

PRESA DE ALMENDRA

EL PROYECTO

Ing. Agrónomo A. GALINDEZ

Ing. C. C. P. P. GUINEA

1. INTRODUCCION.

El salto de Villarino, del que forma parte la presa de Almendra, pertenece al sistema del Duero inferior que proyecta, construye y explota IBERDUERO, S. A.

El río Duero es una de las principales fuentes de producción hidroeléctrica que posee España. Las cuencas del sistema se desarrollan en la meseta castellana-leonesa y las considerables aportaciones a que dan lugar los ríos se precipitan, en los últimos tramos de los ríos Duero y sus afluentes Esla y Tormes, en importantes desniveles que dan lugar a condiciones muy favorables para el desarrollo de aprovechamientos hidroeléctricos de mediana y gran altura.

En su calidad de río fronterizo, la utilización del Duero está regulada internacionalmente por el tratado hispano-portugués de 16 de agosto de 1927, que fija, además de

las condiciones generales de utilización de los caudales, los tramos asignados a cada país.

La planta de la figura 1.^a representa las instalaciones principales de producción de IBERDUERO, S. A. y las figuras 2.^a y 3.^a la planta y perfil longitudinal del sistema hidroeléctrico del Duero inferior.

En el cuadro 1 se señalan, para el río Duero y sus afluentes de utilización hidroeléctrica más importante, Esla y Tormes, las alturas utilizables, las cuencas parciales en principio de tramo, las aportaciones en período hidrológico mínimo, medio y máximo, las capacidades de embalse previstas para rectificar la irregularidad de las aportaciones, las producciones de energía en período crítico, medio y de aportaciones máximas y las máximas avenidas previstas en los tres ríos.

En el cuadro 2 se han señalado las características

CUADRO 1.

APROVECHAMIENTO	RIO	Altura de las presas (m)	CAPACIDAD DE LOS EMBALSES (Millones de m. ³)		Superficie de las cuencas verticales (Km. ²)	Salto bruto (m)	Número de grupos	Potencia instalada (KW)	Energía anual media (GWh)	Energía anual con 95 % de probabilidad (GWh)
			TOTAL	UTIL						
Ricobayo	Esla.	95	1 200	1 048	17 020	88-43	4	133 200	575	430
San Román	Duero.	5	—	—	45 950	18	7	4 400	35	29
Villalcampo	Duero.	52	61	53	62 960	39	3	96 000	550	360
Castro	Duero.	56	38	20	63 200	37	2	79 800	550	320
Aldeadávila	Duero.	139,5	114,87	56,6	72 000	139,5	6	718 200	2 440	1 800
Saucelle	Duero.	83	170	56	73 715	62	4	240 000	1 050	698
Villarino	Tormes.	197	2 648	2 475	7 100	402	4	540 000	1 234	640

CUADRO 2.— SISTEMA DEL DUERO INFERIOR, MAYO 1967.

RIO	CUENCA Km. ²	Alturas de salto utilizadas por las aportaciones (m)	APORTACIONES ANUALES NATURALES			REGULACION		PRODUCCIONES DE ENERGIA			AVENIDAS Caudal máximo previsto m ³ /s
			Minima anual corresponde al período crítico (Hm. ³)	Media anual (Hm. ³)	Maxima anual (Hm. ³)	Capacidad de las reservas (Hm. ³)	% de la aportación media	En año mínimo (GWh)	En año medio (GWh)	En año máximo (GWh)	
Esla.	17 020	348	1 428	5 152	10 221	1 048	20,3	1 645	3 534	5 106	5 800
Duero.	45 940	277	1 594	5 154	12 124	—	—	991	2 048	2 984	12 500
Tormes.	7 100	555	428	1 700	3 670	2 475	145,6	782	1 864	2 889	5 300

NOTA: La cuenca total no corresponde a la suma de las cuencas parciales puesto que en la cuenca total interviene la intermedia después de la confluencia.

El caudal de 12 500 m.³/s. se refiere al total de los tres ríos.

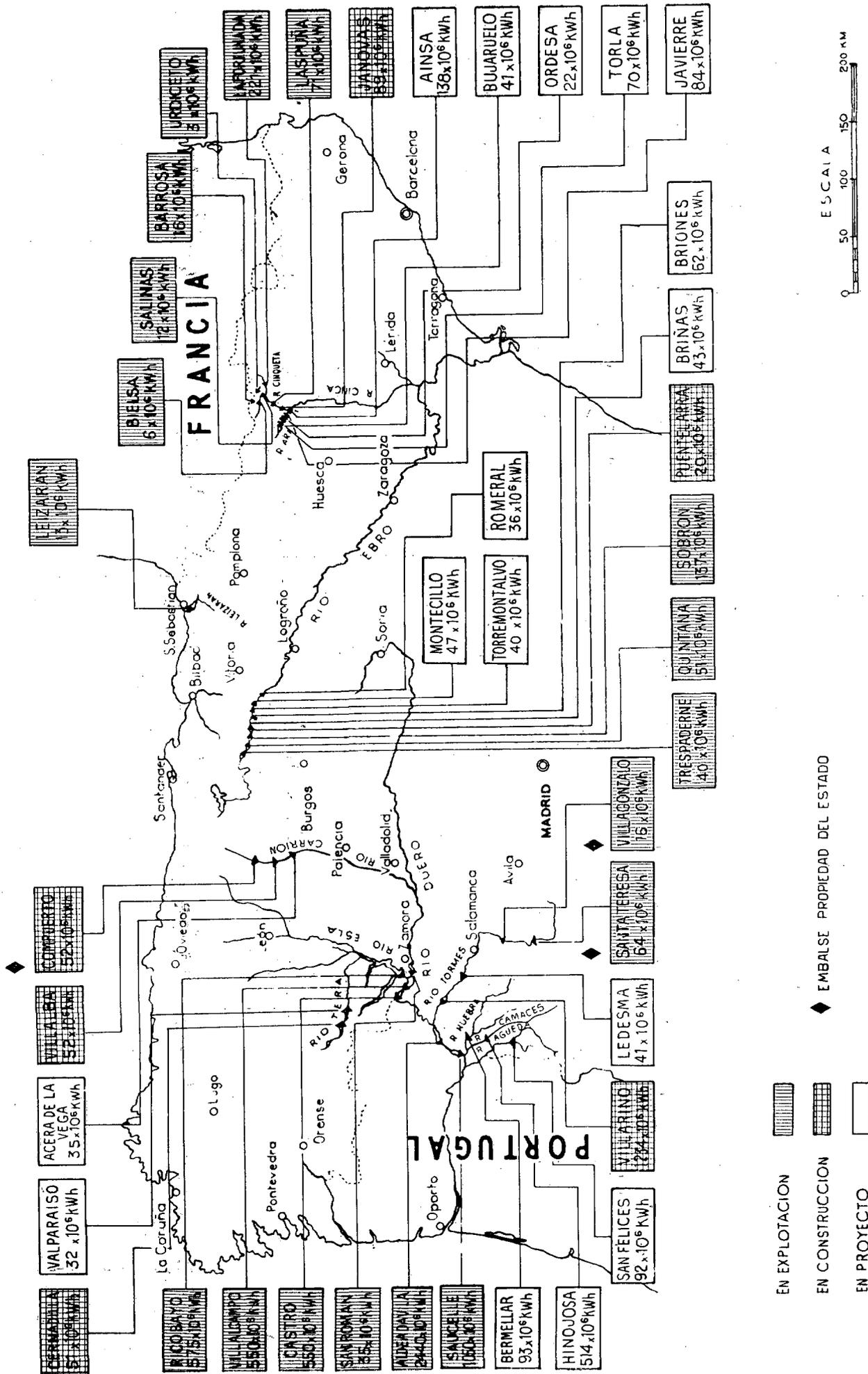


Fig. 1.^a — Instalaciones principales de producción de IBERDUERO.
 (Main hydroelectric schemes of IBERDUERO.)

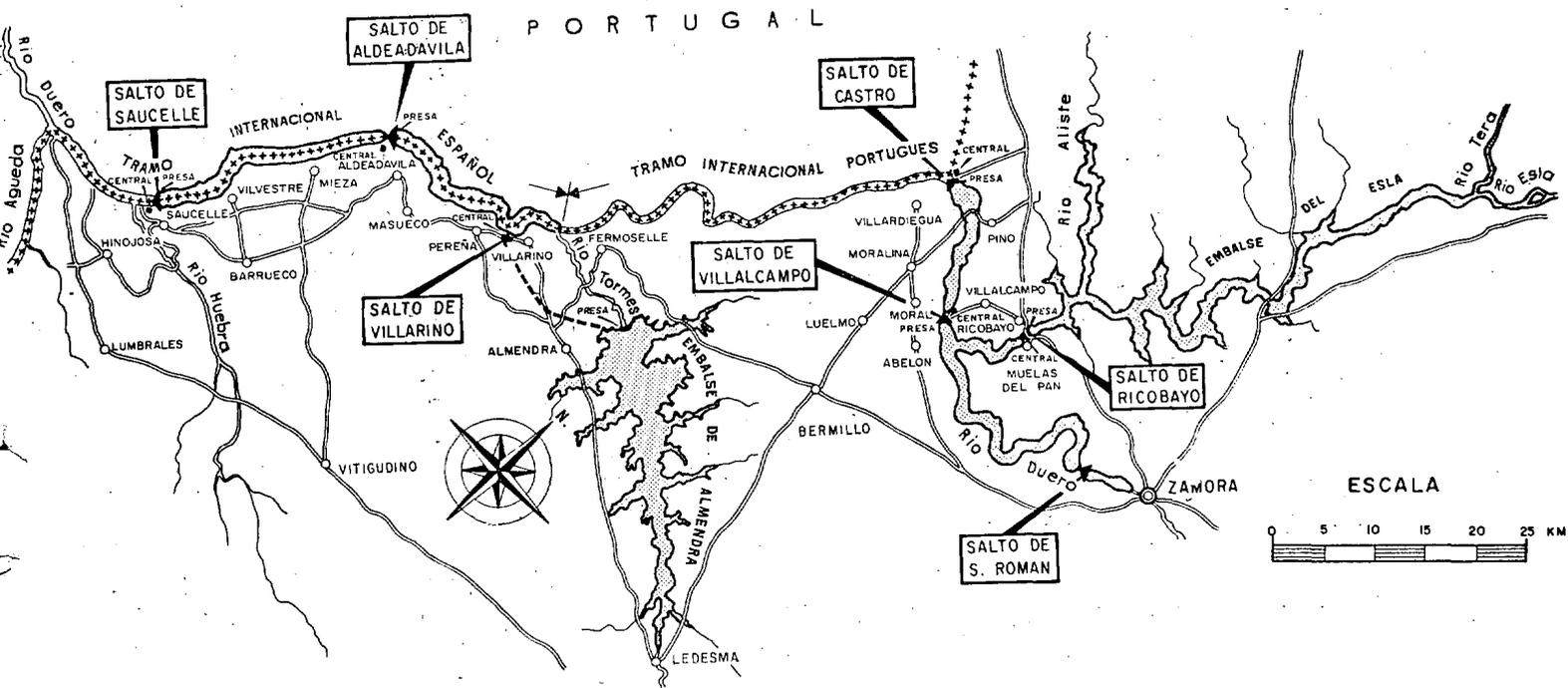


Fig. 2.^a — Planta del sistema hidroeléctrico del Duero Inferior.
(Plan of the hydroelectric system of the lower Duero.)

de los aprovechamientos del sistema, Ricobayo (1935), Villalcampo (1949), Castro (1952), Saucelle (1956), Aldeavila (1963) y Villarino, actualmente en construcción, y que se espera entre en servicio en 1969.

Para comprender debidamente las condiciones del medio en que se han desarrollado los proyectos, resta añadir que las características geológicas de la zona, señalan terrenos primarios con vasos impermeables y emplazamientos de presa muy favorables, de tipo granítico, entre los que destacan el extraordinario de Aldeavila y el de Almendra, emplazamiento asignado a la presa del salto de Villarino.

En general, tales emplazamientos son muy estrechos en su cauce, dando lugar a una extraordinaria concentración de los caudales evacuados en las avenidas, característica que ha definido principalmente el proyecto, construcción y explotación de las presas de los ríos Esia y Duero.

En el cuadro 1 destaca la gran irregularidad hiperanual de las aportaciones de los ríos en que las medias anuales del período crítico y máximo suponen, respectivamente, el 27, 31 y 25 % y el 198, 235 y 216 % de las aportaciones medias.

La clara visión que del campo hidroeléctrico tenían los dos hombres que trabajaron en la concepción del sistema, D. José Orbeago y D. Pedro Martínez Artola, les permitió darse cuenta de las condiciones en que se desarrollaría la producción hidroeléctrica en la que la

energía firme, permanente o de año seco valoraría la potencia de un aprovechamiento, en tanto que el resto de la energía producible se destinaría a economizar combustible pero no potencia instalada. De ahí, el que la concepción inicial del Sistema contara con un gran embalse, el de Ricobayo, de características anuales. Cuando más adelante, como consecuencia del progreso de la técnica, del mejor conocimiento de los ríos y de las irregularidades de su régimen, de las crecientes necesidades de energía y de las modalidades de su empleo, así como de la experiencia obtenida en la explotación de los aprovechamientos construidos, se decidió revisar la concepción original del sistema, se consideraron los siguientes objetivos:

- Mejora de la capacidad de reserva del sistema.
- Reducción del número de centrales.
- Posibilidad de implantación de grupos reversibles.

Esas condiciones han fijado las características del salto de Villarino, ya que el emplazamiento de presa escogido ofrece la posibilidad, por una parte, de la creación de un gran embalse con una capacidad de reserva de energía importante y, por la otra, del desarrollo del aprovechamiento en un solo salto mediante galería de presión o desagüe de 15 Km. de longitud.

Los grandes caudales del Duero en el tramo internacional, en relación a los más modestos del Tormes, reforzaron la conveniencia de implantar unidades reversi-

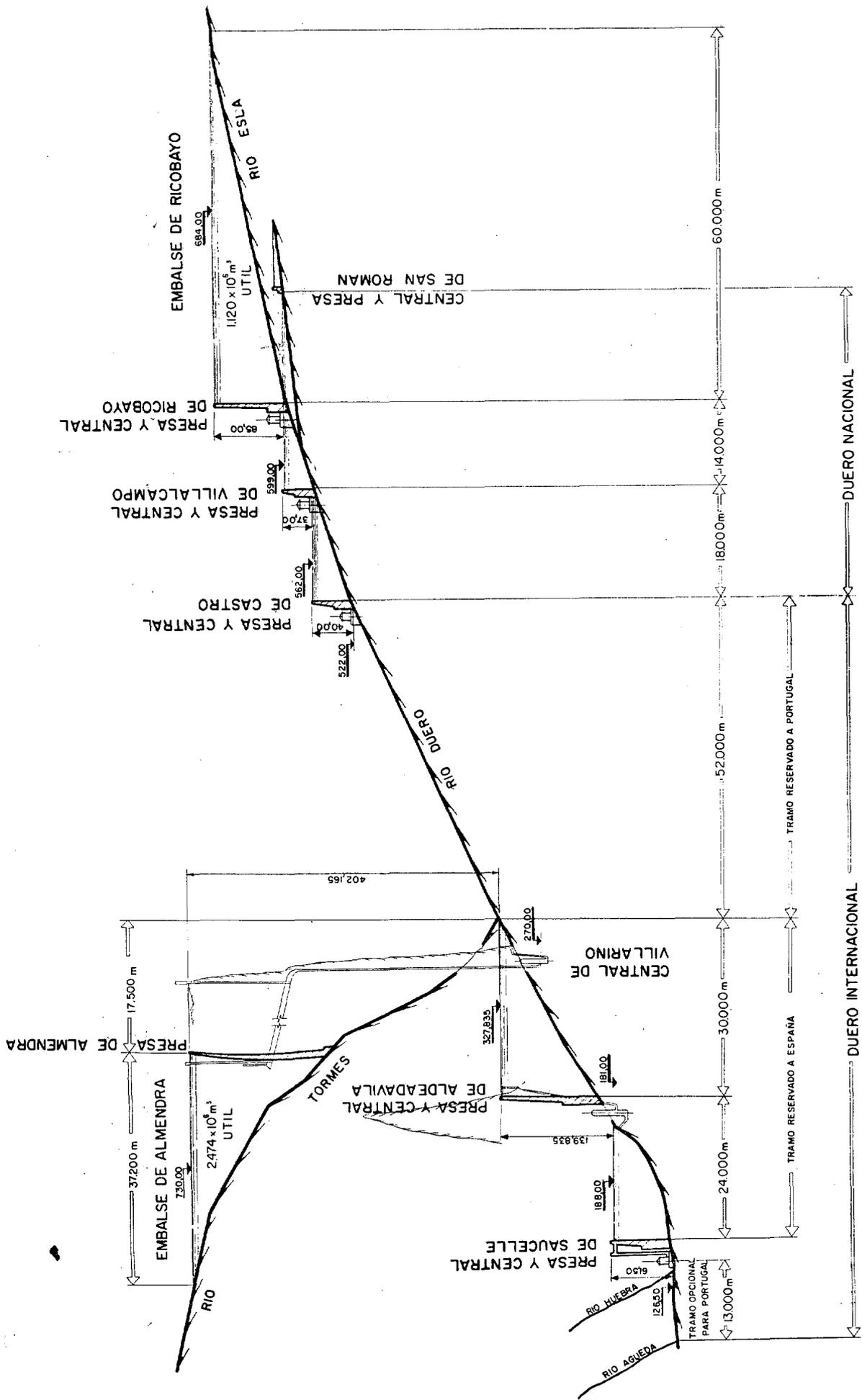


Fig. 3.ª — Perfi' longitudinal del sistema hidroeléctrico del Duero Inferior.
(Longitudinal profile of the hydroelectric system of the lower Duero.)

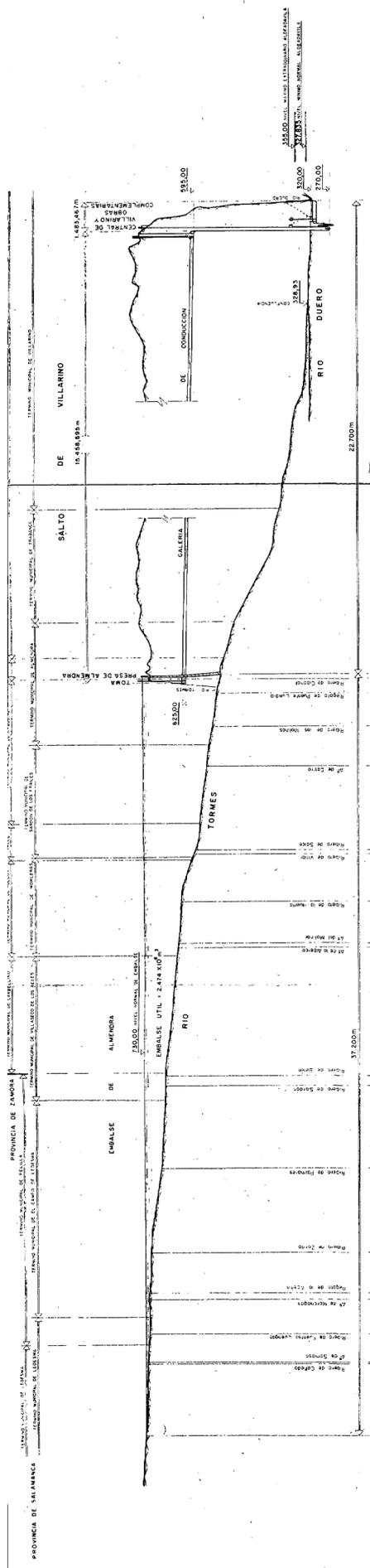


Fig. 4.—Perfil longitudinal esquemático del aprovechamiento de Villarino (Schematic longitudinal profile of the Villarino Project.)

ESTACION	ALTURA DEL FONDO DEL RÍO EN ESTAS ESTACIONES	ALTURA DEL FONDO DEL RÍO EN ESTAS ESTACIONES	ALTURA DEL FONDO DEL RÍO EN ESTAS ESTACIONES
0+00	1000	1000	1000
1+00	1000	1000	1000
2+00	1000	1000	1000
3+00	1000	1000	1000
4+00	1000	1000	1000
5+00	1000	1000	1000
6+00	1000	1000	1000
7+00	1000	1000	1000
8+00	1000	1000	1000
9+00	1000	1000	1000
10+00	1000	1000	1000
11+00	1000	1000	1000
12+00	1000	1000	1000
13+00	1000	1000	1000
14+00	1000	1000	1000
15+00	1000	1000	1000
16+00	1000	1000	1000
17+00	1000	1000	1000
18+00	1000	1000	1000
19+00	1000	1000	1000
20+00	1000	1000	1000
21+00	1000	1000	1000
22+00	1000	1000	1000
23+00	1000	1000	1000
24+00	1000	1000	1000
25+00	1000	1000	1000
26+00	1000	1000	1000
27+00	1000	1000	1000
28+00	1000	1000	1000
29+00	1000	1000	1000
30+00	1000	1000	1000
31+00	1000	1000	1000
32+00	1000	1000	1000
33+00	1000	1000	1000
34+00	1000	1000	1000
35+00	1000	1000	1000
36+00	1000	1000	1000
37+00	1000	1000	1000
38+00	1000	1000	1000
39+00	1000	1000	1000
40+00	1000	1000	1000
41+00	1000	1000	1000
42+00	1000	1000	1000
43+00	1000	1000	1000
44+00	1000	1000	1000
45+00	1000	1000	1000
46+00	1000	1000	1000
47+00	1000	1000	1000
48+00	1000	1000	1000
49+00	1000	1000	1000
50+00	1000	1000	1000
51+00	1000	1000	1000
52+00	1000	1000	1000
53+00	1000	1000	1000
54+00	1000	1000	1000
55+00	1000	1000	1000
56+00	1000	1000	1000
57+00	1000	1000	1000
58+00	1000	1000	1000
59+00	1000	1000	1000
60+00	1000	1000	1000
61+00	1000	1000	1000
62+00	1000	1000	1000
63+00	1000	1000	1000
64+00	1000	1000	1000
65+00	1000	1000	1000
66+00	1000	1000	1000
67+00	1000	1000	1000
68+00	1000	1000	1000
69+00	1000	1000	1000
70+00	1000	1000	1000
71+00	1000	1000	1000
72+00	1000	1000	1000
73+00	1000	1000	1000
74+00	1000	1000	1000
75+00	1000	1000	1000
76+00	1000	1000	1000
77+00	1000	1000	1000
78+00	1000	1000	1000
79+00	1000	1000	1000
80+00	1000	1000	1000
81+00	1000	1000	1000
82+00	1000	1000	1000
83+00	1000	1000	1000
84+00	1000	1000	1000
85+00	1000	1000	1000
86+00	1000	1000	1000
87+00	1000	1000	1000
88+00	1000	1000	1000
89+00	1000	1000	1000
90+00	1000	1000	1000
91+00	1000	1000	1000
92+00	1000	1000	1000
93+00	1000	1000	1000
94+00	1000	1000	1000
95+00	1000	1000	1000
96+00	1000	1000	1000
97+00	1000	1000	1000
98+00	1000	1000	1000
99+00	1000	1000	1000
100+00	1000	1000	1000

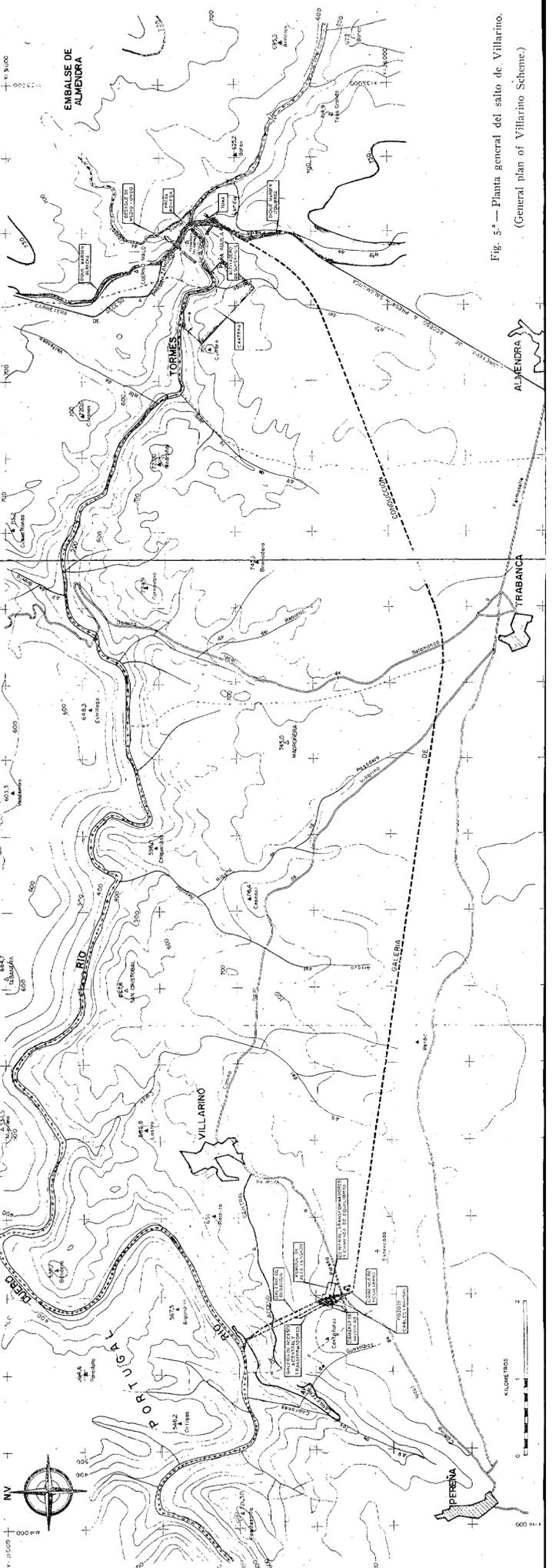


Fig. 5.—Planta general del salto de Villarino. (General plan of Villarino Scheme.)

bles para lograr una mayor garantía y elasticidad del llenado y funcionamiento del embalse y para economizar instalación de potencia en saltos de altura reducida, como Villalcampo y Castro, y agilizar la explotación del sistema en su función de cubrir la curva de carga del mercado.

Por estas consideraciones y otras que no citamos, el esquema del salto de Villarino quedó constituido de la forma siguiente que se aprecia en las figuras 4.ª y 5.ª.

— Una presa ubicada a la entrada del cañón granítico de Almendra, de tipo bóveda de doble curvatura, estribada en su parte superior en dos macizos de hormigón y flanqueada por dos largos diques laterales, de escollera el derecho y de gravedad aligerada el de la margen izquierda.

— Una galería de presión, a través de las correspondientes tuberías forzadas, alimentará o recibirá caudales de los cuatro grupos reversibles con potencia total de 540 000 kW. alojados en central subterránea que desaguarán o se alimentarán de una galería de desagüe de 1 271,91 m. de longitud.

En 1965 y terminadas las obras preliminares y accesorias, así como la desviación del río, se contrató la ejecución de la presa, a los contratistas asociados DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S. A., ENTRECANALES Y TAVORA, S. A. y CONRAD ZSCHOKKE.

En el momento de proceder a la redacción de este escrito, junio de 1967, se encuentran en funcionamiento las instalaciones de construcción, ha terminado la excavación de la presa y se coloca hormigón en la bóveda y dique izquierdo, así como escollera en el derecho.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL EMBALSE Y DE LA PRESA DE ALMENDRA.

El embalse del salto de Villarino regulará no sólo las aportaciones del río Tormes, sino las del Duero y Esla al permitir complementar los regímenes de estos dos ríos, regulados hasta ahora suficientemente, con los desagües de Villarino.

Las ventajas de un funcionamiento de este tipo se ponen de manifiesto al considerar que, si bien la producción media del salto de Villarino alcanzará 1 230 GWh., la regulación obtenida en el sistema del Duero supondrá 1 900 GWh., de carácter permanente o firme.

La altura en que se aprovecharán los caudales del río Tormes en los aprovechamientos de Villarino, Aldeavila y Saucelle, éstos dos últimos en el Duero Internacional, permitirá concentrar en el embalse de Almendra una reserva de energía de GWh.

La capacidad total de embalse será de 2 648 Hm.³, de los que 2 475 Hm.³ se consideran como capacidad útil.

El embalse de Almendra está formado por una presa principal y dos diques laterales.

La presa principal es de tipo arco de doble curvatura apoyado en estribos que se prolongan por medio de

aletas de hormigón hasta el terreno en la margen derecha, y el origen del dique en la izquierda. Su planta general puede verse en la figura 6.ª.

Las dimensiones principales de la presa principal, comprendiéndose en ella estribos y aletas, son:

Altura sobre cimientos	202 m.
Longitud de la coronación	1 074,70 m.
Desarrollo de la bóveda	567,2 m.
Relación cuerda-altura	2,77 m.
Espesores de la bóveda	} En coronación, 10 m. En inversión con zócalo 27,00 m.
Volumen de la excavación	
Volumen de la bóveda	1 672 510 m. ³
Volumen de la presa principal ...	2 058 080 m. ³

Las características más importantes del dique de margen derecha son:

Tipo escollera con pantalla de hormigón asfáltico:

Altura máxima sobre cimientos.	35,00 m.
Desarrollo de la coronación ...	1 673,00 m.
Anchura de la coronación	4,00 m.
Taludes de los paramentos	} Suso, 1 : 1,75. Yuso, 1 : 1,35
Volumen del dique	

Las del dique izquierdo corresponden a:
Tipo: Gravedad aligerada:

Altura sobre cimientos	33,00 m.
Desarrollo de la coronación ...	1 244,00 m.
Anchura de la coronación	3,50 m.
Taludes de los paramentos	} Suso 1 : 10. Yuso, 8 : 10.
Volumen de las excavaciones ...	
Volumen del dique	189 883 m. ³

3. CIMENTACION DE LA PRESA.

La presa de Almendra está cimentada en terreno granítico y gneísico, éste último localizado en parte de la zona correspondiente al dique de la margen derecha.

Los estudios realizados para determinar las condiciones geológicas del emplazamiento y las precauciones y dispositivos que habrían de tenerse en cuenta en la cimentación, abarcaban las siguientes cuestiones:

- Estudios geológicos generales.
- Estudios geotécnicos por métodos sísmico y eléctrico.
- Estudios de la red de litoclasas del emplazamiento.
- Prospección directa de la roca por medio de numerosos sondeos, galerías y pozos.
- Estudio de las características mecánicas de la roca por medio de ensayos *in situ*.
- Estudio de dispositivos de impermeabilización del cimiento.

Las conclusiones de estos estudios, que se han visto confirmadas hasta el momento al ejecutarse la excavación, fueron categóricas en el sentido de que la presa resultaba favorecida de manera extraordinaria por la calidad técnica y la homogeneidad de la roca que forma el substratum en toda su extensión.

No encontramos razones de tipo geológico que se opusieran a la solución técnica de considerar una sobre-elevación de la presa hasta 30 m. de las culminaciones topográficas naturales contra las que los arcos debían apoyarse, ni tampoco a la ubicación en que se han proyectado los largos diques laterales. Con las precauciones adecuadas, los trabajos de inyección y las dimensiones de las cortinas no sobrepasarían el cuadro normal de esos tipos de presa. La alteración química de la roca ha resultado, en general insignificante, y la mecánica, algo más importante, penetrando de 10 a 25 cm. en las litoclasas normales.

Se han realizado ensayos de módulo, fluencia y corte. Los resultados obtenidos señalan la buena calidad del cimientó para el que son de esperar deformaciones mínimas comparables a las del hormigón de la obra. La carga admisible, en perfectas condiciones de seguridad, es una de las más elevadas que se han encontrado en implantaciones de presa estudiadas en España con ensayos *in situ*.

La región del emplazamiento está clasificada como perteneciente al grado V a VI de la escala de Mercalli.

4. TIPO DE PRESA.

Las condiciones geológicas y la disponibilidad de materiales adecuados en la zona, indicaron claramente que el tipo de presa que debía de cerrar el cauce y la margen izquierda fuese de fábrica, y en cambio las condiciones del emplazamiento del dique de margen derecha recomendaban la adopción de un tipo de presa de materiales sueltos.

La disposición topográfica de la cerrada presentaba una situación muy favorable al establecimiento de una presa en forma de bóveda de doble curvatura, estribada en fuertes macizos de hormigón en los que se ubica el aliviadero de superficie. Sendas aletas de perfil gravedad unirán los estribos al dique de la margen izquierda y a la ladera derecha.

La bóveda central está proyectada a base de arcos de tres centros que tienen, para valles amplios, la ventaja de incidir un mayor ángulo en las laderas y dan un reparto de tensiones más favorable al tiempo que resulta sumamente sencilla la geometrización de la presa. La planta y perfil de la gruesa bóveda puede verse en las figuras 7.^a y 8.^a.

Para el dique de la margen izquierda y en solución de tipo gravedad, han sido analizados comparativamente perfiles de gravedad, bóvedas verticales con grandes contrafuertes, bóvedas inclinadas y varias formas de gravedad aligerada, resultando lo más conveniente, económica

y técnicamente, una solución de gravedad aligerada que es la que ha servido de base para la construcción.

En el dique de la margen derecha los primeros tanteos señalaban ciertas ventajas para la misma solución de gravedad aligerada del dique izquierdo, pero la incertidumbre respecto a la profundidad del cimientó adecuado y la existencia de abundantes productos de excavación de buena calidad, fueron motivo para la elección de un perfil de escollera con pantalla asfáltica impermeable en el paramento de aguas arriba.

La forma del cauce fue causa de que se haya considerado como más conveniente la instalación del aliviadero de superficie en la margen izquierda, encontrándose los trampolines de lanzamiento en la misma alineación que el tramo de río en que caen los chorros.

La instalación del desagüe de medio fondo en la margen derecha ha tenido como fundamento evitar la concentración de obras subterráneas en el mismo lado de la bóveda y también el cambio de dirección del cauce aguas abajo que facilita la anulación de la energía.

5. DETALLES DE LA PRESA.

a) Sistema de galerías y red de drenaje.

Para realizar el proyecto de inyecciones y drenajes previsto, al que más tarde nos referiremos, se han proyectado galerías perimetrales que en la parte baja de la presa se disponen en número de dos, una, próxima al paramento de aguas arriba, y otra, 10.00 m. hacia aguas abajo.

Además de las perimetrales, se ha previsto una red de galerías a lo largo del cuerpo de la presa principal distribuidas en cinco niveles repartidos en toda su altura, que se prolongan en el terreno. Se han previsto los correspondientes pozos de acceso, uno de ellos equipado del correspondiente ascensor.

Entre las galerías que atraviesan la bóveda se ha previsto taladrar, una vez terminada la refrigeración, los drenes que recogerán las aguas procedentes de filtraciones.

Para realizar el control de las fugas y subpresiones se ha previsto una red de taladros de drenaje separados normalmente 10.00 m. y paralelos a la cortina de impermeabilización, intercalando de vez en cuando taladros piezométricos que podrán indicar la necesidad de aumentar el número de taladros.

En la figura 9.^a puede verse el sistema indicado.

b) Juntas transversales y longitudinales.

Para el hormigonado en las condiciones de los métodos actuales y con el cuidado que requiere este tipo de presas, se ha fraccionado el cuerpo de la presa en bloques con juntas de construcción en sentido vertical y horizontal. Por otra parte, la técnica moderna de colocación del hormigón extendido y vibrado, en capas de espesor entre 35 y 60 cm., unido a la necesaria limita-

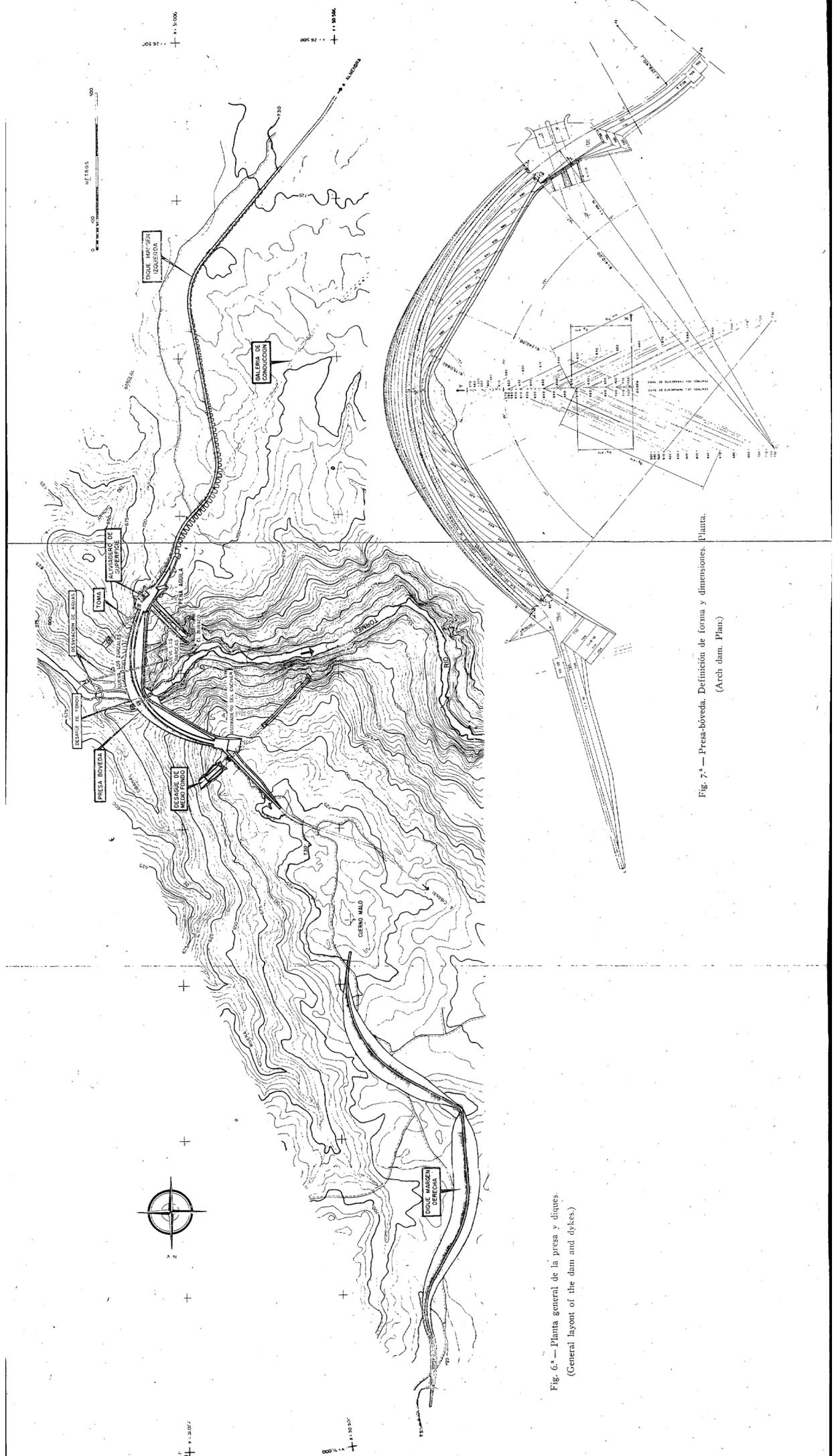
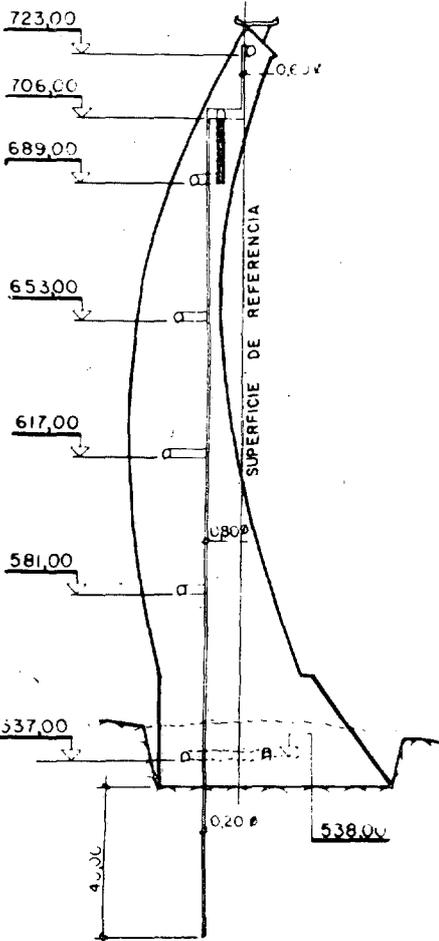
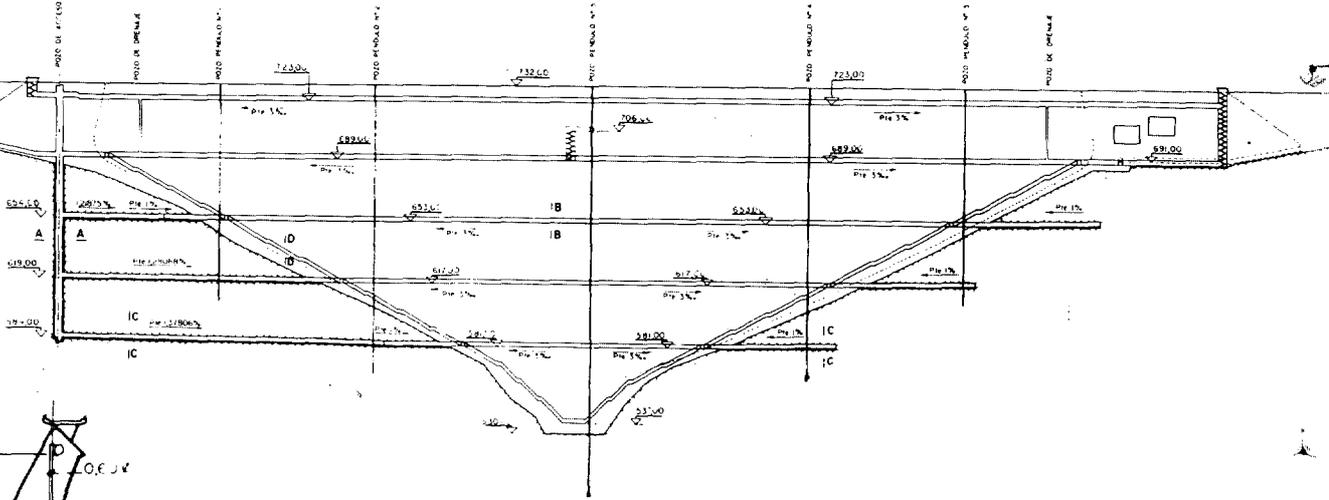


Fig. 6.—Planta general de la presa y diques.
(General layout of the dam and dikes.)

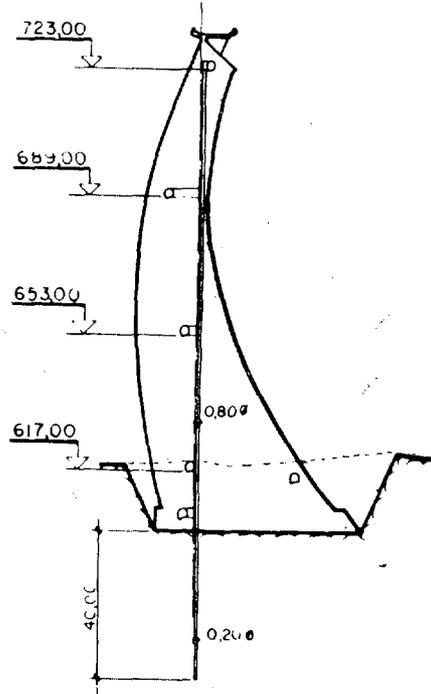
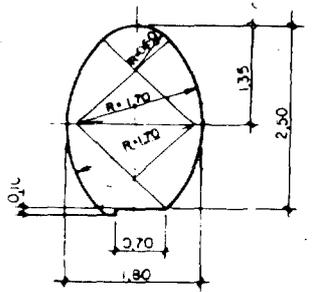
Fig. 7.—Presa-bóveda. Definición de forma y dimensiones. Planta.
(Arch dam. Plan.)

ALZADO



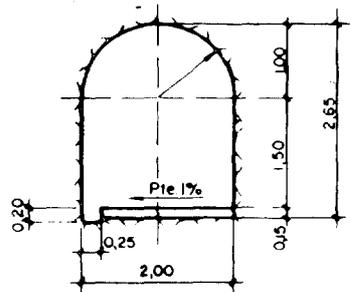
Pozos péndulo núm. 3.

Sección B-B.

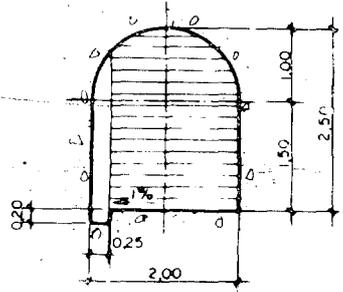


Pozos péndulo núms. 2 y 4.

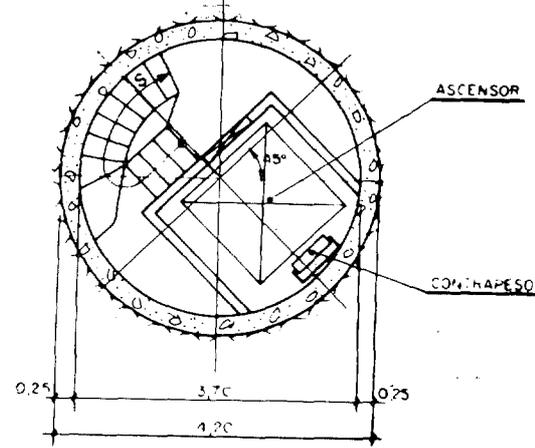
Sección C-C.



Sección D-D.



Sección A-A.



Pozos péndulo núms. 1 y 5.

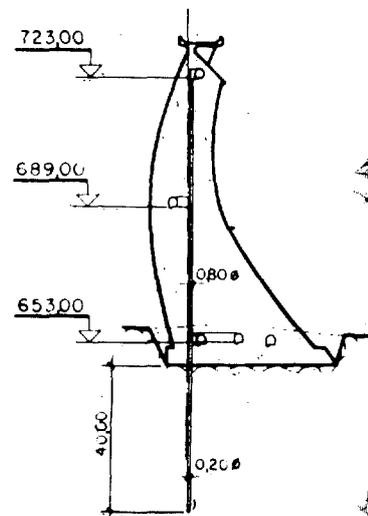
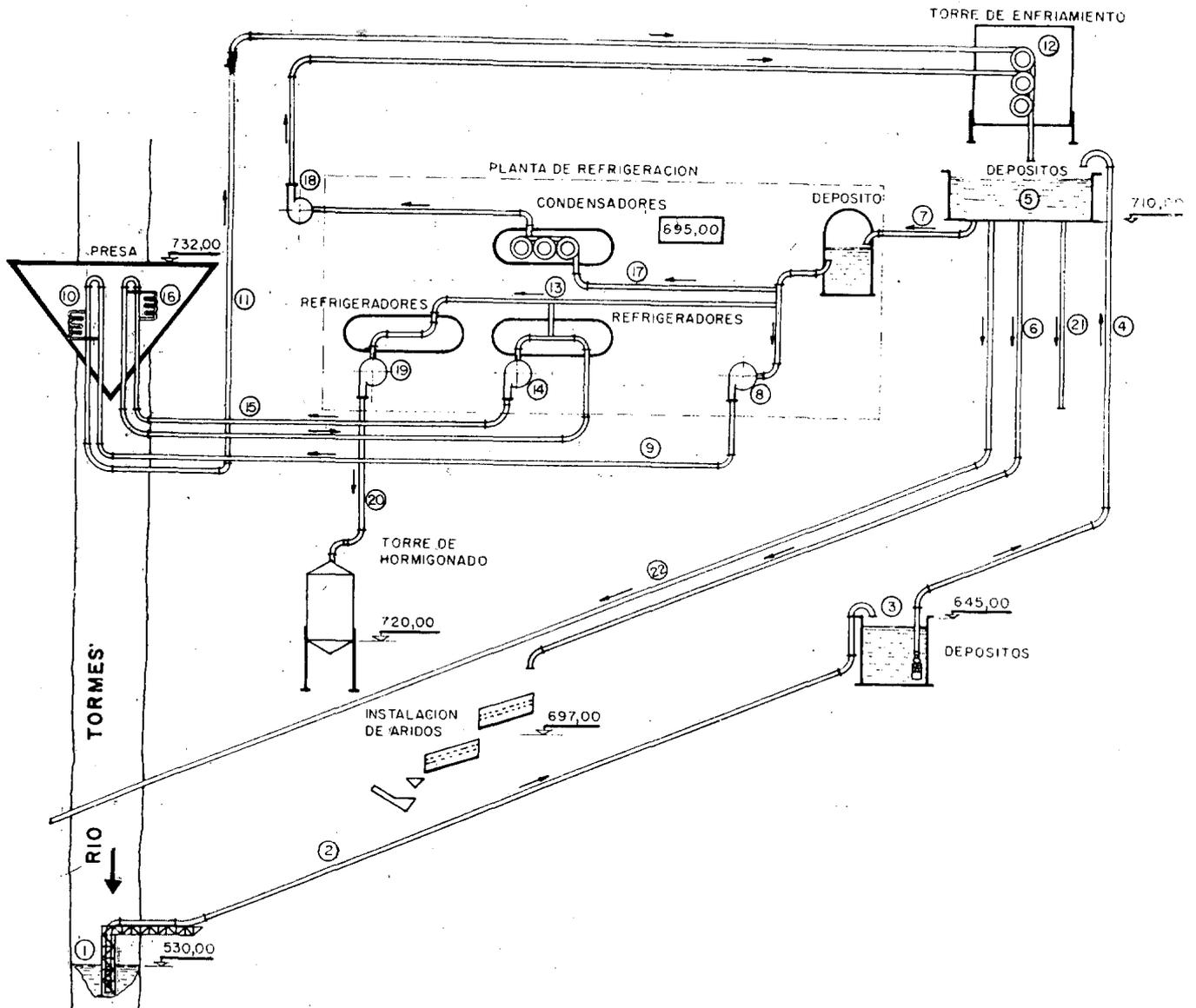


Fig. 9.ª — Presa-bóveda. Galerías y red de drenaje. Alzado y secciones tipo.
(Arch dam. Galleries and drainage system. Dournstream elevation and principals sections.)



1. Captación de agua 400 l/s.
2. 2 tuberías ϕ 300 mm.
3. 2 depósitos elevación 400 l/s.
4. 2 tuberías ϕ 300 mm.
5. 2 depósitos ladrillo 1 600 m³.
6. Conducción a instalación de áridos. 2 tuberías ϕ 200 mm.
7. Abastecimiento. Planta. Refrigeración. Tubería ϕ 500 milímetros.
8. 1 bomba para suministro de agua natural, 170 l/s. a 100 metros.
9. Tubería agua natural ϕ 300 mm.
10. Columnas refrigeración agua natural ϕ 4".
11. Tubería retorno agua natural ϕ 300 mm.
12. Torre de enfriamiento.
13. Tubería a refrigeradores, ϕ 350 mm.
14. 4 bombas agua refrigerada, 25 l/s. a 12 m.
15. 2 tuberías agua refrigerada, ϕ 250 mm.
16. Columnas agua refrigerada ϕ 3".
17. Tubería agua a condensadores ϕ 300 mm.
18. 4 bombas agua de condensadores 40 l/s. a 40 m.
19. Bomba agua refrigerada a torre de hormigonado, 10 l/s. a 40 m.
20. Tubería a torre hormigonado.
21. Tubería ϕ 200 mm. para riego margen izquierda del dique.
22. Tubería ϕ 200 mm. para riego margen derecha del dique.

Fig. 11. — Presa-bóveda. Refrigeración. Esquema del dispositivo.

(Arch dam. Cooling system. General layout.)

ción de los medios de colocación del hormigón, obliga a que el área de cada bloque venga condicionada por esa capacidad de colocación del hormigón, y da lugar a que en la parte inferior de la presa se hayan proyectado juntas longitudinales.

Por otra parte, el gran volumen de hormigón hace preciso establecer un ritmo de hormigonado relativamente rápido, lo que lleva consigo dimensionar adecuadamente los bloques de hormigonado, de forma que el calor remanente sea aceptable. De acuerdo con lo aconsejado

por la experiencia, se ha limitado la altura de los bloques a 2,00 m. y establecido una adecuada refrigeración.

Por todo ello se ha previsto la refrigeración de la bóveda y la colocación y vibrado mecánico. La limitación de la altura de los bloques a 2,00 m. en bóveda y estribos, y a 1,50 m. en aletas y dique izquierdo. Las juntas transversales se han dispuesto en planta, a una distancia próxima a los 15,00 m. En la parte inferior de la bóveda, el espesor ha obligado a disponer una junta longitudinal, con dispositivo adecuado para la transmisión de esfuerzos de arco, del mismo tipo que en Aldeadávila, Mauvoisin y otras grandes presas.

c) Sistema de inyección de las juntas.

El sistema de inyección de las juntas adoptadas ha sido el experimentado con pleno éxito en la presa de Aldeadávila, que consiste en situar un pozo en la superficie de cada junta del que parten los tubos de inyección en los que se sitúan los manguitos-válvulas de goma. Este dispositivo tiene la ventaja de que la inyección se hace sin ningún codo en la tubería, por lo que resulta fácil la reinyección en el caso de que sea necesario.

El sistema previsto para la refrigeración prevé que las juntas se inyecten al alcanzar el hormigón una temperatura determinada, y la conveniencia de que esto ocurra simultáneamente en el conjunto del arco, ha obligado a dividir los planos de junta en zonas limitadas por cierres estancos horizontales paralelos, a 18,00 m. de distancia. Cada zona dispone de una ranura colectiva superior, por la que sale el agua de lavado y la lechada de la inyección antes de dar presión a la junta.

La figura 10 muestra el dispositivo previsto y los detalles de las juntas y sistemas de inyección de la bóveda.

d) Sistema de refrigeración.

Con los criterios señalados anteriormente se ha proyectado la adecuada refrigeración, teniendo en cuenta que, en nuestro caso, el objetivo que se ha pretendido no es solamente hacer posible la inyección temprana de las juntas y la pronta en servicio de la presa, sino también utilizar las posibilidades de la misma para dar el estado tensional más favorable a la estructura.

En este sentido la temperatura de "clavado" de las juntas debe ser tal, que las tracciones que crea este efecto no deben superponerse a las que originan los esfuerzos a los que está sometida la estructura.

Por consiguiente, es de gran interés que el enclavamiento de las juntas se ejecute a una temperatura inferior a la media anual en las secciones más espesas, ya que en éstas la oscilación de las temperaturas del hormigón a lo largo del año es reducida, y las tensiones originadas por movimientos térmicos de cierta importancia, y de esa forma se puede crear un estado pretensional al elevarse la temperatura de los bloques inyectados, que garantizará un mejor cuadro de tensiones y una reducción de las filtraciones.

No sucede lo mismo con la parte superior, ya que en ésta el aumento de temperatura en los arcos crea tensiones de compresión que aumentan las propias de la estructura resistente.

Por ello se han establecido dos temperaturas del hormigón al procederse al cierre de las juntas, una, para la zona por bajo de la cota 627,50 inferior a la media anual del emplazamiento, y otra, para el resto de la presa sobre ese plano, superior a dicha media.

Siendo la temperatura media anual del emplazamiento de 11,5°, la temperatura del hormigón en la zona baja deberá ser de 9° y por encima de dicha cota de 14°.

El proceso de enfriamiento se realizará en dos períodos, en el primero se reduce la temperatura del hormigón hasta cierto límite con agua del río, y en el segundo se utiliza el circuito de agua refrigerada a 4°, para lograr en los bloques la temperatura de inyección de las juntas.

La figura 11 muestra el esquema del dispositivo adoptado, semejante a los utilizados en obras similares.

e) Estabilidad de las estructuras de la presa.

Hasta hace relativamente poco tiempo el cálculo de una presa-bóveda era excesivamente complejo, y los métodos usuales eran tan lentos que no era posible utilizarlos para el proyecto de formas, empleándose únicamente y con criterios simplificados para su comprobación. Hasta cierto límite era posible dimensionar las presas mediante ensayos en modelo, pero, además de costosos, el método requería considerable espacio de tiempo.

La aplicación de los computadores electrónicos ha simplificado el problema y hoy en día, una vez programado el cálculo, es posible conocer las tensiones y desplazamientos para distintas hipótesis de carga en un plazo corto.

En el caso de Almendra se ha utilizado un programa para el cálculo de una presa bóveda con siete ménsulas y cinco arcos de tres centros, teniendo en cuenta ajustes radicales, tangenciales y de torsión, rectificando los resultados obtenidos al tener en cuenta efectos secundarios. La solución provisionalmente aceptada como definitiva fue sometida a ensayos en modelo reducido en el Laboratorio de Ingeniería Civil de Lisboa, y en consecuencia de los resultados del cálculo y del modelo, como puede verse en los gráficos correspondientes, se consideró como satisfactoria, teniendo en cuenta las limitaciones de ambos procesos. En el cálculo para la presión hidrostática de máximo nivel extraordinario, subpresión, peso propio y variación de temperatura, se deducen unas tracciones máximas de 6,06 Kg./cm.², mientras las máximas compresiones excedían a 61,34 Kg./cm.². El modelo dio, para las hipótesis de presión hidrostática y peso propio (éste agregó mediante cálculo), secciones máximas de 10 Kg./cm.² y compresiones de hasta 50 Kg./cm.². Los desplazamientos radiales debidos a la presión hidrostática han dado en el modelo y cálculo valores comparables, como puede observarse en el gráfico.

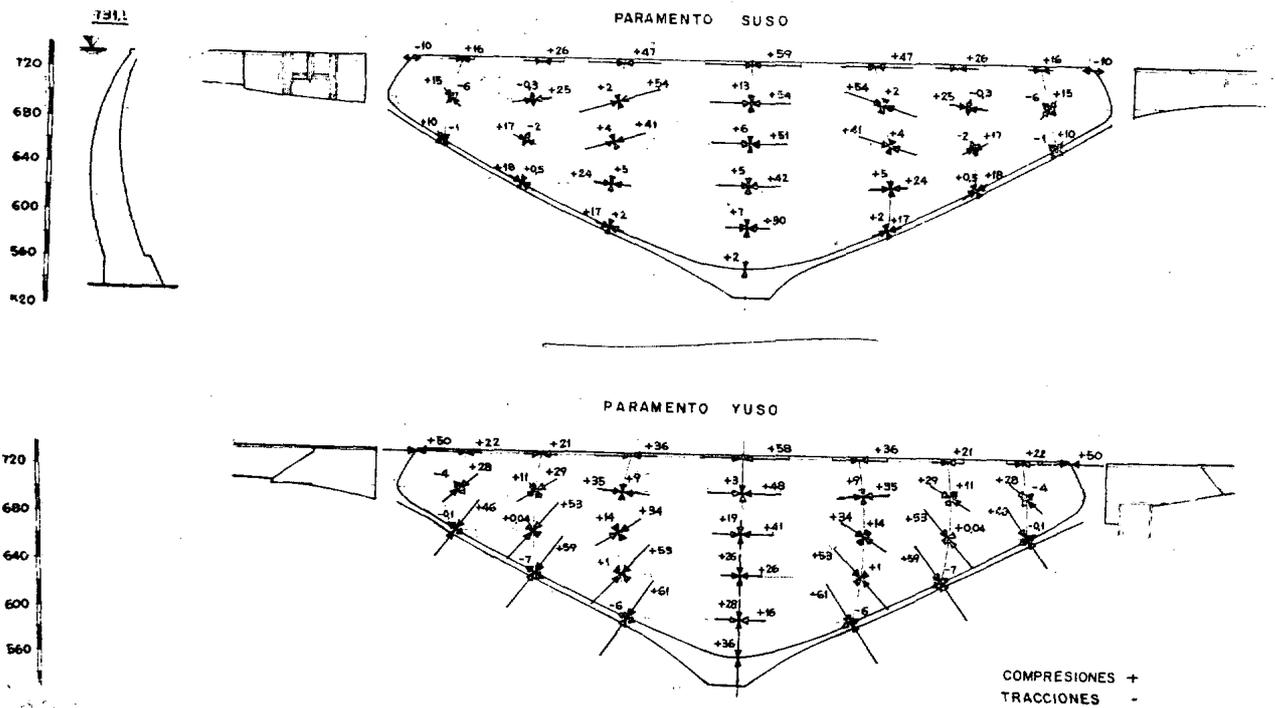


Gráfico 1.—Tensiones principales según el cálculo debidas a la presión hidrostática y el peso propio en Kg./cm.² con sobrecarga de agua hasta la cota 731.50.

(Principal stresses according to calculus due to hydrostatic pressure and deadweight in kgs./cm.² with an overload of water to level 731.50.)

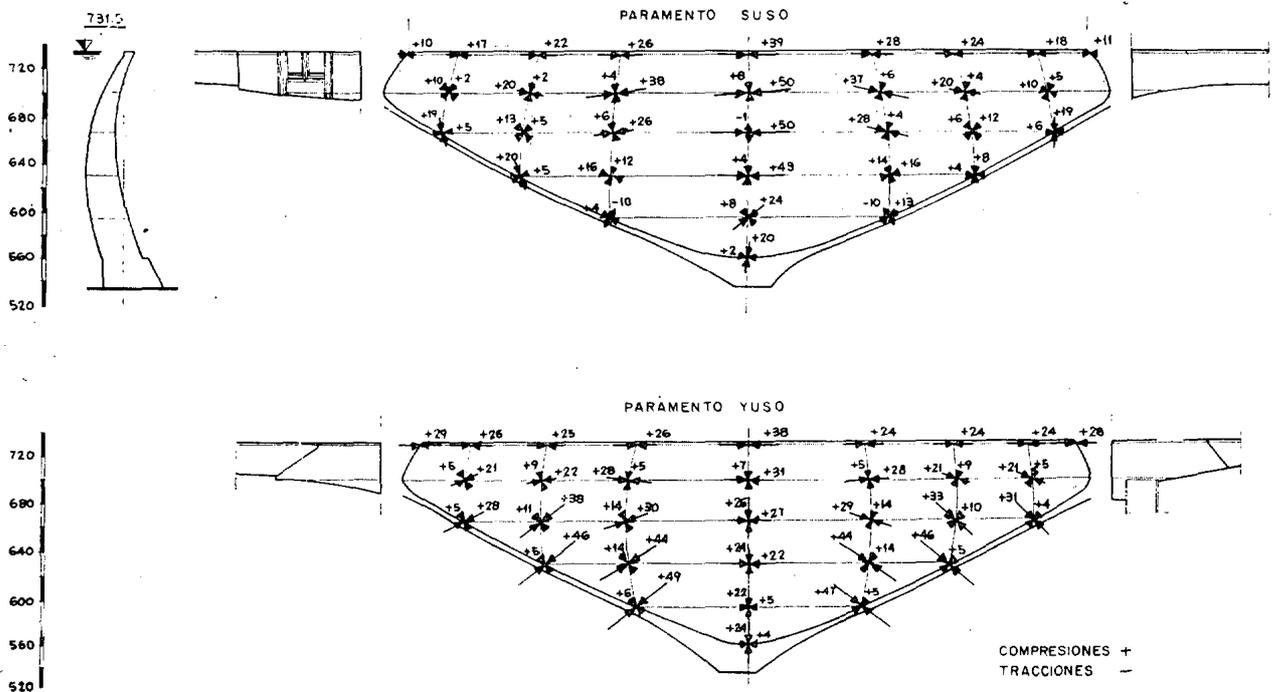


Gráfico 2.—Tensiones principales según el modelo debidas a la presión hidrostática y el peso propio en Kg./cm.² con sobrecarga de agua hasta la cota 731.50.

(Principal stresses according to elastic model due to hydrostatic pressure and deadweight in kgs./cm.², with an overload of water to level 731.50.)

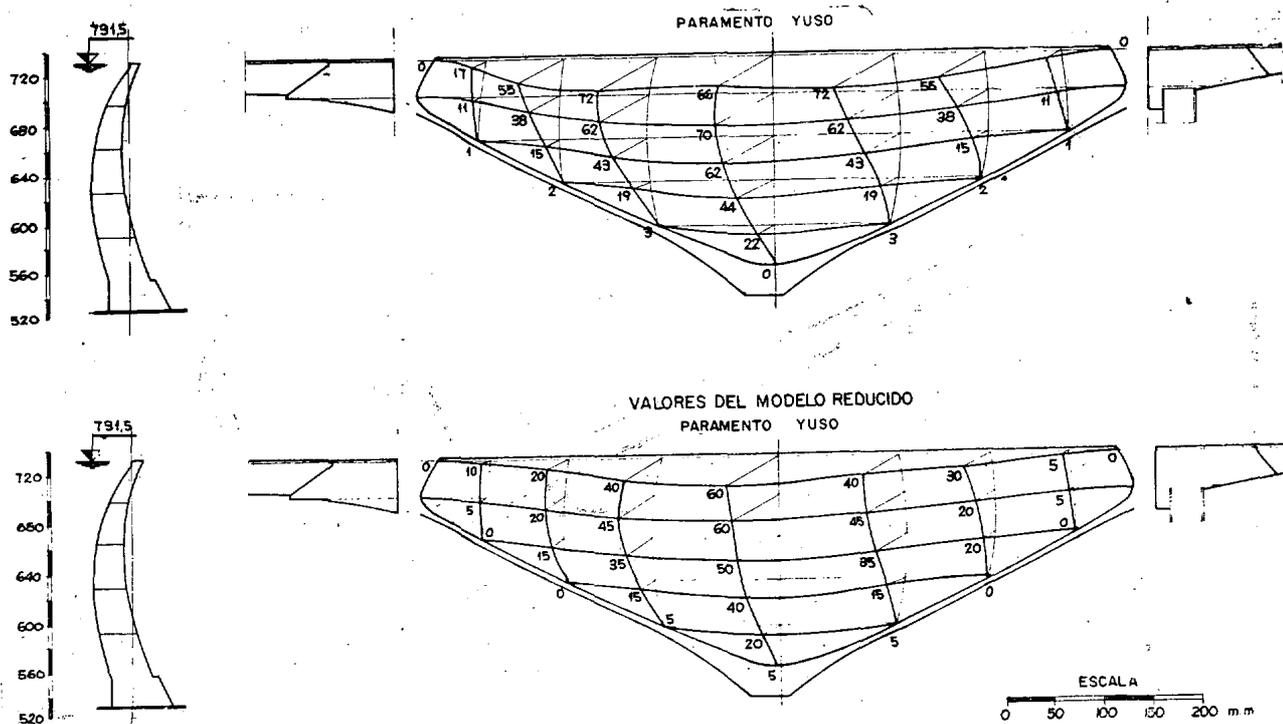


Gráfico 3.—Desplazamientos radiales debidos a la presión hidrostática en mm. con sobrecarga hasta la cota 731,50.

(Radial deflections in mm. due to hydrostatic pressure with overload to level 731.50.)

Las tensiones máximas y coeficientes de seguridad mínimos obtenidos en la comprobación de las demás estructuras, estribos, aletas y diques se muestran en el gráfico correspondiente comparándolas con los valores límites exigidos por la Instrucción española.

f) Tratamiento del terreno.

Teniendo en cuenta las dimensiones de la presa principal, los tratamientos usuales de consolidación e impermeabilización deberán ser más profundos, y en lo referente a la impermeabilización más densos que en otras presas de menor tamaño. Por otra parte, la forma de trabajo en bóveda, que descarga el paramento de aguas arriba en situación de embalse lleno, hará necesaria una inyección complementaria, cuando la presa se haya puesta en carga, a la que denominaremos de ligazón.

Los tratamientos previstos pueden clasificarse en:

- Inyecciones de consolidación, que evitarán las deformaciones plásticas ante el empuje de los arcos al cerrarse las fracturas abiertas, y mejorarán el módulo de elasticidad de las zonas decomprimidas.
- Pantalla de impermeabilización, que evitará las filtraciones profundas en zonas fracturadas del terreno.

Se ha previsto el empleo de técnicas de limpieza de fracturas detectadas, por considerar que hacen más eficaces las inyecciones de consolidación siempre que sea posible.

Se prevé una consolidación profunda, a presión máxima de 20 Kg./cm.², hasta el límite de unos 20 m., límite del bulbo de presiones, al admitir que el efecto es prácticamente nulo en aquellas grietas en que la compresión máxima en el granito sea inferior a 20 Kg./cm.².

Se ha previsto en principio una red de taladros de consolidación profunda, cada tres metros, en forma de abanico, con profundidad máxima de 20 m., inclinados 45°, para que corten adecuadamente a las direcciones principales de las familias de diaclasas.

Una consolidación superficial se dispone en taladros, en forma de abanico, a distancias entre plano de taladros de tres metros. La profundidad mínima del taladro en la roca será de 3,00 m., con una presión máxima de inyección de 15 Kg./cm.². Ello exige que la altura mínima de los bloques sea de 10,00 m., sin sobrepasar los 20,00 m.

Se ha proyectado una pantalla de impermeabilización con taladros de 50,00 m. de profundidad, con uno cada cinco, llegando hasta los 70,00 m. de profundidad. La separación prevista entre taladros es de 5,00 m. y desde la cota 617 hasta el fondo del valle se ha proyectado la ejecución de dos cortinas auxiliares de unos 10,00 m. de profundidad. Las presiones previstas varían desde un mínimo de 20 Kg./cm.² hasta un máximo de 60 Kg./cm.².

Las denominadas inyecciones de ligazón, que hemos citado anteriormente, se ejecutarán una vez puesta en carga la presa si se aprecian fugas de agua como con-

secuencia de los movimientos que puedan producirse en lo ya inyectado.

La pequeña importancia en la altura de los diques laterales hace que, en su caso, se prevea emplear para consolidación e impermeabilización los sistemas clásicos utilizados y no nos parece interesante detallarlos.

g) *Organos de desagüe.*

Se ha realizado un minucioso estudio histórico del desarrollo de todas las grandes crecidas conocidas, a lo largo del río Tormes, entre Salamanca y su confluencia con el Duero, y se ha podido fijar con suficiente garantía y aproximación el máximo caudal instantáneo del río Tormes en Almendra, que resultó ser de 4 000 m.³/seg.

Un estudio estadístico, aplicando el método de Gumbel, fijó en 3 070 m.³/seg. el caudal medio diario de una avenida con periodo retorno de quinientos años, y el estudio de la correlación entre caudales medios diarios y los máximos instantáneos, dio para la misma probabilidad el caudal de 5 300 m.³/seg.

Se estudia la evolución de una crecida de 5 300 m.³/segundo de punta instantánea, y se comprobó la evacuación de la avenida característica con los medios de desagüe previstos.

Se han proyectado tres dispositivos de desagüe.

Un aliviadero de superficie, un desagüe de medio fondo y el desagüe de fondo.

El aliviadero de superficie se ha ubicado en la margen izquierda y su embocadura se sitúa en el estribo de la margen. Está formado por dos unidades independientes, formadas por la correspondiente embocadura, con su vano cerrado por compuerta Taintor de 12,50 m. de alto por 15,00 m. de anchura. El correspondiente canal se remata con un trampolín de lanzamiento que hacen convergentes las dos láminas.

La capacidad de desagüe se eleva a 2 928 m.³/seg. para el máximo nivel de crecidas y llega a 3 070 m.³/seg. para el nivel correspondiente a la coronación de presa.

El desagüe de medio fondo se dispone en la margen derecha y consta de una embocadura y un tramo en túnel común a dos unidades independientes que constituyen el resto del desagüe. Cada una de estas unidades se compone de una compuerta vertical de 6 × 4 m. y un tramo de túnel blindado de 5,00 m. de diámetro interior, que se remata en una segunda sección de control, por medio de compuerta Taintor de 4 × 4 m. A continuación de la compuerta, un canal exterior conduce los caudales desaguados al correspondiente trampolín de lanzamiento.

Este desagüe de medio fondo que domina los últimos 50 m. del embalse, tiene una capacidad de evacuación a cota de embalse normal de unos 900 m.³/seg.

Los desagües de fondo, en número de dos, están alojados en el zócalo de la parte inferior de la bóveda. Una robusta rejilla impide la entrada de cuerpos flotantes al interior de los conductos blindados, de 1,80 m. de diámetro, que dispone de dos elementos de cierre. El de aguas arriba está formado por dos válvulas en serie de tablero vertical

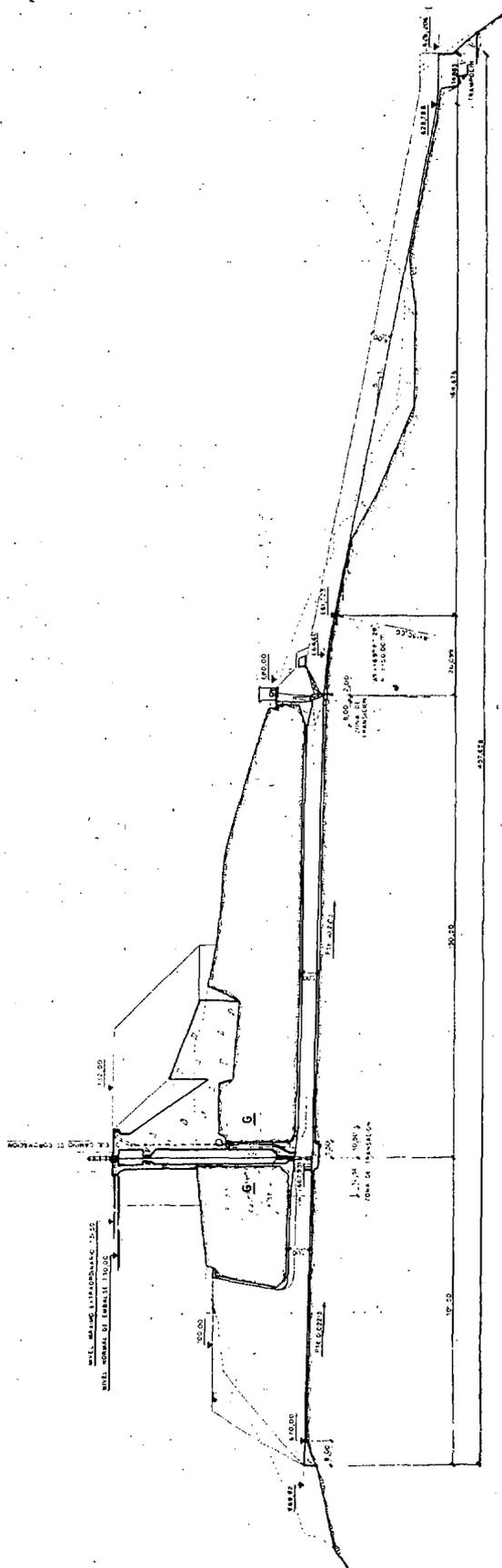


Fig. 13.—Desagüe de medio fondo. Perfil longitudinal (Medium deep outlet. Longitudinal profile.)

de 1,80 × 1,50 m. Aguas abajo se ha previsto en cada desagüe una válvula de presión de chorro hueco, de 1,80 metros de diámetro, de forma que se consiga una dispersión de los chorros y una anulación de energía en el lanzamiento, que no afecte a la seguridad de las laderas. La capacidad de desagüe prevista para el nivel máximo normal del embalse es de 204 m.³/seg.

El funcionamiento hidráulico y rendimientos de los tres dispositivos de desagüe previstos, su funcionamiento en toda la gama de caudales, incluso en aperturas parciales, la anulación de energía en el cauce y la ausencia de ataque en las laderas, son problemas que se han estudiado muy cuidadosamente en ensayos de modelo reducido en el Laboratorio de Hidráulica de Muelas del Pan (Zamora), que Iberduero tiene en funcionamiento desde hace muchos años.

A nivel normal de embalse, los dispositivos de desagüe pueden evacuar 3 600 m.³/seg., capacidad perfectamente adecuada teniendo en cuenta la laminación estudiada y producida por el propio embalse para las puntas instantáneas de los caudales.

Para el accionamiento general de las compuertas y válvulas de estos dispositivos de desagüe, aparte de los correspondientes a mano, para situaciones de emergencia, se ha dotado a los accionamientos de la posibilidad de abastecerse de tres fuentes diferentes de energía.

En las figuras 12 y 13 pueden verse detalles de estos dispositivos.

h) Auscultación.

En una obra de la importancia de la presa-bóveda de Almendra, es esencial el conocimiento del comportamiento de la unidad estructural presa-cimentación, tanto en el período de construcción como en el de explotación.

En colaboración con la casa especialista "CONSUL-PRESA", se ha estudiado cuidadosamente un adecuado sistema de auscultación, en base de diferencias dos tipos de elementos: a) "sintomáticos", que revelan si el comportamiento en general de la estructura es normal, y b) "analíticos" que servirán para interpretar las causas de la normalidad o anormalidad del elemento auscultado y facilitarán datos para corregir, en su caso, la anormalidad.

La finalidad principal que se persigue es la de controlar la seguridad de la obra, comparando los resultados con las hipótesis del proyecto. Se ha dado gran importancia a las observaciones durante el período de puesta en carga.

En la bóveda (incluyendo estribos y aletas) se ha previsto la observación de:

a) Componentes horizontales de desplazamientos absolutos, por el método geodésico y por el conjunto de péndulos normales e invertidos.

b) Componentes verticales de desplazamientos absolutos, a través de nivelaciones de precisión.

c) Giros, por medio de fotoclinógrafos.

d) Movimiento de las juntas, por medio de medidores de juntas.

e) Deformaciones unitarias del hormigón, con extensómetros.

f) Temperaturas del hormigón, con pares termoelectrónicos.

En la cimentación las observaciones se referirán a:

a) Componentes horizontales de desplazamientos absolutos mediante el método geodésico y por medio de péndulos invertidos.

b) Componentes verticales de desplazamientos absolutos, a través de nivelaciones de precisión.

c) Deformaciones unitarias, con extensómetros de gran base de medida.

d) Subpresiones, con piezómetros.

Se ha previsto, además, la medición de todas las filtraciones que haya a través de los drenes, bien de la presa o de la cimentación.

En los diques laterales se medirán los desplazamientos verticales absolutos, así como las componentes horizontales de desplazamientos absolutos por el método geodésico.

Los extensómetros en la bóveda se han situado en aquellos puntos donde los resultados del cálculo y los ensayos han indicado la existencia de mayores tensiones, para las distintas hipótesis de cálculo. Constituirán 21 grupos bidimensionales y 10 unidimensionales, todos ellos a 1,00 m. de distancia del paramento más próximo.

El fotoclinógrafo, que permitirá obtener registros continuos, dará una información particularmente interesante durante la acción de eventuales microseísmos que pueden producirse en el llenado del embalse.

Los grupos extensómetros de la cimentación se han situado de forma que den una información general sobre el comportamiento de la misma. Constituirán 6 equipos bidimensionales y dos grupos unidimensionales, y uno de ellos se emplazará próximo al pie de aguas arriba, para conocer el comportamiento de la roca, en la zona donde puede haber pequeñas tracciones a embalse lleno.

Los piezómetros se colocarán principalmente de forma que controlen las zonas de la superficie de cimentación, que son interceptadas en el pie de aguas arriba por los accidentes tectónicos más importantes.

Se han estudiado cuidadosamente unas Normas para la auscultación de la presa en los períodos de construcción, llenado del embalse y los criterios generales básicos para formular un plan definitivo de auscultación en régimen normal de explotación.

En la figura 14 puede verse un esquema de la localización de los aparatos previstos.

M.D.

M.I.

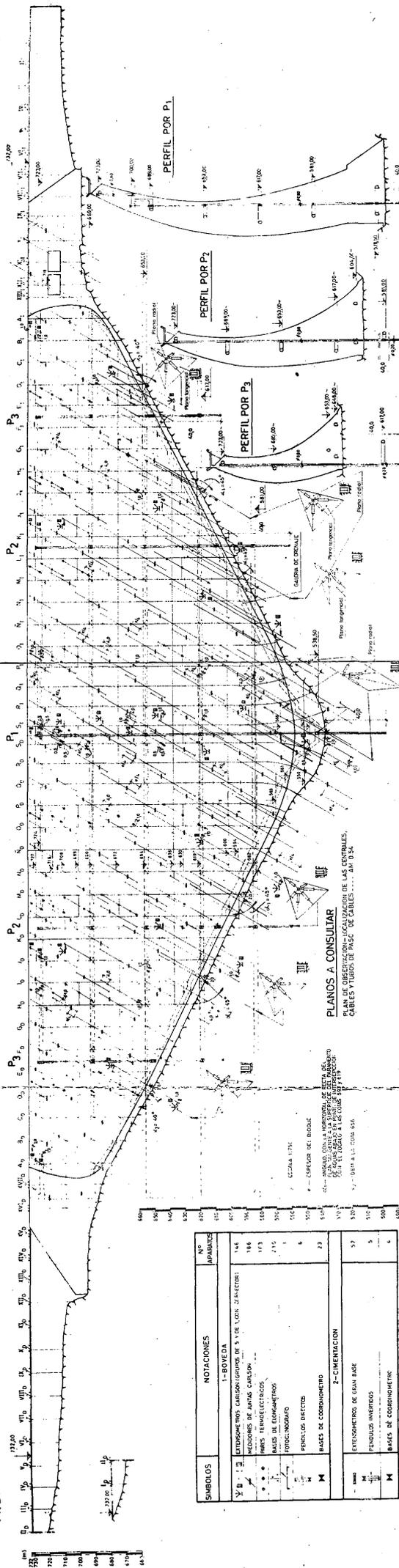


Fig. 14.— Esquema general de localización de aparatos de auscultación, en alzado.

General scheme of control apparatus.

Simbolos	Notaciones	Nº Aparatos
Y B	1-BOVEDA	148
—	EXTENSOMETRO CARLSON (ORGANOS DE 3 y DE 1,000 Z-ELECTRO)	186
—	MEDIDORES DE JUNTAS CARLSON	173
•	BASES DE TERMINALES ELECTRICOS	212
•	BASES DE EXTENSOMETROS	6
—	FOTOCAMARAS	6
—	PERFILES DIRECTOS	23
—	BASES DE COMPASIMETRO	57
—	EXTENSOMETROS DE GRAN BASE	5
—	TRUBOS DE ANGULOS	6
—	BASES DE COORDINOMETRICO	6

PRESA DE ALMENDRA

INSTALACIONES. ELABORACION DEL HORMIGON

Ing. C. C. P. G. GUEDAN

La presa de Almendra, parte fundamental del aprovechamiento hidroeléctrico de Villarino sobre el tramo final del río Tormes, a unos 15 Km. antes de su confluencia con el Duero, representa, con su envergadura de 200 metros de altura en bóveda, una de las más importantes estructuras de este tipo que actualmente se hallan en ejecución en el mundo.

La bóveda, por tener su coronación más alta que el terreno circundante, se prolonga lateralmente en dos diques de alturas máximas de unos 30 m. y longitudes de 1,5 y 2,0 Km. aproximadamente. Estos diques se han proyectado, el de la margen izquierda, en gravedad aligerada, mientras que el correspondiente a la derecha se está construyendo en escollera con pantalla de impermeabilización a base de hormigón asfáltico. El volumen total de hormigón a colocar sobrepasa los dos millones de metros cúbicos.

El presente artículo va a referirse a las operaciones, trabajos e instalaciones no ligadas a la fabricación y colocación del hormigón; se hablará, por tanto, de lo que podríamos llamar la primera fase de la obra, es decir, de la situación sobre el terreno de los medios de trabajo iniciales y de aquellas instalaciones que se han montado y construido en tal fase.

El comienzo de los trabajos se produjo a mediados de enero de 1965, tras un concurso internacional convocado por la Sociedad propietaria del salto, Iberduero, S. A., y el final de esta primera fase, o sea, el comienzo del hormigonado de la presa en el cuenco, se ha producido el día 17 de mayo último, si bien ya el 4 de octubre del año pasado se comenzó a colocar hormigón en el estribo izquierdo, pero sin tener completas las instalaciones.

En este intervalo de tiempo el programa de los trabajos se ha desarrollado en la creación de accesos, poblados, edificios generales, instalaciones de todo tipo y en la ejecución de las unidades de obra anteriores al proceso de hormigonado, es decir: excavaciones y apertura de cantera, pudiendo ser esta enumeración un índice de lo que se describe más adelante.

1. INSTALACIONES GENERALES.

1.1 Accesos.

El emplazamiento de la presa se halla separado como unos 5 Km. de la carretera que desde Ledesma va a

Fermoselle, en el desvío que nace hacia el hito kilométrico 70 de la misma.

Este desvío, así como el arreglo de la carretera principal hecho para la construcción de la presa, pasará sobre la coronación de ella, atravesando el río Tormes y

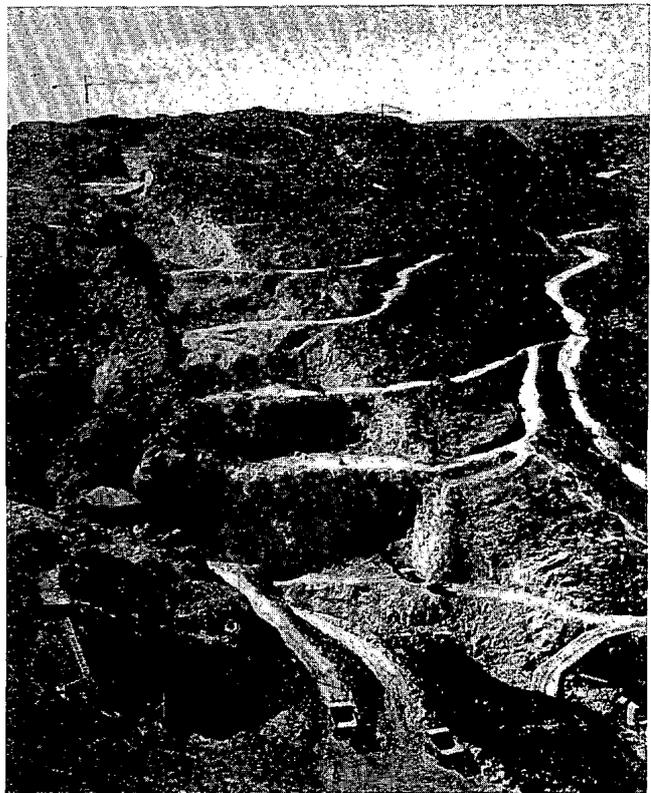


Fig. 1.^a — Vista de la excavación en estribo derecho.
(View of the right abutment excavation.)

estableciendo paso definitivo entre las dos provincias de Salamanca y Zamora.

Hasta que no esté construida la presa, ambas márgenes están unidas por una pista que, descendiendo en un trazado sinuoso hasta cerca del río, lo atraviesa por un puente próximo a la ataguía (bóveda de unos 15 m. de altura), para ascender en varias curvas a su empalme en lo alto de la ladera derecha.



Fig. 2.^a — Excavaciones en el cauce del río.
(Excavations on the bed of the river.)

Desde esta pista parten accesos generales que llevan a la zona de urbanización del poblado y campamento, a las oficinas y talleres, a las instalaciones y a la excavación de presa y cantera.

En total, el trazado de estas pistas, acomodada su anchura a las necesidades de cada tajo y casi siempre a media ladera como solución más económica, ha sumado una longitud de más de ocho kilómetros con pendientes variables hasta de un 12 por 100.

1.2. Redes generales.

a) La red de agua planteaba el problema de subir un caudal de 400 l./seg. desde la cota 523 hasta la 713, es decir, unos 200 m. de desnivel.

La elevación de este caudal a 200 m. de altura presentó el dilema de resolverla en varios escalones con bombas de poca altura, o ir a menos escalones con bombas de alta presión. Después de estudiar ambos proyectos se llegó a una toma situada aguas abajo de la presa y solamente en dos escalones, el primero de unos 10 m. y el

otro de 180 m., contiguos en un depósito de hormigón para unos 10 m.³.

El primer escalón se sirve por cuatro bombas verticales Flygt, tipo B 200-L, de 56 HP., trabajando en paralelo, y el segundo por una serie de cinco bombas Worthington, tipo 6UZD-1, para 80 l./seg. cada una a 200 m. de altura y motores de 210 HP.

Al final del segundo escalón de bombeo van dos depósitos cilíndricos en hormigón armado, diámetro 14 metros y capacidad de unos 800 m.³, de donde parte todo el agua de consumo de la obra.

A la salida de estos depósitos hay instalada una estación depuradora desde donde, por bombeo, se envía el agua a otro depósito pequeño elevado que suministra al poblado y campamento.

Esta red principal lleva dos tuberías gemelas de 300 milímetros de diámetro, del tipo electrosoldado helicoidal, con unión rápida pipeline de bridas Carbofer de fundición maleable.

b) La energía eléctrica llega a la obra a 46 KV. Partiendo de ella, se ha instalado una subestación principal de intermedia 46/13,8 KV., de una potencia de 10 000 KVA., con dos unidades de transformadores Oerlikon de 5 000 KVA, cada una. Así, en el interior de la zona de obra se hace una distribución en alta tensión a 13,8 KV., llegando a 12 puestos de transformación 13,8/380, de donde se distribuye finalmente en baja para todos los servicios. La longitud total de líneas tendidas se aproxima a los 12 Km., variando la potencia de estos puestos desde 250 a 800 KVA., con un máximo de 3 000 KVA. para el que alimenta los cables grúas para el hormigonado.

c) El suministro de aire comprimido está resuelto a base de dos casetas de compresores, una en la presa y otra en la cantera. Ambas, en fábrica de bloques de hormigón prefabricados, alojan 8 compresores AR-4. Atlas Copco, la primera, y 6 del tipo AR-3, la segunda.

El aire comprimido se distribuye a través de tuberías del mismo tipo que las de la red de agua.

Además de este equipo se ha hecho uso de una serie de compresores portátiles Atlas Copco (VT-5 y VT-6) y Atmos.

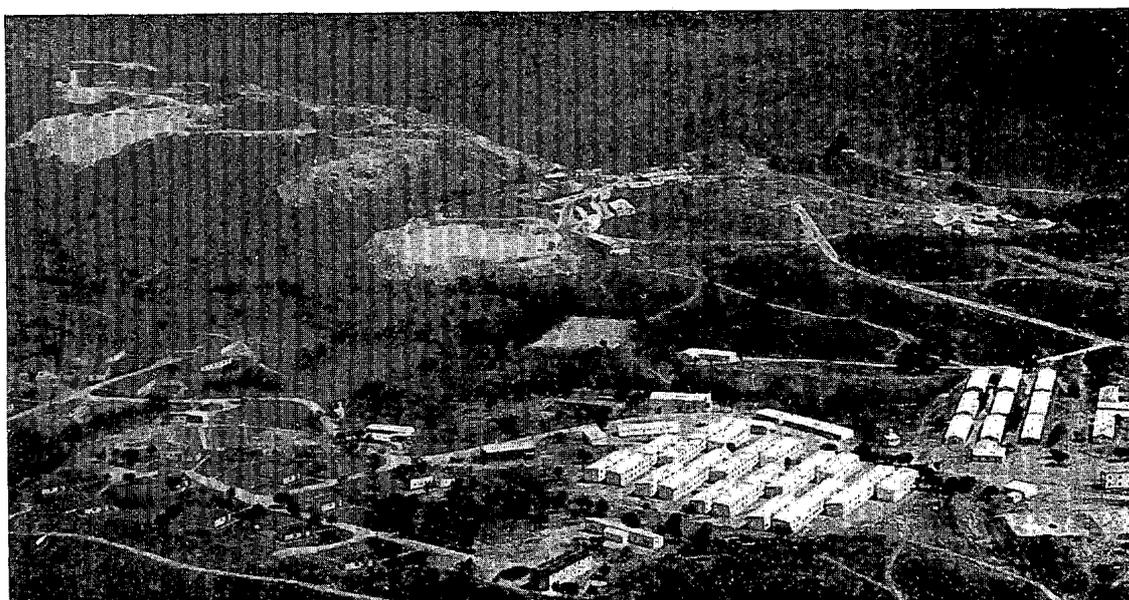


Fig. 3.^a — Poblado.
(Village.)

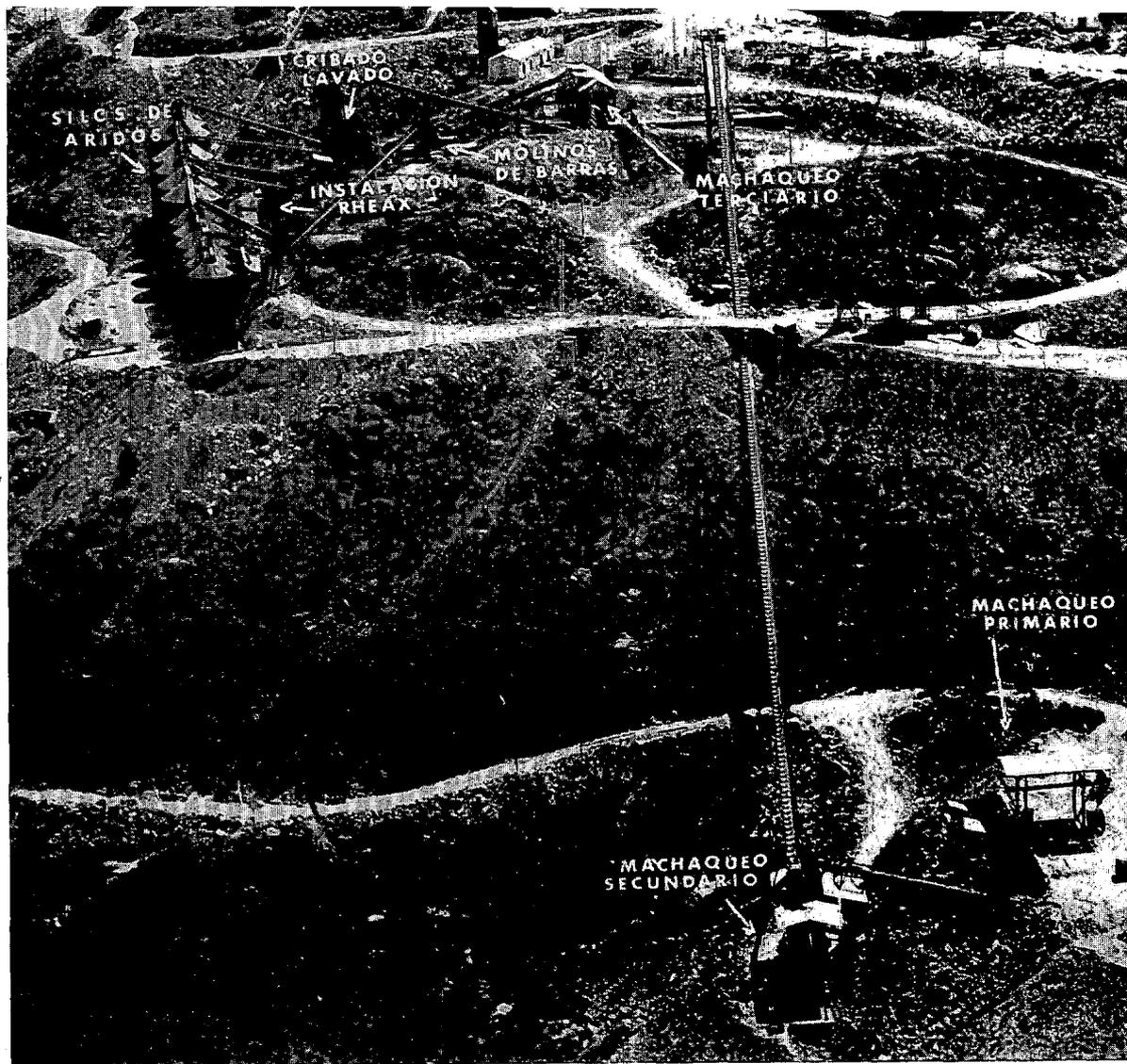


Fig. 4.^a — Instalación de fabricación de áridos.

(Aggregates processing plan.)

1.3. Edificaciones y poblados.

Basados en el gráfico teórico de personal, estudiado al preparar el concurso, se estimaron las necesidades de capacidad para poblado y campamento, habiendo resultado tal estimación correcta y suficiente.

La situación elegida resultó clara al hallar un espacio abierto, llano y con arbolado en las proximidades de la presa, y aguas abajo de ella. Se halla muy próximo a la carretera de acceso, unos 2 Km. antes de llegar al emplazamiento de aquélla, y está construido sobre un área de unos 400 000 m.².

Está dividido en tres zonas: campamento, poblado de familias y poblado de mandos. La capacidad total es para unas 2 500 personas, con 200 viviendas familiares. El campamento tiene una parte hecha con elementos prefabricados ya que era urgente disponer de alojamientos para los primeros equipos; puede decirse que por ello se construyó casi un 50 por 100 del campamento en tal forma,

a base de pabellones con paneles de doble chapa metálica con cámara intermedia rellena con material aislante.

Las viviendas familiares son de dos plantas, así como la hospedería de especialistas. Todas las edificaciones se han construido con bloques huecos de hormigón prefabricados, con máquinas Comet, en un parque preparado al efecto, con rendimientos de hasta 10 000 bloques diarios. Las cubiertas son con cercha metálica y fibrocemento.

El poblado de mandos se compone de hoteles unifamiliares o con dos viviendas, convenientemente espaciados, de forma que cada uno dispone de su propio jardín.

En el campamento se han situado los correspondientes comedores y cantinas; y en el poblado las tiendas, economato y almacén de víveres.

Finalmente, como edificaciones singulares se cuenta con una iglesia de trazado moderno, un centro deportivo, cine, escuela, hospitalillo, garajes, club, hospedería de mandos intermedios y residencia.

El nivel de alojamientos conseguido en este poblado es elevado y, desde luego, a nivel de lo mejor que haya podido conseguirse en cualquier obra de este tipo.

Este poblado ha requerido una cuidada urbanización y saneamiento, resuelto éste mediante una estación de tratamiento de residuales, que, como la antes mencionada de agua potable, ha sido suministrada por Infilco Española, S. A.

Como edificaciones funcionales fuera del poblado, o sea, de administración y explotación, se cuenta con: oficina general y de poblado (900 m.²), taller general mecánico y eléctrico (1 200 m.²), taller de vehículos (750 m.²), almacén general (1 200 m.²) y almacén de cemento en sacos (200 m.²), todos también de fábrica.

La superficie construida en estas edificaciones, incluso poblado, ha alcanzado así la cifra de unos 20 000 m.².

2. MATERIALES, METODOS DE EJECUCION E INSTALACIONES ESPECIALES

2.1. Excavaciones.

El granito, cimiento de la obra, aparece sin venir recubierto por capa vegetal alguna en su mayor parte, por lo que el tallado de las pistas de acceso a plataformas de excavación ha resultado, a veces, laborioso y poco económico.

Se han establecido atacando en general desde aguas arriba, y con pistas que, partiendo de la de bajada al río, llegan hasta la zanja de cimentación de presa. El espaciamiento de ellas, de acuerdo con el sistema y equipo

de excavación, es de 15 a 20 m., salvo algún caso especial en que ha habido que aumentar hasta 25 metros.

En estas plataformas la excavación se ha llevado normalmente en un solo banco a toda altura, a base de perforación con vagones perforadores sobre orugas Ingersoll-Rand, modelo CM-250, que han trabajado con varillaje extensible y bocas de 3"; estos vagones llevan una perforadora D-475, de 110 Kg. de peso.

El explosivo empleado ha sido fundamentalmente el nitrato amónico, preparado convenientemente mezclado con gas-oil, con cartuchos de dinamita en la base de los barrenos y mecha detonante. El taqueo y recorte se ha hecho con martillos ligeros Atlas Copco, tipo BBD-46, de 21 kilogramos, y con dinamita normal. Las voladuras medias diarias, dos, totalizaban unos 4 000 metros cúbicos, habiendo llegado a una máxima de 8 000 m.³, como final de la excavación en el cuenco.

El esquema de la perforación se basó en cuadros de 3,00 x 3,00 m.², con una serie de barrenos horizontales o "zapateras" en el pie de los bancos, para facilitar el arranque y regularizar la superficie.

El escombros se ha cargado mediante un equipo de 7 palas excavadoras Northwest, a gas-oil, con equipo frontal, 4 del tipo 80-D con cazo de 2,5 yardas cúbicas (1,900 m.³), y 3 del modelo 6, con capacidad de 1,5 yardas cúbicas (1,150 m.³).

Estas palas han trabajado juntamente con 3 traxcavator Cat-955, y otras dos palas excavadoras Ruston Bucyrus 38-RB, de 1,5 yardas cúbicas, auxiliado todo este equipo por 5 tractores con bulldozer Caterpillar D-8H.

El volumen total excavado durante veintiún meses, ha alcanzado algo más de un millón de metros cúbicos en



Fig. 5.^a — Cantera.
(Quarry.)

perfil, habiendo conseguido una media mensual, mantenida durante varios meses, de unos 60 000 m.³, y una punta de 85 000 m.³.

El transporte de este escombros se ha hecho con una flota de 12 dumpers Le Tourneau Westinghouse, tipo Haul Pak, modelo 25, con carga de 22,5 Tn., equipados con motor Cummins de 310 HP., y con otro equipo de 14 camiones pesados Mack de 20 toneladas. El transporte no ha resultado económico a causa de la distancia y desnivel que ha sido necesario recorrer desde presa a las escombreras.

2.2. Apertura de cantera.

Situada en un macizo granítico, a unos 2 Km. de la presa, aguas abajo de ella y en la misma margen izquierda del Tormès, su explotación se lleva a cabo en seis pisos con 15 m. de altura de banca cada uno. La longitud media de los frentes es de unos 400 m., de forma que el sistema de explotación nos lleva a disponer de un frente de trabajo máximo de unos 2 400 metros.

El acceso a la cantera se inició desde un camino principal a la cota del tercer piso, que se abre en abanico hacia arriba y abajo para llegar a todos los niveles; de esta forma todos los bancos resultan accesibles a las máquinas pesadas.

El equipo que explota la cantera ha procedido del que ha venido formando parte de la excavación, de forma que al terminar ésta puede pasar en pleno a trabajar en la cantera.

El volumen total a extraer será de 2 500 000 m.³ de roca, en perfil, además de la capa de descubierta, formada por material no aprovechable, que han sobrepasado todas las previsiones hechas por sondeos previos, ascendiendo a más de 300 000 m.³. Este gran volumen extraído no ha perturbado la marcha de la obra, gracias a que los primeros trabajos de apertura de cantera se comenzaron casi un año antes del inicio del hormigonado de la presa.

La perforación, hecha con los vagones-drill antedichos, se hace también con bocas de 3", y en cuadros de 3,00 x 3,00 m.². El explosivo utilizado es la nagolita (nitrato amónico preparado), con cebo de dinamita normal de segunda y mecha detonante. Se ha designado dentro del organigrama de la obra un equipo técnico, especialmente dedicado a la explotación de la cantera, que programa y define cuidadosamente las voladuras, y que está estructurando su trabajo de forma que con una voladura se consiga el material suficiente para una semana de hormigonado.

Como ya se ha dicho, el equipo de carga y transporte del escombros y material útil, se compone de las palas y dumpers que han venido trabajando en la excavación.

2.3. Instalación de producción de áridos.

La situación actual de la economía española, en plena realidad de un desarrollo industrial potente, todavía no permite el suministrarse de equipo pesado específico de esta

actividad con maquinaria de producción nacional. Por ello, ha sido necesario acudir a adquisiciones en el extranjero, reuniendo así un equipo de características inmejorables entre lo fabricado por las más solventes firmas. **21**

Las características de proyecto de la presa de Almen-dra han llevado a no escatimar ningún esfuerzo en reunir unas instalaciones que, sin duda alguna, puedan ponerse como modelo en realizaciones de este tipo.

El árido del hormigón de presa va clasificado en seis categorías, a saber: 120/60 mm., 60/30 mm., 30/15 mm., 15/4,8 mm., 4,8/1,2 mm. y 1,2/0,1 milímetros.

Para llevar a cabo tal clasificación, y habida cuenta de que se trata de alcanzar un rendimiento de hormigonado de hasta 100 000 m.³ por mes, se ha proyectado una instalación para fabricar los áridos con maquinaria moderna, amplia en su rendimiento y muy sencilla en su concepción.

Los esquemas y dibujos que se acompañan dicen muy claramente sobre la descripción de esta instalación. Como puede verse, se estructuró separándola en dos bloques fundamentales: primario y secundario, y en otro emplazamiento el resto. Esto permitió intercalar entre ambas líneas de máquinas un silo abierto de todo-uno 0/120 mm., con capacidad de hasta 80 000 m.³.

De toda la instalación solamente la machacadora primaria y las cintas transportadoras son elementos impares, teniendo, a todo lo largo de la cadena de machaqueo y clasificación, más de una unidad de cada máquina. De esta forma está muy asegurado el funcionamiento y es difícil que se produzcan paradas de larga duración.

a) Primario y secundario.

La piedra procedente de la cantera se vierte en una tolva de hormigón, bajo la que se halla situada una machacadora primaria giratoria superior Allis Chalmers 42" x 65", con Hydroset para la regulación del péndulo, prevista para una abertura de 6", y con una excentricidad de 11/4". Se le supone una producción horaria máxima de 850 Tn., y necesaria de 600 Tn./hora. De esta machacadora, pieza gigante de la instalación, la piedra cae a una cinta de 1 000 mm. de ancho, que la eleva a las tolvas metálicas que están sobre las dos machacadoras secundarias.

Estas tolvas recogen la piedra, que pasando a través de sendos alimentadores vibrantes Locker, cae en dos cribas vibrantes suspendidas, también Allis Chalmers, de dimensiones 5' x 12', con chapa perforada para árido de 120 milímetros.

Debajo de las cribas, en vertical, están las dos machacadoras secundarias superior giratorias, Allis Chalmers, tipo 16 x 50, con Hydroset, fabricadas en Suecia, para una producción teórica cada una de 250 Tn./hora.

La salida del cribado 0/120 y de las secundarias va a una cinta, de unos 300 m. de longitud, 800 mm. de anchura y velocidad de 2,5 m./seg., que vierte el todo-uno conseguido en el silo abierto.

b) Terciario, clasificación y arenas.

El producto del silo abierto sale por una cinta alojada en una galería inferior, a través de una serie de alimentadores vibrantes Locker, enviándolo a la parte superior de la torre de clasificación.

En esta torre, toda ella en estructura metálica, van alojadas las cribas, dispuestas en tres cadenas verticales, cada una de dos cribas vibrantes suspendidas de paño doble Allis Chalmers, tamaño 6' x 12' y 6' x 16'.

En estas cribas se selecciona y lava el material, que o bien va directamente a silos, o se remachaca en la serie de terciarias, cuatro molinos Symons de fabricación inglesa, dos del tipo 4 1/4' *standard*, y dos del tipo 4' *short-head*.

La instalación de fabricación y lavado de arenas ha sido de cuidada atención, habida cuenta de la naturaleza de la roca empleada. Por ello, y según las determinaciones del P. de C. sobre la eliminación de finos inferiores a 0,1 mm. y a establecer la cortadura de las arenas en 1,2 milímetros, se ha proyectado la instalación a base de un equipo Rheax completo y una batería de molinos de barras.

El equipo Rheax, alojado en una torre de estructura metálica, va desarrollando también en tres cadenas, y está formada cada una por un espesador horizontal 700-RH.E5, un clasificador a deflector CWC, otro espesador horizontal U-700, y un arrastrador de cadenas doble 2/350-KE. Además, para evitar la excesiva pérdida de finos, el desembordamiento de estos arrastradores pasa a un espesador horizontal 700-RH.K-125, y desde él se bombea a un hidrociclón del tipo 325-RGZ mediante dos bombas Linatex de 4".

El rendimiento total de este equipo es de 150 Tn./hora de arena 0/4,8 milímetros.

A continuación de los extractores de cadenas, y como final del tratamiento, hay adosadas a cada uno dos cribas desaguadoras vibrantes AEG, tipo VS-650/1900-G, para desaguar cada una un caudal de 38 m.³/h., con un contenido aproximado de humedad del 20 por 100 para la arena gruesa y de 57 m.³/h. y 25 por 100 para la arena fina.

El complemento de arena fina que se necesite se fabrica específicamente en la citada batería, formada por tres molinos de barras Loro Parisini, tipo B-512, que pueden llegar a tratar hasta 25 Tn./h. de arena.

La instalación termina en la serie de silos, en total 12 unidades, cilíndricos, metálicos, de capacidades variables (750 a 2 000 m.³/unidad), de 16 m. de diámetro y 22 metros de altura los mayores. El problema de conseguir la pérdida de humedad en la arena, se ha resuelto con la ya clásica solución de tres silos para cada tipo de arena (cargando, reposo y vaciando).

Todos los elementos descritos están unidos por la necesaria red de cintas transportadoras de diversas anchuras y capacidades, y con longitudes muy variables. El total de cintas instaladas alcanza una longitud de 1 800 metros, detallando que alguna de ellas, a causa de sus características de longitud, carga y velocidad, ha hecho necesario proveerla de banda especialmente armada.

El proyecto de esta instalación de áridos dispone también de los necesarios retornos, para tener asegurada la alimentación a las torres de hormigonado, sin peligro de descompensación de algún tamaño.

2.4. Refrigeración del hormigón.

Dado el fuerte ritmo de hormigonado en la bóveda, 85 000 m.³ por mes, se hace necesario el refrigerar el hormigón que se coloque. El P. de C. de Iberduero, S. A., ya señala el sistema, hoy clásico, por otra parte, de serpentines de 1" embebidos en la parte inferior de cada tongada.

Esta refrigeración tiene dos fases: en la primera, a las veinticuatro horas de hormigonar la tongada, se refrigera con agua del río desde la red general, y tras dos meses, y siempre que la temperatura del hormigón haya bajado de 25°, comienza la segunda fase refrigerando con agua enfriada a 4° C., hasta conseguir descender aquélla a 11,5° C., momento en que deja de refrigerarse.

Por esto son necesarios dos circuitos, agua natural y agua enfriada, necesitando disponer éste de una estación de refrigeración que rebaje la temperatura del agua a esos 4° centígrados.

Según el estudio teórico de esta refrigeración, basado en lo publicado por el profesor A. Stucky, y de acuerdo con el plan de hormigonado, la potencia máxima frigorífica necesaria asciende a 1 600 000 kFg./h., con un caudal máximo circuiante de unos 105 l./seg., y un número de serpentines funcionando simultáneamente de 420 Uds.

Basados en estos datos, se ha instalado un equipo de refrigeración de la casa Linde Ibérica, S. A., que consta de dos compresores para amoníaco, AF-81, de 800 000 kFg./h., cada uno; dos condensadores multitubulares horizontales para 180 m.³/h. a 25° C. cada uno, y dos enfriadores también multitubulares horizontales para 250 metros cúbicos/h. de agua y 900 000 Kcal./hora.

Todas las tuberías por las que circula el agua a 4° centígrados llevan el aislamiento conveniente, pues van al exterior hasta su entrada en la presa, en donde se alojarán en pozos verticales dejados al efecto en las juntas transversales.

Con esto se da fin a esta pretendida descripción de las instalaciones, en la que, como ya se dijo, se ha hecho caso omiso de todo lo relacionado con la fabricación y puesta en obra del hormigón, que es materia de otro artículo de esta misma Revista.

3. ORGANIZACIÓN DE LA OBRA.

Es sabido que si importante es, para la buena ejecución de un trabajo de esta envergadura, el disponer de una maquinaria y unas instalaciones sobresalientes, más fundamental resulta el factor hombre y su organización.

En etapa tan avanzada de la técnica, el llevar a cabo una obra a escala tan grande y a tal ritmo, impuso desde el principio a los constructores la obligación de crear tal

equipo de hombres y tal organización, concibiéndola claramente *in mente* tan precisa como debía ser posteriormente desarrollada.

El Concurso internacional, convocado en junio de 1964 por la Sociedad propietaria Iberduero, S. A., se adjudicó a la Agrupación Temporal DEZEA, integrada por las Empresas Constructoras Dragados y Construcciones, S. A.; Entrecanales y Távora, S. A., ambas españolas, y la S. A. Conrad Zschokke, suiza, agrupación que ha conseguido reunir en esta obra cuadros de mando, ejecutivos y personal de todas categorías, provenientes de las tres Empresas, en una unidad de directrices y realizaciones.

Designados el Comité de Gerencia y la Jefatura de la Obra, ésta en la persona del Ingeniero de Caminos don Antonio de Vega y Zea, teniendo como adjunto al Ingeniero don Hans Bachmann, las que podríamos llamar fuerzas de vanguardia, se han esquematizado en las Secciones de Servicios Generales, Explotación I, Explotación II, Maquinaria, Montajes, Oficina Técnica, Control y Certificaciones, Seguridad, Topografía y Administración.

Al frente de cada sección hay un ingeniero, con su equipo técnico estructurado convenientemente, salvo la última sección, que depende directamente del jefe de la obra a través de un Jefe administrativo. En total, la organización completa consta de doce ingenieros, treinta ayudantes, sesenta administrativos, treinta contra maestres y encargados, y una media, durante esta fase, de unos seiscientos especialistas y cuatrocientos peones.

Se ve que resulta una elevada proporción de personal especialista, debido a haberse alcanzado en la obra un alto nivel de mecanización.

Mucho se podría extender este artículo describiendo el alcance de esta organización, los elevados rendimientos que se están consiguiendo y, sobre todo, el espíritu de conjunto y de trabajo que impregna a todos sus componentes. La verdadera realidad se plasma en ese comienzo de hormigonado de la presa en su estribo izquierdo a solamente veintiún meses del comienzo de obra con un montaje de instalaciones de esta envergadura, y en el ritmo que actualmente se está imprimiendo a la nueva fase.

Toda esta descripción, aun llena de ambiente técnico, quiere hacer patente la excepcional labor de este conjunto de hombres que la están llevando a cabo; pero no queda completa si no se hace mención, aquí en su final, de la otra labor que en paralelo a ella también es tarea suya. Ellos saben que su quehacer no se termina en los bloques de la presa o en las voladuras de cantera, y por ello, y porque en su interior gozan de una formación elevada, añaden a las horas del trabajo normal el dedicar muchas de las otras en ocuparse del bienestar espiritual, social y de promoción, que ha conseguido transformar la aridez de ese campo castellano en un mundo distinto, unido, familiar y con contenido, comprendiendo la gran responsabilidad que los técnicos tenemos de luchar por conseguir, con la ayuda de Dios, el nivel más elevado para cuantos nos rodean.

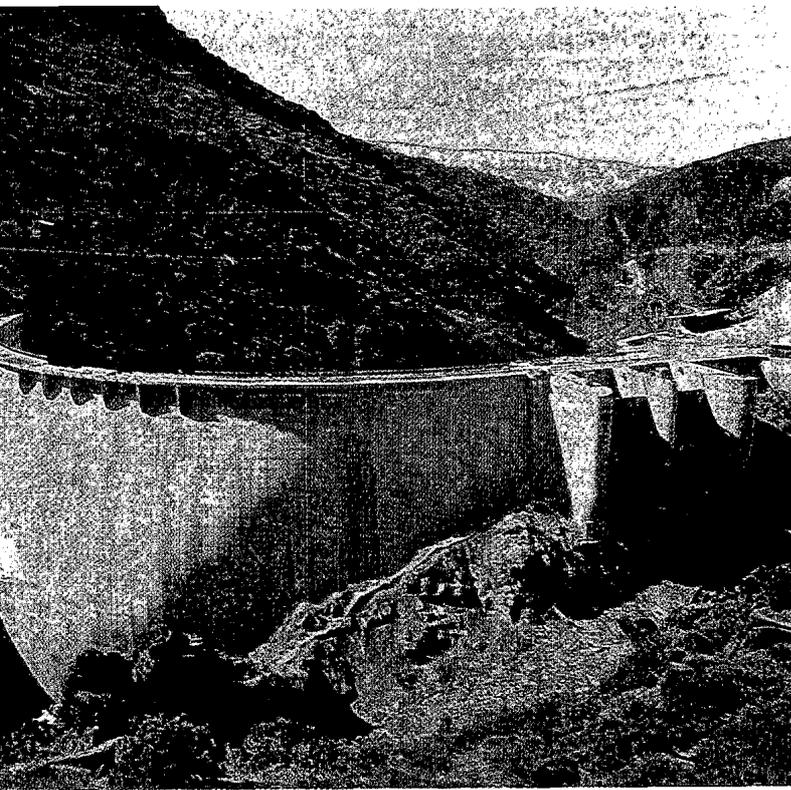


Fig. 1.^a — Presa de Santa Eulalia, en el río Jares, de Saltos del Sil, S. A.

(Santa Eulalia Dam on the Jares River, Saltos del Sil, S. A.)

EL MOMENTO ACTUAL DE LA TECNICA ESPAÑOLA EN LA CONSTRUCCION DE LAS GRANDES PRESAS

La construcción de presas tiene en España una gran tradición, sin duda debido al clima seco de muchas de sus zonas, que hace necesario embalsar las aguas para su aprovechamiento en fertilizar la tierra o abastecer las ciudades, y a la agreste y alta topografía de otras, que permite la creación de saltos y su utilización para la producción de energía.

En nuestra geografía podemos encontrar presas desde las más antiguas, a las más modernas que se hayan podido realizar en cualquier parte, a lo largo de los tiempos.

Prueba de ello es que, en la actualidad, prestan servicio desde las presas romanas de Proserpina y Cornalvo para el abastecimiento de Mérida (*Emerita augusta*), hasta un número superior a las trescientas, con una capacidad total de embalse de 23 700 millones de metros cúbicos.

De este número de presas en explotación, quince tienen más de 100 metros de altura y un centenar de ellas más de 50 metros. En estos momentos se están construyendo 63 presas, de las que seis tienen más de 100 metros de altura.

Limitándonos a las realizaciones en que hemos intervenido directamente, que como es natural son las que conocemos mejor, podemos indicar que el número de éstas, a partir del año 1947 (veinte años), ha sido de 37, de las cuales 26 están en explotación y 11 en construcción.

De entre ellas destacan por su importancia las de Chandreja (contrafuertes de 86 m. de altura), San Esteban (arco-

PRESA DE ALMENDRA PUESTA EN OBRA DEL HORMIGON

Dr. Ing. C. C. P. C. DUELO

gravedad de 115 m.); Eume (bóveda de 100 m.); Bao (gravedad de 168 m.); Belesar (bóveda de 127 m.); Guadarranque (tierra de 78 m.); Santa Eulalia (bóveda de 73 m.); La Barca (bóveda de 68 m.); todas ellas en explotación. De las que tenemos en construcción actualmente pueden citarse, por sus características especiales, las de Susqueda (bóveda de 128 m. de altura); Guadalteba-Guadalhorce (escollera de 80 m.); Cernadilla (gravedad de 67 m.); Concepción, de 74 m.; Almendra (bóveda de 198 metros) (1); Atazar (bóveda de 137 m. (1); y la del Kandincik, en Turquía, por su situación en el país en el que se celebra este IX Congreso de Grandes Presas.

22

Después de lo que llevamos expuesto, es fácil explicarse el alto nivel alcanzado en nuestro país, tanto en el proyecto como en la técnica de la construcción de las grandes presas en sus diferentes facetas.

Por otra parte, creemos que son hechos favorables a esta situación — aparte de la experiencia y tradición señaladas — el importante desarrollo industrial del país en estos últimos años y el que mientras que en otros países adelantados económicamente, se han terminado prácticamente las posibilidades de construcción de presas, en el nuestro aún tenemos realizaciones importantes en ejecución y en proyecto, lo que hace que las técnicas de estas construcciones puedan seguir mejorando y perfeccionándose.

LA COLOCACION DEL HORMIGON EN LA PRESA DE ALMENDRA

A título de ejemplo de lo que decimos, a continuación describimos las circunstancias que nos llevaron a la solución del difícil problema de la puesta en obra del hormigón en la presa de Almendra, sobre el río Tormes, que, como se verá, ha resultado de una magnitud excepcional.

La presa de Almendra forma parte del salto de Villarino, propiedad de la importante Empresa hidroeléctrica Iberduero, S. A., y su construcción fue adjudicada por concurso internacional, en enero de 1965, a la Asociación de Empresas DEZEA, de la que formamos parte.

Su estructura está constituida por una bóveda apoyada sobre su correspondiente zócalo, con una altura máxima de 198 m. sobre cimientos, y estribada en su parte superior en sendos macizos de hormigón, cuya altura es aún de unos 35 m. sobre los correspondientes cimientos. Es decir, que "la presa es más alta que la cerrada", lo que

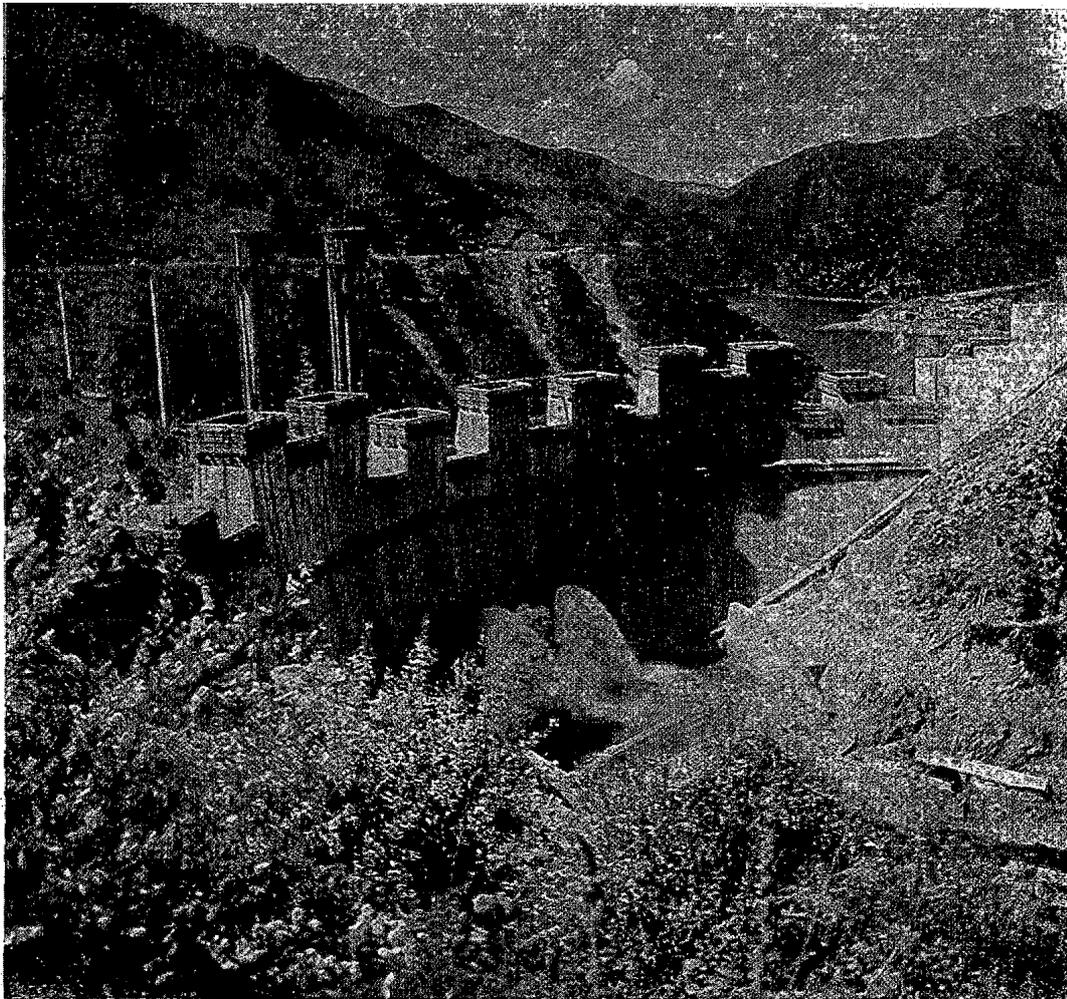


Fig. 2.^a — Presa de Susqueda en el río Ter, de Hidroeléctrica de Cataluña, S. A.

(Susqueda Dam on the Ter River. Hidroeléctrica de Cataluña, S. A.)

hace necesaria la prolongación de estos estribos en dos diques laterales, para completar el cierre del vaso que así se crea.

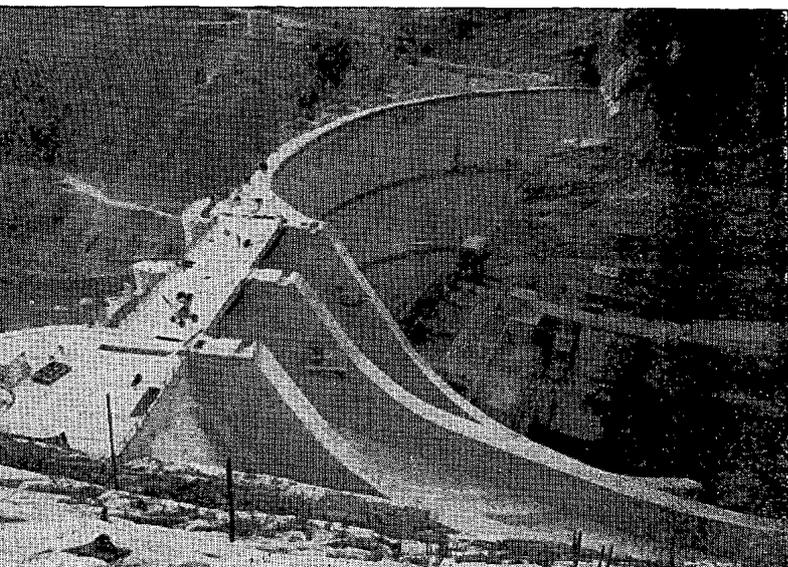


Fig. 3.^a — Presa de La Barca en el río Narcea, de Hidroeléctrica Moncabril, S. A.

(La Barca Dam on the Narcea River. Hidroeléctrica Moncabril, S. A.)

En lo que exponemos a continuación nos vamos a referir exclusivamente a la puesta en obra del hormigón en la bóveda y los estribos de esta presa, cuya planta y alzado están representados en el plano que se incluye. Los diques laterales, que tienen unos 1 800 ml., el derecho, y 1 500 ml., el izquierdo, no figuran en este plano.

CONDICIONES IMPUESTAS POR EL TERRENO Y LA OBRA

Las circunstancias o condiciones a que antes hemos hecho referencia, y que nos han impuesto la solución adoptada para la puesta en obra del hormigón, pueden expresarse de la siguiente forma:

a) La ya citada de que la presa es más alta en sus estribos que el terreno, y que éste tiene luego una pendiente muy suave en ambas laderas, lo cual hace difícil una instalación normal de blondines u otro medio de puesta en obra, en cuanto a altura.

b) La especial disposición topográfica de las laderas en la cerrada y sus proximidades, aumentan extraordinariamente la dificultad anterior.

Como puede apreciarse por las curvas de nivel del plano, el río hace una curva violenta inmediatamente antes de la cerrada, al tiempo que en el mismo lugar desemboca en él el arroyo del Cibanal, formando ambos cauces una

especie de T. Esto da lugar a una situación del terreno en las inmediaciones de la presa, cuyas curvas de nivel son prácticamente normales al eje de la misma, contra lo que normalmente sucede en obras de este tipo, en las que suelen ser, más o menos, paralelas al río y, por lo tanto, al eje de la presa.

Todo ello trae como consecuencia el que todo posible camino de rodadura, para la instalación de torres móviles de blondines, resultaba de una altura anormal en sus extremos, así como cualquier posible torre para el anclaje fijo de un cable vía.

c) Otra de las circunstancias que ha condicionado la solución, ha sido la necesidad de una alta capacidad de colocación de hormigón para, en relación con las dimensiones de los bloques, hacer posible el hormigonado de capas de 66, ó 50 cm. de espesor cada dos horas, para poderlas coser con los vibradores antes de que la inferior comience su endurecimiento. Las tongadas diarias de hormigonado en un bloque es de 2 m. de altura, dividida en tres o cuatro capas, según sus dimensiones.

Los bloques, más desfavorables para el cumplimiento de esta condición, son los situados en la parte más baja del zócalo de la bóveda, a pesar de que en ésta zona existe una junta longitudinal que reduce notablemente sus dimensiones. Su volumen llega a ser del orden de los 400 m.³ por capa de 50 cm., lo que equivale a tener que disponer de una capacidad de hormigonado de 200 metros cúbicos/hora, en este punto.

d) También, en relación con la capacidad de hormigonado de la instalación que se estudiaba, hubo de tomarse en consideración el plazo en que había de hormigonarse

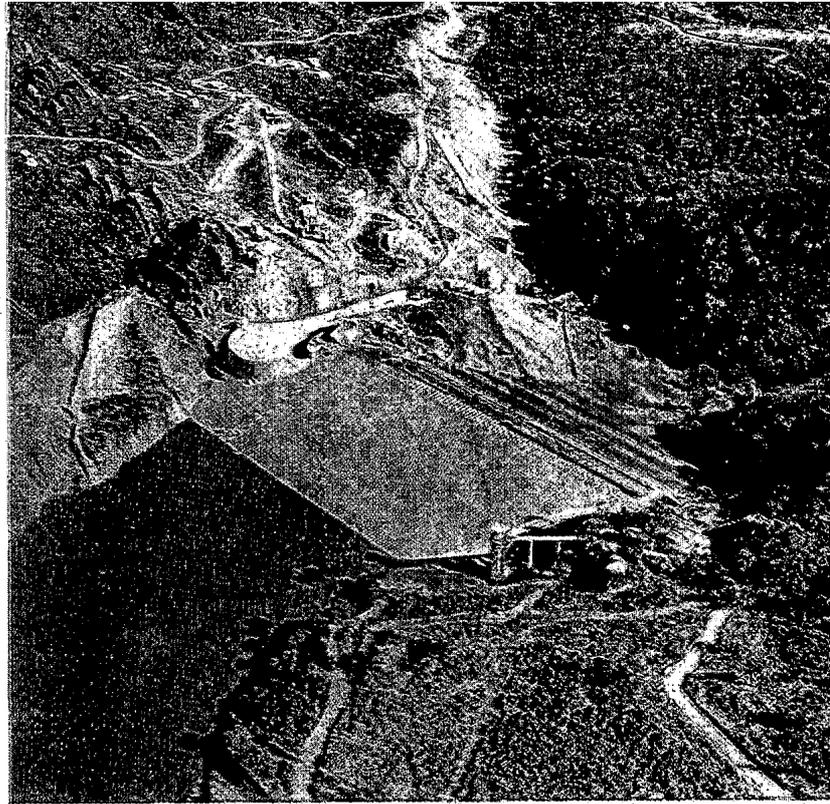


Fig. 4.^a — Presa del Guadarranque, para abastecimiento del Campo de Gibraltar. M. O. P. Confederación Hidrográfica del Sur.

(Guadarranque Dam for the water supply of the Campo de Gibraltar. M. O. P. Confederación Hidrográfica del Sur.)

el conjunto de la bóveda, zócalos y estribos, que tienen un volumen de unos 2 000 000 de metros cúbicos.

Mediante el correspondiente plan de hormigonado, con-

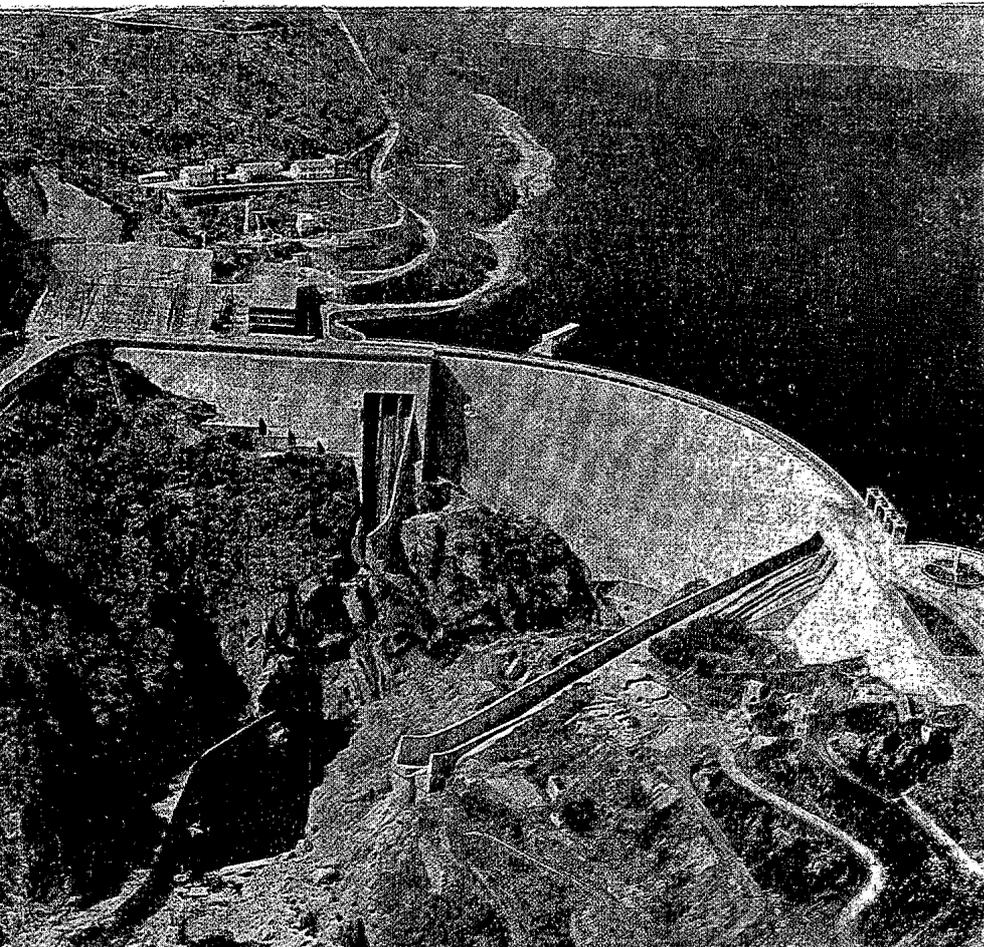


Fig. 5.^a — Presa de Belesar en el río Miño, de F.E.N.O.S.A.

(Belesar Dam on the Miño River. FFNOSA.)

ALZADO A-A

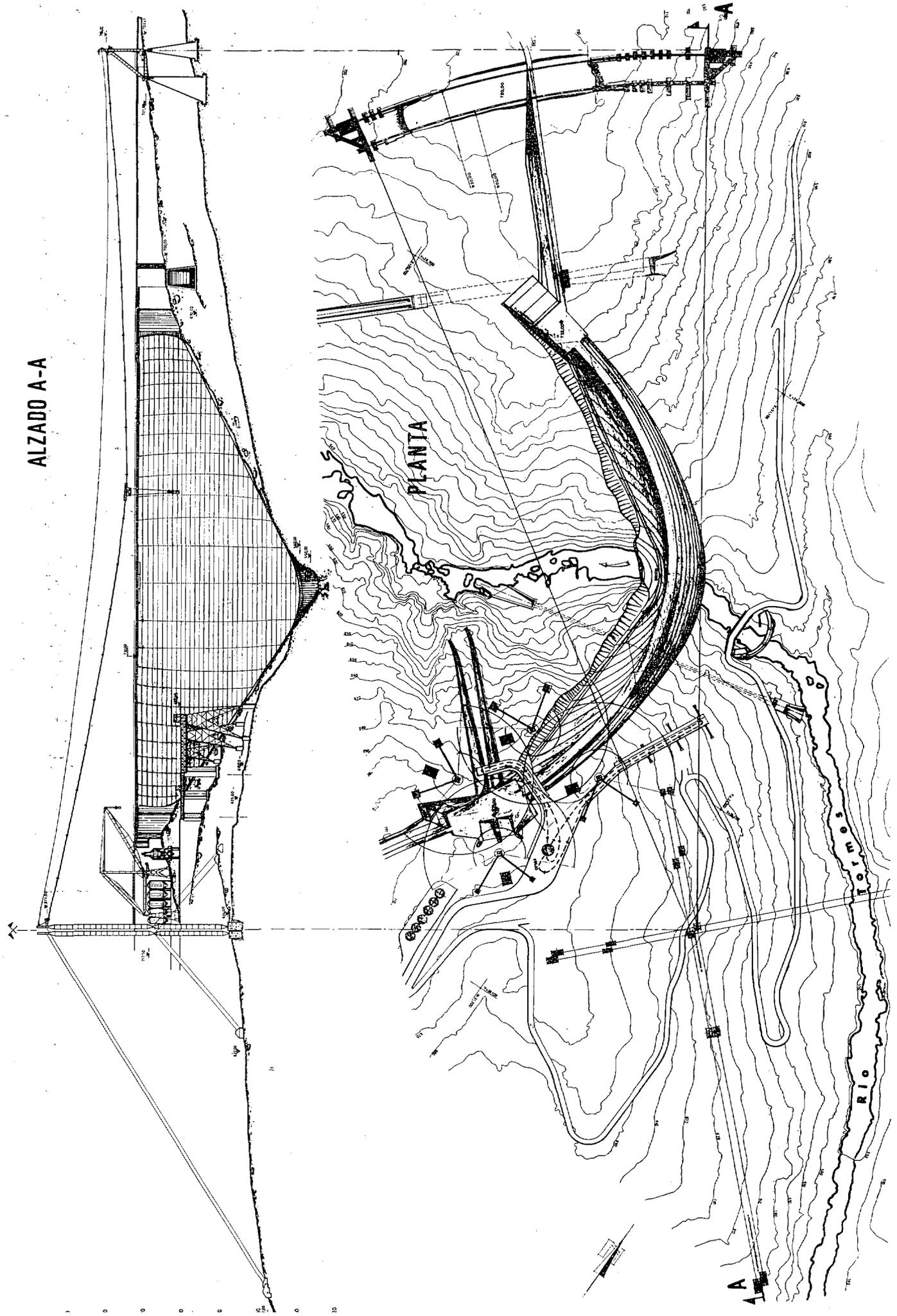


Fig. 6.^a — Presa de Almendra, de IBERDUERO, S. A. Alzado y planta de las instalaciones de puesta en obra del hormigón en la bóveda y estribos.
(Almendra Dam of Iberduero, S. A. Elevation and Plant of the installations for placing concrete in the vault and abutments.)

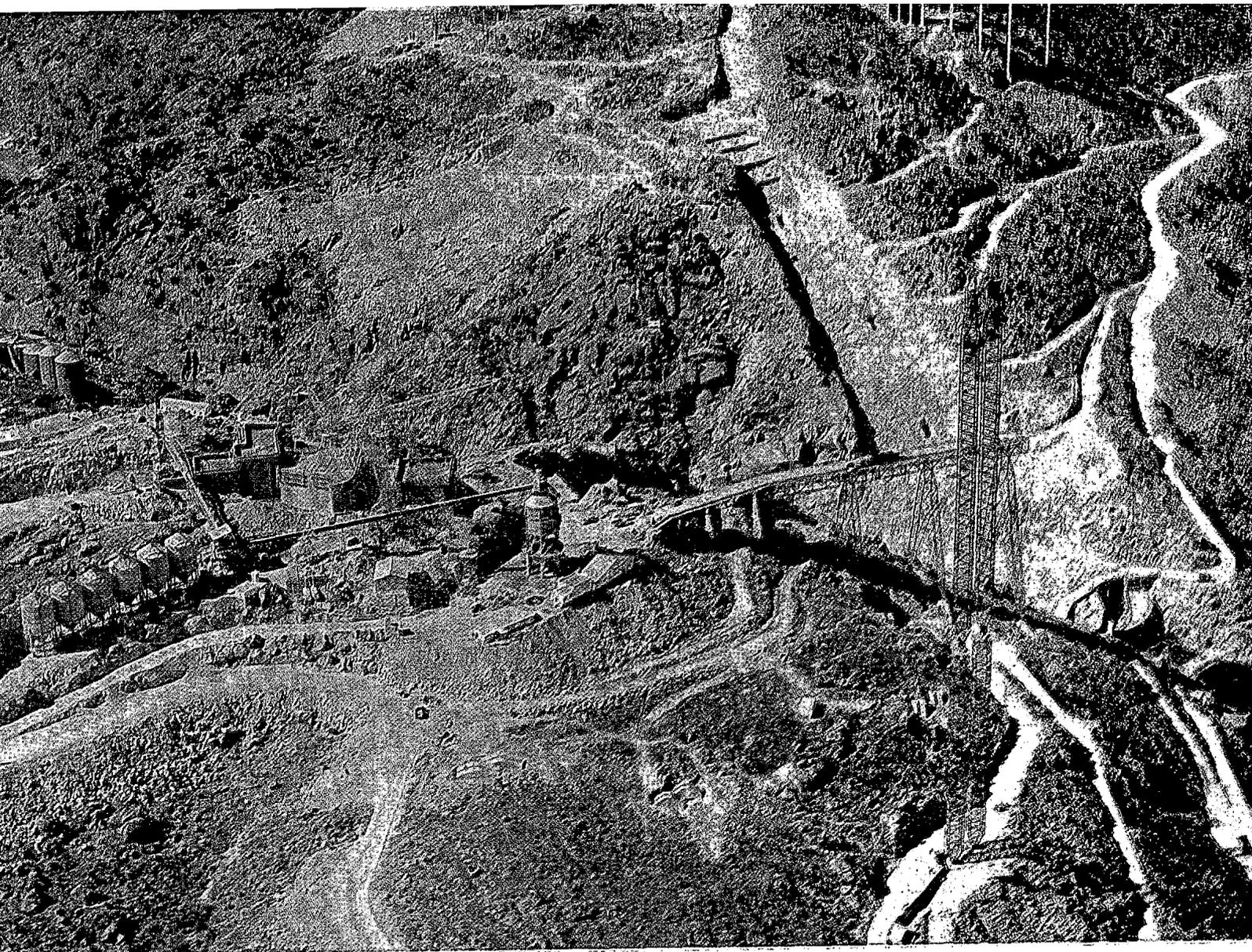


Fig. 7.^a — Vista general de las instalaciones de puesta en obra del hormigón en la presa de Almendra, de IBERDUERO, S. A.
(General layout of the placing concrete installations in Almendra Dam. Iberduero, S. A.)

feccionado según el sistema por nosotros expuesto en el artículo publicado sobre este tema en esta *Revista de Obras Públicas* dedicado al Congreso de Roma, se dedujo que para la ejecución de este conjunto, en los treinta y cinco meses de plazo de que se dispone, se hace preciso contar con una capacidad real de punta de hormigonado de 85 000 m.³/mes.

e) Por último, en el estudio de la posible solución hubo de tenerse presente también que se prevé realizar un embalse parcial hasta la cota 680 (la coronación está a la 732), con una anticipación de diez meses a la terminación del hormigonado, lo que dio lugar a tener que disponer, en la zona del vaso, todas las instalaciones por encima de la citada cota, o bien prever que puedan quedar inundadas durante los últimos meses de hormigonado, en particular, los apoyos de los medios de puesta en obra.

LA SOLUCION ADOPTADA

A la vista de todas estas imposiciones de la obra y el terreno, se hicieron una serie de estudios con diversos tipos de medios de puesta en obra: blondines paralelos; blondines radiales con anclaje común o uno en cada margen; blondines oscilantes y grúas Derrick sobre puente de servicio.

Todas las soluciones que estudiábamos nos parecían en un principio disparatadas, pero como evidentemente había de encontrarse una mejor que las demás, después de haber examinado un espectro tan extenso de posibilidades, nos decidimos por desarrollar con el mayor detalle las dos soluciones que parecían más factibles, la de blondines radiales con anclaje fijo común y la de grúas Derrick sobre puente de servicio metálico. En definitiva, la solución

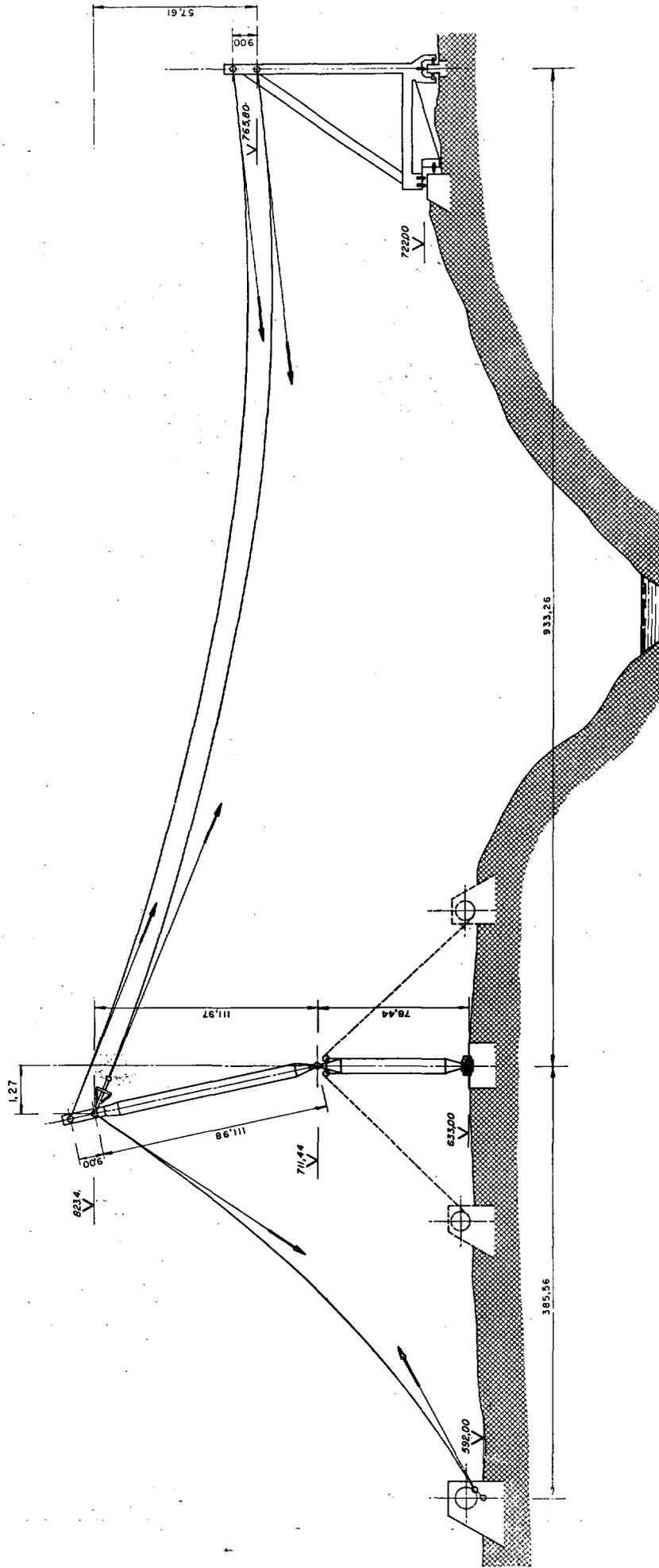


Fig. 8.^a — Esquema del montaje de uno de los blondines de 20 Tn. en la presa de Almendra (situación sin carga).
 (Sketch of the erection of one of the blondins of 20 Tn. in the Almendra Dam (loadless situation).)

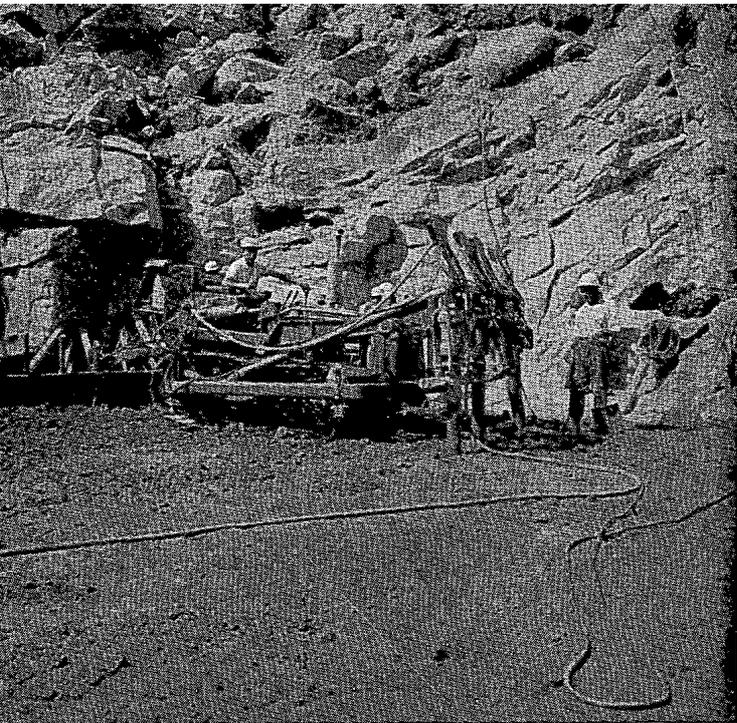


Fig. 9.ª — Vibrado mecánico del hormigón en la presa de Almendra.
(Concrete mechanical vibration in Almendra Dam.)

adoptada y en servicio, fue la primera de estas dos últimas.

A continuación, describimos esta solución ya construida, e indicamos las características especiales que hubo de imponerse a las distintas máquinas e instalaciones, para que satisficieran las condiciones antes expuestas.

Esta solución es la que está representada en el plano, y fundamentalmente consiste en la instalación de dos blondines radiales, con camino de rodadura de torres móviles común y anclaje fijo teóricamente también común, aunque materializado en dos torres con separación de 6,8 m. entre ejes, a fin de independizar ambos blondines y que los movimientos elásticos producidos por la acción de la carga en uno de ellos no influyera de forma incontrolada en el otro, con el consiguiente peligro y falta de precisión en la carga y la descarga del hormigón.

La parte de la obra que queda fuera de la acción de los blondines, se sirve mediante la instalación, en dos posiciones sucesivas, de dos grúas Derrick. En la primera de estas posiciones hormigonan el estribo izquierdo, y en la segunda, la parte de bóveda no batida por los blondines.

Los blondines hormigonarán alrededor de 1 650 000 metros cúbicos y las grúas unos 350 000 m.³, que hacen el total de los 2 000 000 de m.³ que antes hemos citado.

Estos cuatro elementos, los dos blondines y las dos grúas, están servidos simultáneamente por una sola torre de hormigonado automática de 240 m.³/hora de capacidad de hormigón colocado y vibrado.

Aunque esta solución puede considerarse completamente clásica, por los motivos antes indicados resulta de unas dimensiones que nunca se han dado anteriormente.

LOS BLONDINES

Las características principales de los blondines son:

930 m. de luz; 20 Tn. de carga en el gancho; 190 m. de altura de cada torre fija metálica, desde su base al amarre del cable vía y 200 metros hasta su extremo superior; 44 m. de altura cada una de las torres móviles desde el carril posterior, hasta el amarre del cable vía, y 55 metros hasta su extremo superior. La casa de máquinas va montada sobre la torre móvil. Las casetas de mando van en el extremo del muelle de carga de los silobuses, en la ladera opuesta a la de las torres móviles, y a más de 70 m. sobre el terreno, desde donde se goza de una vista verdaderamente espectacular.

Una de las características originales de estos blondines es la forma asimétrica que hubimos de adoptar para sus torres móviles, a fin de poder cumplir con la condición expuesta en c), teniendo en cuenta su necesaria altura. Como se hacía necesario poder hormigonar con los dos blondines en un mismo bloque, se estimó como imprescindible el que los amarres de los dos cables-vía en las torres móviles pudieran llegar a acercarse hasta tener una separación de sólo 10 m., con lo que se conseguía un acercamiento aceptable en la zona de hormigonado de la presa. Todo esto ha dado como resultado que las torres móviles, al tener que ser asimétricas con relación al tiro del cable-vía, sólo tienen una pata en el carril delantero, en vez de las dos que se usan tradicionalmente, lo que a su vez da unos esfuerzos muy importantes sobre la misma, que transmiten los correspondientes trenes de ruedas vertical y horizontal, sobre el camino de rodadura. Al tiempo, las dos patas posteriores tienen que hacer funciones de guiado de las torres sobre la viga posterior del citado

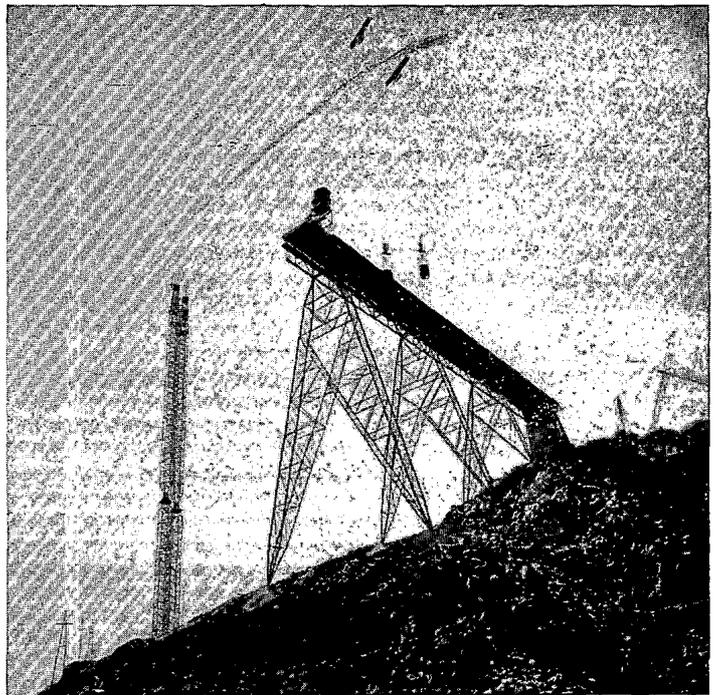


Fig. 10. — Muelle de carga de los blondines y torre fija de los mismos en la presa de Almendra.
(Blondins loading wharf and fixed tower in Almendra Dam.)

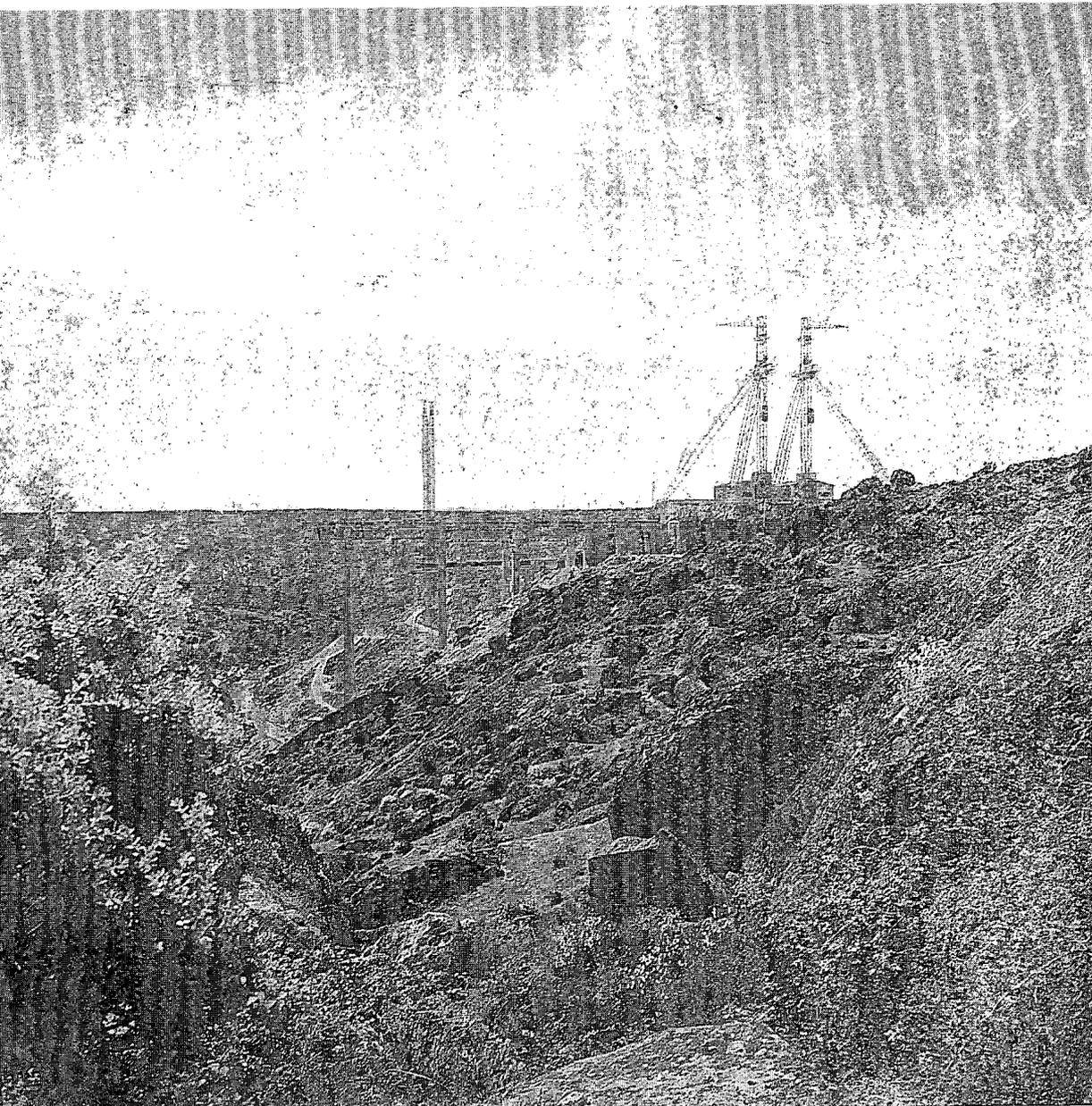


Fig. II. — Blondines de la presa de Almendra. Torres móviles asimétricas.

(Almendra Dam blondins. Mobile asymmetric towers.)

camino de rodadura, dando también, por consiguiente, esfuerzos horizontales, por lo que en esta viga existen también carriles con el eje horizontal para la absorción de estos esfuerzos. Por otra parte, el conjunto del triángulo de base de las torres ha de tener una gran rigidez, capaz de absorber y transmitir el conjunto de los esfuerzos, que así se producen.

Cada una de las torres fijas tiene una rótula en su base y otra a 78,50 m. de la misma, que con el correspondiente venteado con cables cerrados de hasta 54 milímetros de diámetro, hacen de las mismas dos torres superpuestas, y que una vez montadas han hecho posible inclinar la parte superior, separando 2 m. del eje vertical su cabeza, en sentido contrario al de la situación de su torre móvil, para la iniciación del montaje del cable-vía, y que una vez montado y tensado éste, tomará su posición definitiva, en la que la cabeza oscila desde 1,27 m. en vacío a la posición vertical en carga. Esta forma de fun-

ciónar el blondín puede apreciarse en el esquema que se incluye.

El camino de rodadura que soporta a las torres móviles de los blondines, tiene una parte excavada sobre el terreno, dada la cota elegida, y otras dos, en ambos extremos, constituidas por estructuras de hormigón armado con pilares trapezoidales y vigas en forma de *e*, y 6 m. de canto la delantera y en cruz y 5 m. de canto la trasera. El pilar más alto de esta estructura tiene 60 m., por lo que cuando se encuentra una torre móvil sobre él, el correspondiente cable vía queda amarrado a 109 m. del terreno en este lado y a 190 m. en la torre fija.

El hormigón se transporta en silobuses de 6,5 metros cúbicos de capacidad en hormigón vibrado, desde la torre de hormigonado antes mencionada, hasta el muelle de carga de los cubos del blondín, constituido por una estructura metálica, también de carácter gigantesco por la citada situación de las curvas de nivel, que hacen que tenga en su extremo pilares de 66 m. de altura. Sobre esta es-

estructura pueden circular, girar y cruzarse, en cualquier punto, los silobuses necesarios para alimentar ambos blondines.

LAS GRUAS

Las dos grúas que sirven a la parte no alcanzada por los blondines son del tipo Derrick de Tetraedro, con un alcance de 80 m. y 12 Tn. de capacidad en el gancho. Aunque desde el punto exclusivo del plazo, hubiera bastado con la utilización de una sola grúa, la repetida condición c) del tiempo del recubrimiento de una capa de hormigón de 50 cm. con respecto a la inferior, ha hecho necesario el montaje de dos grúas en cada una de las posiciones previstas para que pueda satisfacerse hormigonando con ambas en un mismo bloque.

A fin de que estas grúas puedan servir para el hormigonado de las zonas que les corresponden hasta la coronación, ha sido preciso montar cada una de ellas sobre tres torres metálicas, una bajo cada uno de los vértices del triángulo de su base. Estas torres de sustentación están proyectadas de forma que puedan ser utilizadas en las dos posiciones de las grúas, sin más que aumentar o disminuir tramos acoplables. La mayor de ellas tiene 40 m. de altura.

El transporte del hormigón desde la torre de hormigonado hasta los cubos de las grúas, se hace con silobuses iguales a los utilizados para la carga de los blondines a lo largo de un muelle con varios brazos, representado en la planta y a la misma cota que el muelle de carga de aquéllos, por lo que, en definitiva, los mismos silobuses sirven indistintamente para ambos cometidos, si bien para el transporte a las grúas se utilizan con una carga menor, y su caja reducida con chapas desmontables en caso necesario.

Como puede observarse, este muelle de carga ha tenido que proyectarse atravesando la presa a la cota 865. Sin embargo, según el plan de hormigonado estudiado, este paso a través de la presa, que hoy ya está en servi-

cio, puede suprimirse en el momento preciso, debido a que al disminuir entonces la dimensión de los bloques a hormigonar, una sola de las grúas puede cumplir la condición del tiempo de recubrimiento entre una capa de 50 cm. de hormigón y la inferior. **22**

EL EMBALSE PARCIAL ANTICIPADO

La cota de la explanada sobre la que va montada la torre de hormigonado, que como es natural es la misma que la de los distintos muelles de carga por los que circulan los silobuses, es la citada 685, es decir, 5 m. más alta que la que puede alcanzar el previsto embalse parcial. Por otra parte, tanto las casetas de máquinas de la grúa de aguas arriba, como sus elementos de giro, así como los silos de cemento y el resto de la instalación, quedan por encima de esta cota para que el conjunto pueda seguir trabajando llegado el caso. Por ello, también ha sido prevista la posibilidad de que queden inundados hasta la cota 680 la parte baja de las torres fijas de los blondines, de los vientos y sus macizos de anclaje, así como la de las estructuras del muelle de carga y del camino de rodadura de las torres móviles.

Notas.

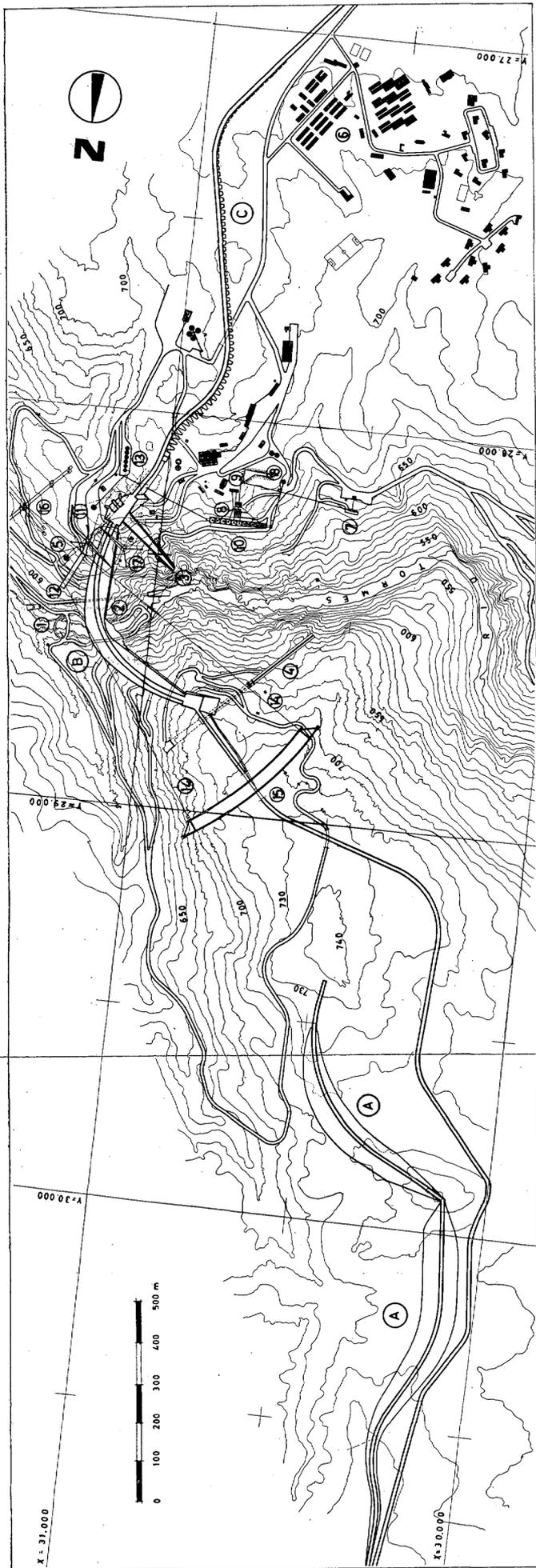
(1) En Asociación.

DEZEA son las iniciales de "Dragados y Construcciones, Sociedad Anónima; Entrecañales y Tavora, S. A., y Sociedad Anónima Conrad Zschokke, Empresarios Agrupados".

Los blondines han sido suministrados por Ceretti e Tanfani; las grúas Derrick por Loro Parisini y la torre de hormigonado por c. i. f. a.

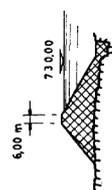
Las estructuras metálicas de las torres fijas y móviles de los blondines han sido fabricadas por EMESA.

La estructura metálica del muelle de carga de los blondines ha sido fabricada por Talleres San Miguel.



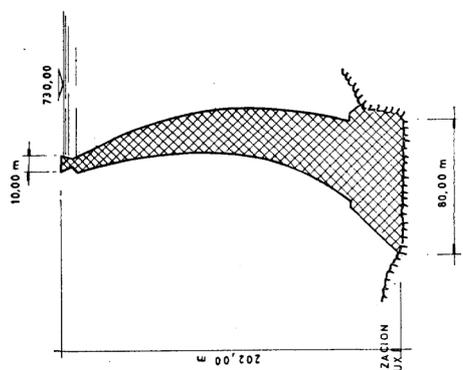
A Dique de escollera
Digue en enrochement
MARGEN DERECHA
RIVE DROITE

VOLUMEN
VOLUME 780.000 m³



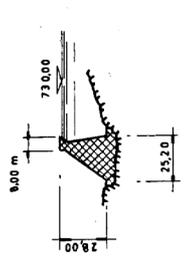
B Presa boveda
Barrage voûte

VOLUMEN
VOLUME 2.060.000 m³
LONGITUD DE CORONACION
LONGUEUR DU COURONNEMENT 576 m



C Aleta
Mur en aile
MARGEN IZQUIERDA
RIVE GAUCHE

VOLUMEN
VOLUME 192.000 m³



LONGITUD DE CORONACION
LONGUEUR DU COURONNEMENT 1.380 m

Fig. 6* — Planta de presa e instalaciones.
(Layout of the dam and plans).

L E Y E N D A
L E G E N D E

- | | |
|---|---|
| <p>① ATAGUIA AGUAS ARRIBA
BATARDEAU AMONT</p> <p>② GALERIA DE DESVIACION
GALERIE DE DEVIATION</p> <p>③ ALIVIADERO
DEVERSOIR</p> <p>④ DESAGÜE DE MEDIO FONDO
VIDANGÉ INTERMEDIAIRE</p> <p>⑤ TOMA DE AGUA
PRISE D'EAU</p> <p>⑥ POBLADO
VILLAGE</p> <p>⑦ MACHAQUEO PRIMARIO Y SECUNDARIO
CONCASSAGE PRIMAIRE ET SECOND.</p> <p>⑧ CLASIFICACION-LAVADO
TRIAGE-LAVAGE</p> <p>⑨ MACHAQUEO TERCARIO
CONCASSAGE TERTIAIRE</p> | <p>⑩ SILOS DE ARIOS
SILOS DES AGREGATS</p> <p>⑪ TORRE DE HORMIGONADO PRINCIPAL
TOUR A BETON PRINCIPALE</p> <p>⑫ MUELLE DE CARGA
QUAI DE CHARGEMENT</p> <p>⑬ SILOS DE CEMENTO
SILOS A CIMENT</p> <p>⑭ 2 BLONDINES RADIALES DE 20 tn.
2 BLONDINS RADIAUX DE 20 to.</p> <p>⑮ CAMINO DE RODADURA
CHEMIN DE ROULEMENT</p> <p>⑯ PUNTOS FIJOS H=200 m.
DERRICKS DE 12 Tn A 80 m.
DERRICKS DE 12 To A 80 m.</p> <p>⑰ TORRE DE HORMIGONADO AUXILIAR
TOUR A BETON AUXILIARE</p> |
|---|---|

INSTALACION DE ARIDOS ESQUEMA

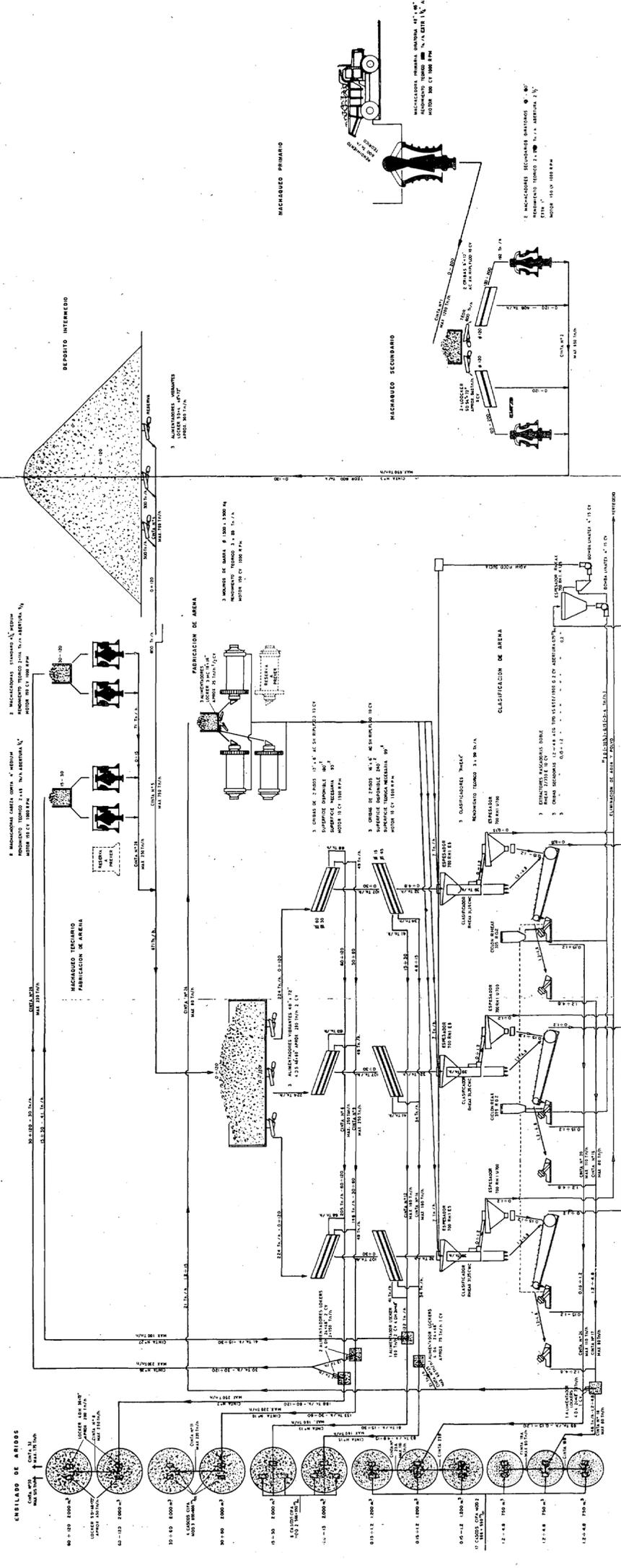


Fig. 8^a — Esquema de la instalación de áridos.
(Scheme of the aggregate installation).