

# Sistema Hidroeléctrico del Río Guadalupe

Por el Ing. Pablo Bravo Restrepo

**Generalidades.**— La concentración industrial del Valle de Medellín, una de las mayores en el país, cuenta con una población total que excede el millón de habitantes. Esta comunidad goza desde hace muchos años de buenos servicios públicos, siendo el de suministro de energía eléctrica uno de los más importantes, el cual fué iniciado en 1897 con el montaje de 150 KW en la planta de Santa Helena. Esta labor fué comenzada por la entidad denominada "Compañía Antioqueña de Instalaciones Eléctricas", que más tarde pasó a ser de propiedad municipal para convertirse en lo que es hoy una entidad autónoma de servicio público, denominada "Empresas Públicas de Medellín".

La instalación ha sido aumentada progresivamente alcanzando 25.700 KW en 1939 y a fines del presente año cuando se ponga en operación la Unidad 6 de Guadalupe III, totalizar 443.000 KW.

Este aumento de capacidad se debe a la creciente demanda de energía de la ciudad de Medellín y sus áreas vecinas, cuyo crecimiento es del 11.1% anual.

El grupo generador de mayor importancia en el sistema eléctrico de las Empresas es actualmente el del río Guadalupe, que cuenta con una capacidad nominal instalada de 356 MW distribuidos en cuatro plantas, así:

Guadalupe I	40 MW
Guadalupe II	10 MW
Guadalupe III	270 MW
Troneras	36 MW

**Sistema del río Guadalupe.**— El sistema del río Guadalupe cuyas plantas están situadas a unos 120 Km. de Medellín por carretera (Figura 1) utiliza las aguas del río del mismo nombre y aprovecha en las plantas de Guadalupe I, y III una caída bruta de aproximadamente 554 m, conocida como el Salto del Río Guadalupe. El desarrollo de esta caída se inició a fines del segundo decenio del siglo presente con la instalación de los primeros 10.000 KW en la Central de Guadalupe I, la que se aumentó gradualmente hasta completar un total de 40.000 KW. Desde esa época se contemplaba la posibilidad de un aprovechamiento adicional por medio de una nueva central localizada en las vecindades de la primera de ellas.

En 1949 fue puesta en servicio la planta de Guadalupe II, localizada 1.7 Km aguas abajo de la planta de Guadalupe I, con una capacidad instalada de 10.000 KW en una sola unidad. Esta central utiliza el

caudal proveniente de la planta de Guadalupe I y aprovecha una caída total de 160 mts.

En 1954 se iniciaron los estudios definitivos para el ensanche de la capacidad generadora de las plantas de Guadalupe con base en un aumento de su caudal utilizable, por medio de una regulación del mismo mediante los embalses de Troneras (49 millones de metros cúbicos) y Miraflores (150 millones de metros cúbicos) y por aportes adicionales del caudal de dos hoyas hidrográficas adyacentes, mediante la desviación de los río Tenche y Concepción hacia el Guadalupe (Figura 2). Esto permitió la instalación de 6 unidades en una central denominada Guadalupe III, con una capacidad de 270 MW, y de dos unidades en la central de Troneras con capacidad total de 36 MW. Esta última central aprovecha la diferencia de altura creada entre el nivel del agua de la presa de Troneras y la captación para las plantas del Salto de Guadalupe.

**Geología.**- El área del proyecto está casi totalmente localizada sobre un gran cuerpo intrusivo llamado el Batolito Antioqueño. Solo aparecen algunas pequeñas zonas remanentes de las rocas metamóficas encajantes en las cabeceras de los ríos Tenche y Concepción y en el cañón del río Guadalupe, aguas abajo del Salto del mismo nombre.

Los minerales más abundantes en la roca que forman el batolito son: plagioclasas, ortosas cuarzo, hornblenda y biotita. La plagioclasa es el mineral más abundante, generalmente por encima del 40% del total de la roca. El contenido de ortosas en la roca determina su clasificación como tonalita o granodiorita. El cuarzo se halla presente en casi todas las muestras, su desaparición indica una contaminación del plutón o rocas encajantes. La biotita se halla presente en cantidad del 5 al 15%. La hornblenda forma con la biotita los máficos más notorios de la roca y es más abundante en las zonas menos siliceas.

En la región vecina a Guadalupe, predomina el tipo granodiorita. El grano es medio en la zona de Troneras y fino en las vecindades del Salto de Guadalupe, en donde está muy próxima la zona de contacto.

Los datos que se tienen respecto a la edad absoluta del Batolito Antioqueño tienden a localizar los plutones de la Cordillera Central en el Cretáceo medio a superior.

**Topografía.**— Topográficamente, la región puede considerarse como una extensión de la penillanura o meseta de ovejas en la cual el ciclo erosivo ha alcanzado a llegar a una etapa media de madurez. Se anota, sin embargo, que por posibles levantamientos subsecuentes, el río y sus afluentes han cortado cañones estrechos, con profundidad de unos cincuenta a cien metros, y con valles angostos en el fondo.

Por la edad avanzada de las formaciones, y por las características del clima, la meteorización de las rocas ha alcanzado en general bas-



tante profundidad. La roca sana aflora solamente en escasos sitios, en el lecho de algunos afluentes al Guadalupe, y en el propio Salto de Guadalupe.

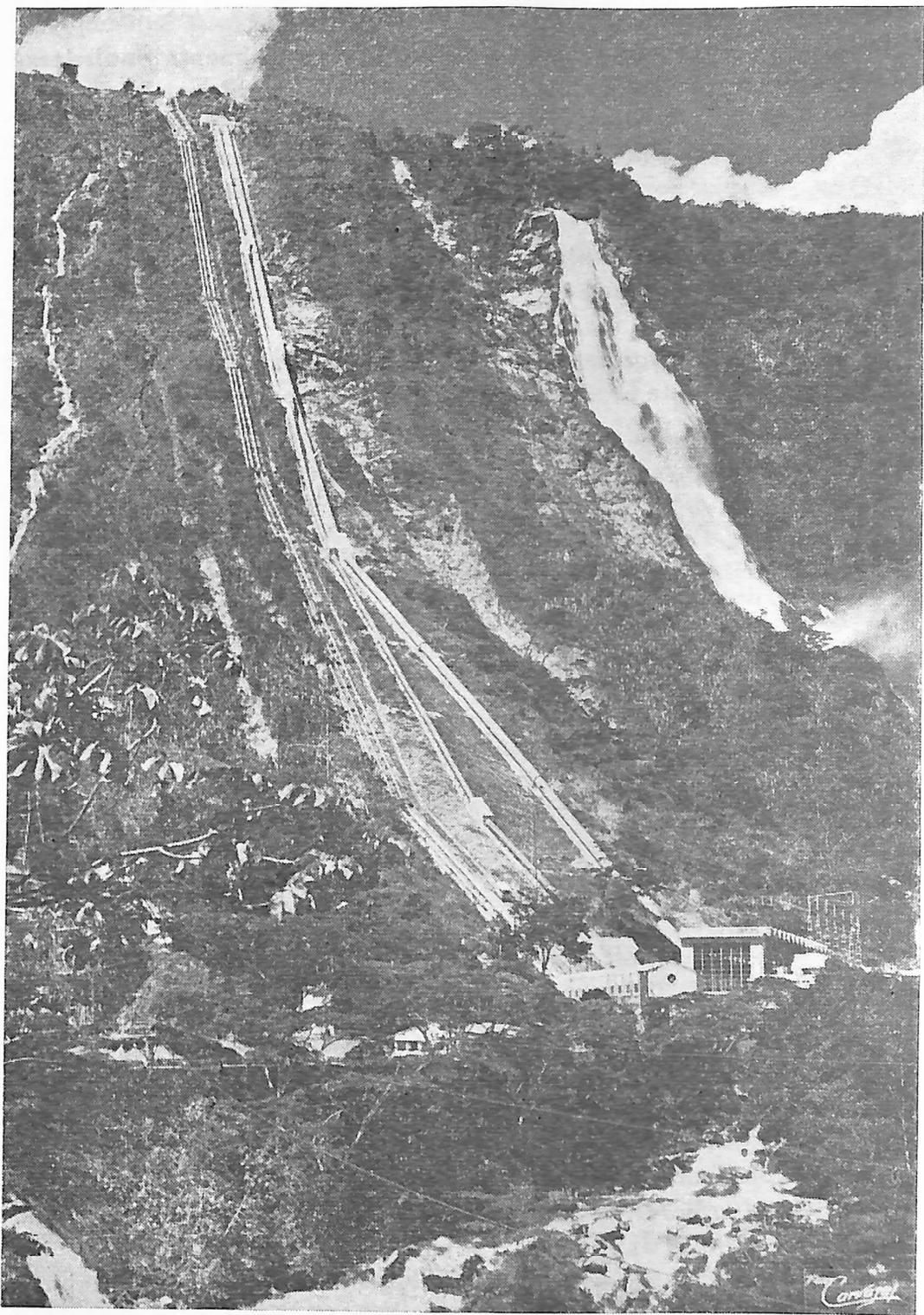
Se encuentran derrumbes en profusión, especialmente en laderas pendientes del cañón del río y de algunas quebradas. Se combinan para acentuar el desarrollo de los derrumbes varios factores, tales como la profundidad de descomposición de las rocas, lo marcado de las pendientes en algunas zonas, el alto contenido de arcilla del material superficial que favorece la retención de la humedad, la poca resistencia estructural que ofrecen las capas superiores del manto residual y la alta precipitación en el área.

**Condiciones climáticas.**— Los períodos de lluvias están bastante bien definidos durante el año, con un período seco de mediados de Diciembre a mediados de Abril, y otro medianamente seco en los meses de Julio y Agosto. El promedio de precipitación durante los cuatro meses secos sobre el área de Guadalupe es de alrededor de 550 milímetros para un total de precipitación anual de unos 3350 milímetros. La precipitación promedia anual en la hoya del río Tenche es de unos 2750 mm aproximadamente.

Los caudales diarios promedios de los ríos del área son aproximadamente: Río Guadalupe 21,5 m<sup>3</sup>/seg, Río Tenche 5.0 m<sup>3</sup>/seg y Río Concepción 5.4 m<sup>3</sup>/seg.

**Descripción del sistema.**— El sistema hidroeléctrico del río Guadalupe se muestra en la figura 2 y está formado por la Represa de Miraflores sobre el río Tenche, la presa de desviación de Tenche sobre el río del mismo nombre, el túnel de desviación Tenche-Troneras, la planta hidroeléctrica de Troneras y las plantas hidroeléctricas de Guadalupe I, II y III.

**Represa de Miraflores.**— La presa de Miraflores está constituida por un terraplén compactado con un volumen ligeramente mayor de un millón de metros cúbicos y una altura de 55 metros sobre el lecho del río y de 63 metros sobre la parte más profunda de la fundación. La presa está localizada en el río Tenche, inmediatamente aguas arriba del Salto de Miraflores, a unos 115 kilómetros por carretera desde la ciudad de Medellín. Controla un área de drenaje de 71 kilómetros cuadrados por medio de un ensamble de 150 millones de metros cúbicos de capacidad, de los cuales 140 millones corresponden a la capacidad útil. En las figuras 3 y 4 se muestra la disposición general de las obras y secciones típicas de la misma.

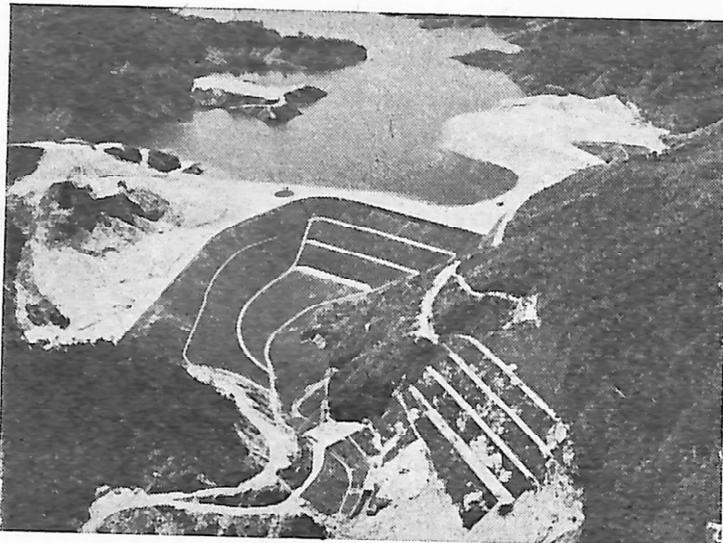


Tuberías de Presión de Guadalupe I y III  
El Salto del río Guadalupe

El objeto de la presa es regular el caudal del río Tenche para su desviación posterior a la hoy a del río Guadalupe, en donde es utilizado para generación de energía en las plantas de esta hoy a. Aunque las obras fueron diseñadas en tal forma que permitiesen la instalación futura de una planta hidroeléctrica para aprovechar una caída bruta de unos 200 metros, actualmente no se cuenta con facilidades generadoras, pues el objeto inmediato de este embalse es complementar durante períodos de estiaje el volumen de almacenamiento del embalse de Troneras, sobre el río Guadalupe, que se describe más adelante.

La desviación del río para construcción de la presa se hizo por medio de un túnel de 2.30 metros de diámetro, el que una vez finalizada la construcción se utilizó como túnel de descarga para el vertedero de la represa. Este es del tipo de embudo, tiene un diámetro de entrada de 4.0 metros y está conectado a un pozo vertical de 2.30 metros de diámetro. Por razón de que el área cubierta por el embalse es de unas 800 hectáreas, y el área de drenaje del río Tenche aguas arriba de la presa es de sólo 71 kilómetros cuadrados, el embalse tiene un efecto regulador apreciable sobre las crecientes del río, lo que hace que para la "Máxima Creciente Posible" la descarga por el vertedero apenas lleve a unos 30 metros cúbicos por segundo. La descarga del caudal regulado en el embalse se hace por medio de un túnel a presión, provisto en el extremo de aguas arriba de una estructura sumergida y en el extremo inferior de una válvula de regulación del tipo de chorro hueco, o cono fijo, diseñada para descargar  $18.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ . cuando el embalse se encuentre a su mínimo nivel. Para efecto de reparaciones y mantenimiento de la válvula de regulación, se instaló una compuerta deslizante en un punto intermedio entre la captación y la descarga del túnel de regulación.

Como hecho destacado en relación con la construcción de la obra, cabe mencionar las altas presiones de poros que se desarrollaron durante la compactación del terraplén, las que alcanzaron valores excepcionales.



Represa de Miraflores

cionalmente altos, quizás únicos para una presa de este tipo. Para la construcción del terraplén se utilizaron limos arenos-arcillosos provenientes de la meteorización de la roca predominante en la zona. Estos corresponden a suelos lateríticos, de densidad baja ( $1.4 \text{ tons/m}^3$  con base en el peso seco), que tienen la característica especial de que se encuentran en las áreas de préstamo con humedades naturales que sobrepasan la humedad óptima correspondiente al ensayo Proctor Standard. Dadas las condiciones climáticas de la zona, el terraplén sólo puede de ser colocado durante la estación seca de tres meses que se presenta a principios de cada año: aunque originalmente se había programado la obra en tal forma que el terraplén se colocase en dos estaciones secas de dos años consecutivos, se presentaron demoras en la desviación del río que hicieron necesario colocar la totalidad del terraplén durante una estación seca de tres meses. Por razón del alto contenido de humedad de los materiales del préstamo y de la rápida rata de colocación del terraplén, entre otros factores, se presentaron altas presiones de poros, que en algunos puntos alcanzaron el 100% de la presión total producida por el lleno. Esto, como era de esperarse, disminuyó apreciablemente la estabilidad del terraplén durante el período de construcción. Sin embargo, estas condiciones habían sido previstas, y al efecto se instaló en el terraplén un sistema de piezómetros del tipo utilizado por el U. S. Bureau of Reclamation, que permitió el control permanente del lleno durante el período de construcción, y que ha mostrado como van disipándose las presiones de poros y como ha mejorado día a día la estabilidad del terraplén.

La construcción de la presa de Miraflores se inició en Noviembre de 1962 y se terminó en Septiembre de 1965, con un costo total de cerca de 40 millones de pesos. El diseño de la obra fue ejecutado por la firma Integral Ltda. con asesoría de la firma Norteamericana Gannett Fleming Corddry & Carpenter, Inc. La construcción se adjudicó por licitación pública internacional a la firma Ingresa Taylor Woodrow (Overseas) Ltd. y la financiación de esta obra, como la de las demás obras que constituyen el sistema hidroeléctrico de Guadalupe, se logró mediante aportes propios de las Empresas Públicas de Medellín y de empréstitos que a esta entidad otorgó el Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento.

**Obras de Desviación del río Tenche.**- Estas obras se construyeron con el propósito de desviar las aguas del río Tenche y de su afluente, el río Concepción, al embalse de Troneras. Están constituidas por: Una pequeña presa de concreto del tipo de arco-gravedad y un túnel de 4.265 mts, con su correspondiente estructura de captación y disipador de energía en el extremo de aguas abajo (Figura 5).

**Obras de Presa.**- La presa es del tipo de arco-gravedad y está to-

talmente fundada en roca. Toda la fundación fue impermeabilizada a base de una cortina de inyecciones de cemento. La presa tiene una altura promedia de 18 mts. y su espesor varía desde 4.80 mts. en la base hasta unos 2.00 mts. en la cresta para un volumen total de concreto de 3050m<sup>3</sup>.

La presa tiene un radio constante de 23.87 mts. con un ángulo central de 100°. La longitud de la cresta es de 42 mts. (fig. 6).

Con el doble propósito de desviar el río Tenche durante el período de construcción de la presa y permitir limpieza periódica del embalse una vez terminada la obra, se construyó un túnel de desviación en el contrafuerte derecho de la presa, con una longitud de 59 mts. provisto de una estructura de captación con sus correspondientes compuertas para control del flujo. El túnel fue excavado en roca y está revestido en concreto reforzado. Tiene una sección rectangular con techo circular que da un área total de 20.85 mts. cuadrados y permite descargar unos 150 m<sup>3</sup>/seg. Para su construcción fue necesario excavar 1.330 m<sup>3</sup> de roca y se colocaron 490 m<sup>3</sup> de concreto.

**Túnel de Desviación.**- El túnel de desviación tiene una longitud de 4256 mts, de los cuales unos 230 mts. fueron excavados en tierra y el resto en roca del tipo cuarzo-diorita, predominantemente sana. Fig. 7.

En sus primeros 210 mts. la pendiente es de 0.44% y en este punto la pendiente cambia a 0.5704%. Se utilizaron en el túnel tres secciones diferentes, dos de la cuales tienen revestimiento permanente en concreto reforzado y fueron utilizadas en los extremos del túnel, en donde éste cruza las zonas meteorizadas adyacentes a la superficie del terreno, en una longitud total de 530 mts. El resto del túnel no tiene revestimiento, pero en algunas zonas se cubrió la roca con mortero aplicado neumáticamente, gunita, para protegerla contra meteorización y alteración química.

La sección predominante del túnel tiene un área aproximada de 9 mts. cuadrados y funciona en condiciones de flujo libre para una capacidad aproximada de 18.5 mt<sup>3</sup>/seg.

Los volúmenes de obras en el túnel fueron los siguientes:

Excavación en tierra	2.380 m <sup>3</sup>
Excavación en roca	42.917 m <sup>3</sup>
Soportes metálicos	307 tons.
Concreto de revestimiento (en los 530 mts. revestidos)	3.420 m <sup>3</sup>

Las obras fueron diseñadas por Integral Ltda. de Medellín, con asesoría de Gannett Fleming Corddry & Carpenter Inc. de Harrisburg Pensilvania U.S.A. Fueron construidas por la Compañía Norconstrucción Noreno Brasil S.A. de Noruega y financiadas por la Empresas Pú-

blicas de Medellín, mediante un empréstito obtenido del Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento. El costo total de estas obras fue de unos 13 millones de pesos en la fecha de terminación diciembre de 1962.

**Represa de Troneras.-** La represa de Troneras está localizada sobre el río Guadalupe, a unos 2 Km. aguas arriba de la bocatoma para las plantas del mismo nombre. Fue construida con el objeto de regular el caudal de este río y de las aguas que se derivan de los ríos Tenche y Concepción, para operación de las plantas de Troneras y Guadalupe I, II y III.

El conjunto de las obras de la represa está constituido básicamente por un terraplén compactado, un vertedero de caída libre, y un túnel, que durante el período de construcción se utilizó para desviación del río y una vez terminadas las obras como túnel de presión para alimentar la planta de Troneras y para regular el caudal utilizable en las plantas de Guadalupe (Figura 8).



Central Hidroeléctrica de Troneras: Represa y casa de Máquinas.

La presa propiamente dicha tiene una longitud en la cresta de 350 mts. y una altura máxima de 35 mts. Está fundada sobre suelo residual y está constituida por un terraplén de limos arenosos y roca descompuesta, provisto de un sistema de drenaje constituido por una cortina vertical de material granular que descarga a un colector de grava

protegido con material de filtro, que drena hacia el extremo de aguas abajo de la presa como se muestra en la figura 9.

Como en el caso de la presa de Miraflores, durante el período de construcción los piezómetros instalados en el terraplén mostraron que se estaban presentando presiones de poros altas y peligrosas. Estas presiones alcanzaron valores superiores a los esperados, ya que en el diseño de la obra se había considerado la construcción del terraplén durante dos períodos secos de tres meses espaciados entre si un año, lo que no se cumplió pues debido a demoras en la construcción del túnel de desviación fue necesario colocar la totalidad del terraplén durante un período de solo dos y medio meses. Ante el problema resultante de la alta presión de poros había dos alternativas a seguir; la primera consistía en disminuir la rata de colocación del terraplén y aplazar un año la terminación de la presa, lo que a más de ser costoso hubiese implicado una demora en la iniciación de la operación de las nuevas unidades hidroeléctricas que se habían instalado en la planta de Guadalupe. La segunda, que fue la adoptada, consistió en colocar contrapesos de material no seleccionado proveniente de las excavaciones, tanto en el lado de aguas arriba como en el lado de aguas abajo de la presa. Esto mejoró la estabilidad del terraplén, compensando así la disminución resultante de la alta presión de poros. En la figura N° 9 puede verse la sección del terraplén y la de los contrafuertes. El volumen del lleno compactado es de un poco más de un millón de metros cúbicos y el de los contrafuertes del orden de 130.000 m<sup>3</sup>.

El vertedero de la presa está constituido por un canal rectangular de concreto reforzado, provisto de un azud de tipo convencional a la entrada y de un deflector del flujo en el extremo de aguas abajo. Tiene una longitud de 187 metros y fue diseñado para una descarga de 555 m<sup>3</sup>/seg. La mitad superior del vertedero está fundada en suelo residual y la mitad inferior en roca.

El azud del vertedero tiene una longitud de cresta de 42 mts. y deja un margen libre entre la cresta de éste y la de la presa de 5.50 mts. En la construcción de la estructura se emplearon 8.000 m<sup>3</sup> de concreto.

La torre de captación está localizada en el lado norte del embalse, a unos 130 metros del contrafuerte izquierdo de la presa y tiene acceso desde la carretera a través de un puente en concreto y acero de 52 metros de longitud. Es una estructura de concreto reforzado de 46 metros de altura y está fundada sobre roca. La torre está equipada con dos compuertas para cierre del túnel, del tipo de rodillos, de 3.00 m x 5.50 m, y de una compuerta de emergencia del tipo de tablero, de 3.50 x 8.24 m. Para mantenimiento de los equipos y operación de la com-

puerta de emergencia se cuenta con una grúa móvil de 20 toneladas de capacidad. El volumen total de concreto en las obras de la captación es de unos 5.400 m<sup>3</sup>.

La torre de captación está conectada a un túnel circular de 4 metros de longitud que fue utilizado para desviación del río durante la construcción de la presa y que actualmente sirve para alimentar la planta de Troneras y desviar el caudal requerido por las plantas de Guadalupe. (Figura 10). La primera parte del túnel tiene una inclinación de treinta grados y la parte restante una pendiente del 1%. Con excepción de los últimos 20 metros del túnel que están provistos de revestimiento metálico por razón de la poca cobertura de roca, la parte restante fue revestida con concreto reforzado.

En el extremo inferior del túnel se diseñó una bifurcación; una de sus ramas alimenta las unidades de la planta de Troneras mientras que la otra está provista de una válvula de regulación del tipo de cono fijo que sirve para regular las aguas del embalse de Troneras y alimentar las plantas de Guadalupe cuando aquella no está en operación.

La obra fue diseñada por Integral Ltda. de Medellín con la asesoría de Gannett Fleming Corddry & Carpenter Inc. de Harrisburg, Pensilvania. La construcción se adjudicó por licitación internacional al consorcio de las firmas Brown and Root-Utha Construction Co., habiéndose asignado la ejecución del trabajo a la primera de ellas. La presa se dió al servicio a fines de 1962 con un costo total alrededor de 32 millones de pesos.

**Central Hidroeléctrica de Troneras.-** Aprovechando una diferencia de nivel de alrededor de 90 metros entre el embalse de Troneras y la cota de la captación para las plantas de Guadalupe, se construyó la Central de Troneras, localizada a la salida del túnel de regulación de la presa del mismo nombre. Como etapa inicial se instalaron en esta planta dos unidades de 18.000 KW y posteriormente se agregará una tercera de igual capacidad, para completar así un total de 54.000 KW, para un caudal de 75 metros cúbicos por segundo.

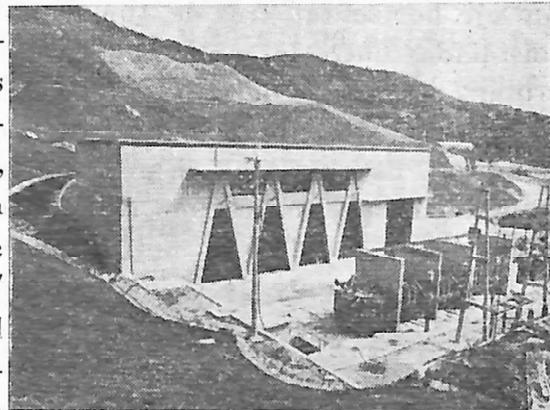
La casa de máquinas está alimentada, como se indicó anteriormente, por un ramal de la bifurcación construida en el extremo del túnel de la presa de Troneras. El edificio en sí está constituido por una estructura de concreto reforzado de 15 metros de ancho, 40 metros de largo y una altura total de 29 metros. Consta de dos pisos principales, el de turbinas y el de generadores, a más de un mezanine para acceso a las excitadoras de las unidades. La sala de montaje se encuentra en el extremo oriental de la planta, al mismo nivel del piso de generadores y del patio de transformadores, adyacente a la Central (Fig. 11 y 12).

**Equipos.-** Las turbinas son del tipo Francis de eje vertical, para una velocidad de 300 rpm y una capacidad de 28.750 CV, con una caída neta de 82.90 metros y una descarga de 28.70 metros cúbicos por

segundo. A la entrada de cada unidad se instaló una válvula de mariposa de 2.40 m de diámetro, operada por servomotores de aceite. Los reguladores de velocidad son del tipo hidráulico, de actuador de gabinete. Para limitar la sobrepresión en el túnel de alimentación de la planta y en el distribuidor de ésta a un 10% de la máxima presión estática, cada turbina está provista de una válvula de alivio de operación sincrónica, con capacidad de descarga igual a la de la turbina. Las turbinas fueron fabricadas por la firma japonesa Hitachi Ltda. y los reguladores por Woodward Governor Co. de los Estados Unidos de América.

Los generadores, también fabricados por Hitachi Ltda. son de eje vertical, directamente acoplados a las turbinas y tienen una capacidad nominal de 21.200 KVA para un aumento de temperatura de 60 grados, y de 24.400 KVA para un aumento de 80 grados centígrados sobre la base de una temperatura del aire a la salida de los refrigeradores de 40 grados. Los generadores fueron diseñados para 60 ciclos, tres fases, tensión de generación de 6.900 voltios y devanado en estrella, y están provistos de ventilación cerrada y forzada, con refrigeración de agua.

Los dos grupos generadores están conectados a un banco de tres transformadores monofásicos, fabricados por la firma Suiza Oerlikon, con una relación de transformación de 6.6/115 KV. La capacidad de cada transformador es de 12.500/15.667 KVA. Su construcción es del tipo sumergido en aceite y tiene enfriamiento natural con ventilación forzada.



Casa de Máquinas de Troneras

La Central de Troneras fue diseñada para control remoto desde la subestación El Salto por medio de equipo del tipo de preselección, fabricado por Brown Boveri de Suiza pero también puede ser operado localmente desde los tableros de control instalados en el piso de generadores.

La planta entró en operación a principios de 1965. La construcción de las obras civiles fue encomendada a la firma Ingeniería y Construcciones, y el diseño fue ejecutado por Integral Ltda. de Medellín, con asesoría de Gannett Fleming Corddry & Carpenter, Inc. de los Estados Unidos. El costo de la casa de máquinas, excluyendo las obras comunes de la Represa de Troneras, fue de 1.5 millones de dólares y 19.5 millones de pesos. Como las demás obras de Guadalupe la finan-

ciación en moneda extranjera se logró mediante un empréstito del Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento.

**Plantas de Guadalupe I y III.**- En las vecindades de la población "El Salto," el río Guadalupe tiene una caída de más de 500 metros que constituye la característica más importante de la hoya, que permite la instalación muy económica de un bloque apreciable de capacidad hidroeléctrica. Este salto fue utilizado por primera vez para generación de energía en 1932, cuando se instaló la planta de Guadalupe I, con una capacidad de 10 MW, que fue gradualmente incrementada hasta alcanzar 40 MW en 1944. Durante la última década se elaboraron los estudios para ampliar la capacidad de las plantas de Guadalupe, a fin de utilizar las magníficas oportunidades del salto del mismo nombre, mediante una regulación del caudal del río. En 1959 se inició la construcción de la nueva planta de Guadalupe III, para una capacidad nominal de 270 MW, cuya construcción se terminó a principios de 1966, habiéndose iniciado el servicio con las dos primeras unidades instaladas en 1962.

**Planta de Guadalupe I.**- La planta de Guadalupe I tiene una capacidad de 40.000 KW distribuidos en cinco unidades de tipo Pelton de eje horizontal, tres de 10.000 KW, y dos de 5.000 KW, que fueron instaladas entre los años 1932 y 1944. La planta utiliza un caudal de  $10 \text{ m}^3/\text{seg}$ . que se deriva del río Guadalupe por medio de una bocatoma y un túnel de captación de 2.00 metros de diámetro y 66 metros de longitud. Este termina en una cámara de válvulas, de donde salen tres tuberías de presión de 956 metros de longitud, dos de ellas con un diámetro promedio de 0.77 metros y la tercera de 1.05 metros (Fig. Nº 13).

Originalmente, la planta estaba provista de una subestación elevadora en las vecindades de la casa de fuerza, la que tenía un banco de transformadores, enfriados por agua, por grupo generador. Cuando se construyeron las obras de Guadalupe III se inició la modernización de la antigua planta, como resultado de la cual la subestación original fue sustituida por un solo banco de tres transformadores monofásicos, enfriados por aire, con una relación de transformación de 6.6/115 KV. Como parte de la modernización, se está instalando actualmente en esta planta un sistema de telemedida del tipo de preselección para supervisión a distancia de la planta desde la subestación El Salto.

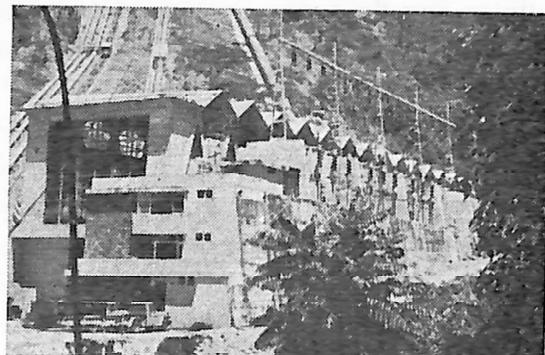
**Planta de Guadalupe III.**- La planta de Guadalupe III, como atrás se indicó, tiene una capacidad nominal de 270 MW, siendo por consiguiente la mayor de las plantas que componen el sistema hidroeléctrico del río Guadalupe. El proyecto está constituido por una bocatoma y túnel de captación, dos tuberías de presión y la casa de máquinas, además de un patio de maniobra y edificio de comando, conocidas como la subestación "El Salto", localizada en la parte alta del Salto del río Guadalupe.

La bocatoma es una estructura de concreto reforzado localizada un poco aguas arriba de la vieja bocatoma para la planta de Guadalupe I, que está provista de rejas coladeras y de dos compuertas de ruedas de 4.95 por 5.10 metros cada una. La bocatoma comunica directamente a un pozo vertical de 40 metros de profundidad y 4.0 metros de diámetro, el que continúa en un túnel horizontal del mismo diámetro y de 172 metros de longitud. Tanto el pozo como el túnel fueron totalmente revestidos en acero y éste tiene en el extremo de aguas abajo una trampa para recolección de grava y de una trifurcación que termina en una cámara de válvulas para cierre de emergencia de la tubería de presión.

Para alimentación de la planta se cuenta con dos tuberías de presión para una presión estática de 554 metros. La primera de ellas que alimenta las dos primeras unidades fue instalada en 1962, mientras que la segunda, que alimenta las cuatro unidades restantes, fue montada en 1965. Ambas tuberías fueron fabricadas por la firma Italiana Acciaieria e Tubificio de Brescia. El tramo inferior de ellas, aproximadamente la mitad de la longitud, es del tipo zunchado en caliente, mientras que el tramo superior está constituido por lámina soldada. La primera tubería tiene un diámetro variable de 2.30 a 1.95 metros y la segunda un diámetro que varía desde 3.10 m en el extremo de aguas arriba hasta 2.70 en el extremo de aguas abajo. La longitud de la tubería N° 1 es de 840 metros y está provista de una bifurcación en el extremo inferior. La segunda tubería tiene una longitud de 805 metros y termina en su extremo inferior en un distribuidor para cuatro unidades, paralelo al eje de las mismas.

(Figuros N° 13 y 14). La tubería fue especificada para resistir una sobre-presión del 15% sobre la máxima presión estática, con esfuerzos de trabajo equivalentes a un 50% del punto de cedencia del acero, sin exceder del 33% para la resistencia última, exceptuando el distribuidor que tiene un factor de seguridad de 2 al punto de cedencia y de 4 a la resistencia última.

La casa de máquinas está formada por una estructura de concreto reforzado, con una longitud de 92 metros y un ancho de 13.30, con cabida para seis grupos generadores, adyacente a la cual se construyó un edificio de tres plantas destinado a oficinas y a algunos de los servicios de la central, como se muestra en la figura N° 15. La planta fue construida a cuatro niveles, el primero de los cuales corresponde a la



Casa de Máquinas de Guadalupe III

sala de montaje que está localizada en el extremo oriental de la central al mismo nivel de la plazoleta de acceso a la misma, a la que se llega por carretera desde Medellín. Dos y medio metros por encima de este nivel se encuentra el piso de turbinas, en el que están localizados los reguladores de velocidad, los compresores de aire, etc. Sigue el piso de transformadores en donde están instalados los tableros de control de los reguladores y los instrumentos de control mecánico y de medida de temperatura de los grupos, como también los tableros de control de grupo, el acceso a los recintos del generador se hace desde este nivel a través de puertas metálicas. (Figuras 16 y 17).

Finalmente, a una altura de 8 metros sobre el eje de las turbinas se encuentra el piso de excitadoras, que está al mismo nivel y conectado al patio de transformadores. Este está constituido por un corredor a la intemperie, paralelo y adyacente a la casa de máquinas, y en el cual se construyeron 22 celdas que alojan tanto los transformadores de potencia de esta central, como los de la planta de Guadalupe I, y un transformador común de reserva.

La sala de control y la sala de cables están localizadas en el extremo oriental de la Casa de Máquinas y son adyacentes a la sala de montaje. A continuación, y conectado a la sala de control, se encuentra el edificio anexo de oficinas, en el que están localizadas la sala de baterías, los servicios sanitarios, áreas para visitantes, oficinas, etc.

Las características principales de los equipos instalados en la Central, son las que se indican a continuación:

**Equipos.**- Las turbinas son del tipo Pelton de eje vertical y están provistas de cuatro inyectores con sus respectivos deflectores. Los rodetes son de acero inoxidable con 13% de cromo y operan a 450 r.p.m. La capacidad de los dos primeros grupos, fabricados por la firma francesa NEYRPIC, es de 60.000 B.H.P., mientras que la de los cuatro grupos restantes, fabricados por HITACHI, es de 71.200 c.v. Cada una de las turbinas está provista de una válvula esférica a la entrada, con un diámetro de 1.20 metros, operada por la presión hidrostática de la tubería de presión. Los reguladores de las unidades, son del tipo hidráulico y fueron respectivamente fabricados por las mismas firmas que construyeron las turbinas.

Los Generadores son de eje vertical, directamente acoplados a las turbinas y operan a una velocidad de 450 r.p.m. Tienen una potencia nominal de 47.100 KVA y potencia de sobrecarga de 54.165 KVA. Los Generadores correspondientes a los primeros grupos, fueron fabricados por TECNOMASIO ITALIANO BROWN BOVERI, mientras que los grupos restantes fueron suministrados por la firma ASEA de Suecia. Están diseñados para 60 ciclos, una tensión de generación de 13.8 kv. y un factor de potencia nominal de 0.85.

Cada generador está directamente conectado a un banco de tres

transformadores monofásicos, con una capacidad total de 57 MVA y una relación de transformación de 13.8/115 kv. Los transformadores están permanentemente sumergidos en aceite y tienen un enfriamiento natural con ventilación forzada.

La Central de Guadalupe III está diseñada para operación remota automática desde la sala de comando de la Sub-estación El Salto, por medio de equipo de control del tipo de preselección fabricado por la firma BROWN BOVERI. Además, se cuenta con una sala de control en la planta misma para operación local de las unidades en caso de emergencia.

Para la refrigeración de los grupos se utiliza agua de la descarga de las turbinas, la que después de haber sido sometida a un proceso de filtración por medio de filtros rotatorios se lleva por medio de bombas a un tanque de almacenamiento construido en la ladera, a 35 metros de altura sobre el piso de la Central. Desde este tanque, se suministra agua a presión constante a las diferentes unidades. También se dispone de un segundo tanque a una cota superior para protección contra incendio en la Central.

**Sub-estación El Salto.**- La sub-estación El Salto, está localizada sobre una colina en la parte superior del salto de Guadalupe y ocupa un espacio de 156 por 32 metros aproximadamente. A ésta sub-estación llegan: un circuito de la planta de Troneras; seis circuitos de la planta de Guadalupe III; un circuito de la planta de Guadalupe I y un circuito de la planta de Guadalupe II. De ella salen seis circuitos que alimentan la ciudad de Medellín. La sub-estación es del tipo de barra principal y barra de transferencia y está provista de interruptores de aire comprimido, fabricados por BROWN BOVERI, con una capacidad de interrupción nominal de 2.500 MVA y una tensión de servicio de 115 KV.

Adyacente al patio de maniobras se construyó un edificio de tres plantas, desde donde se hace el control a distancia de las diferentes Centrales Hidroeléctricas de la hoya de Guadalupe. En el primer piso de este edificio están localizadas: una sub-estación de 6.6 kv. para servicios auxiliares; baterías para el servicio de emergencia y para el sistema de control, compresores de aire para los interruptores y transformadores de alumbrado. En el segundo piso está localizada: la sala de comando, en donde se encuentran los tableros de control, de medida y de señales de todo el sistema, y el pupitre de comando, desde donde se hace la telemedida y telecontrol de las diferentes plantas del sistema de Guadalupe.

La construcción de la primera etapa de la planta de Guadalupe III, fue ejecutada por CAMPENON BERNARD DE COLOMBIA, quien a su vez subcontrató con la firma francesa SDEM el montaje de la tubería de presión. El segundo contrato para ampliación de la Cen-

tral, fue adjudicado a la firma INCOARCO. El montaje de la segunda tubería, se llevó a cabo mediante contrato con la firma francesa SDEM, asociada con la firma colombiana TERMOTECNICA COINDUSTRIAL. Como en las demás plantas del sistema, el montaje de los equipos se llevó a cabo con personal de las EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN, bajo la supervisión de montadores especializados de los diferentes fabricantes.

El diseño de la Central fue ejecutado conjuntamente por las firmas INTEGRAL LTDA. de Medellín y EDISON SPA de Italia.

**Planta de Guadalupe II.**- Debido a la necesidad de atender la demanda del sistema de Medellín a fines de los años cuarenta y en vista de que la Central en construcción en la hoyo del Riogrande tardaba varios años, las EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN decidieron proceder con la construcción de una planta de bajo costo en la hoyo de Guadalupe, utilizando para ello las aguas que descarga la planta de Guadalupe I y una diferencia de nivel de 160 metros. En la figura N° 13 puede verse la localización general de esta planta con respecto a las restantes del sistema.

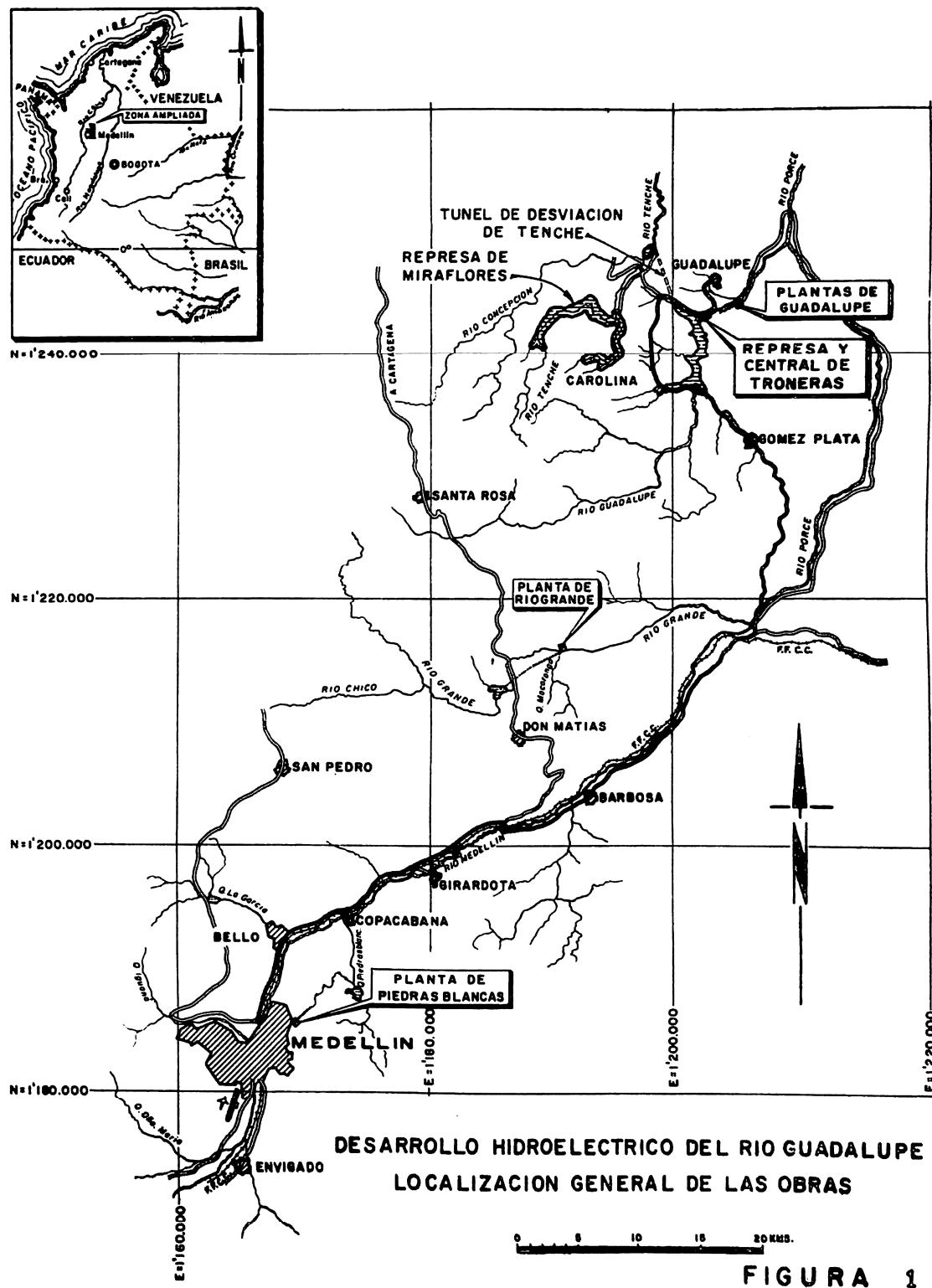
El caudal para la planta de Guadalupe II, se toma del canal de salida de las turbinas de Guadalupe I, después de que pasan por un desarenador, entre una tubería metálica a presión de 520 metros de longitud y 1.70 metros de diámetro, provista en su extremo inferior de una almenara de tipo simple con rebosadero. De dicha almenara, sale una tubería de presión que alimenta dos turbinas de tipo Francis de eje horizontal, directamente acopladas a un generador de 12.5 MVA para generación de 10.000 kw. El factor de potencia de la planta es de 0.80, la velocidad de la unidad de 720 r.p.m. y el voltaje de generación de 6.9 KV. Adyacente a la Central se cuenta con un transformador trifásico que eleva la tensión a 115 KV, del cual sale un circuito de alta tensión a la Sub-estación El Salto.

Muchos de los defectos intelectuales se entremezclan o confunden con los defectos morales y es común que se refuercen entre ellos.

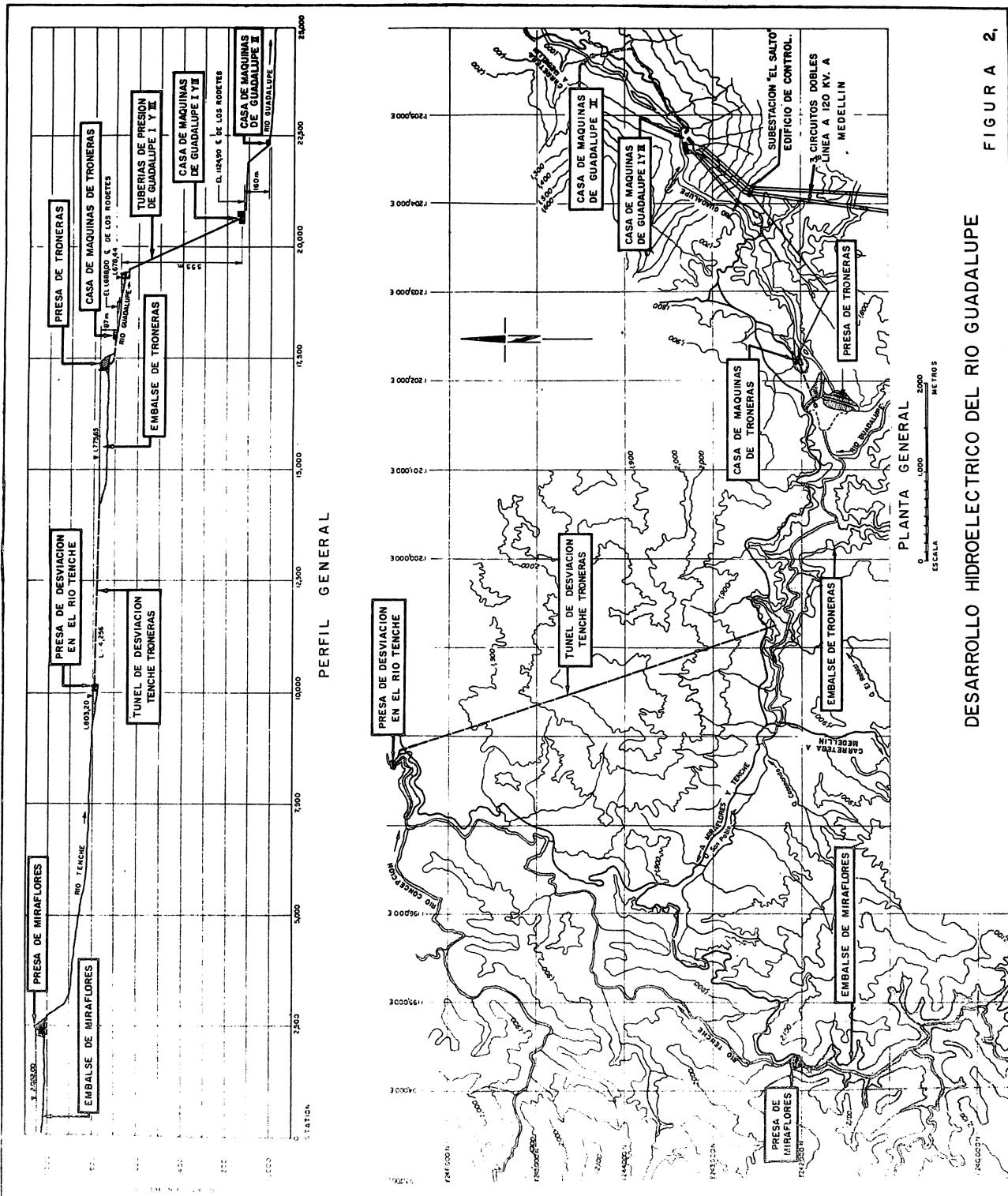
**BERNARDO A. HOSSAY**  
Premio Nobel de Medicina y Filosofía

# **Sistema Hidroeléctrico del Río Guadalupe**

## **FIGURAS**

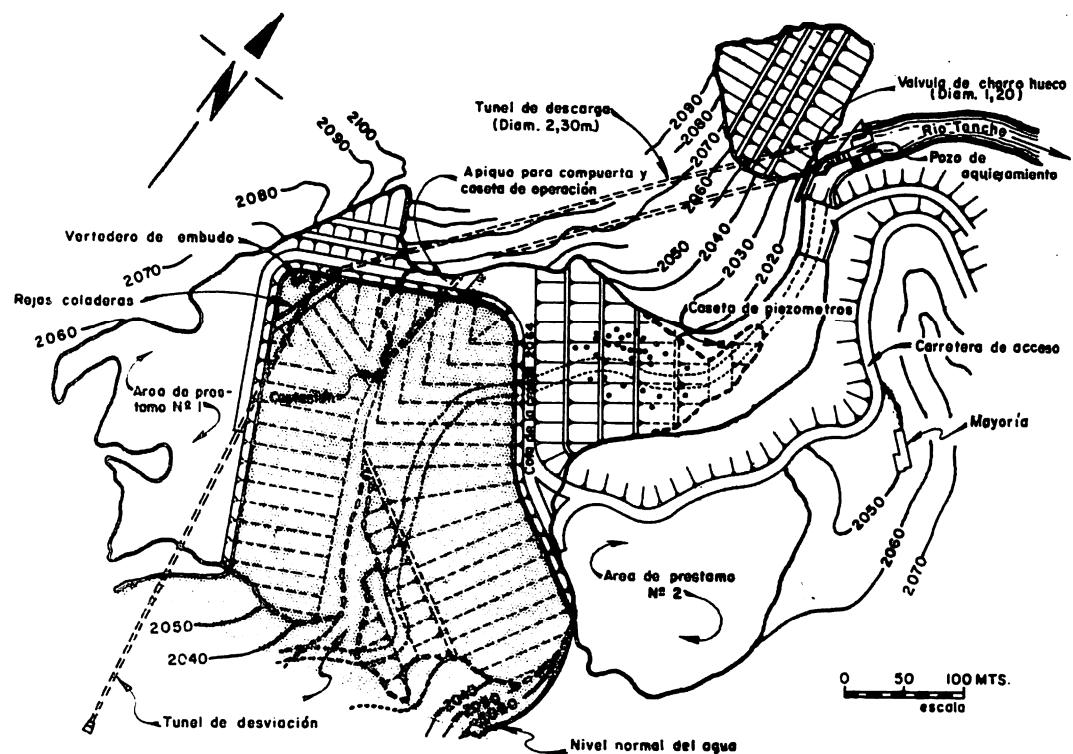


## FIGURA 1



DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO GUADALUPE

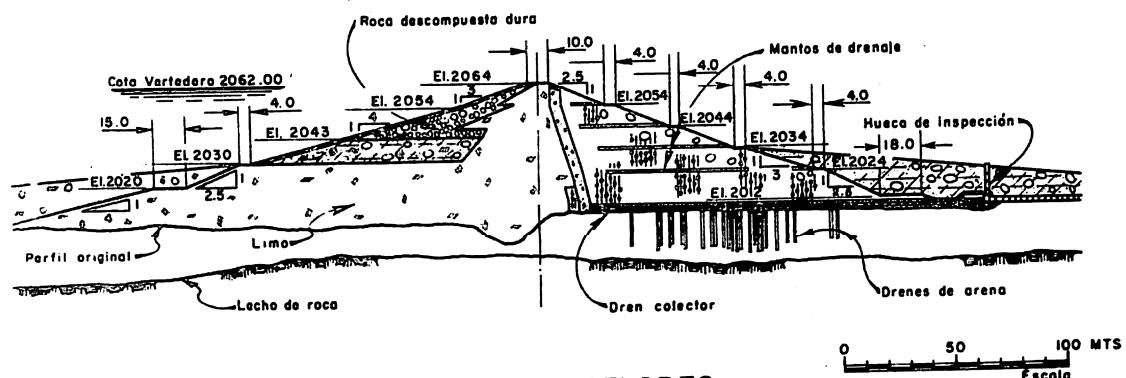
FIGURA 2,



# REPRESA DE MIRAFLORES

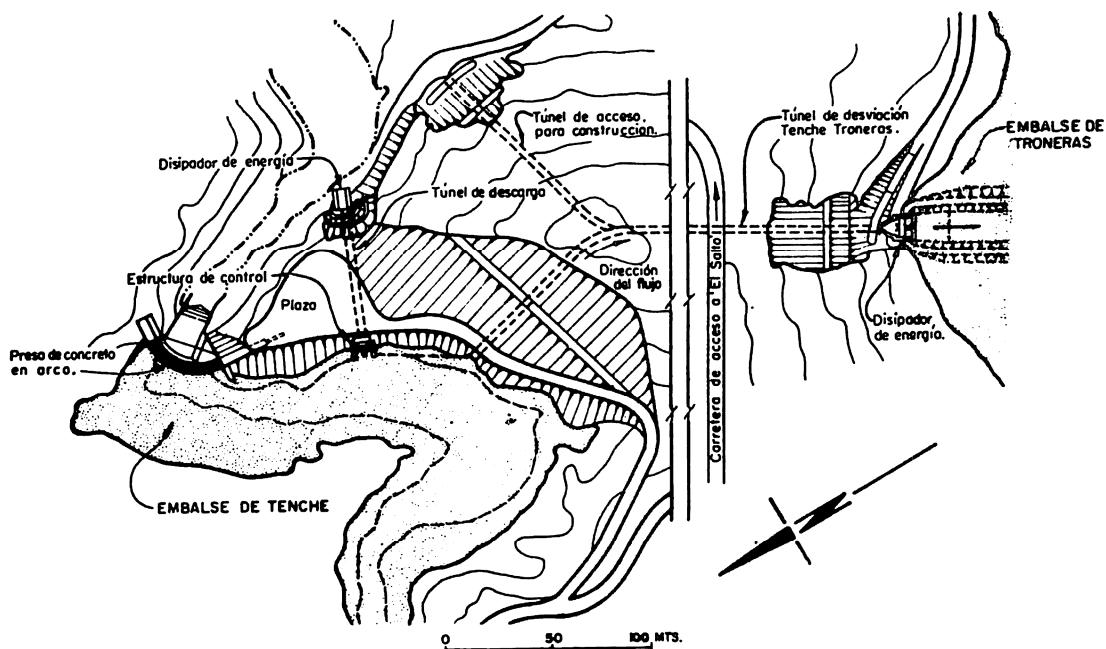
## PLANTA GENERAL

**FIGURA 3**



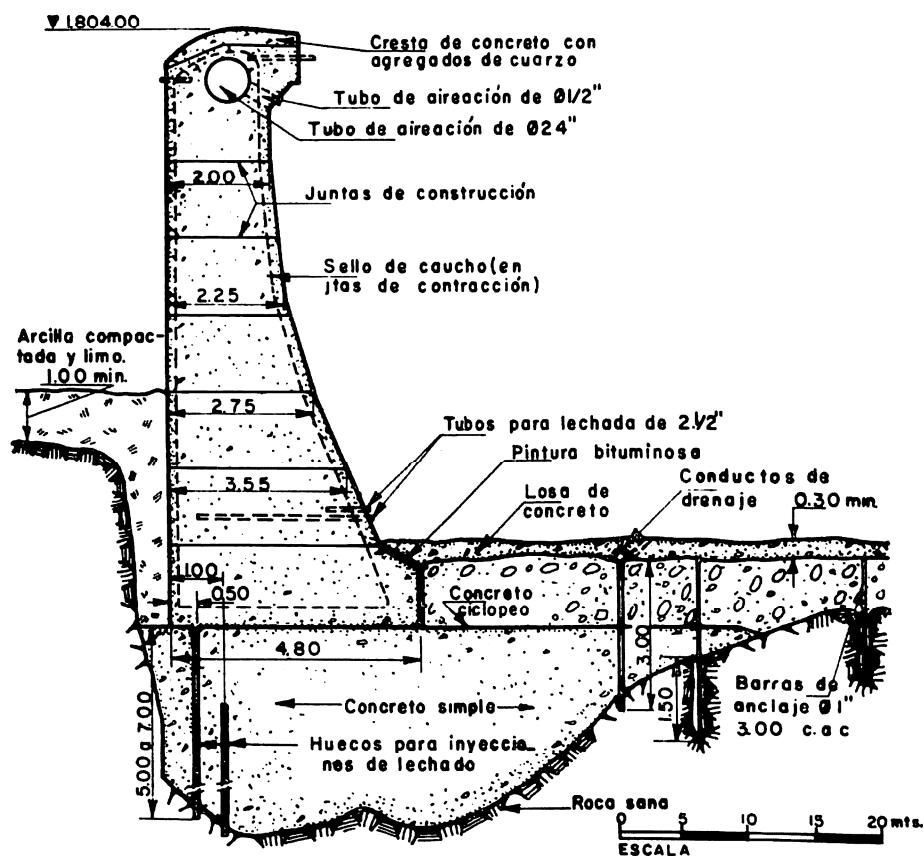
## PRESA DE MIRAFLORES SECCION TIPICA DEL TERRAPLEN

## FIGURA 4



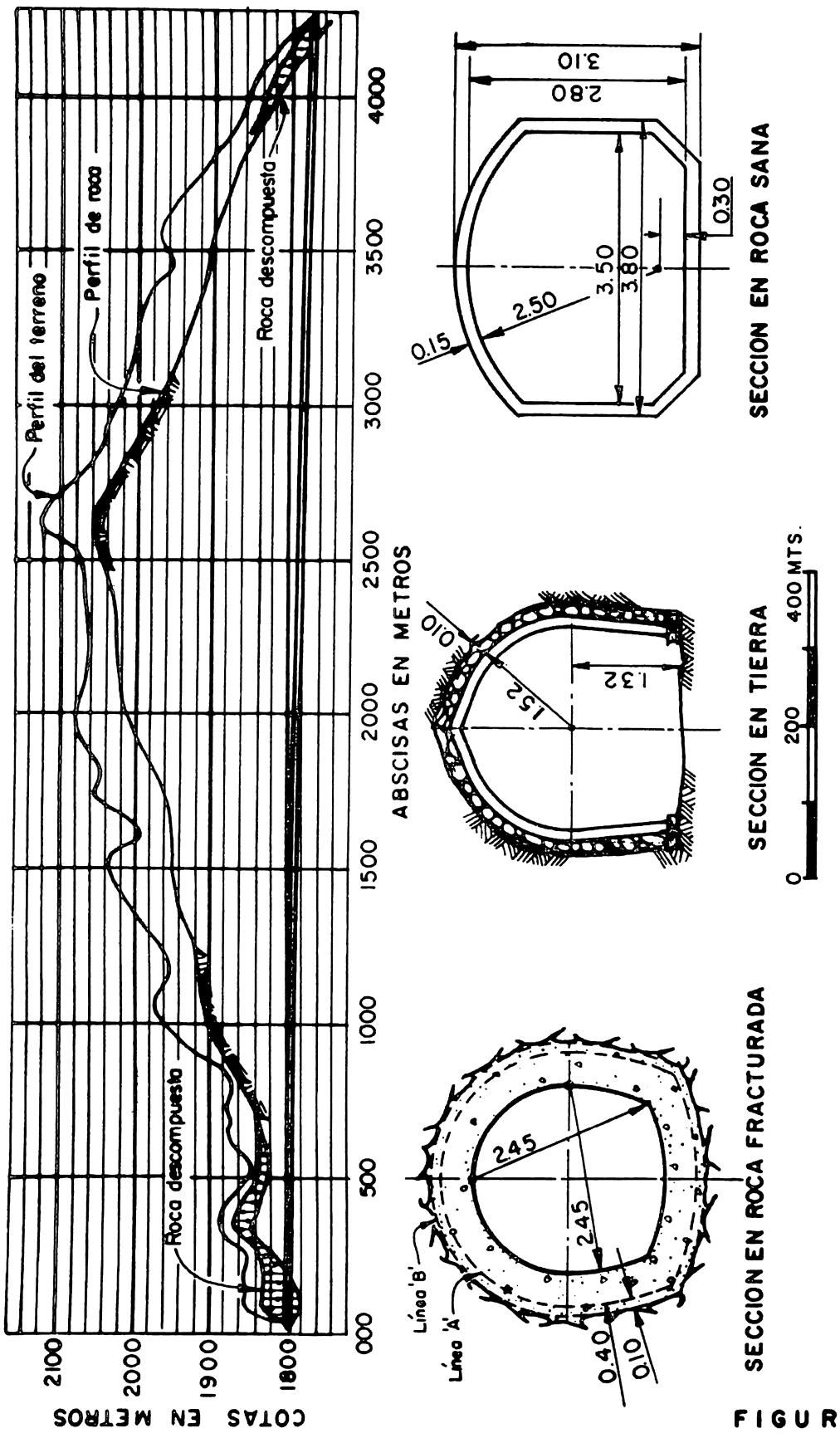
OBRAS DE DESVIACIÓN DEL RÍO TENCHE  
PLANTA GENERAL

FIGURA 5



PRESA DE DESVIACIÓN EN EL RÍO TENCHE  
SECCIÓN TÍPICA EN ARCO

FIGURA 6



TUNEL DE DESVIACION TENCHÉ-TRONERAS  
PERFIL Y SECCIONES TÍPICAS

FIGURA 7

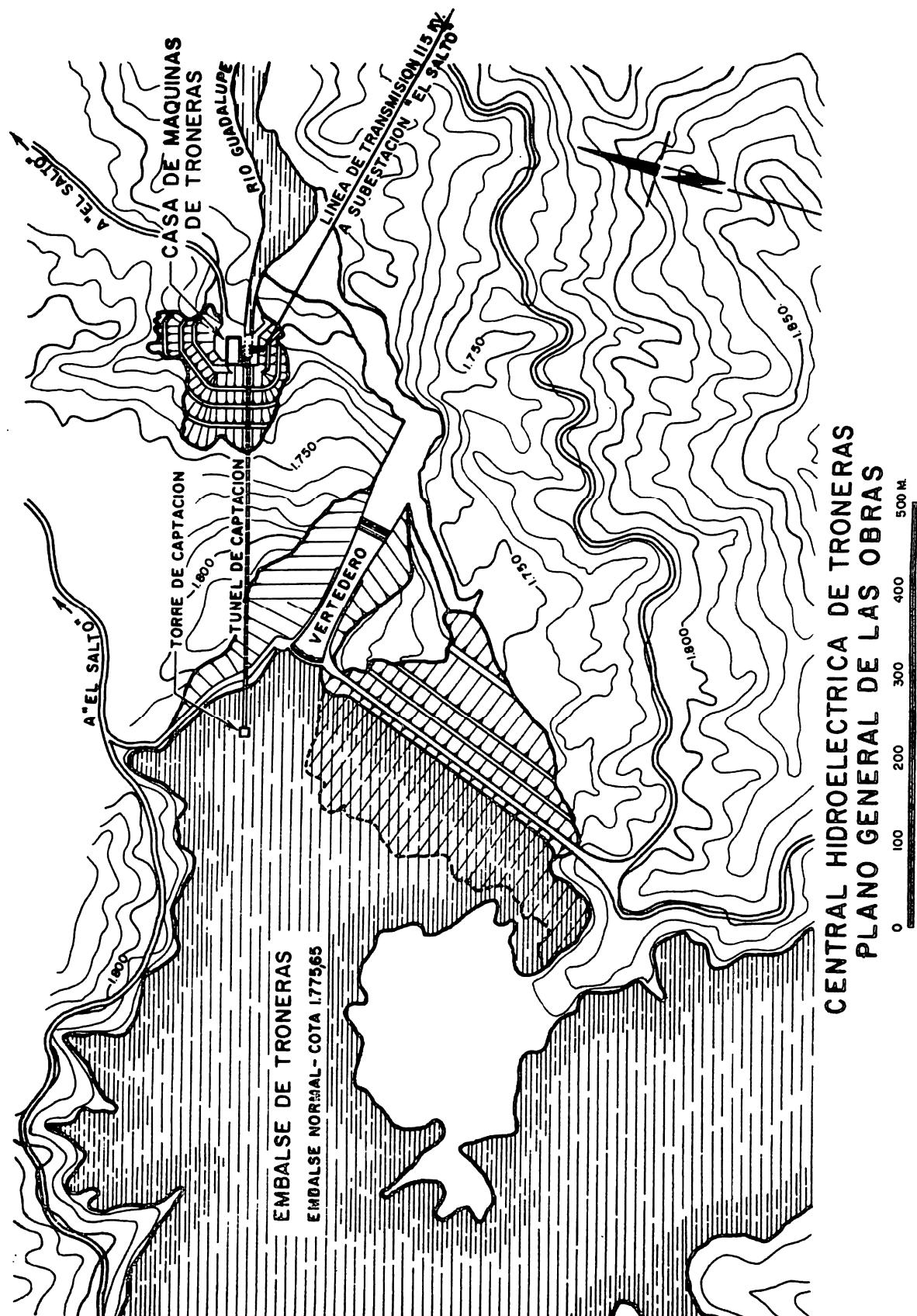
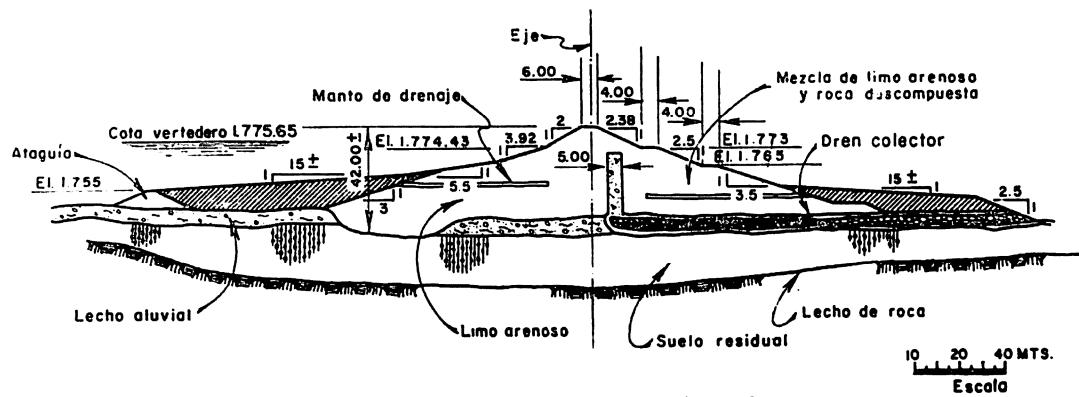
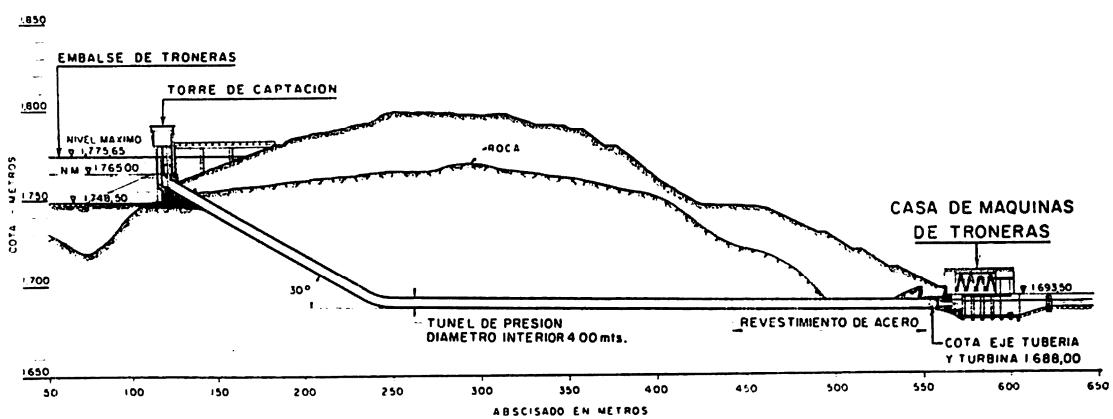


FIGURA 68



PRESA DE TRONERAS  
SECCION TIPICA DEL TERRAPLEN

FIGURA 9



CENTRAL HIDROELECTRICA DE TRONERAS  
PERFIL LONGITUDINAL DEL TUNEL

FIGURA 10

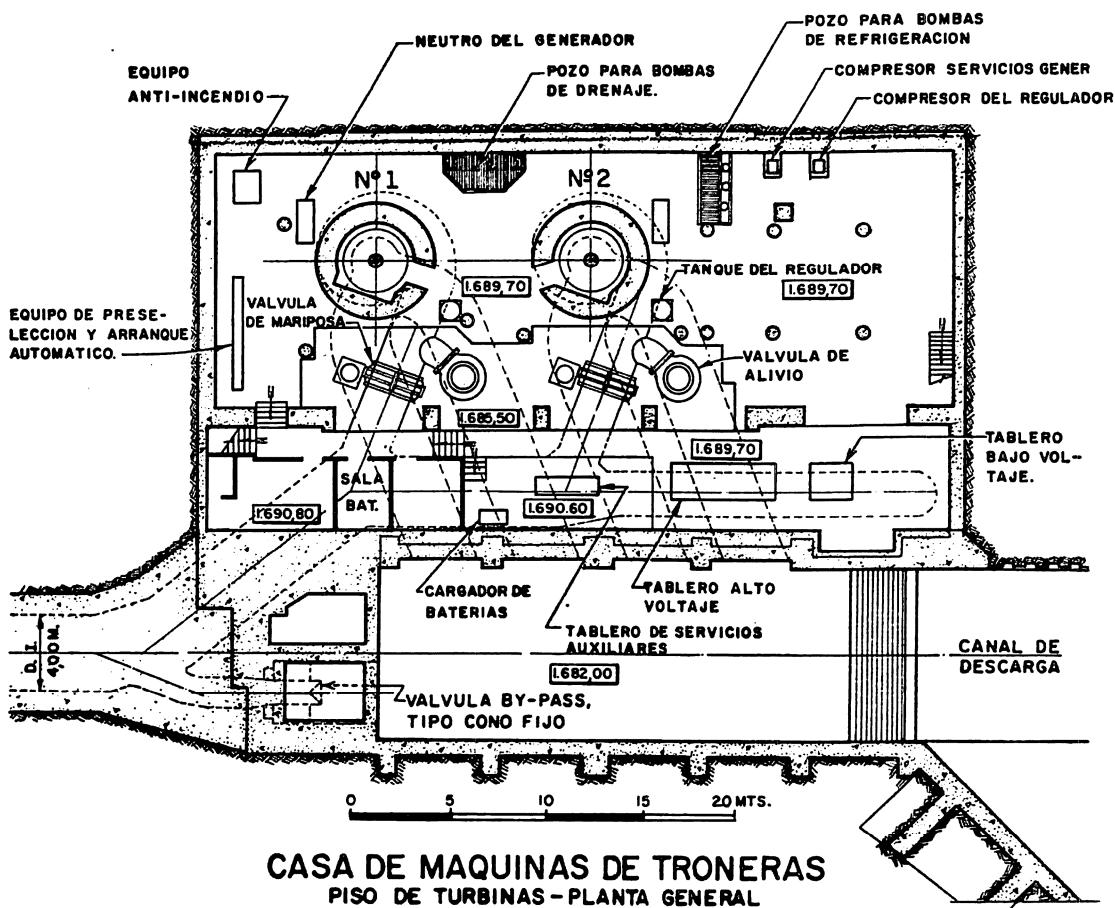
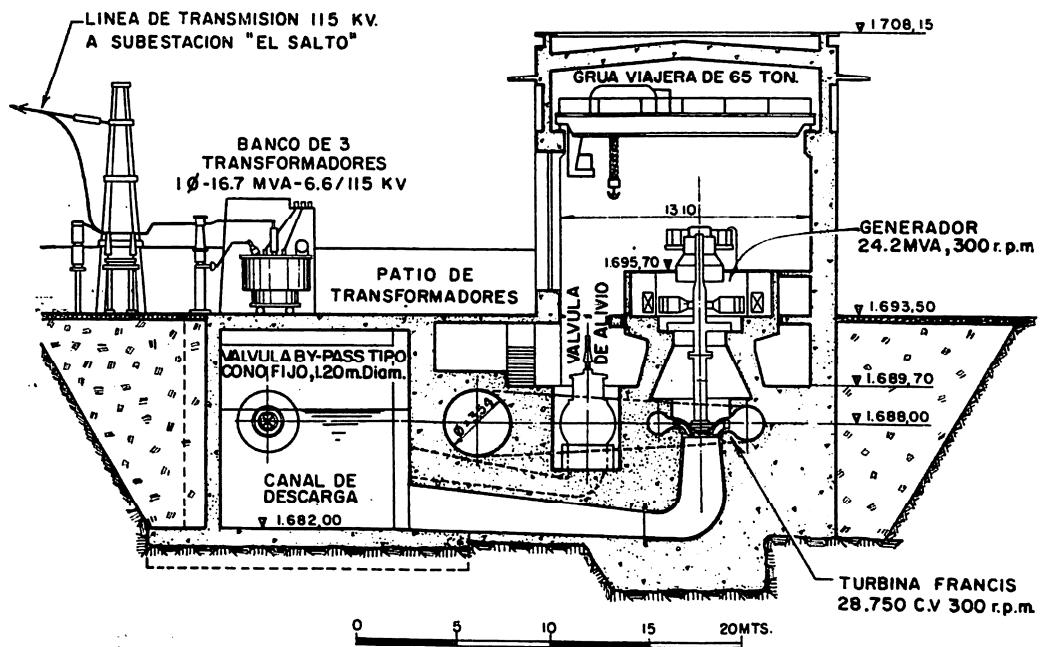
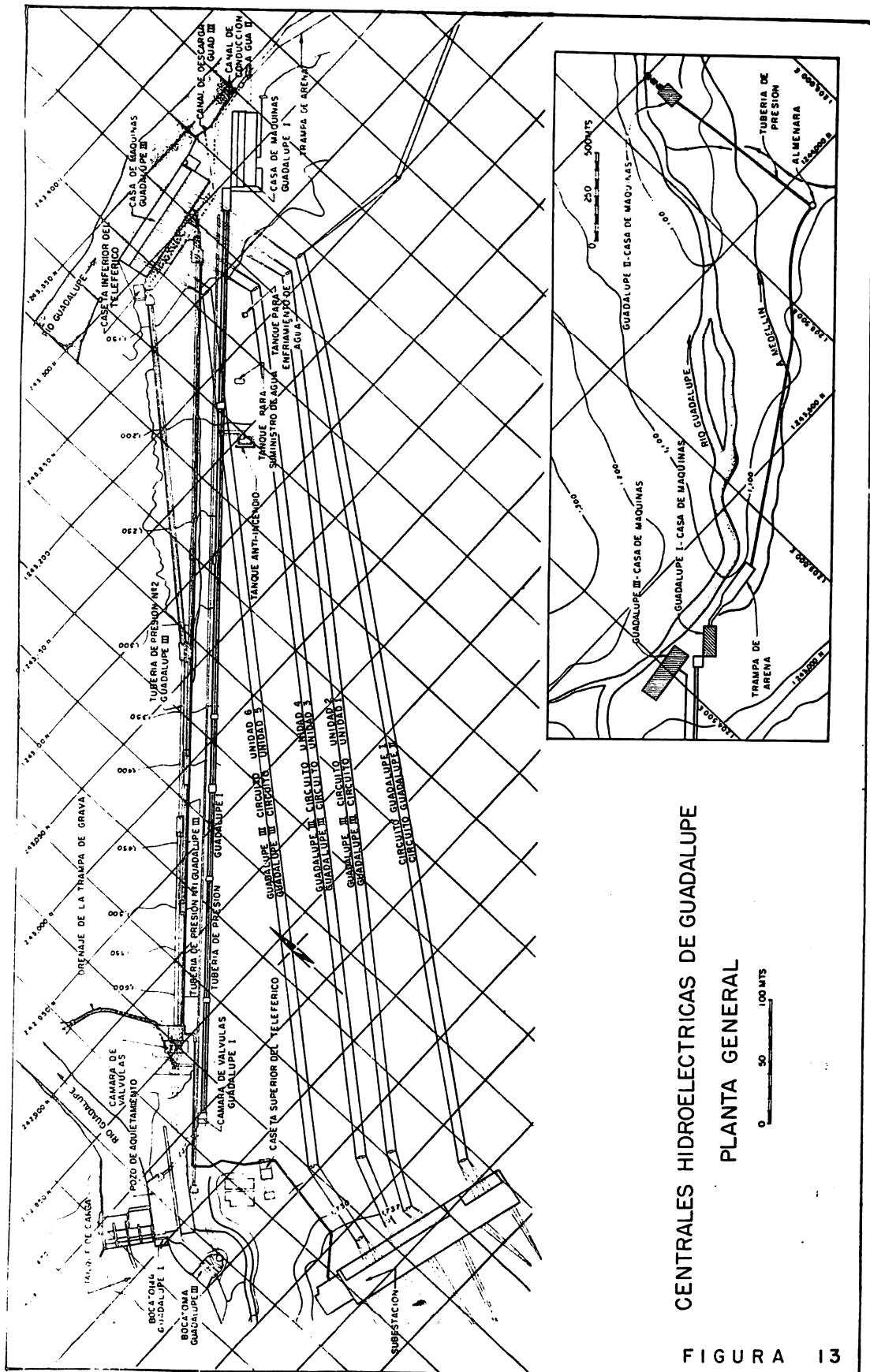


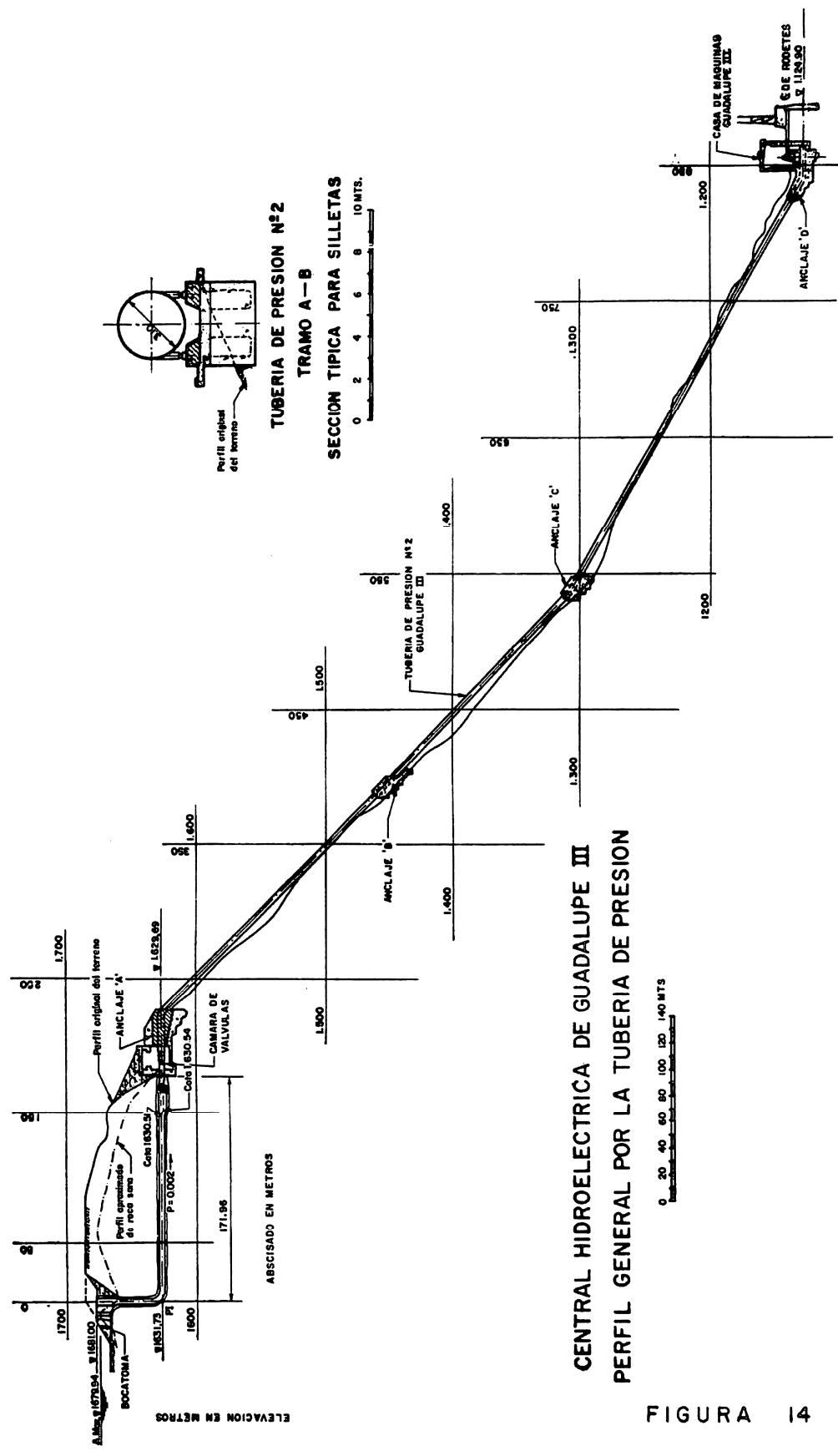
FIGURA II



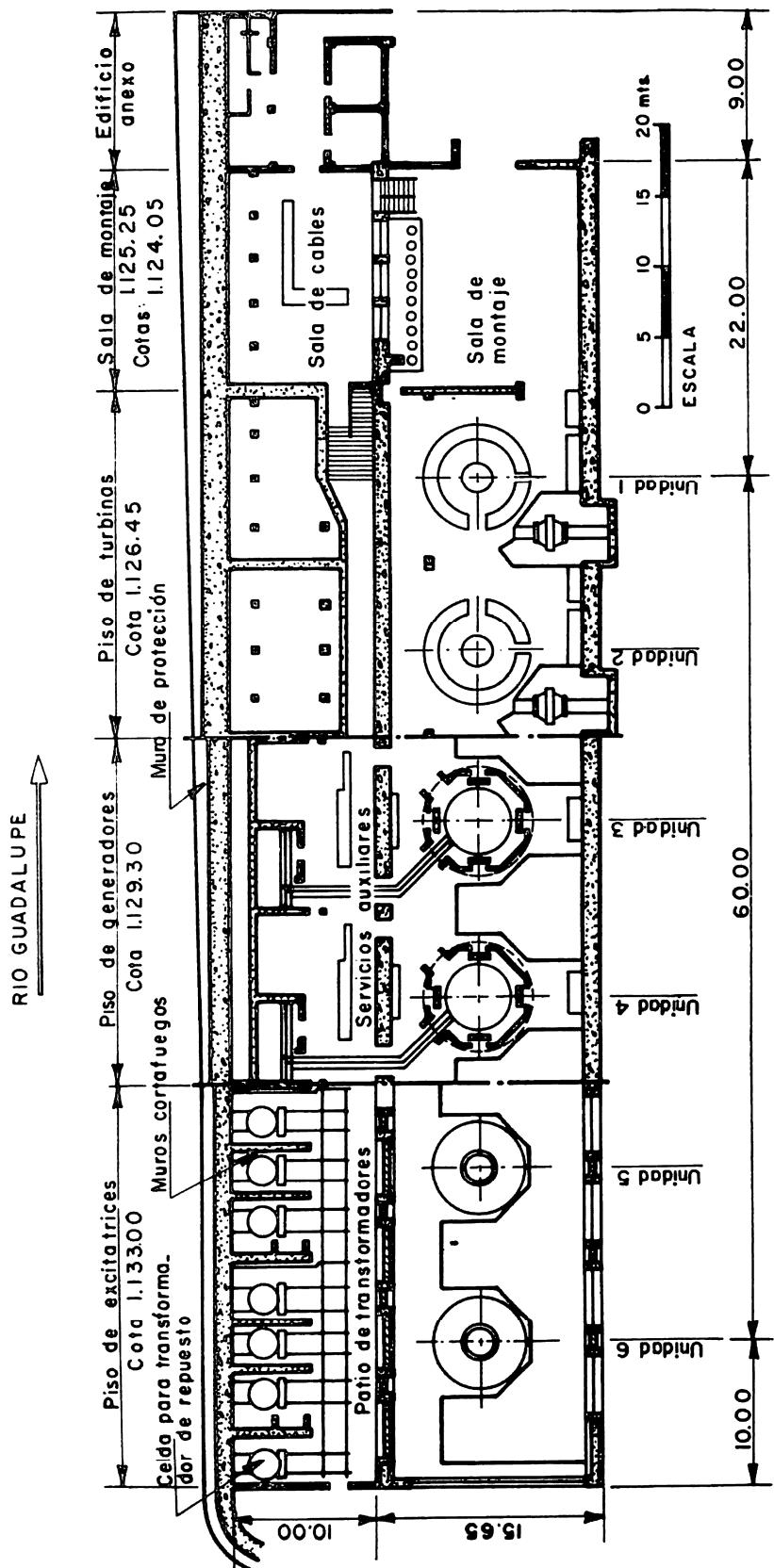
**CASA DE MAQUINAS DE TRONERAS**  
SECCION TRANSVERSAL POR EL EJE DEL GENERADOR

FIGURA 12



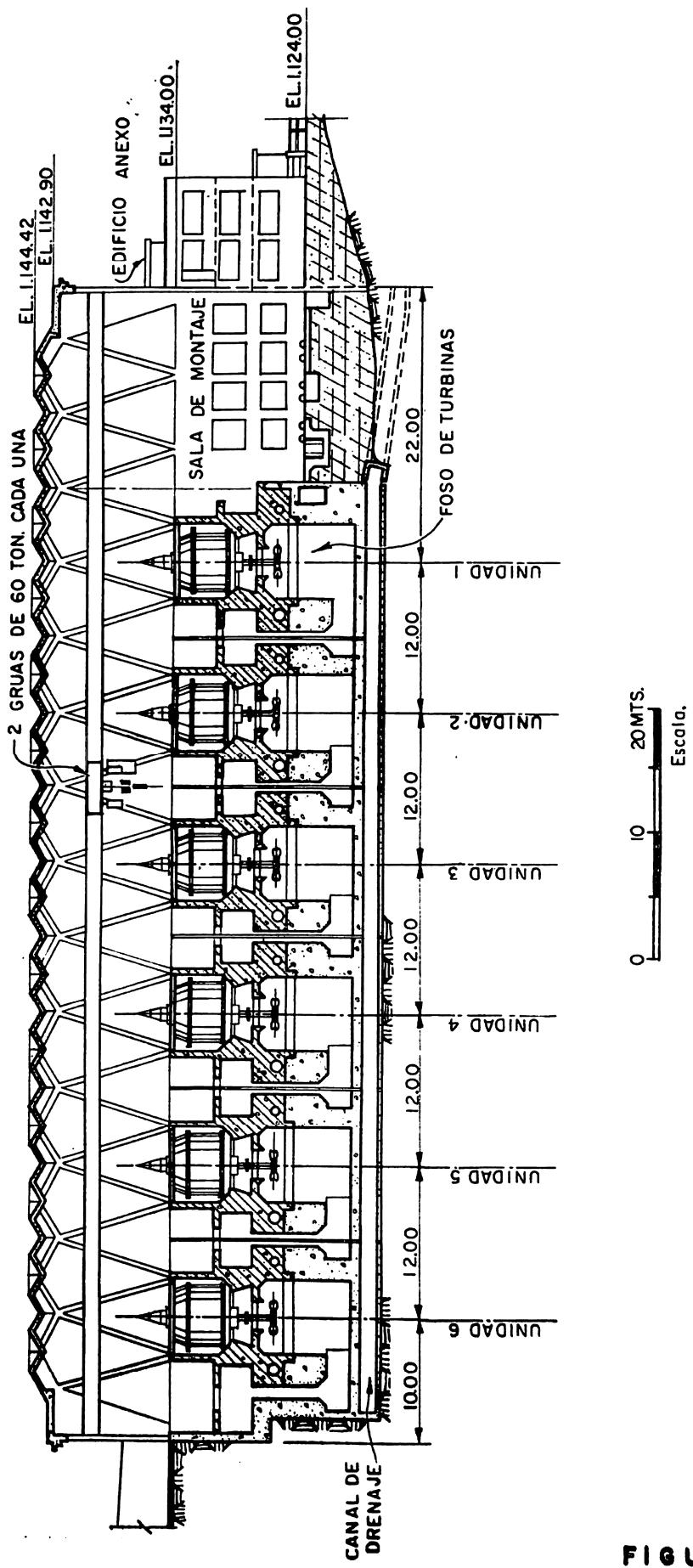


### FIGURA 14

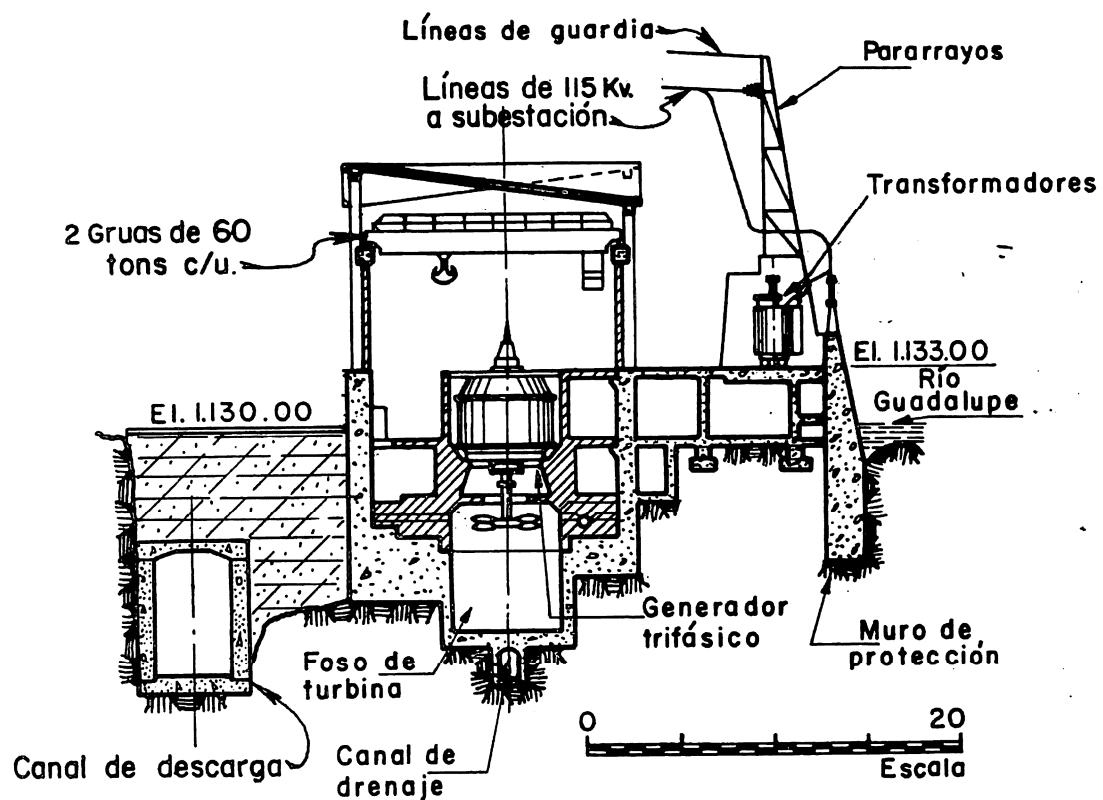


CASA DE MAQUINAS DE GUADALUPE III

FIGURA 15



**CASA DE MAQUINAS DE GUADALUPE III**  
SECCION LONGITUDINAL POR EL EJE DE GRUPOS



**CENTRAL DE GUADALUPE III**  
**SECCION TRANSVERSAL**

**FIGURA 17**