

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.	157	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 correspondiente al periodo 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.

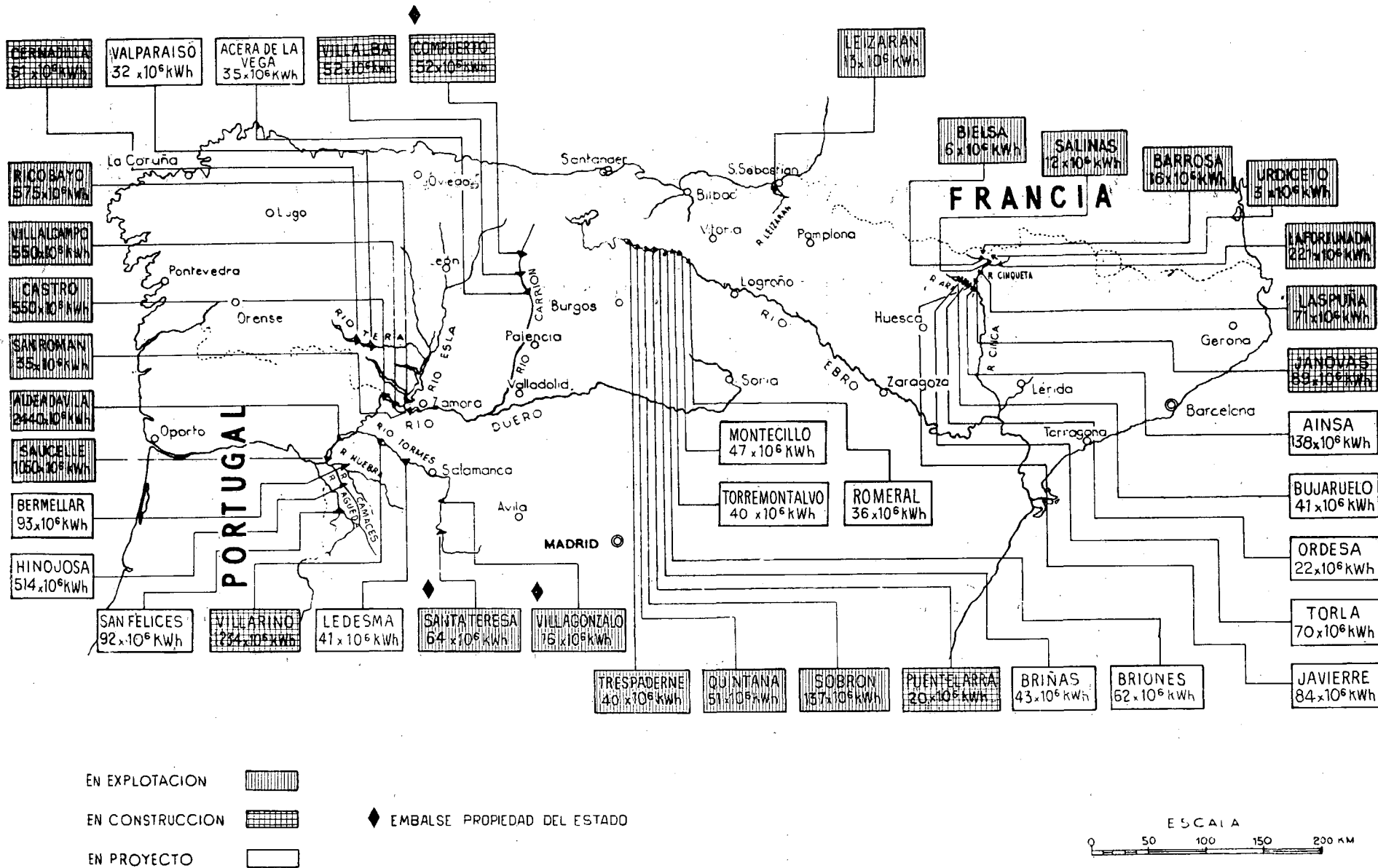


Fig. 1.ª. — Instalaciones principales de producción de IBERDUERO.
(Main hydroelectric schemes of IBERDUERO.)

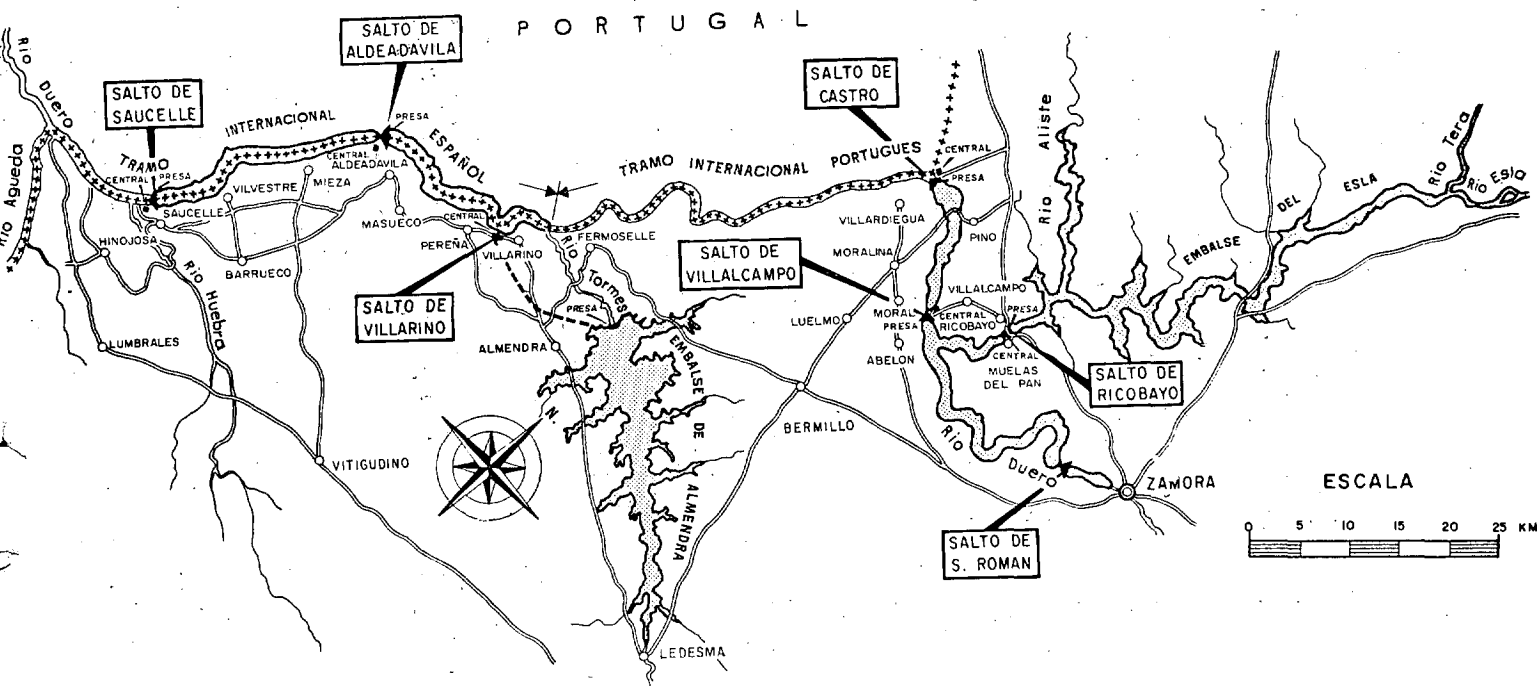


Fig. 2.^a — Planta del sistema hidroeléctrico del Duero Inferior.
(Plan of the hydroelectric system of the lower Duero.)

de los aprovechamientos del sistema, Ricobayo (1935), Villaicampo (1949), Castro (1952), Saucelle (1956), Aldeadávila (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 Aldeadávila 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 Esla y Duero.

En el cuadro 1 destaca la gran irregularidad hiperanual de las aportaciones de los ríos en que las medias anuales del periodo 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-

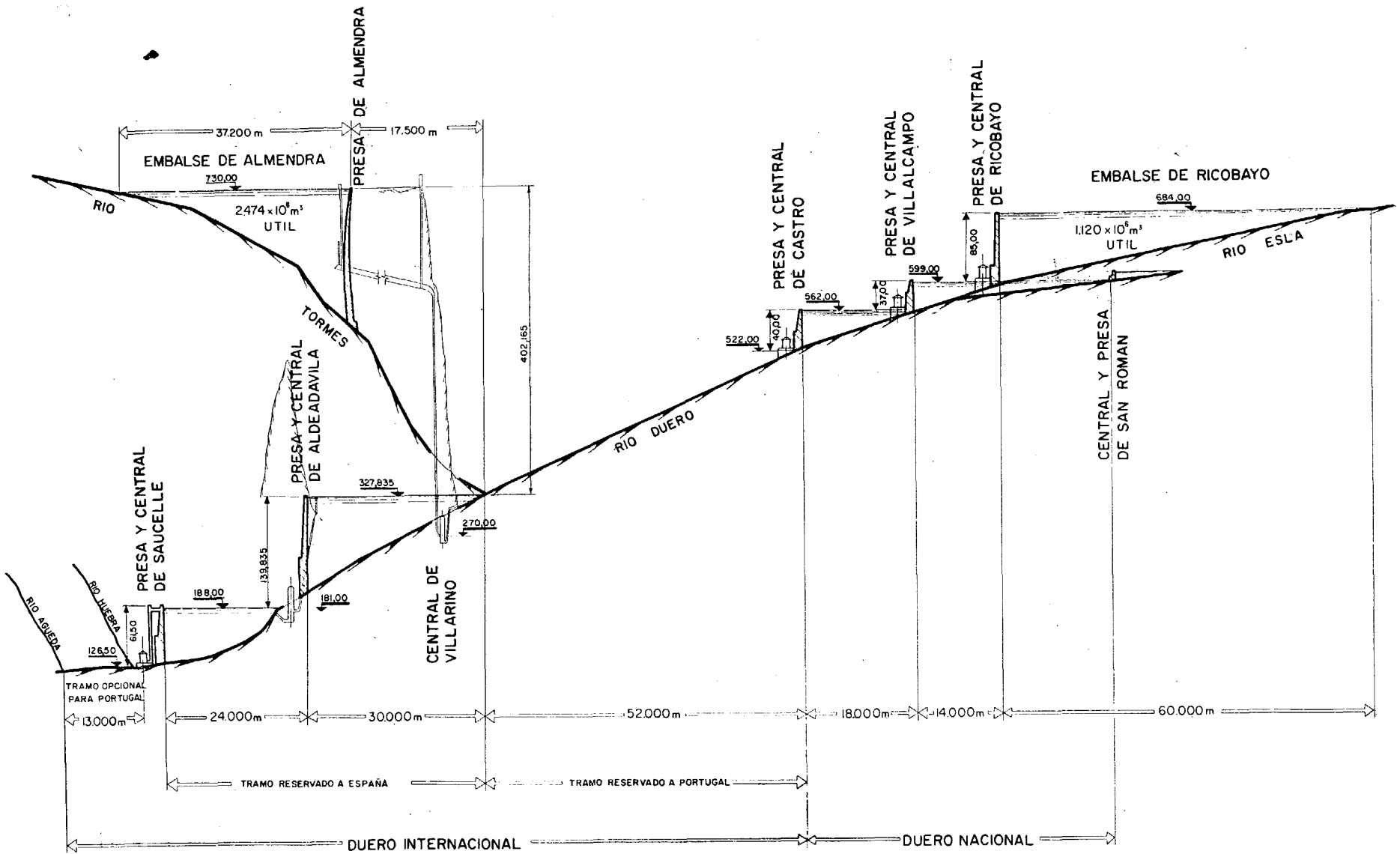


Fig. 3.^a — Perfi' longitudinal del sistema hidroeléctrico del Duero Inferior.
 (Longitudinal profil of the hydroelectric system of the lower Duero.)

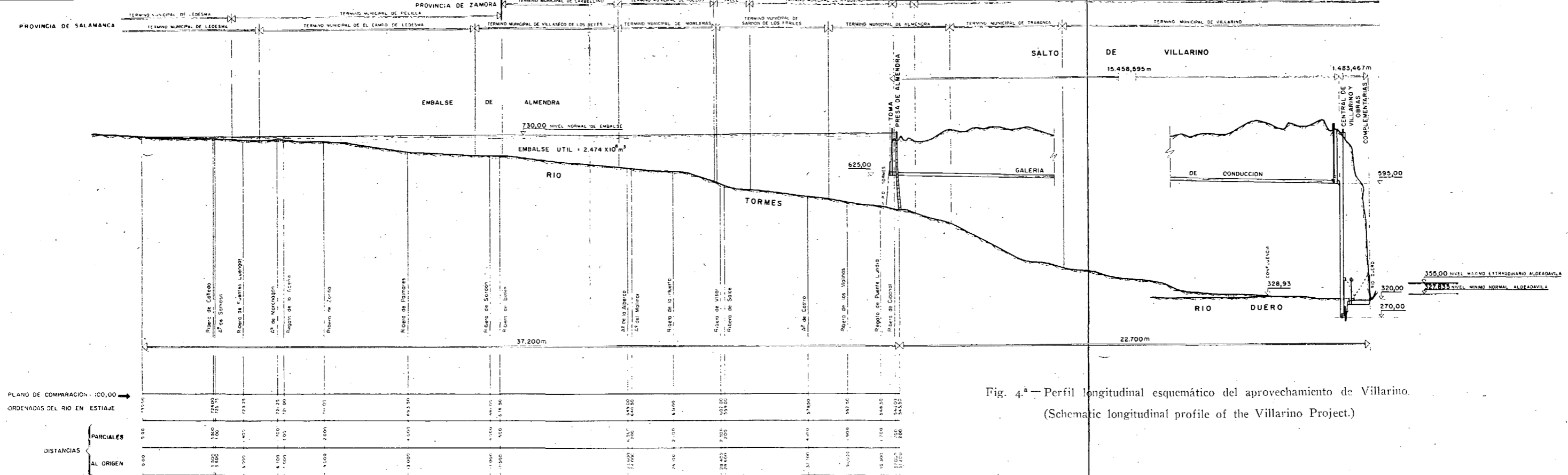


Fig. 4.ª - Perfil longitudinal esquemático del aprovechamiento de Villarino.
(Schematic longitudinal profile of the Villarino Project.)

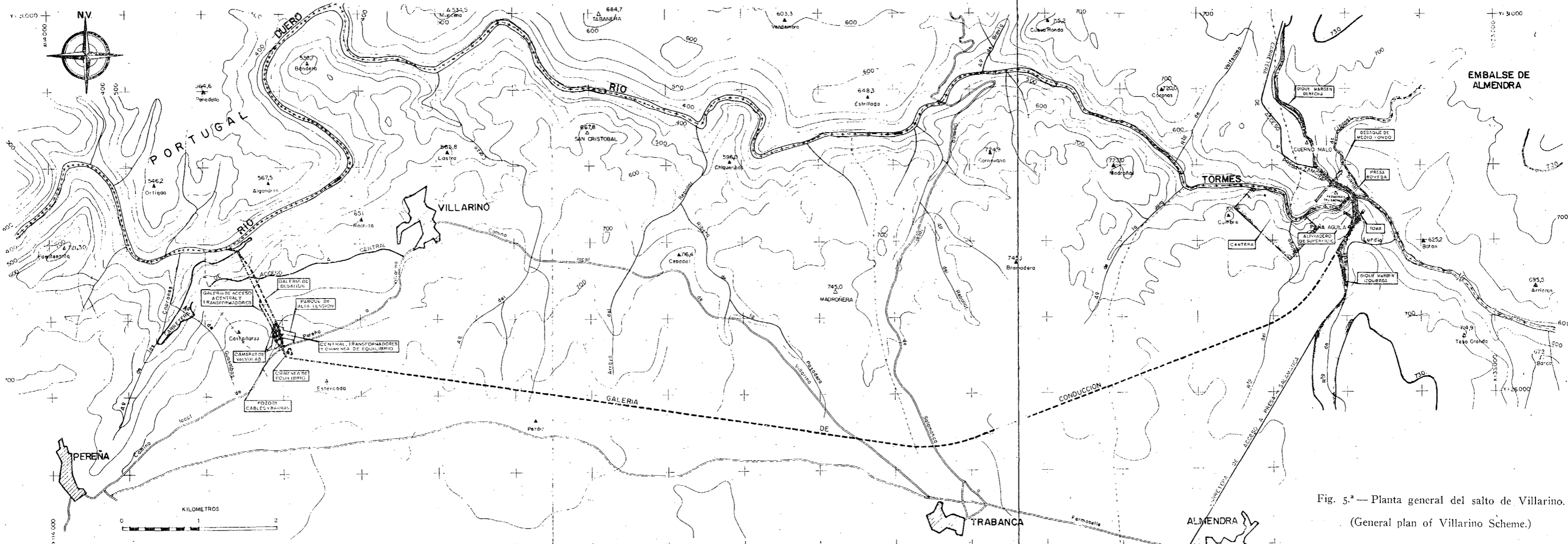


Fig. 5.ª - Planta general del salto de Villarino.
(General plan of Villarino Scheme.)

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, Aldeadávila 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-

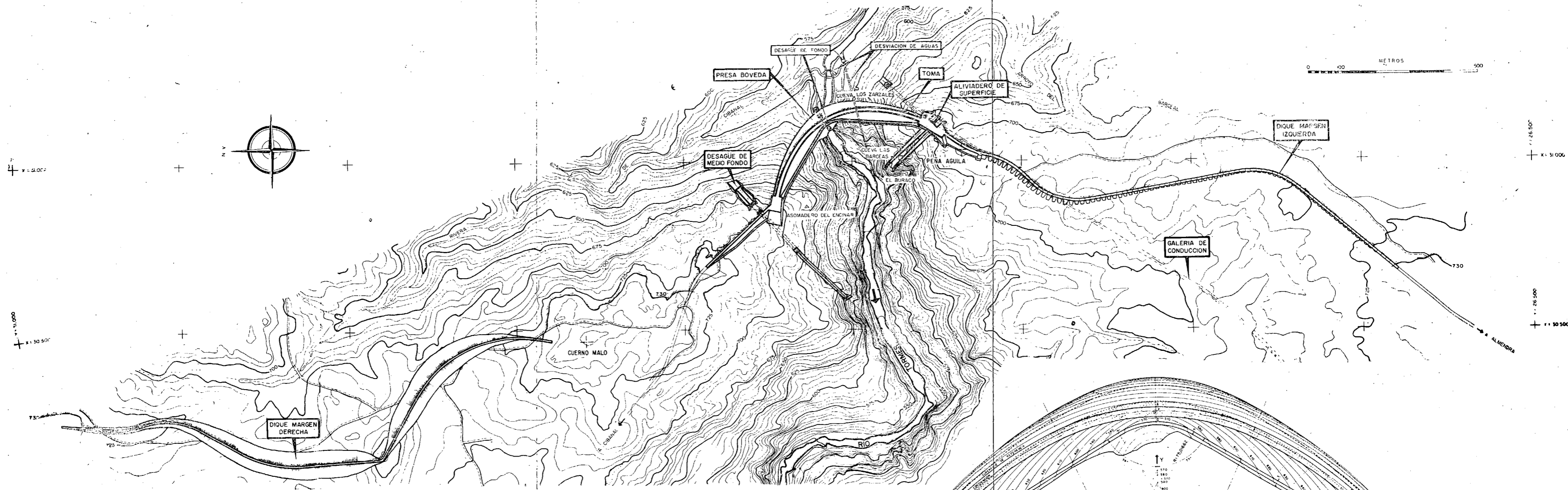


Fig. 6.^a — Planta general de la presa y diques.
(General layout of the dam and dykes.)

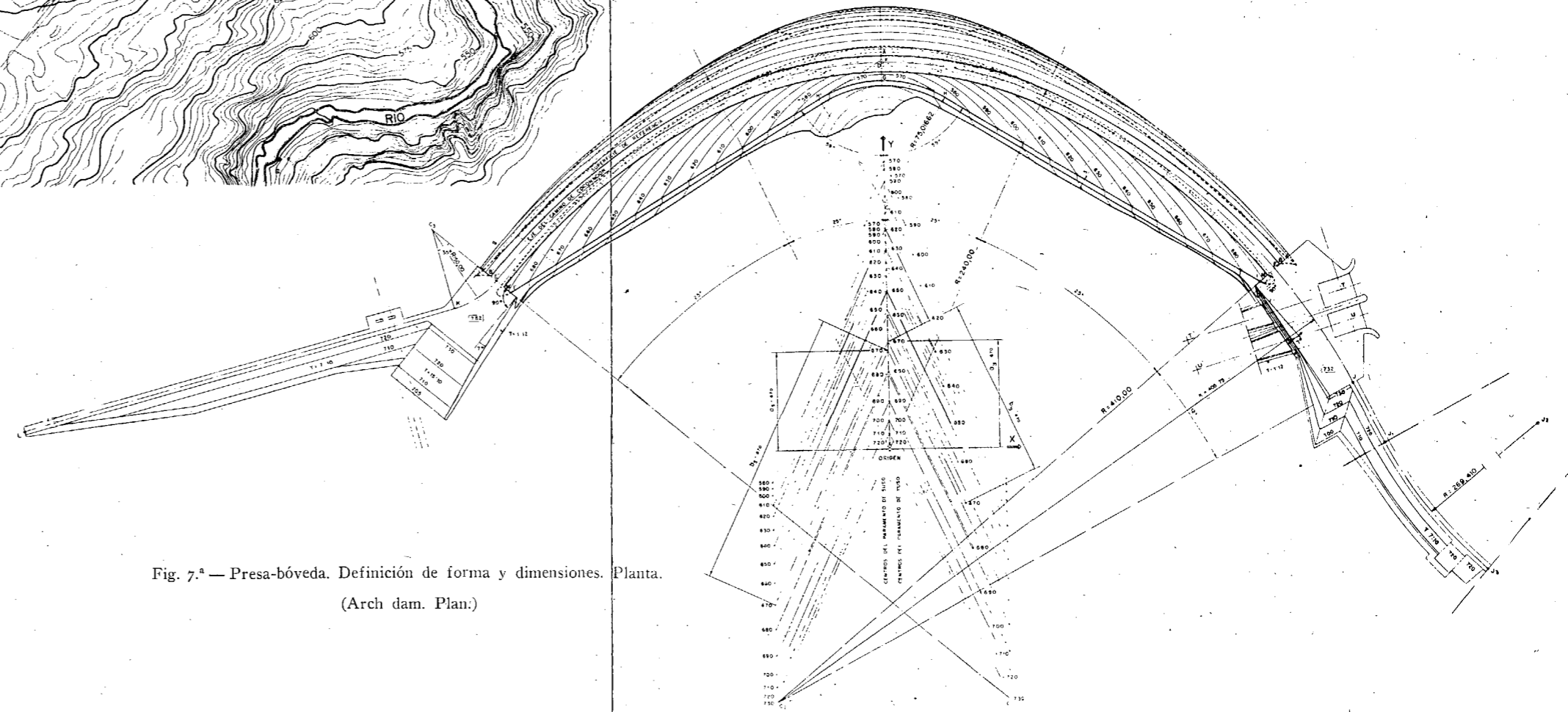


Fig. 7.^a — Presa-bóveda. Definición de forma y dimensiones. Planta.
(Arch dam. Plan.)

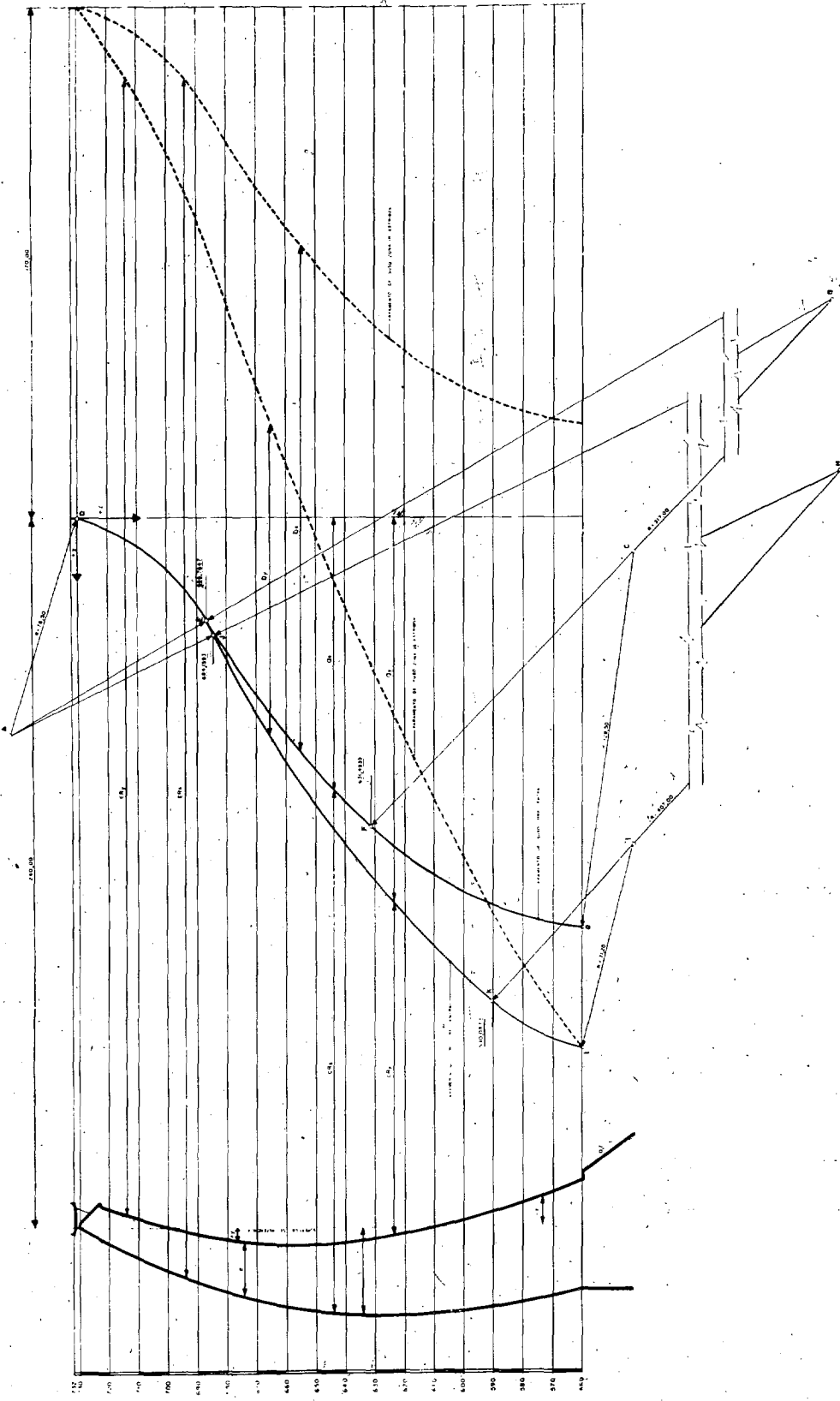
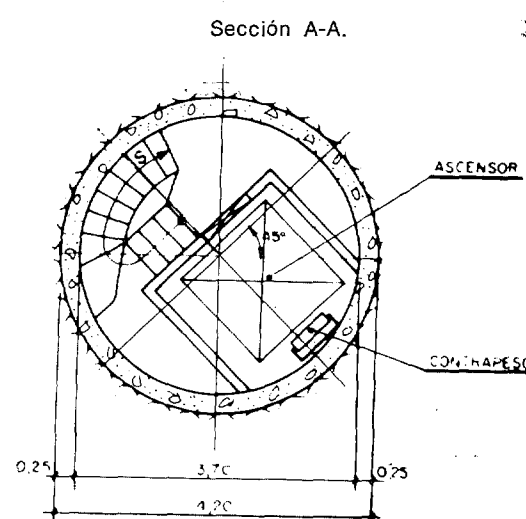
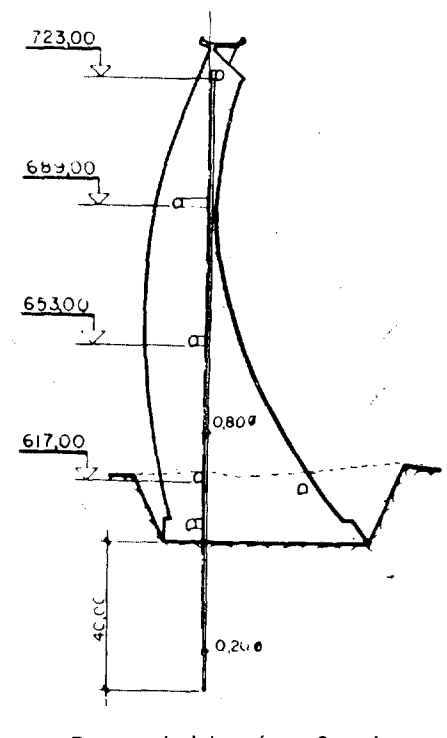
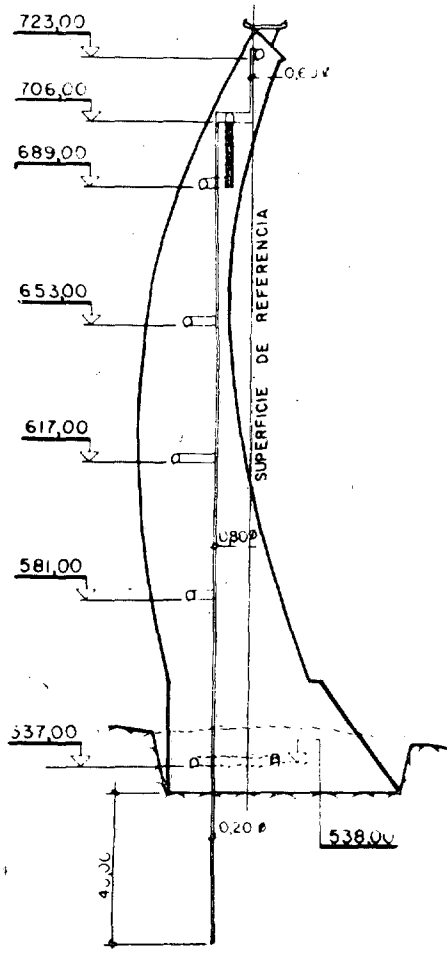
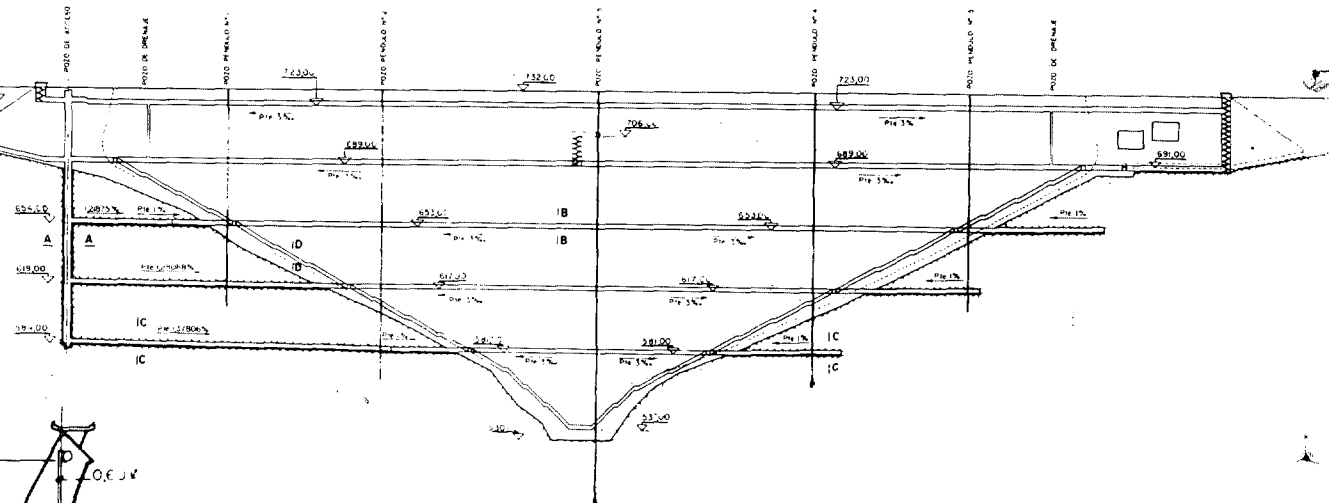


Fig. 8.ª — Presa-bóveda. Definición de forma y dimensiones. Perfil.
 (Arch dam. Typical section.)

ALZADO



Pozos péndulo núms. 1 y 5.

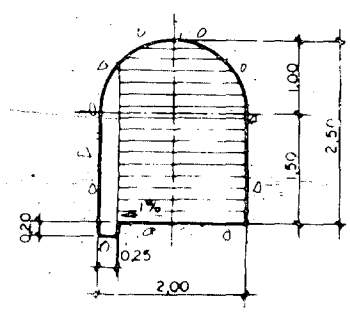
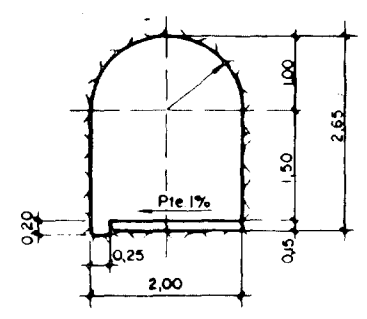
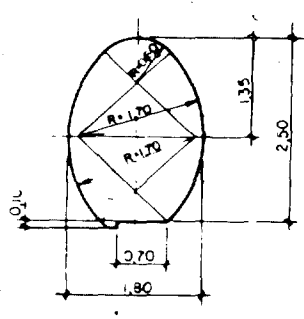
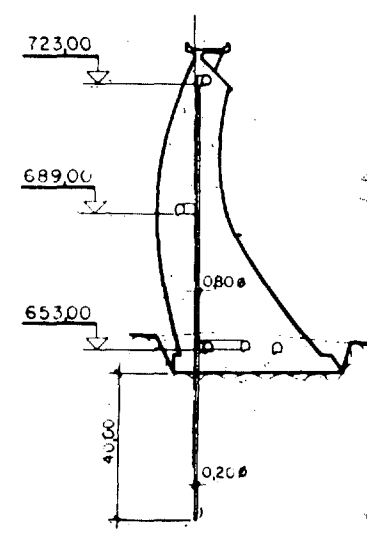


Fig. 9.^a — Presa-bóveda. Galerías y red de drenaje. Alzado y secciones tipo.
(Arch dam. Galleries and drainage system. Dournstream elevation and principals sections.)

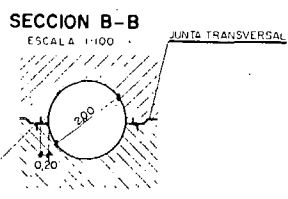
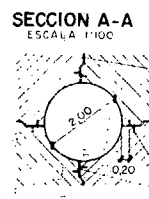
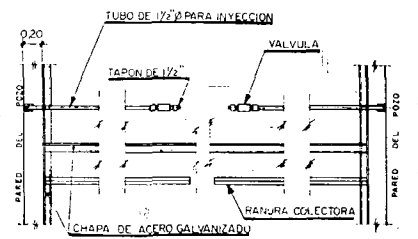
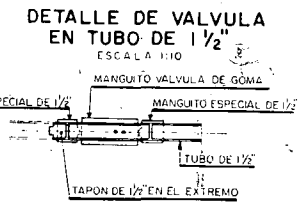
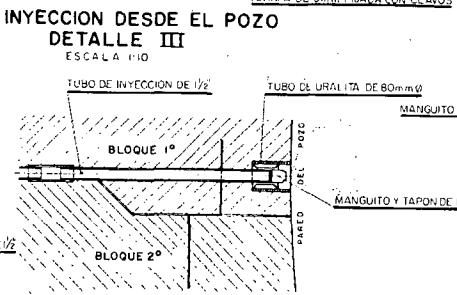
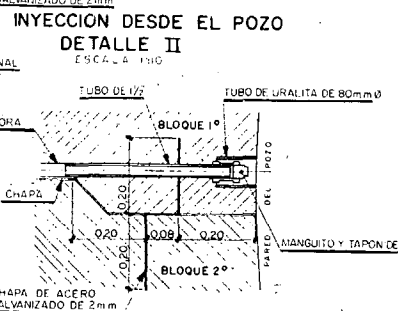
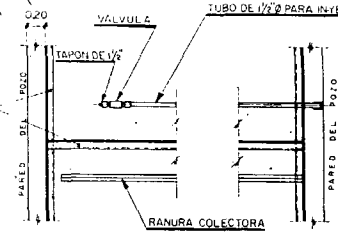
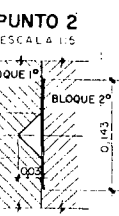
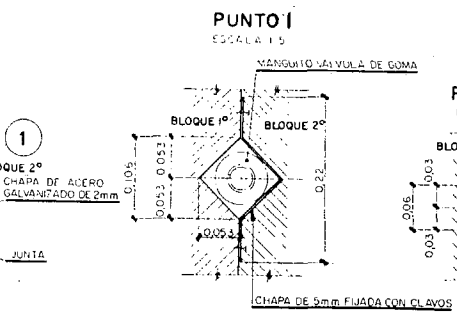
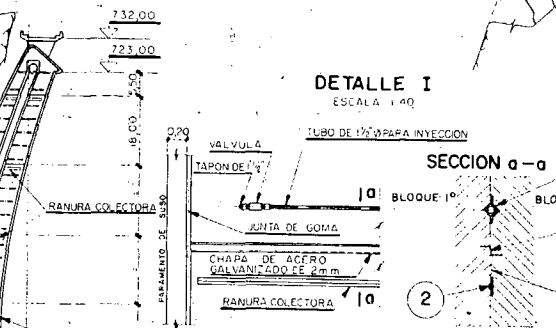
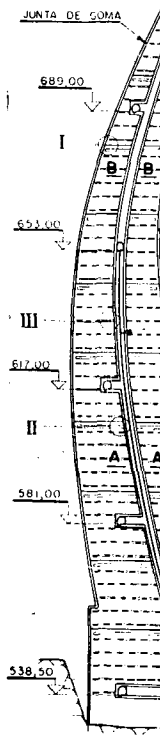
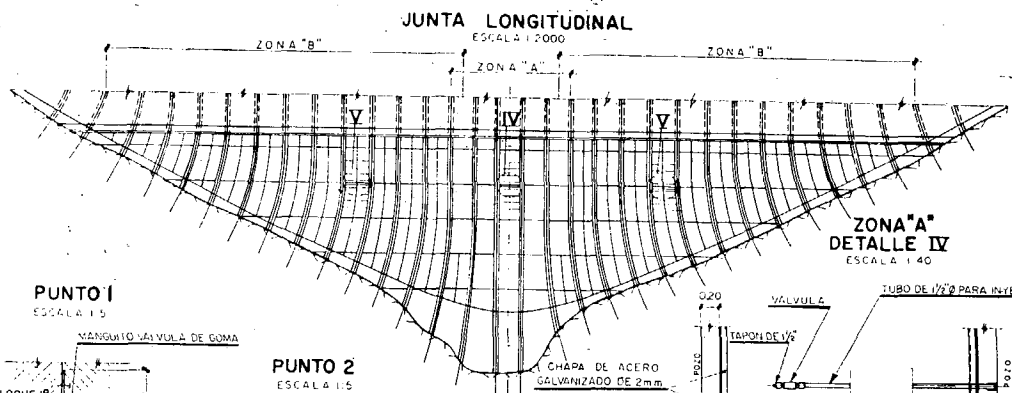
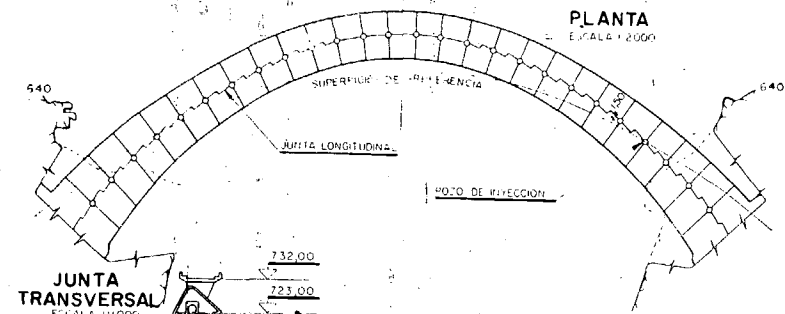
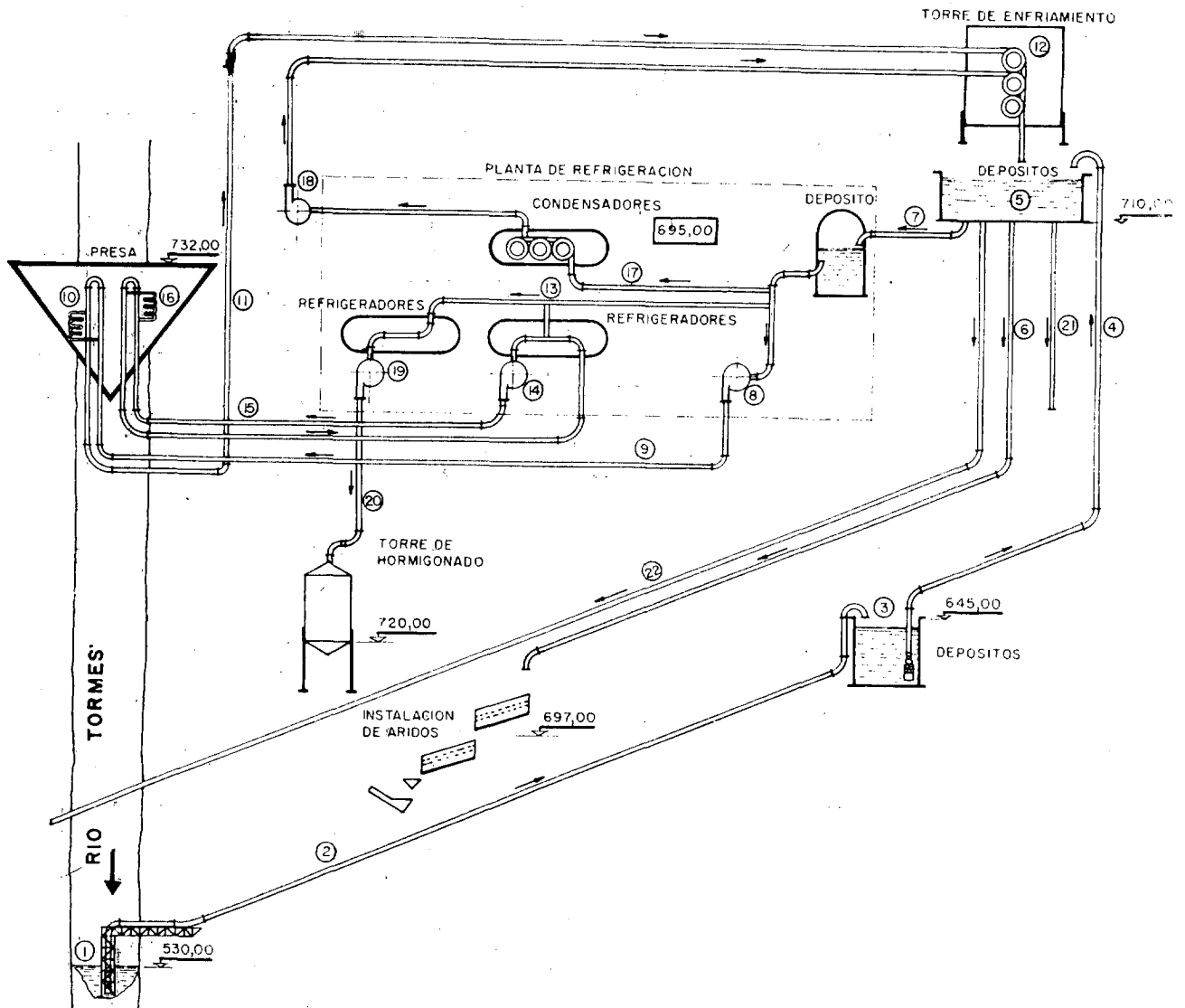


Fig. 10. — Presa-bóveda. Sistema de inyecciones.
(Arch dam. Grouting system.)



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 m.³.
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, 100 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 simplificadorios 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 agregarlo 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.

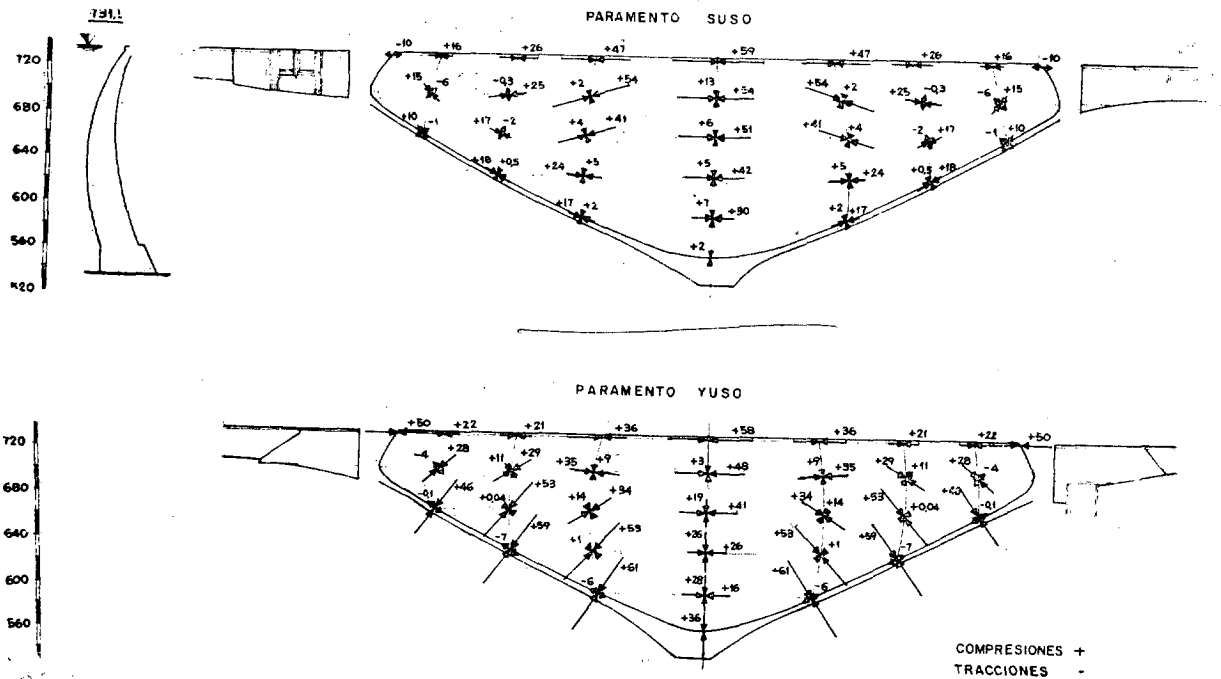


Gráfico 1.—Tensiones principales según el cálculo debidas a la presión hidrostática y el peso propio en Kg./cm.² con sobrecarga de agua hasta la cota 731.50.

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

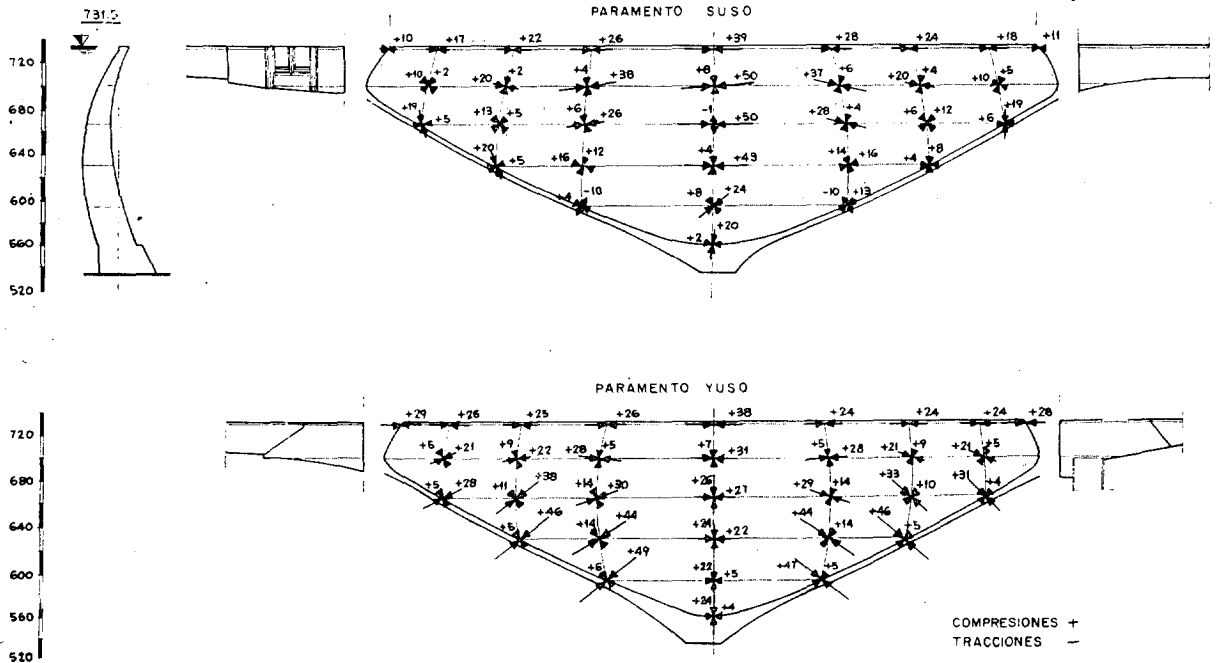


Gráfico 2.—Tensiones principales según el modelo debidas a la presión hidrostática y el peso propio en Kg./cm.² con sobrecarga de agua hasta la cota 731.50.

(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.)

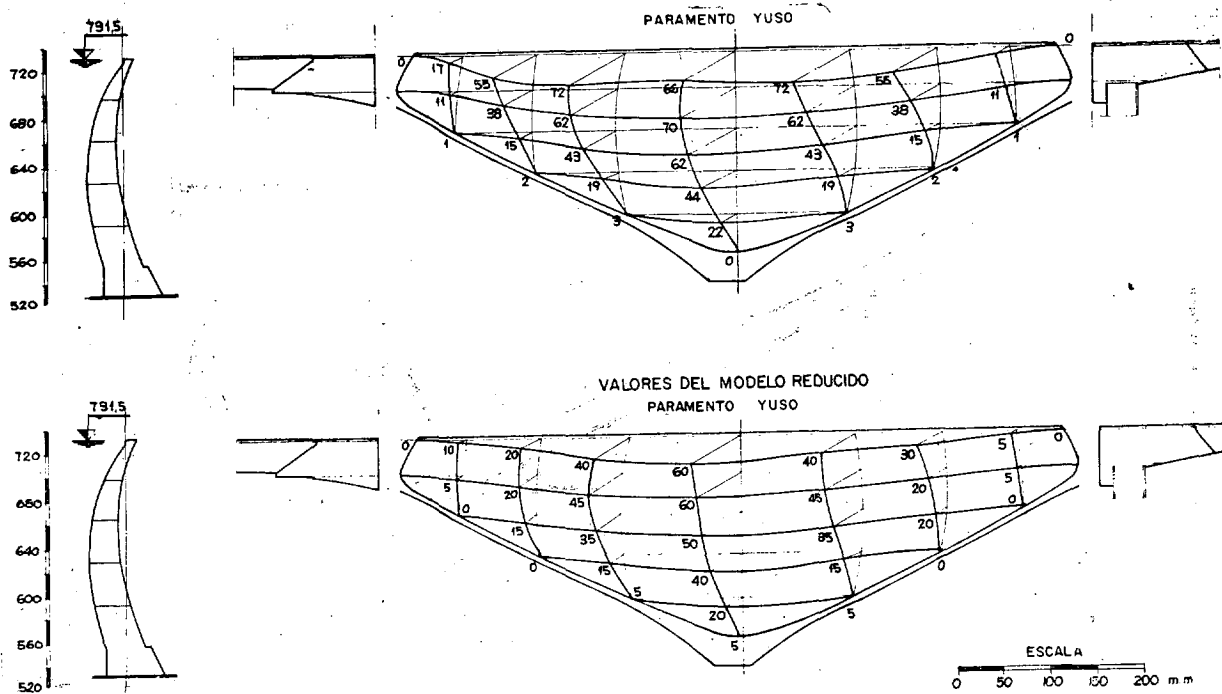


Gráfico 3.—Desplazamientos radiales debidos a la presión hidrostática en mm. con sobrecarga hasta la cota 731.50.

(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 puesto 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-

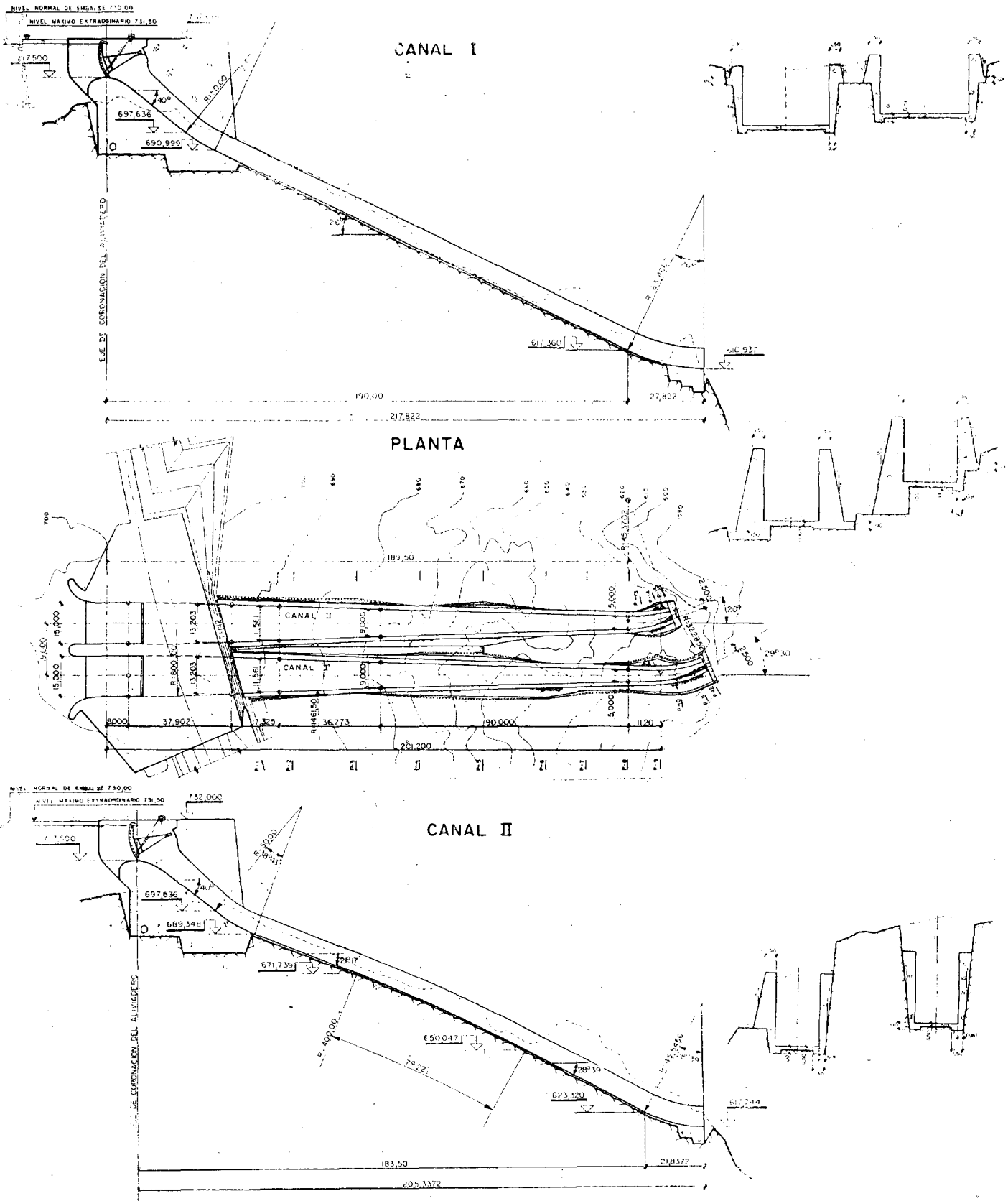


Fig. 12. — Aliviadero de superficie. Planta y perfiles longitudinales, y secciones tipo.
 (Spillway. Plan and longitudinal profile and typical sections.)

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 período 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

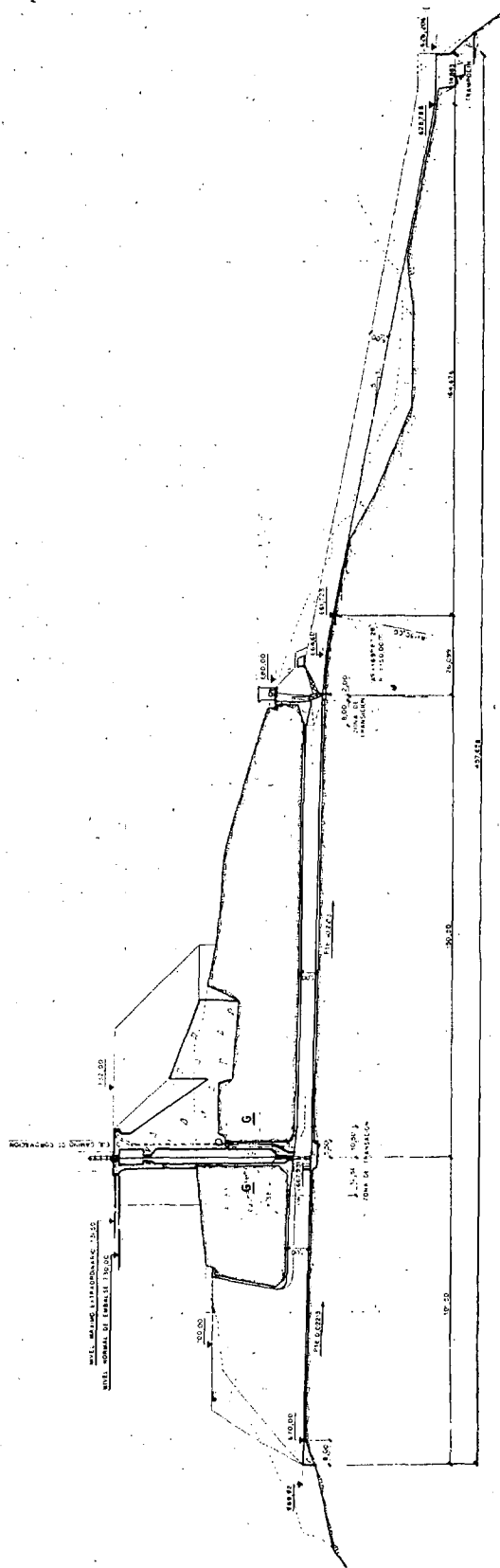


Fig. 13.—Desagüe de medio fondo. Perfil longitudinal (Medium deep outlet. Longitudinal profile.)

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 microseismos 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.

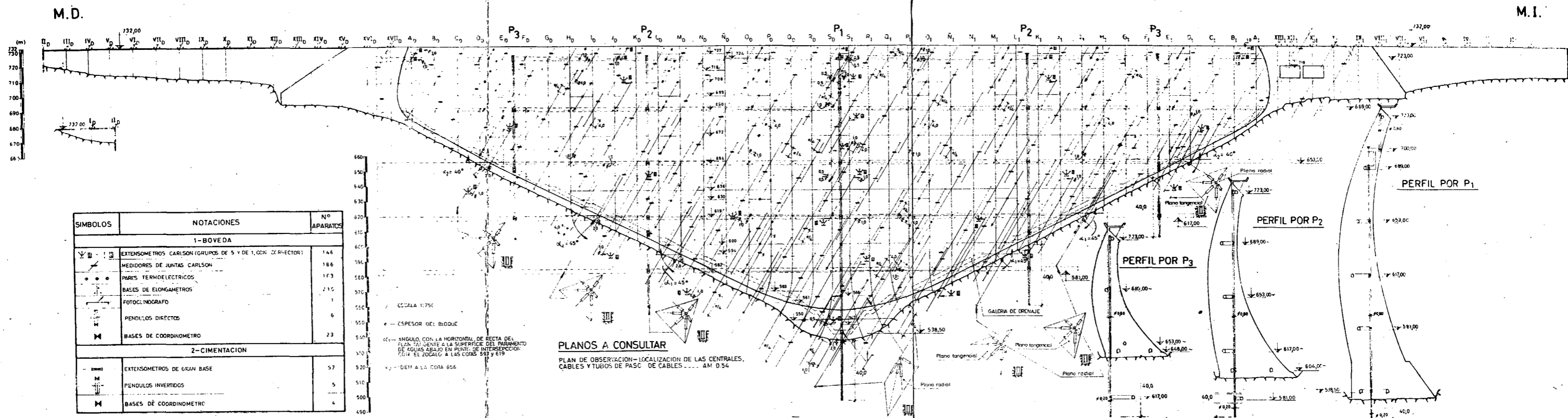


Fig. 14.—Esquema general de localización de aparatos de auscultación, en alzado.

General scheme of control apparatus.