

PRESA DE BELESAR

BOVEDA DE DOBLE CURVATURA DE HORMIGON EN MASA

Ing. C. C. P. L. YORDI

1. Características generales del embalse.

2

FINALIDAD.

La obra de Belesar tiene por objeto el aprovechamiento hidroeléctrico del río Miño en el tramo comprendido entre la cola del embalse del salto de Los Peares y la desembocadura de su afluente el río Neira en la provincia de Lugo.

EMPLAZAMIENTO.

Está situada la obra a 7 Km. de la localidad de Chantada. La carretera que une esta villa con Monforte atraviesa el río Miño a 1 Km. aguas abajo de la presa, existiendo acceso directo desde esta carretera al aprovechamiento.

DATOS HIDROLÓGICOS.

Superficie total de la cuenca	4.000 Km. ²
Caudal medio anual	100 m. ³ /s.
Máxima avenida	4.000 m. ³ /s.
Volumen embalsado	640 × 10 ⁶ m. ³
Cota de máximo embalse	330 m.
Cota de coronación de la presa	332 m.

2. Características geológicas del emplazamiento.

El cañón del río está íntegramente constituido por granitos porfídicos con grueso macrocristal generalmente holomorfo en feldespato.

En el conjunto abunda el granito duro de tonos azulados, indicadores de la buena calidad de la piedra, con ausencia de descomposiciones.

El estribo de la margen derecha de la presa se construyó en una zona de granito porfídico de grandes elementos. La roca presentó solamente el diaclasado normal. Unicamente hay que destacar la existencia de una línea de fractura que cortaba oblicuamente el estribo.

El estribo izquierdo presentó más dificultades, ya que, por efectos de las acciones tectónicas y debido a la proximidad del conjunto metamórfico, estaba más fracturado.

Favorecida por las fracturas producidas por las acciones mecánicas, la meteori-

zación había actuado en este margen, y por ello la roca, en las partes altas, estaba alterada, llegándose a una zona amplia de inestabilidad litológica.

Por consiguiente, las mayores dificultades se encontraron en la parte alta, en los últimos 40 metros del estribo de la margen izquierda y en el accidente de la margen derecha al que antes se hizo referencia.

RECONOCIMIENTO.

Para tener un conocimiento de detalle de los caracteres generales, hasta aquí reseñados del cañón del Miño que sirvió de emplazamiento al aprovechamiento de

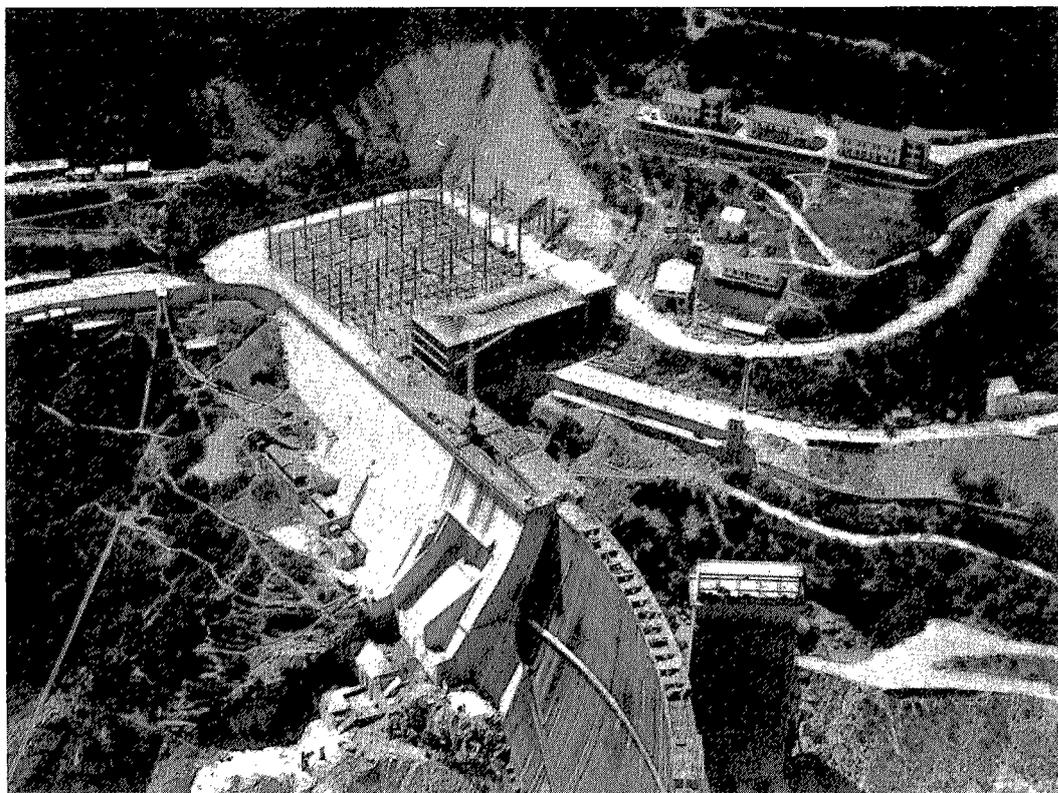


Figura 1.^a

Belesar, se determinaron las características mecánicas y elásticas de la zona, mediante un estudio sismoeléctrico complementado, con objeto de definir la importancia de la alteración por medio de una serie de implantaciones eléctricas por el método de resistividad.

Independientemente se hizo una campaña de sondeos de reconocimiento en ambas laderas, y, finalmente, se realizaron medidas de puesta en carga de la roca de cimentación mediante gatos hidráulicos de 150 Tn., de acuerdo con los principios que rigen en el método C.B.R. (California Bearing Ratio).

Fig. 1.^a — Entroque de la bóveda con el aliviadero derecho. Parque de transformación y subestación.
Sketch No. 1. — Dome and right spillway connection. Transformation plant and substation.

3. Características de la presa.

2

TIPO.

La presa, que, según el punto de vista geológico, topográfico y elástico, fué la mejor solución para cerrar el valle de Belesar, teniendo en cuenta las características intrínsecas del mismo, se compone de los elementos siguientes:

1.º Dos estribos de gravedad, autorresistentes, que sustituyan las partes altas de las laderas. Estos estribos tienen encuentro a tope con el terreno a la cota 315 el izquierdo y 309 el derecho.

La cota de fondo de río es la 203, y la de coronación, la 332.

2.º Dos aliviaderos en "salto de sky".

Con estos elementos de estribos y aliviaderos se crea también una cerrada simétrica y más reducida que la primitiva.

3.º Dos presas de cierre de perfil de gravedad que parten de la unión de los aliviaderos con los estribos y que tienen la misión de cerrar el valle hasta la cota 332.

4.º Y por último, como elemento básico del conjunto, una bóveda de doble curvatura de 129 metros de altura y 240 metros de cuerda, que termina de cerrar el valle.

DATOS GEOMÉTRICOS PRINCIPALES.

Altura máxima desde fundaciones	129,00 m.
Altura desde el tapón de fondo	97,50 m.
Espesor en clave, a la cota 330	5,50 m.
Espesor en clave, a la cota 232,50 (tapón de fondo) . .	20,07 m.
Espesor en clave en la base	29,00 m.
Radio central a la cota 330 (trasdós)	160,00 m.
Radios laterales a la cota 330 (trasdós)	200,00 m.
Volumen de las excavaciones	520.000 m. ³
Volumen de hormigón en la cúpula	325.000 m. ³
Volumen de hormigón en estribos y aliviaderos	410.000 m. ³

ESTRUCTURA DE LA OBRA.

La fábrica de la presa es de hormigón en masa de 250 Kg. de cemento por metro cúbico. En el interior de la presa se desarrolla una galería de inspección perimetral paralela a la superficie de contacto con las laderas, y partiendo de ésta se derivan cinco galerías horizontales. Para su construcción la presa se dividió en bloques mediante juntas radiales espaciadas 15 metros.

4. Análisis de la estructura.

Se empleó el método de cálculo de repartición de cargas entre arcos y ménsulas, verificándose el ajuste radial siguiendo en líneas generales el método empleado por el "Bureau of Reclamation (Trial Load Method of Analysing Arch Dams)". Las solicitaciones consideradas en el cálculo fueron las debidas al peso propio, presión hidrostática, subpresión, variaciones de temperatura y seísmos.

El comportamiento estático de la presa se estudió en modelo tridimensional por el Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción de Madrid y por el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil de Lisboa, en modelos homogéneos y heterogéneos.

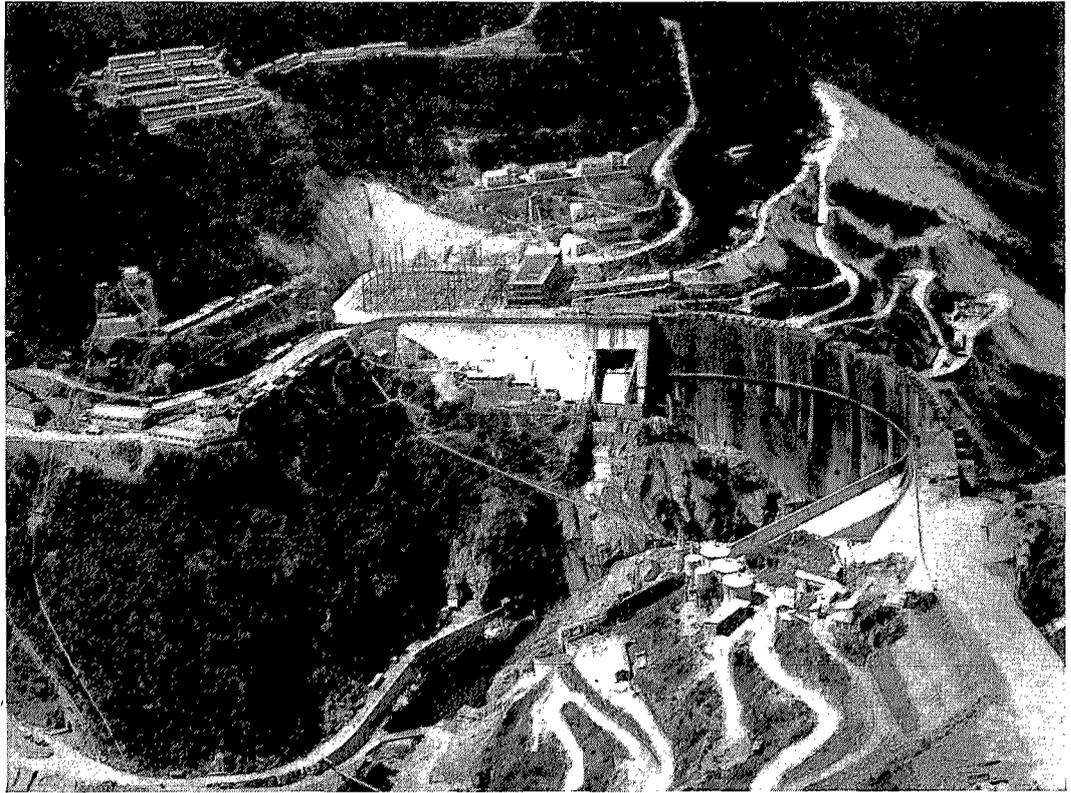


Figura 2.^a

En el cálculo se consideraron los siguientes datos:

Módulo de elasticidad del hormigón	200.000 Kg./cm. ²
Módulo de elasticidad de la roca <i>b/cota</i> 280	200.000 "
Módulo de elasticidad de la roca <i>s/cota</i> 280	80.000 "
Módulo de Poisson del hormigón	0,22
Peso específico del hormigón	2,4 Tn./m. ³
Difusibilidad térmica del hormigón	0,09 m. ² día ⁻¹
Coefficiente de absorción para el hormigón	0,85
Coefficiente de dilatación	10 ⁻⁵ por grado C°
Temperatura media anual del aire	13°C

Los esfuerzos máximos obtenidos, teniendo en cuenta la presión hidrostática, el peso propio y la temperatura, son: compresión, 55 Kg./cm.², y tracción, 14 Kg./cm.².

Fig. 2.^a — Vista aérea de la obra durante la última fase de su construcción.

Sketch No. 2. — Air view of the work during the last term of its construction.

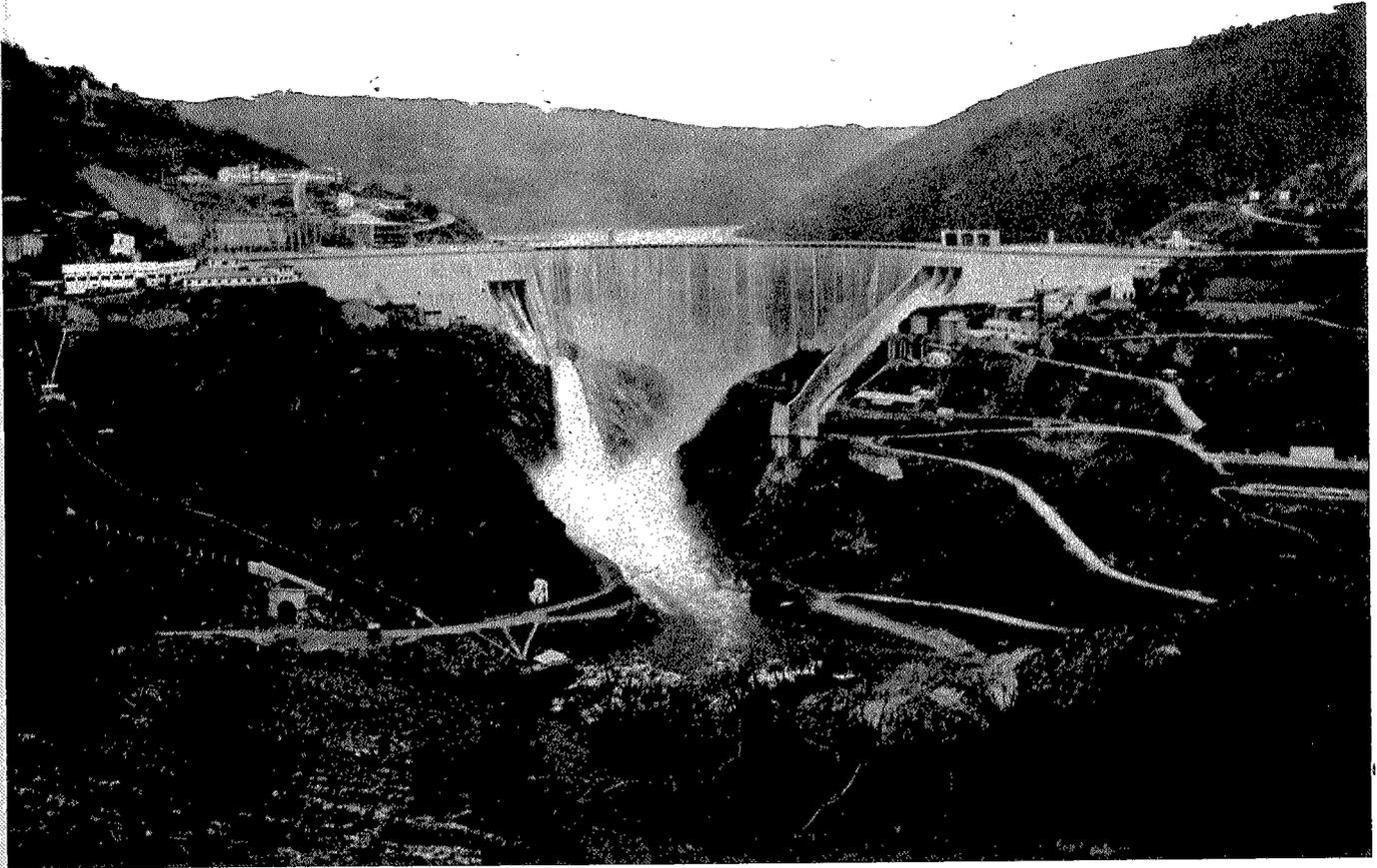


Figura 3.^a

Fig. 3.^a — Vista general de la obra desde aguas abajo, comenzando a verter el aliviadero derecho.
Sketch No. 3. — General view from downstream with the right spillway starting to let water pass.

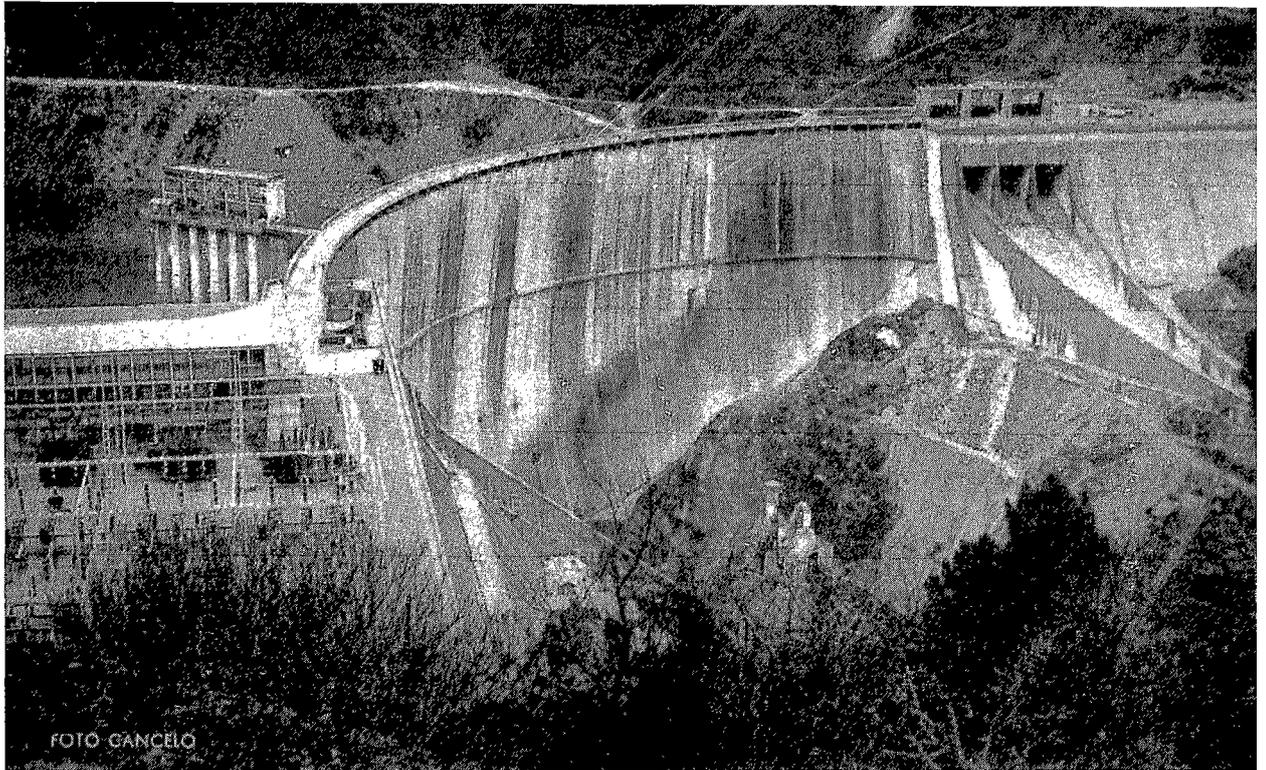


Figura 4.^a

5. Aliviaderos de superficie.

Teniendo en cuenta las avenidas del Miño, se creyó oportuno, después de contrastar los aforos existentes y dada la importancia de la obra, darle una capacidad de desagüe a los aliviaderos de Belesar de 4.000 m.³/s., definiéndose así los aliviaderos:

Margen derecha: aliviadero constituido por tres vanos de 7,00 × 7,00, cerrados por tres compuertas de segmento de las mismas dimensiones, que con una carga de 15 metros puede evacuar 2.000 m.³/s.

Margen izquierda: aliviadero constituido por tres vanos de 10,00 × 10,00, cerrados por tres compuertas "vagón" de las mismas dimensiones, que con 10 metros de altura puede evacuar otros 2.000 m.³/s.

Estos aliviaderos han sido ensayados hidráulicamente a escala 1 : 75, comprobándose su perfecto funcionamiento en lo que se refiere a secciones, peraltes y presiones de los diversos elementos que los integran.

6. Desagües de fondo.

Para poder bajar la cota del embalse, la presa va dotada de cuatro desagües de fondo que están constituidos por cuatro tuberías de 1,50 m. de diámetro, y cuyos órganos de cierre son, en cada uno de ellos, una compuerta deslizante de fondo de 1,00 m. de luz por 1,50 m. de altura, accionada por cric hidráulico.

Cada compuerta lleva un grupo motobomba para el accionamiento del cric.

Fig. 4.^a — Aspecto del conjunto de la presa.
Sketch No. 4. — General appearance of the dam.

Además de estas compuertas, cada desagüe lleva una válvula manguito de 1.100 metros de diámetro.

La capacidad de estos cuatro desagües de fondo es de 160 m.³ por segundo.

7. Aparatos de auscultación.

Para un conocimiento exacto del comportamiento estructural de la obra en la realidad, se dispuso, además de cuatro péndulos, de un sistema de extensómetros en

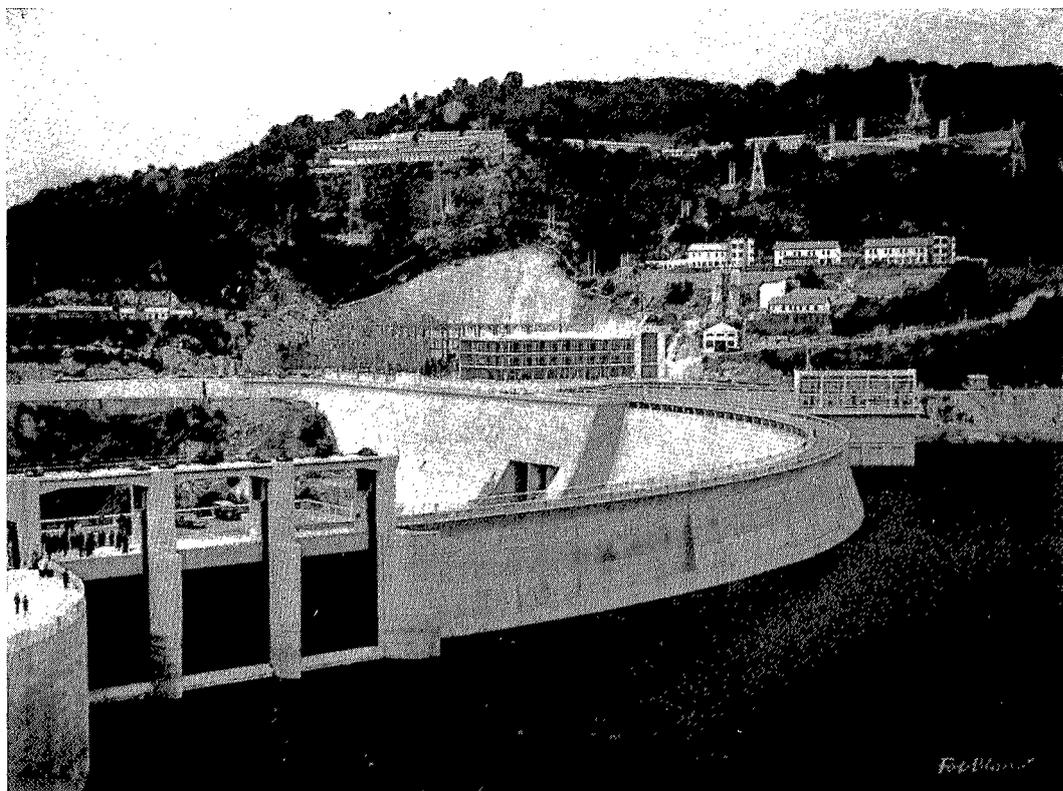
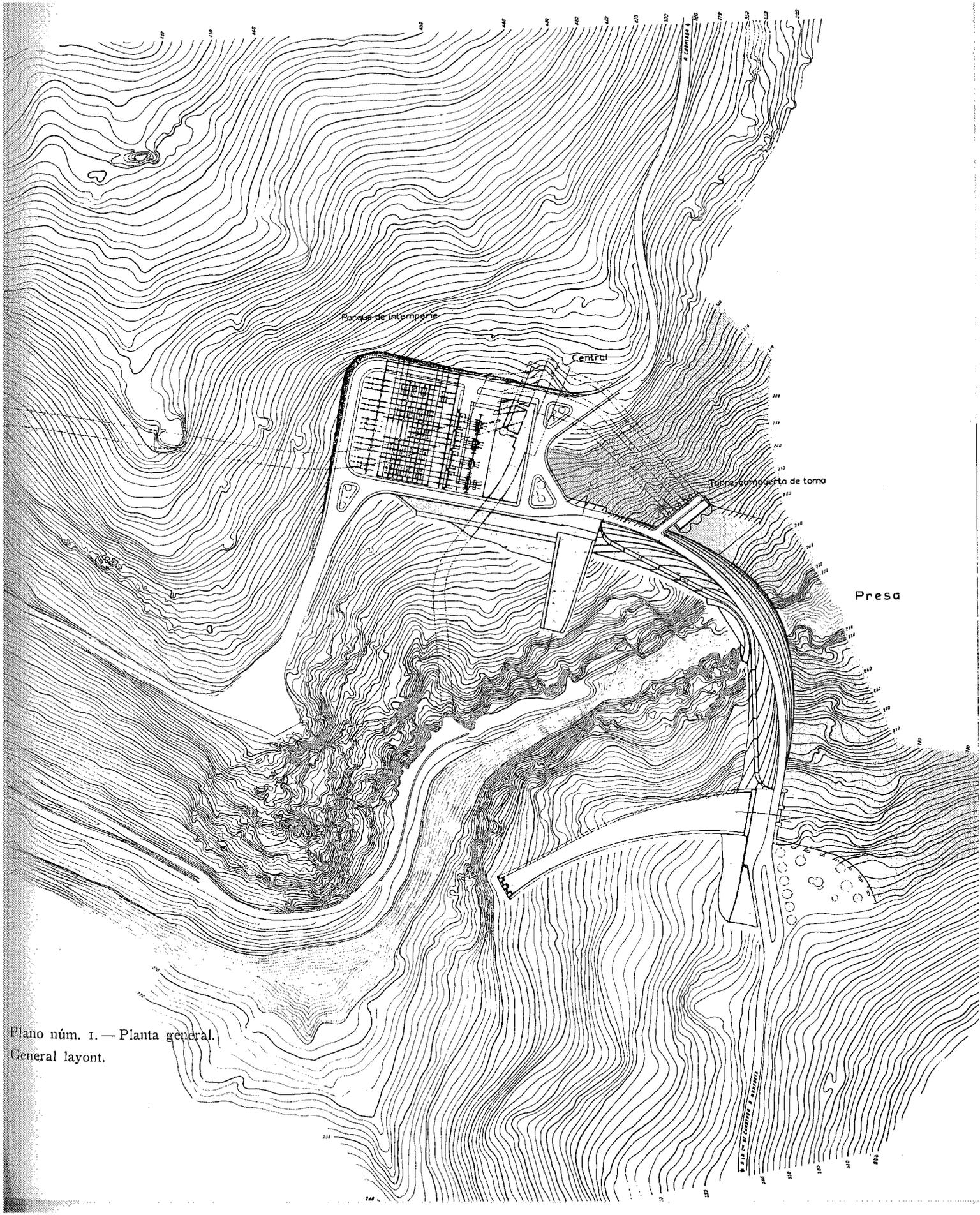


Figura 5.^a

forma de rosetas en número total de 249 y de aparatos medidores de las aperturas de juntas en número de 57, así como de 66 termómetros para conocer también el estado térmico de la presa, ambiente y agua.

La disposición y colocación de los extensómetros horizontales, así como de las rosetas de 6 y 9 extensómetros, se hizo a base de conocer a través de ellos el comportamiento elástico de la estructura, pudiendo decir hasta el día de hoy que los resultados obtenidos del prototipo coinciden con las previsiones sacadas de los modelos y del cálculo analítico de la estructura.

Fig. 5.^a—Vista desde aguas arriba de la presa. En primer término, las tres compuertas de que va dotado el aliviadero izquierdo. Sketch No. 5.—Dam view from upstream. On foreground, the three gates the spillway is fitted with.



Plano núm. 1. — Planta general.
General layout.

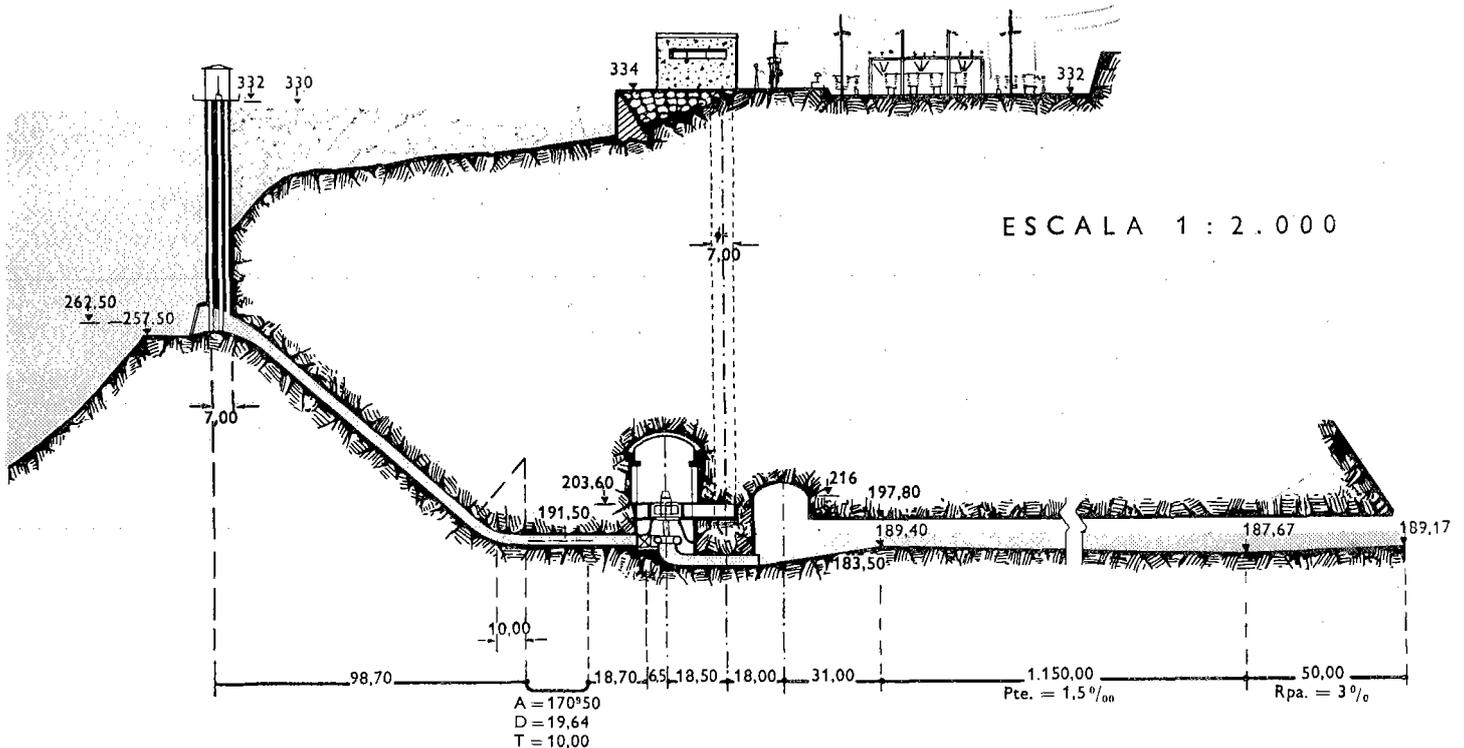
8. Conducciones de presión y descarga.

Las tuberías de alimentación de los grupos de la Central de Belesar son subterráneas, estando situadas en la cota 262,50 las bocas de entrada en que se inician aquéllas, continuando luego dentro de galerías excavadas en la roca, y teniendo lugar a la cota 191,50 el enlace con las válvulas de cierre de seguridad de las turbinas.

El número de tuberías es de tres, igual al de grupos que comprende la Central, y su diámetro interior es de cuatro metros. Cada galería contiene una tubería metálica de espesor variable rodeada de un relleno de hormigón de 75 cm. de espesor entre la tubería y las paredes del túnel.

El espesor de las tuberías se ha calculado de forma que en los tramos en que se cuenta con la ayuda de la roca, el coeficiente de trabajo del acero, admitiendo un golpe de ariete accidental del 60 por 100, no rebase el valor correspondiente a su límite elástico, mientras que en los tramos inicial y final, en que las tuberías han de ser autorresistentes, el espesor se refuerza progresivamente hasta alcanzar, en la proximidad de las bocas de ambos extremos, coeficientes de trabajo de 850 Kg. por centímetro cuadrado con sobrepresiones normales del 10 por 100 por golpe de ariete.

Se cuenta con un módulo elástico en la roca de 400.000 Kg. por centímetro cuadrado de valor mínimo, mientras que para el hormigón se considera 130.000 Kg./cm.² para valor de su módulo de elasticidad, valor bajo debido a las dificultades de la puesta en obra de este hormigón.



Plano núm. 2. — Perfil longitudinal de conjunto.
Overall longitudinal section.

Dada la calidad de la roca en el tercio inferior del valle de Belesar, la Central, que forma parte del conjunto que se describe, se hizo subterránea, con todas las ventajas inherentes a ello cuando es posible su realización sin mayores dificultades por la calidad de la roca en donde se encuadra.

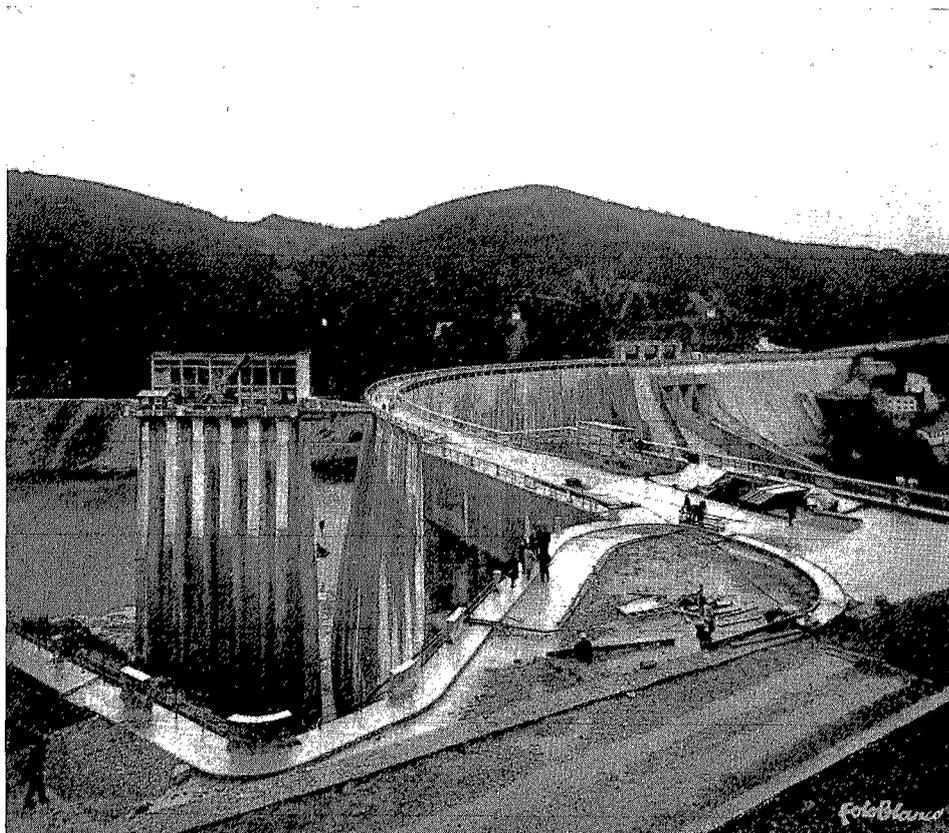


Figura 6.ª

La Central está situada en la margen derecha de la presa. La excavación total efectuada entre Central y túnel de acceso fué del orden de los 250.000 m.³ de roca granítica. En ella se instalaron los tres grupos turbina-alternador con sus válvulas de entrada respectivas, equipos de protección, paneles de control de turbinas, transformadores auxiliares de máquinas, aparellaje de servicios auxiliares de la Central y baterías.

El ancho y largo de la excavación son 20 y 70 m., respectivamente, por una altura de 42 metros.

Las turbinas son de reacción del tipo Francis, de eje vertical, para una potencia máxima de 104.800 HP. cada una, con un salto neto de 136 m. La velocidad síncrona de las máquinas es de 214 r. p. m.

Los alternadores adoptados en esta Central son hoy día de fabricación prácticamente standard, de eje vertical con ventilación en circuito cerrado de aire y agua, estando constituidos por el estator, rotor, cojinetes de empuje, guía superior, guía inferior y estructura soporte. Todos estos elementos son los usuales en estas máquinas.

El problema relacionado con la conexión entre máquinas y transformadores fué estudiado con detalle, escogiéndose la salida en baja tensión por un pozo vertical y en barras de aluminio.

El estudio realizado, valorando principalmente costes de excavación, dificultades de ejecución y montaje, tiempo invertido en la obra y pérdidas eléctricas, trajo consigo el resultado de que esta solución era la más conveniente en todos los órdenes.

En la subestación exterior se emplazó todo el aparellaje correspondiente a las barras de 220 kV., entradas de transformadores de máquina de 88 MVA., 11/220 kV., autotransformador de 60 MVA., 220/132 kV. y salidas de líneas a 220 y 132 kV.

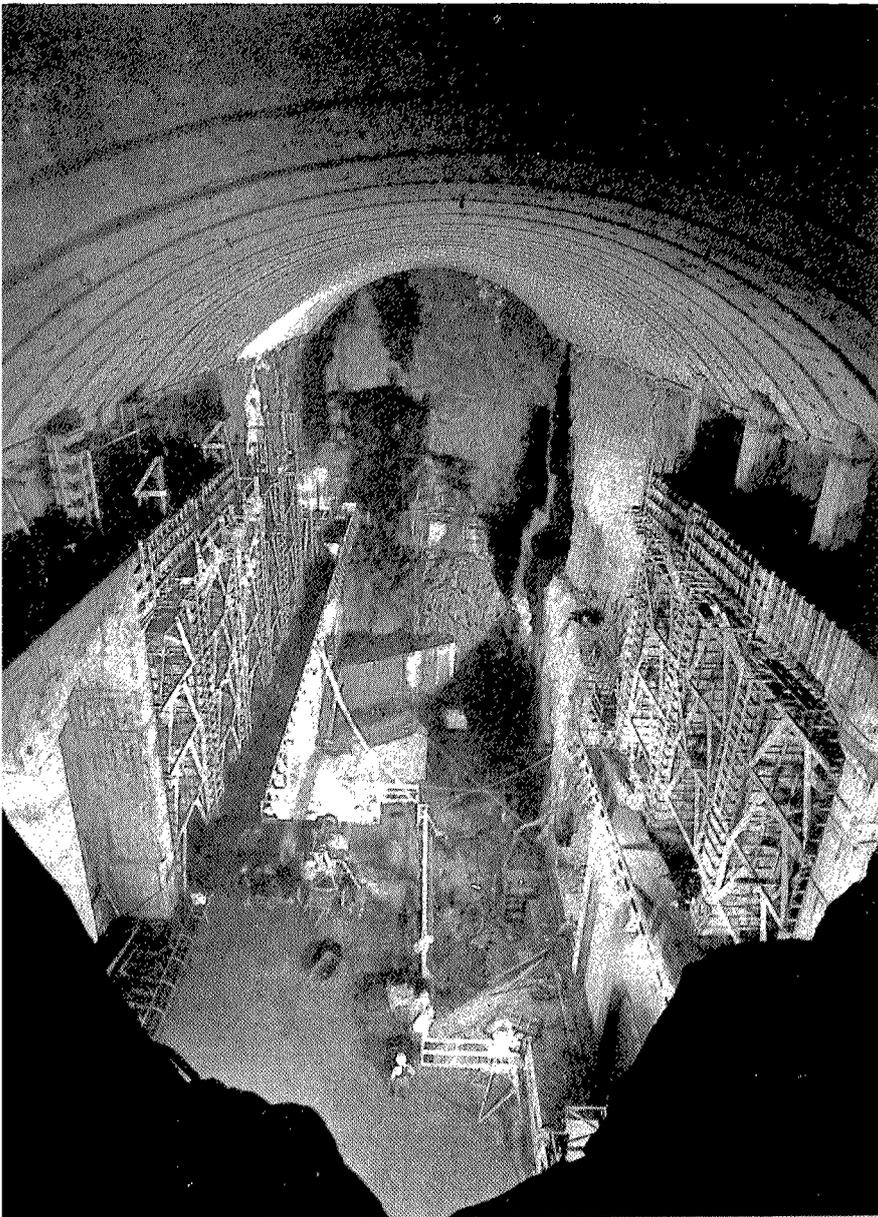
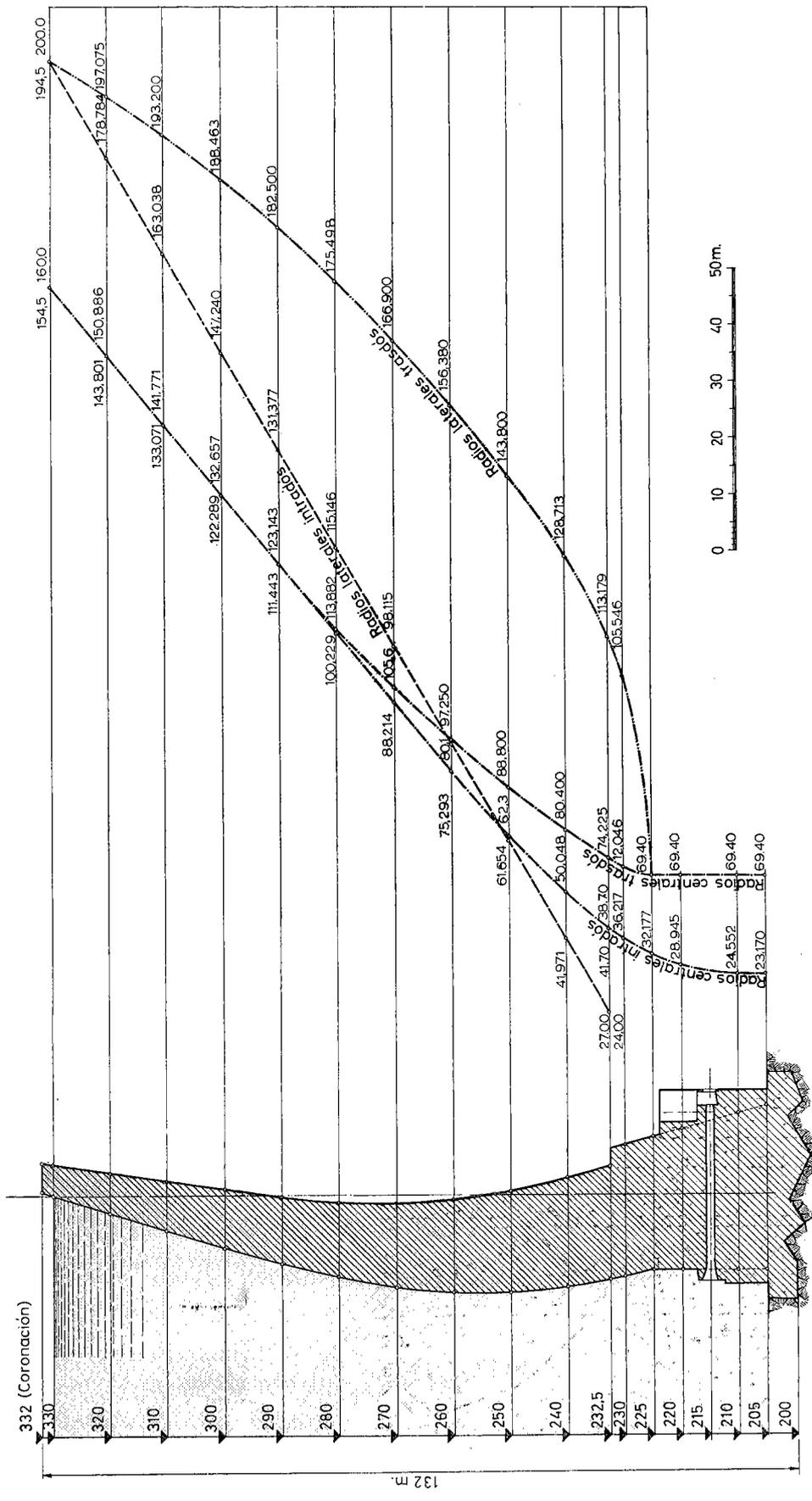
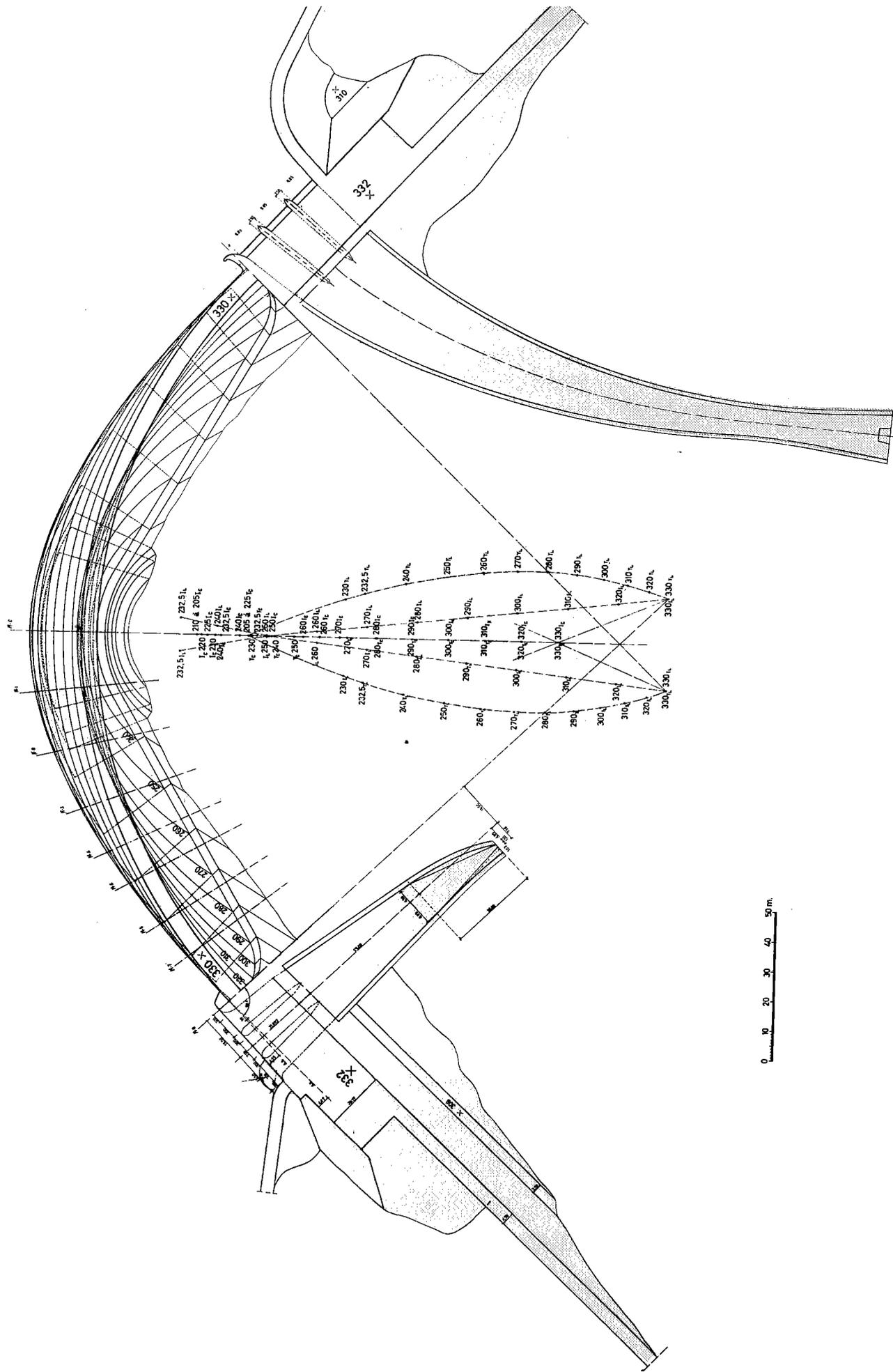


Fig. 7.^a — Excavación y hormigonado de la central.

Sketch No. 7. — Excavation and concrete placing of the power house.



Plano núm. 3.— Perfil ménsula central.
Central cantilever section.



Plano núm. 4 — Planta geométrica.
Geometric plant

10. Construcción e instalaciones auxiliares de la obra.

2

La indudable importancia de esta obra por las características técnicas de su proyecto, exigían una gran calidad de ejecución.

Esta calidad se vió plenamente confirmada por los resultados de las pruebas hechas a lo largo de la obra, que han sido siempre inmejorables, con las siguientes cargas de rotura y dispersiones en los hormigones.

Días	Cargas de rotura	% Dispersión
7	250 Kg./cm. ²	11
28	325 Kg./cm. ²	10
90	370 Kg./cm. ²	9

Estos resultados se obtuvieron a base de una esmerada fabricación y puesta en obra de un hormigón definido así:

% en peso / m. ³		%
Cemento		10
Agua		6
Arido 0,0- 2,5		17
" 2,5- 9,5		9
" 9,5- 38,0		19
" 38,0- 75,0		20
" 75,0-125,0		19
		100

La obra se comenzó a finales del año 1957 con los accesos, instalaciones previas y desvío del río, llevado a cabo en agosto de 1958. Las excavaciones de la presa comenzaron en septiembre de 1958, y se inició su hormigonado en diciembre de 1959, acabándose en noviembre de 1962. Se efectuó, por tanto, el hormigonado completo de la presa en 36 meses.

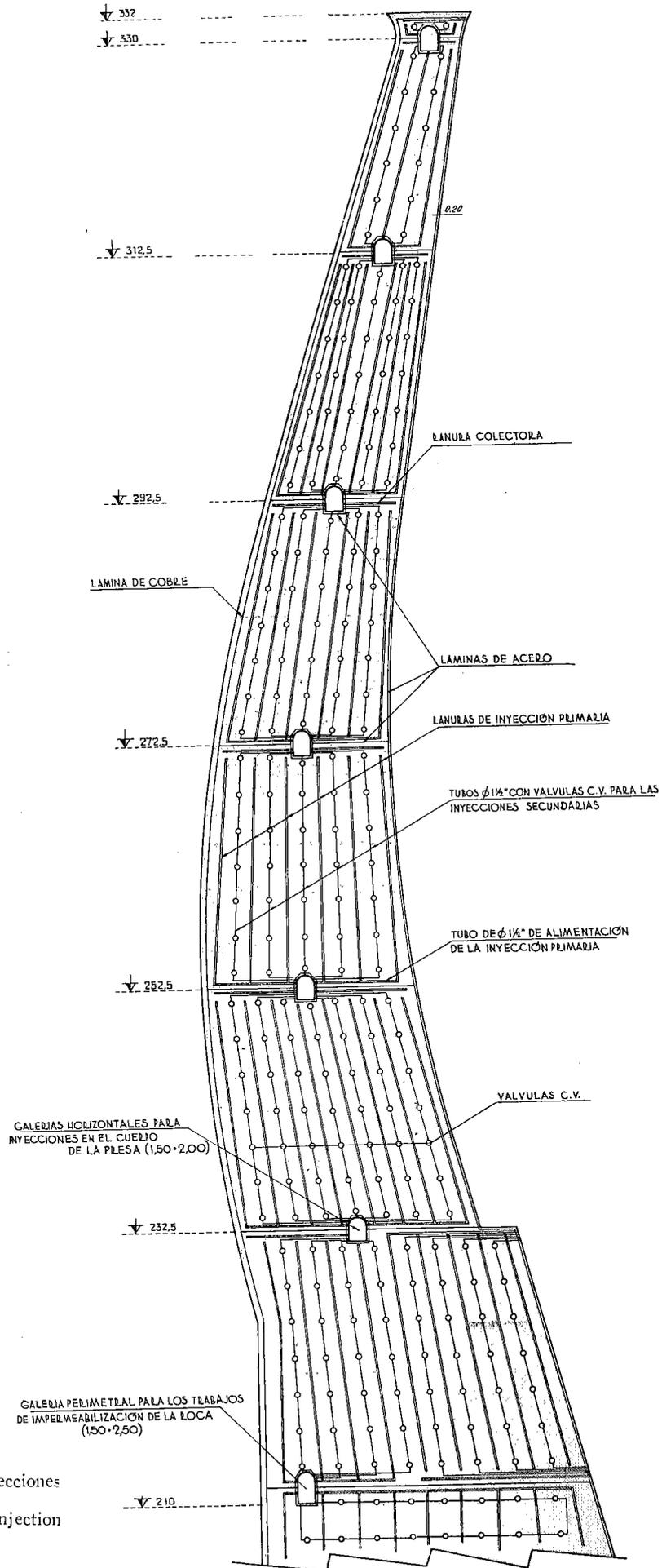
El ritmo medio de hormigonado fué de 21.000 m.³ al mes, alcanzándose un máximo de 38.000 m.³ en dos meses.

a) Accesos.

Como fase previa para la construcción de la obra fué preciso preparar una red de carreteras de 12 Km. para acceso a la obra y, dentro de ella, a las diversas dependencias e instalaciones, al mismo tiempo que se iniciaba la construcción de un poblado para alojamiento de personal, de oficinas, residencias, almacenes, talleres e instalaciones generales.

b) Excavaciones y canteras.

A continuación de la fase previa se iniciaron las excavaciones a cielo abierto para la presa, así como las subterráneas para tomas, central, túnel de acceso a la misma, túnel de descarga, etc., y también la preparación de la cantera para la ex-



Plano núm. 5. — Dispositivo de inyecciones en juntas de contracción.
 Contraction joints injection device.

tracción de áridos. Gran parte de los productos de las excavaciones subterráneas fué utilizada también para la obtención de áridos.

El gran volumen de excavaciones subterráneas, 250.000 m.³, exigió un ritmo intenso de perforación y extracción de escombros, llegándose a realizar la destroza de la Central, 35.000 m.³, en un plazo de tres meses, y un avance en el túnel de descarga de 4 m. l. al día en ambos frentes de ataque con una sección de 83 m.².

La cantera se explotó en dos bancadas de 250 m. de frente cada una, y altura media de 50 m., alcanzándose un ritmo de explotación de 95.000 Tn. al mes.

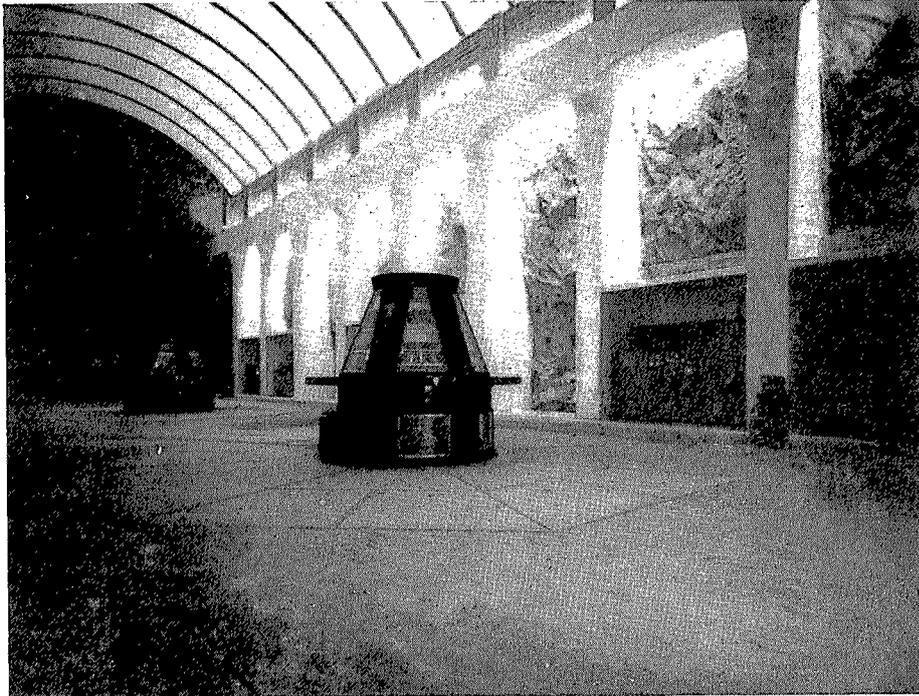


Figura 8.^a

c) *Transportes.*

No obstante haberse estudiado el emplazamiento de las instalaciones para un transporte mínimo, fué necesario utilizar un gran número de camiones, que realizaron 2.500.000 Tn./Km. en el transporte de piedra para la alimentación de machaqueo primario y 1.200.000 Tn./Km. en el transporte de productos de excavación. Independientemente, en el transporte de cemento se realizaron 6.700.000 Tn./Km.

d) *Machaqueo y clasificación.*

Los productos de cantera, después de sufrir un machaqueo primario, fueron transportados por cintas en una longitud de 297 m. hasta un silo natural regulador de 30.000 Tn. de capacidad.

Desde este punto, e igualmente con cinta, se elevaron los áridos hasta los pórticos de secundario, en los cuales mediante cribas y sucesivos pasos en el macha-

Fig. 8.^a — Sala de excitatrices. Los entrepaños entre pilares y los frentes de la central han sido dejados con la roca al natural. Sketch No. 8. — Exciters room. Panels between columns and power house front walls have been left in plain rock.

queo, retirando los excedentes, se obtenía el tonelaje preciso de los cinco áridos clasificados que se requerían para el hormigón. Antes de ser ensilados estos áridos sufrían un fuerte lavado, sobre criba, en los tamaños grandes y mediante lavadora de hélice, los finos.

Los tamaños, así como la capacidad de cada silo clasificado, era el siguiente:

	Tamaño	Capacidad silo Tn.
Arido (1)	0,0- 2,5	1 700
" (2)	2,5- 9,5	840
" (3)	1,5- 38,0	1 600
" (4)	38,0- 75,0	1 275
" (5)	75,0-125,0	2 550

Desde estos silos se alimentaba la Central de hormigón situada a 290 m. mediante cuatro cintas en serie.

e) *Instalaciones de cemento.*

El cemento se transportó a granel por ferrocarril hasta Monforte, donde se montaron unas instalaciones de descarga neumática y almacenaje, y desde allí, mediante camiones containers se transportó a obra.

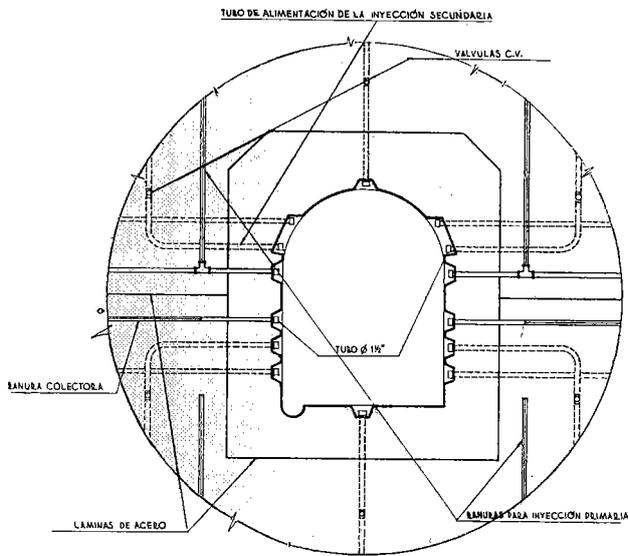
En obra había silos con una capacidad total de 5.800 Tn., a pesar de lo cual, y para tener una mayor seguridad en su suministro de cemento, se instaló un equipo con silos, silos de yeso, secador y molinos para la fabricación en obra, recibiendo como primera materia el clinker. Desde los silos se envió el cemento mediante dos tuberías a la central de hormigón situada en la margen derecha, salvando una distancia de 400 m. y altura de 70 m. mediante equipos Fuller-Kinion.

f) *Instalaciones de aire comprimido.*

Convenientemente dispuestas se montaron cuatro estaciones de compresión situadas en las proximidades de los puntos de máximo consumo; obras subterráneas, excavaciones de presa en ambas márgenes y cantera, con una potencia total de 1.845 CV. Estas cuatro estaciones de compresión principales estaban interconectadas mediante una amplia red de tuberías, permitiendo una perfecta distribución del aire, según las necesidades, y un buen aprovechamiento de los compresores.

g) *Abastecimiento de agua y agotamiento.*

Para el abastecimiento general de agua se instaló un equipo principal de ocho bombas para un caudal de 200 m.³ hora, que elevaba el agua a un depósito general de 800 m.³, situado a 200 m. sobre el nivel del río, del que se abastecían todos los servicios de la obra en la margen derecha. Se instalaron algunos depósitos intermedios con válvulas automáticas de regulación para bajar las cargas hasta las normales de consumo.



DETALLE DE LA SALIDA DE
LOS TUBOS EN LAS GALERIAS

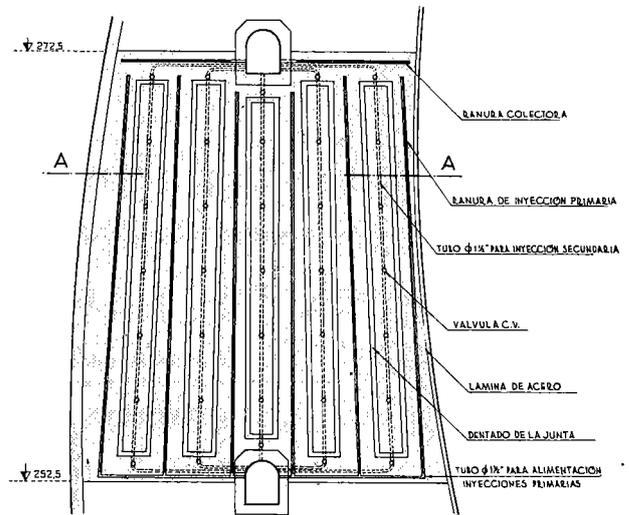
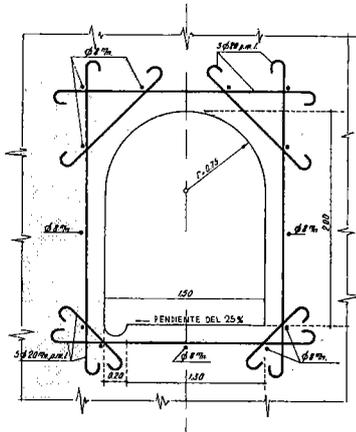
ESCALA 1:20

DETALLE DEL DENTADO DE JUNTAS
Y DEL SISTEMA DE INYECCIONES

ESCALA 1:100

SECCION TIPO DE GALERIA
(1,50x2,00)

ESCALA 1:20



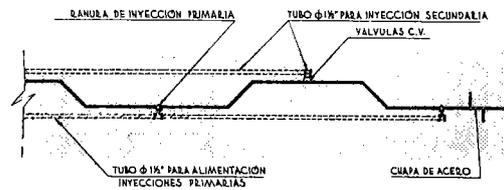
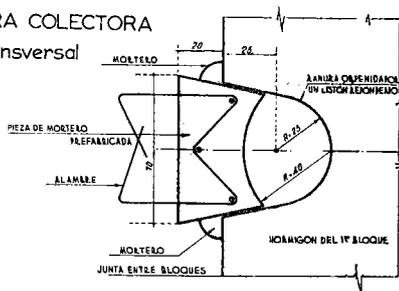
SECCION A-A

ESCALA 1:20

DETALLE DE LA RANURA COLECTORA

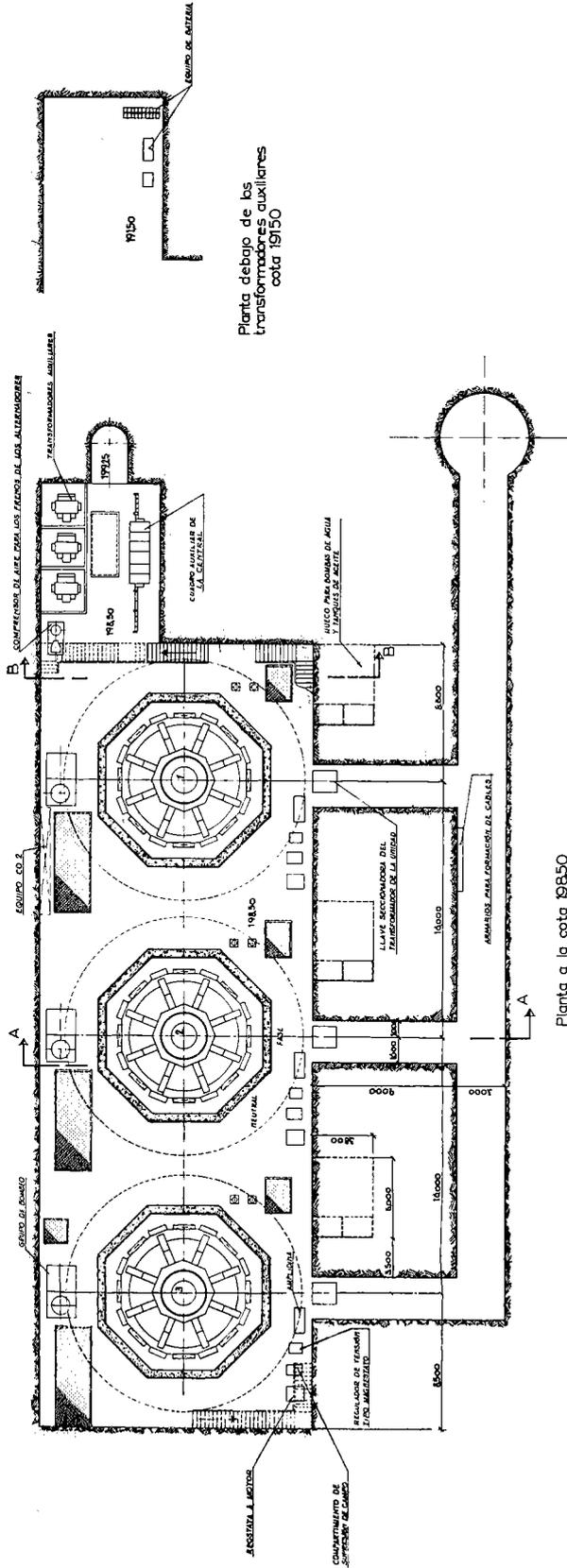
Sección vertical transversal

ESCALA 1:1

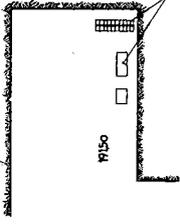


Plano núm. 6. — Detalles galerías y juntas de contracción.
Headings and contraction joints details.

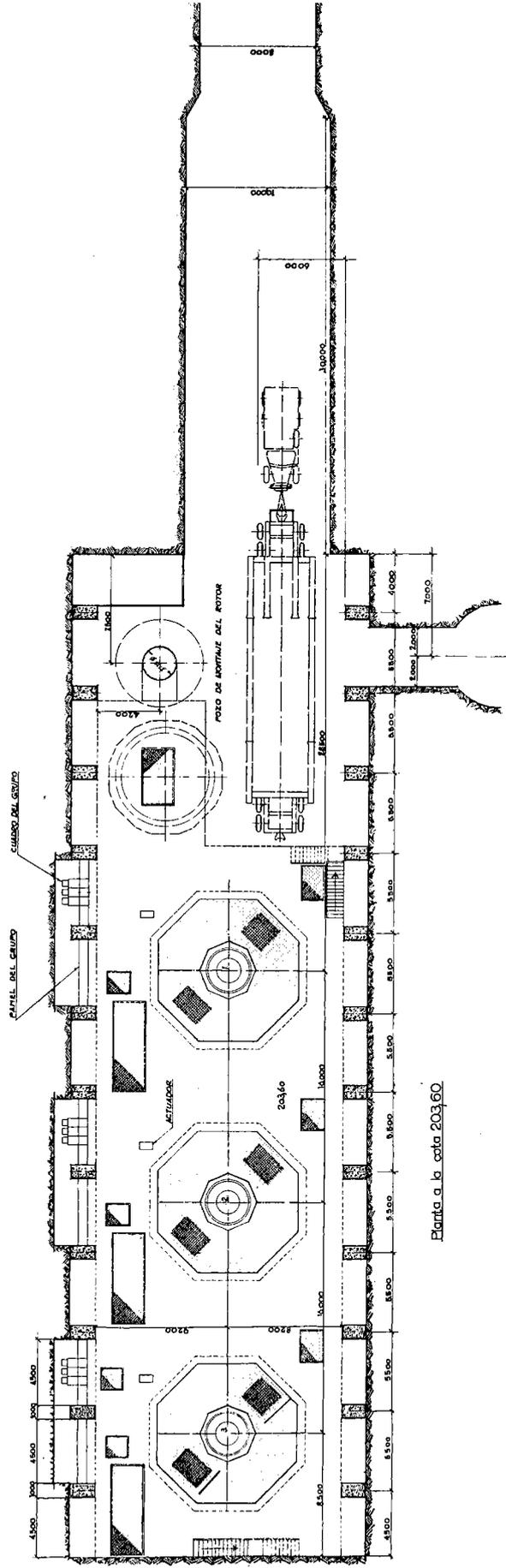
La Comisión, 1 de Julio de 1960
EL INGENIERO ABOGADO DEL PROYECTO,



Planta debajo de los transformadores auxiliares cota 19150



Planta a la cota 1985.0



Planta a la cota 203.60

h) *Fabricación y puesta en obra del hormigón.*

2

Para la elaboración del hormigón se utilizó una central Granier con tres hormigoneras y una capacidad de 115 m.³ hora, y tres dosificaciones por peso diferentes. Su funcionamiento era totalmente automático.

Las diferentes calidades de hormigón que se requerían, según la zona de obra, se vertían en una tolva general, de la que sucesivamente iban cargando los silobuses para transportar a los cubos de los cables grúas.

Estos, con una capacidad de carga en gancho de 12,5 Tn., abarcaban un amplio sector circular, dentro del cual quedaba prácticamente todo el volumen de presa, salvo los estribos de gravedad y aliviaderos, que se hormigonaron con tres grúas torre. Los cables grúas, de una efectividad inmejorable, tienen unas velocidades de elevación y traslación que les permiten un transporte medio de 65 m.³ hora. El índice de averías fué prácticamente nulo.

El hormigón, ya colocado en el bloque, fué vibrado con equipos Vibro-Verken de 5 CV., que realizaban el vibrado de los 4 m.³ de un cubo en dos minutos.

En general, todas las instalaciones funcionaron con regularidad, no produciéndose ningún estrangulamiento de consideración, lo que permitió llevar a cabo la obra de Belesar con la calidad requerida y en el plazo que se había fijado previamente.

