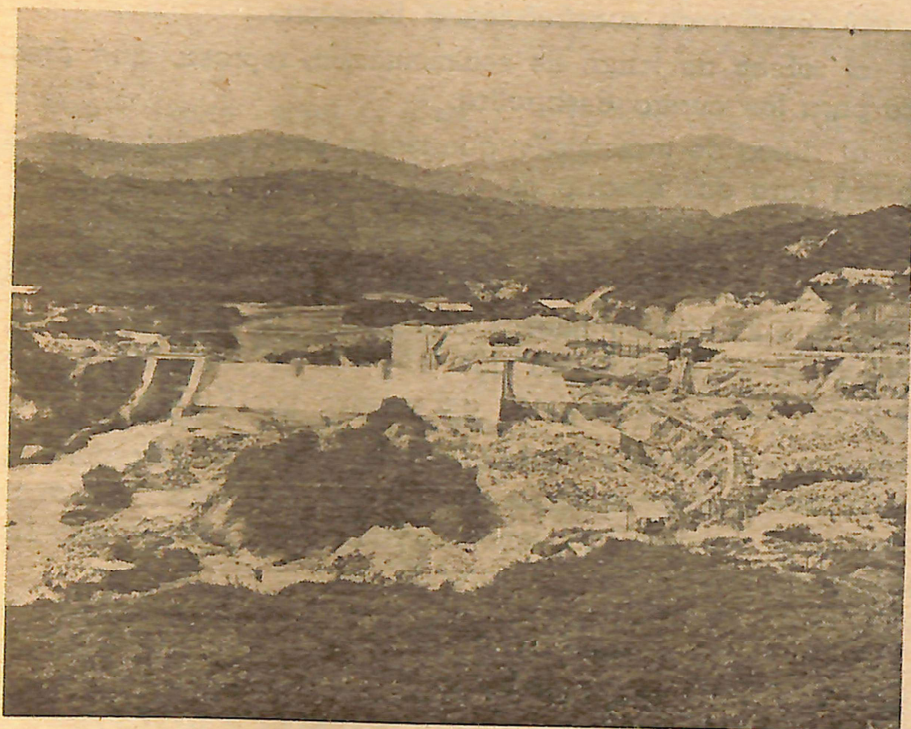
El servicio sanitario es excelente. Está dirigido por un médico jefe y un médico ayudante. Se cuenta con el servicio de una farma-



cia muy bien dotada, y un hospital con 24 camas. Estos servicios son para todo el personal de la obra y para sus familiares.

### **Garantías sociales.**

El personal goza de las garantías sociales prescritas por la ley nuestra sobre trabajo. Actualmente un obrero de Riógrande tiene un salario mínimo de cerca de \$ 100.00 mensuales, incluyendo bonificación mensual. Este es el salario mínimo del municipio de Medellín.



Bocatoma — Muro de derivación

La alimentación suministrada a los obreros es bastante buena dentro de su categoría, pues la Empresa da una ayuda al trabajador en el valor de su alimentación, igual cosa sucede con los empleados que se alimentan en la Mayoría.

### **Finanzas.**

Las finanzas de Riógrande han pasado por épocas difíciles; afortunadamente parece que su financiación está asegurada.

Van gastados algo más de \$ 20'000.000.00 en las obras; cantidad que incluye \$ 7'000.000.00 en maquinaria conseguida en las difíciles circunstancias de una guerra.



Se calcula para la obra un costo total de \$ 36'000.000.00 en el montaje de las dos primeras unidades incluyendo transmisión y distribución; luego \$ 4'000.000.00 en adicionales para el montaje de la unidad restante en este primer desarrollo.

Este primer desarrollo es tan costoso, debido a que tiene obras cuyo costo será luego distribuido total o parcialmente en el de las cuatro centrales, así:

- a) campamentos, talleres y almacenes.
- b) equipo de construcción y transporte.
- c) obras de toma, de sedimentación, represa, que prestarán servicio para los cuatro desarrollos.
- d) línea de transmisión que tendrá una capacidad de 125.000 Kw., o sea para dos desarrollos.
- e) distribución para Medellín y municipios vecinos.

Con esto el costo del Kw. instalado se irá reduciendo en valor, a medida que se monten nuevas unidades y se construyan los otros desarrollos. Se tiene calculado que con ello el costo de generación puede llegar hasta dos décimos de centavo por Kw.-hora producido.

Por último, la obra ha estado dirigida y construida por Ingenieros graduados en nuestra Escuela; sus primeros pasos y financiación se deben a la actividad del Ingo. Horacio Toro Ochoa, cuyo nombre siempre estará vinculado a Río grande.

---