

INFLUENCIA DEL GEOMORFISMO DE LA CERRADA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA PRESA

Dr. Ing. C. C. P. A. ALVAREZ

El salto de La Barca, propiedad de Hidroeléctrica Moncabril, constituye uno de los aprovechamientos con que dicha sociedad utilizará de modo integral las posibilidades hidroeléctricas del río Narcea situado en la provincia de Asturias, en el norte de España.

El proyecto de este salto se ha realizado en la Sección de Estudios Hidráulicos del Departamento de Construcción de AUXINI.

Consta de una presa bóveda de 73,50 m. de altura, y una central situada al pie de la presa.

Aprovecha un caudal máximo de 105 m.³/seg. La potencia instalada es de 52.000 kW., y la producción media anual de 109,7 millones de kilovatios hora.

1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.

El embalse está constituido por terrenos cámbricos y silúricos, en su mayoría cuarcitas y pizarras, cuya impermeabilidad está garantizada.

En la cerrada, los estratos buzan casi paralelamente a la corriente del río, y son cuarcitas ordovicenses muy duras y compactas, que presentan algunas intercalaciones pizarrosas.

Para un reconocimiento más completo de la roca, se hicieron diez sondeos mecánicos, completados con las correspondientes pruebas de permeabilidad. Algunos de ellos se prolongaron hasta profundidades de más de 100 m. para confirmar que las capas subyacentes son las mismas que afloran en la ladera, y que no existe ningún accidente tectónico que pudiera influir en la estabilidad de la presa.

En la margen derecha se excavó una galería de reconocimiento, de 65 m. de longitud, y en la dirección normal a los estratos, con objeto de inspeccionarlos directamente. En la margen izquierda ha cumplido análogo cometido el túnel ejecutado para desviar el río durante la construcción.

Estos reconocimientos atestiguaron la buena calidad de la roca, desde el punto de vista geológico.

2. CARACTERÍSTICAS GEOMÓRFICAS DE LA CERRADA.

Para estudiar las características mecánicas de la roca se realizaron los siguientes ensayos:

1. Medidas sísmicas desde el exterior, dispuestas en cuatro perfiles distintos, dos transversales al río, y dos longitudinales al mismo, con objeto de estudiar la zona de empotramiento de la presa, y poder definir el módulo elástico de la roca.

2. Medidas con gatos de columna en dos direcciones, una normal a los estratos, y otra, longitudinal a los mismos, aprovechando la galería de reconocimiento de la margen derecha.

Estas medidas se realizaron a distintas profundidades dentro de la galería, para determinar el módulo de deformación de la roca, según la distancia a la superficie de los diversos paquetes. En particular, las medidas realizadas cerca de la boca, sirvieron para determinar la zona decomprimida, y las características mecánicas de la misma.

3. Medidas del módulo elástico de la roca, mediante gatos de cámara lenticular, aprovechando la misma galería en margen derecha, para contrastar sus resultados con los obtenidos por medio de los gatos de columna, ya que ambos procedimientos son esencialmente distintos.

4. Medidas sísmicas colocando los sismógrafos dentro de la galería de margen derecha y del túnel de desvío perforado en la izquierda dando las explosiones fuera, y también otras con los sismógrafos fuera y explosiones dentro de la galería. Estas medidas sísmicas completaron las realizadas únicamente en el exterior.

Los resultados muestran diferencias de módulo de rigidez según se tomen transversal o longitudinalmente a los estratos, debido a que entre las capas de cuarcita de rigidez real, del orden de 400 T./cm.² se encuentra algún lecho esquistoso de módulo elástico más bajo. Esto hace que en dirección transversal, las capas tengan un módulo elástico medio del orden de 300 a 350 T./cm.², que de todas formas es superior al normal de un hormigón.

5

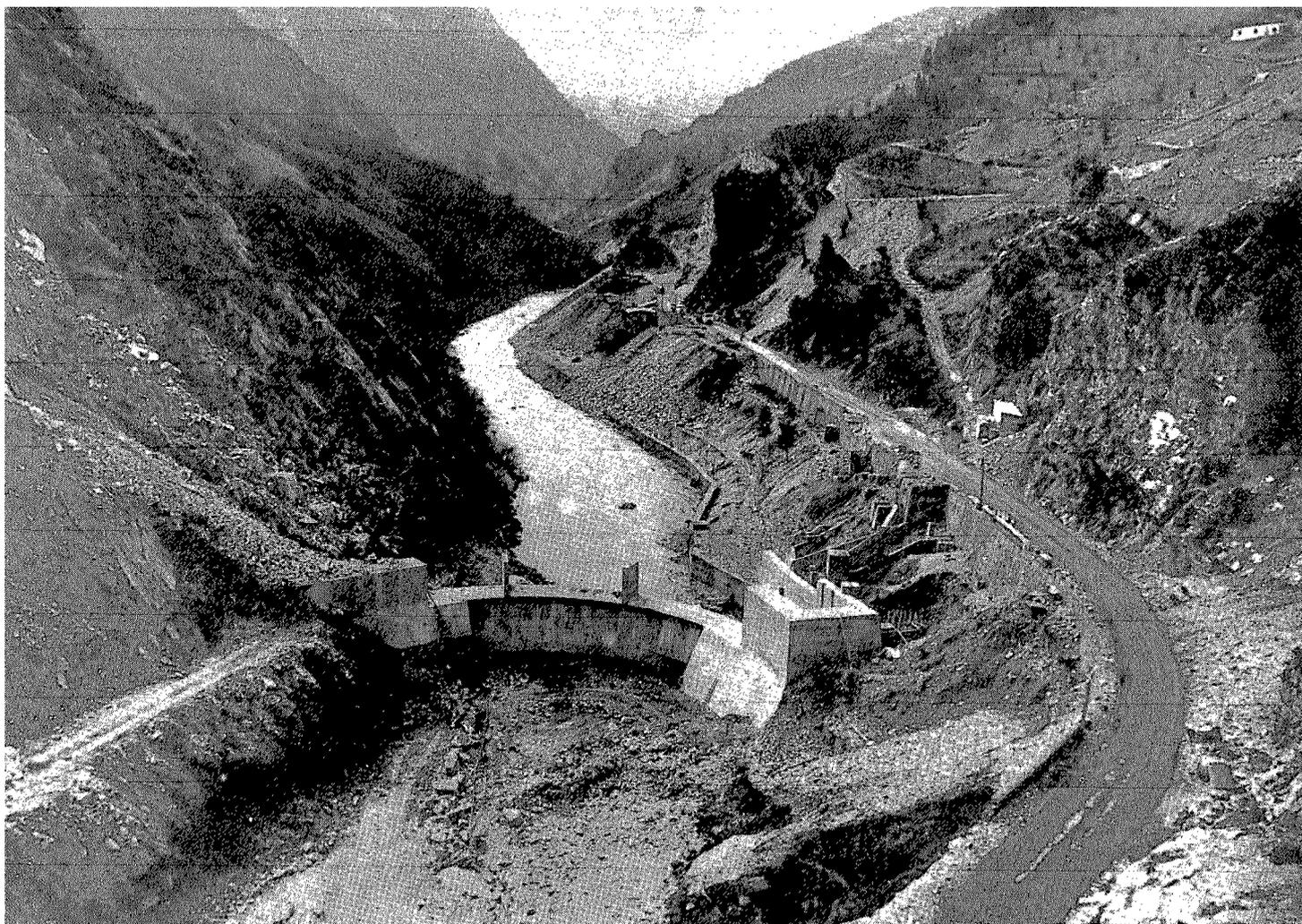


Figura 1.^a

La disposición estratigráfica de la ladera es, como ya se ha dicho, con paquetes que buzan un ángulo de 55° hacia la margen izquierda y cuya traza es casi coincidente con el eje del río. Consecuencia de ello, en la margen izquierda la decompresión es intensa, pero muy poco profunda, mientras que en la derecha, aún con valores reducidos, alcanza hasta profundidades de 10 a 15 metros.

3. NECESIDADES DE ALIVIADERO.

Se ha hecho un estudio de las avenidas ocurridas en el Narcea en época pasada, habiéndose reunido datos suficientes para asegurar que desde 1880 el máximo caudal que ha pasado por el río no ha superado los $700 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Se tienen, además, aforos diarios del río durante un período de veintiséis años. Con todos estos datos,

Fig. 1.^a—Ataguía y embocadura del túnel de desvío.

Sketch No. 1.—Cofferdam and adit of the diversion tunnel.

y aplicando la distribución estadística de Gauss, y también la de Gumbel, se deduce que es de 1 500 metros cúbicos-segundo la avenida máxima que corresponde a una probabilidad de quinientos años.

4. ADAPTACIÓN DE LA PRESA AL TERRENO.

La cerrada es francamente asimétrica, con pendiente fuerte en la ladera izquierda, y mucho más suave en la derecha.

El hecho de encontrarse la central al pie de la presa, excluye la posibilidad de un vertido por coronación.

En consecuencia, se adoptó un vertedero situado en el estribo derecho, sobre un macizo de gravedad, dispuesto en prolongación de los arcos de la bóveda, de modo que resulte normal a los estratos. Las ventajas de esta disposición son obvias:

- 1. Se consigue que la bóveda propiamente dicha, que es de arcos circulares de un solo centro y espesor constante resulte casi simétrica.
- 2. Se establece un macizo de transición entre bóveda y ladera derecha, de masa suficiente para

para que se haya quitado toda la parte decomprimida, y se llega a roca, que puede resistir bien los esfuerzos.
 En la margen derecha y por efecto del macizo del aliviadero, las tensiones sobre el terreno no lle-

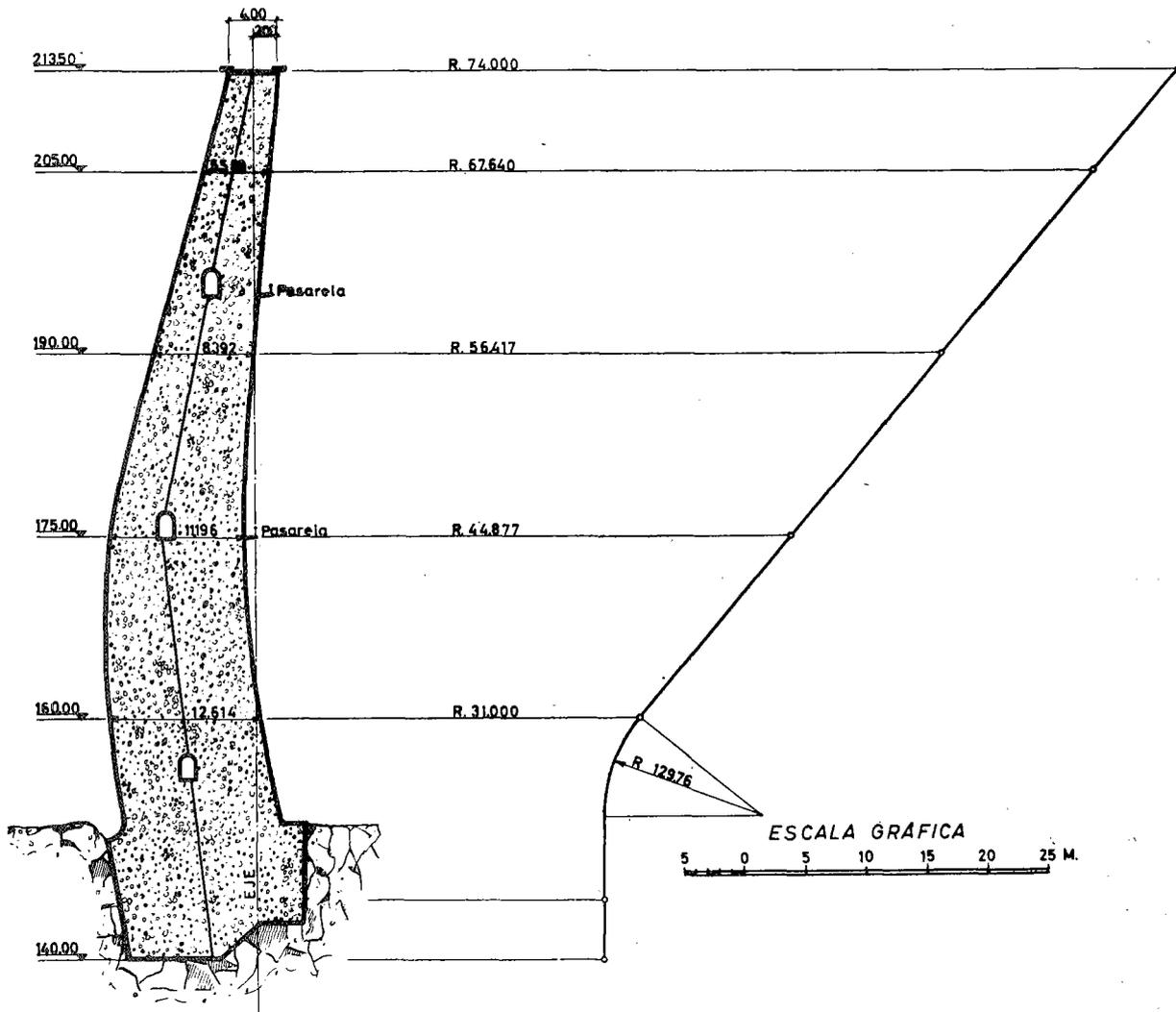


Figura 2.ª

repartir de modo uniforme los esfuerzos de borde transmitidos por la bóveda, y haciendo que las cargas unitarias sean menores por actuar los empujes sobre una superficie mayor.

En la margen izquierda, los arcos quedarán empotrados en el terreno, después de efectuar una excavación de unos 6 metros, profundidad suficiente

gan a 18 Kg./cm.², que pueden ser perfectamente resistidas por la roca efectuando una excavación de 12 m., ya que a esa profundidad el módulo de deformación medido es de 200 T./cm.², en sentido normal a los estratos.

El hecho de encontrarse el vertedero en la margen derecha, hace que la parte superior de la bóveda

Fig. 2.ª — Sección central de la presa.
 Sketch No. 2. — Central section of the dam.

en esta zona se encuentra cortada para formar el vano correspondiente. La transmisión del empuje del arco superior se realiza a través de una gran viga situada sobre el vertedero y dispuesta en prolongación del mismo.

1. Peso propio y variaciones de temperatura.
2. Peso propio, empuje hidrostático, presión intersticial y variación de temperatura.
3. La misma combinación 2, pero suponiendo que no existan conductos de drenaje.

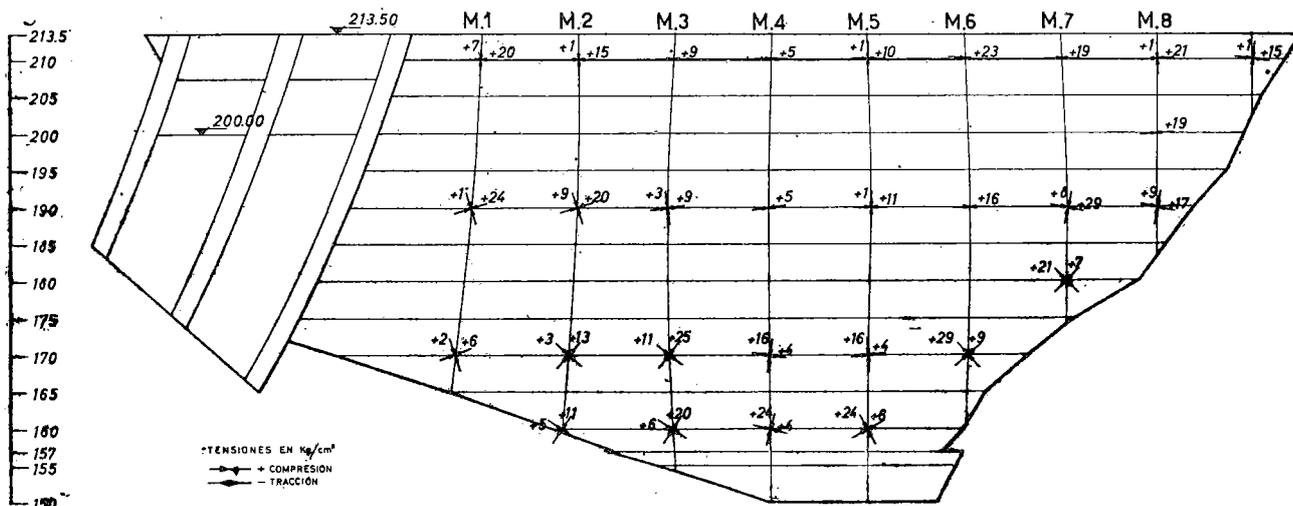


Figura 3.ª

5. ESTUDIO ELÁSTICO DE LA PRESA.

La presa, de acuerdo con la vigente Instrucción Oficial española, se calculó en las siguientes hipótesis:

Observemos que:

- a) La carga hidrostática produce un acortamiento de los arcos originando momentos del mismo sentido que una disminución uniforme de temperatura.

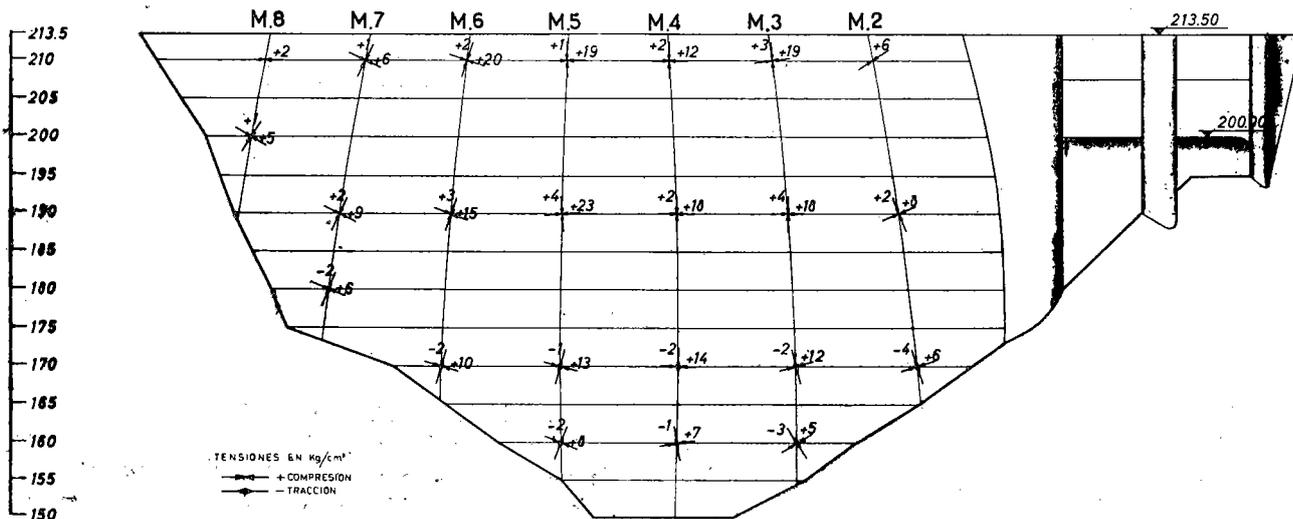


Figura 4.ª

Fig. 3.ª — Tensiones aguas abajo para carga hidrostática y peso propio.
 Sketch No. 3. — Downstream stresses for hydrostatic load and dead weight.
 Fig. 4.ª — Tensiones aguas arriba para carga hidrostática y peso propio.
 Sketch Nn. 4. — Upstream stresses for hydrostatic load and dead weight.

b) Con embalse vacío en verano se tienen unos esfuerzos de flexión contrarios a los debidos a carga hidrostática.

c) Para el embalse lleno en verano, en que el paramento de aguas abajo está a temperatura ele-

tuvieron en cuenta las diversas situaciones posibles que se indican a continuación: **5**

1. Embalse lleno, sin efecto de temperatura.
2. Embalse vacío en verano.
3. Embalse lleno en invierno.

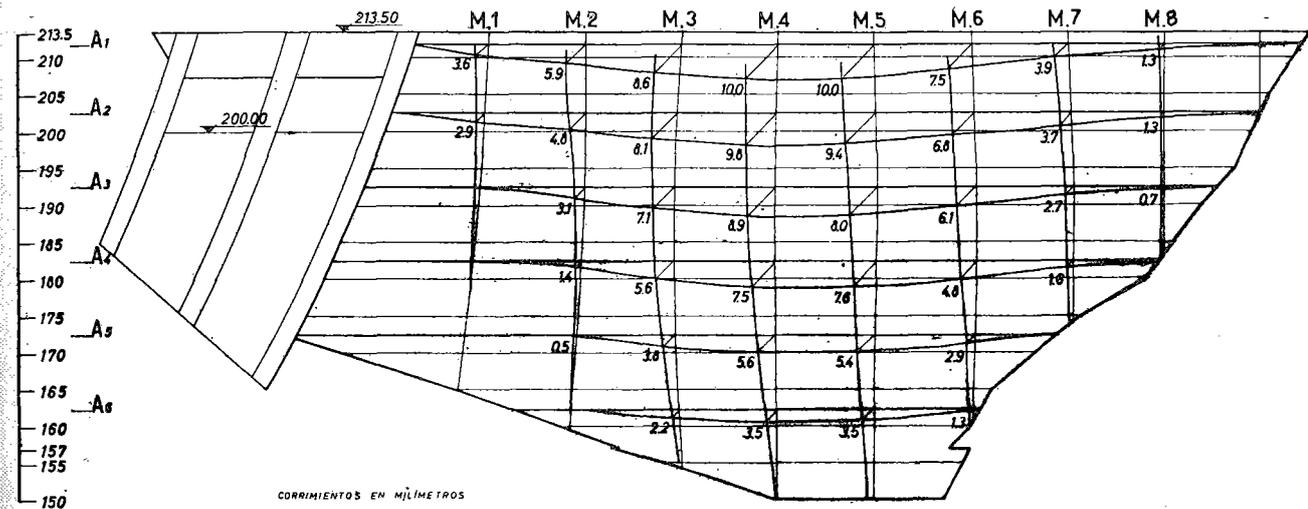


Figura 5.a

vada, mientras el de aguas arriba se mantiene fresco, resultarán los máximos esfuerzos de compresión en los arcos.

Por consiguiente, para el cálculo de la presa se

4. Embalse lleno en verano.

5. Las mismas de 3 y 4, pero suponiendo la no existencia de drenes.

El cálculo de la presa de La Barca, se ha reali-

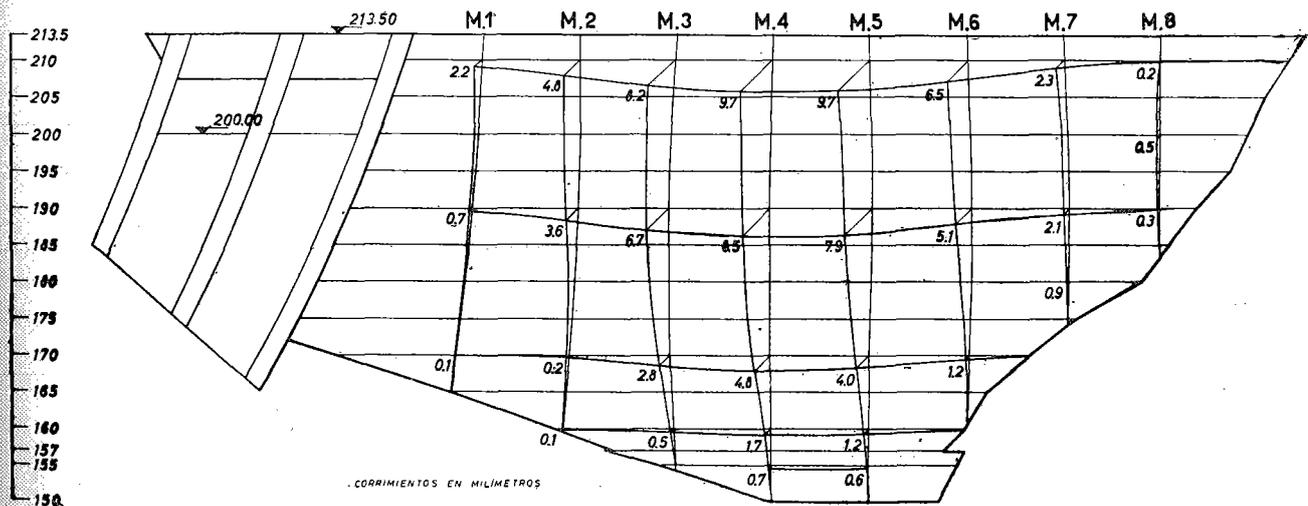


Figura 6.a

Fig. 5.a — Corrimientos obtenidos por cálculo.

Sketch No. 5. — Displacements obtained by computation.

Fig. 6.a — Corrimientos obtenidos en modelo elástico.

Sketch No. 6. — Displacement obtained by elastic model.

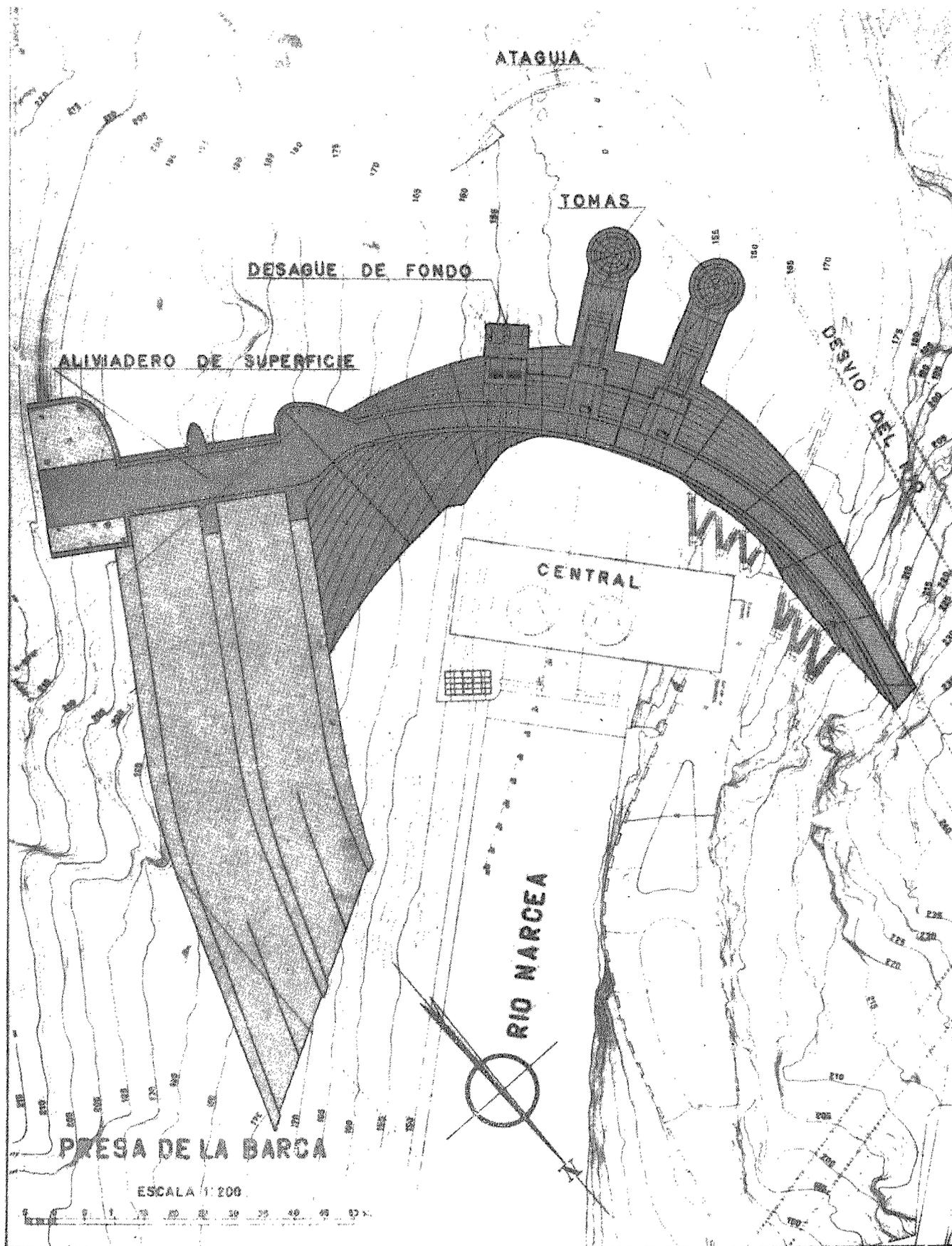


Figura 7.^a

Fig. 7.^a — Planta general.
 Sketch No. 7. — General plan.

zado con auxilio de un computador digital, empleando el programa, o conjunto de órdenes para la máquina, que ha sido confeccionado y puesto a punto por la Sección de Estudios Hidráulicos del Departamento de Construcción de AUXINI.

Este programa para la calculadora se ha ejecutado de modo que sirva para cualquier presa, tanto si los arcos son de espesores variables como si tienen tres centros, etc., y nos permite realizar con rapidez el análisis elástico completo, basta suministrar como datos a la máquina, la definición de la ménsula central, las leyes de variación de radios, las aberturas angulares máximas a cada altura, la variación de espesores, y las constantes elásticas de hormigón y terreno.

El programa está preparado para efectuar los ajustes radial y tangencial, y suministrar directamente esfuerzos y tensiones, según arcos y según ménsulas.

También se hizo de esta presa un ensayo en modelo elástico, con objeto de comprobar los resultados obtenidos por los cálculos. Ha sido efectuado por el Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción del M. O. P.

Ha sido sumamente grato ver que los resultados del ensayo en modelo y de los cálculos son totalmente acordes, y conduce a una gran confianza el comprobar que con procedimientos dispares se han obtenido tensiones prácticamente iguales.

Las solicitaciones máximas obtenidas son las siguientes:

a) Con carga hidrostática únicamente, no se producen tracciones en la bóveda, y la compresión máxima es de 32 Kg./cm.^2

b) Para embalse lleno en verano se alcanza una compresión máxima de 36 Kg./cm.^2

c) Con embalse lleno en invierno hay una tracción de 6 Kg./cm.^2 en el pie de aguas arriba de la ménsula central. Esta tracción, deducida por cálculo, será, sin duda, mucho menor en la realidad, pues en esa zona próxima al empotramiento y

donde el espesor es sensiblemente grueso, siempre da el cálculo resultados pesimistas.

A la vista de las cargas que han de ser resistidas, se fijó que el hormigón de la presa ha de tener una resistencia característica de $250 \text{ kilogramos/cm.}^2$, medidos en probetas cilíndricas a los veintiocho días. Con este valor, y contando una dispersión de valores del 15 por 100 en las resistencias reales, se obtiene que los coeficientes de seguridad serán superiores a 5 para las solicitaciones de compresión, y mayores que 3, para el caso de tracción.

ESTADO ACTUAL DE LA OBRA.

La construcción de la presa de La Barca está siendo ejecutada por Dragados y Construcciones, Sociedad Anónima. Actualmente, están en fase avanzada las excavaciones, después de haber terminado el desvío del río, y se comenzará próximamente el hormigonado.

Se espera terminar la presa en un plazo de dos años.

CARACTERISTICAS DE LA PRESA

Altura	73,50	m.
Cota de coronación	213,50	m.
Espesor en coronación	4,00	m.
Espesor en la base	14,505	m.
Radio de coronación	76,00	m.
Angulo central del arco de coronación	91°	
Cuerda del arco de coronación ...	107,48	m.
Vanos de aliviadero	2	
Luz de cada vano	12,00	m.
Caudal de aliviadero	1 500,00	m. ³ /seg.
Caudal a evacuar por el desagüe de fondo	138,00	m. ³ /seg.
Cota del desagüe de fondo	162,00	m. ³ /seg.
Nivel máximo de embalse	212,00	