

COMPORTAMIENTO DE PRESAS

LA BARCA
PRADA
SAN SEBASTIAN
PIAS

Por JESUS MAGAÑA RODRIGUEZ
Ingeniero de C., C. y P.

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS
BIBLIOTECA

Las principales características son:

PRESA DE LA BARCA

5

1. GENERALIDADES GEOMORFOLOGICAS

El terreno sobre el que se asienta la presa está constituido por paquetes de cuarcitas ordovicenses muy duras y compactas cuya traza coincide, prácticamente, con el eje del río y que buzan 55° hacia la margen izquierda. Como consecuencia de esta disposición de los estratos la margen izquierda presenta una decompresión intensa pero poco profunda, mientras que en la derecha alcanza, con valores reducidos, profundidades de hasta 15 m; por otra parte, la cerrada es marcadamente asimétrica, con pendientes mucho más fuertes en la ladera izquierda. El embalse está constituido por terrenos cámbrios y silúricos, en su mayoría pizarras y cuarcitas, de impermeabilidad garantizada.

Dos hechos influyeron fundamentalmente en la elección del tipo de presa. Por una parte, era muy conveniente, desde el punto de vista económico del resto de los dispositivos, que la central estuviera situada a pie de presa; por otra, la necesidad de utilizar el agua del embalse para refrigerar la central térmica de Soto de la Barca imponía un nivel máximo, completamente definido, que permite una elasticidad muy pequeña a la sobre-elevación producida en caso de avenidas por los hidrogramas afluentes. La primera condición dificultaba mucho el vertido por coronación en el cuerpo central de la presa, y la segunda imponía una capacidad de aliviadero relativamente importante, 1.500 m³/s. La asimetría de la cerrada puede decirse que resolvió el problema y condujo a la solución óptima finalmente elegida, ya que permitió situar un macizo de gravedad en el estribo derecho para, restituyendo la simetría, poder cerrar el valle con una bóveda. Sobre dicho estribo se situó un vertedero de dos vanos, cerrados con compuertas Taintor, que mediante dos canales, terminados en sendos trampolines, lanza los caudales de avenidas muy lejos de la central.

El macizo de gravedad permite, por otra parte, interponer una zona de transición entre la bóveda y la ladera derecha que uniformiza las tensiones y reduce las cargas unitarias transmitidas.

Cuenca:

Superficie (Km ²)	1.216
Precipitación media (Hm ³)	1.524
Aportación media (Hm ³)	991
Avenida máxima (m ³ /seg.)	1.500

Embalse:

Volumen total (Hm ³)	35
Volumen útil (Hm ³)	23
N. M. N.	211

Presa:

Tipo	V A
Cota de coronación	213,50
Altura máxima (m)	74
Longitud de coronación (m)	178
Volumen de hormigón (m ³)	116 × 10 ³

Aliviaderos y desagües:

Número de vanos	2
Capacidad (m ³ /seg.)	2.273
Caudal desagüe de fondo (m ³ /seg.)	138

Aprovechamiento hidroeléctrico:

Salto bruto máximo (m)	62
Salto bruto mínimo (m)	57
Caudal máximo (m ³ /seg)	104,6
Potencia instalada (MW)	52,8
Producción media anual (GWh)	120

2. PUESTA EN CARGA

El primer llenado parcial del embalse se comenzó a primeros del mes de mayo de 1967, alcanzando la cota 200 (umbral del aliviadero) el 20 de junio del mismo año. A continuación se procedió al vaciado del mismo, permaneciendo de esta forma entre agosto y noviembre, para la ejecución de diferentes trabajos. Después se fue llenando hasta alcanzar el 30 de enero de 1968

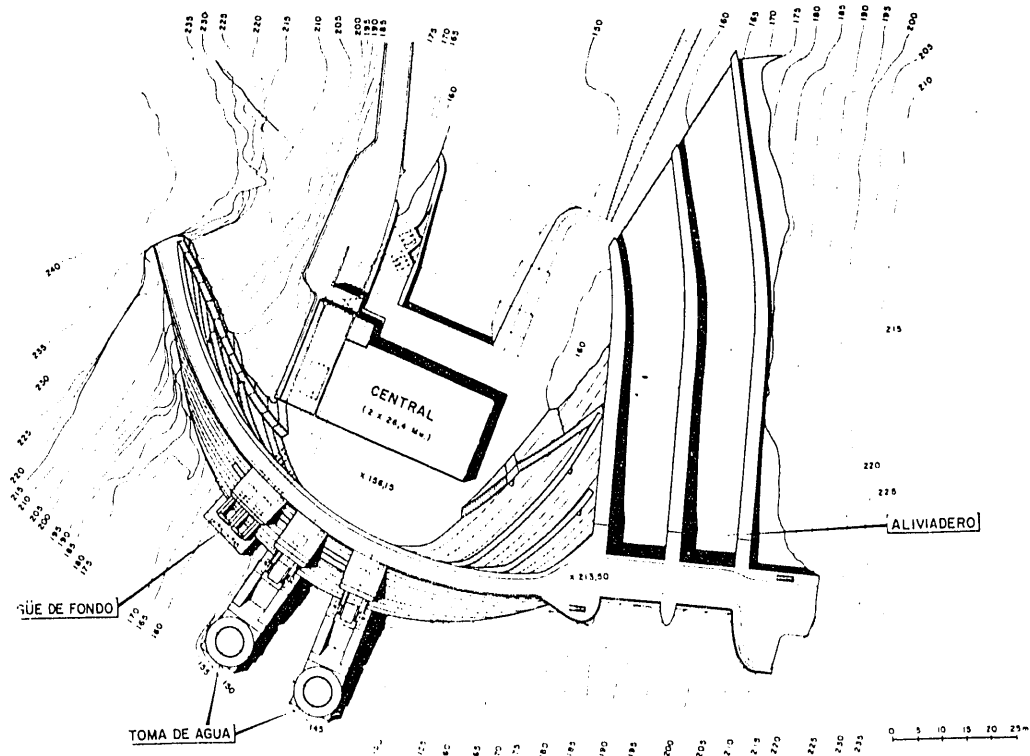


Fig. 1.—Planta.

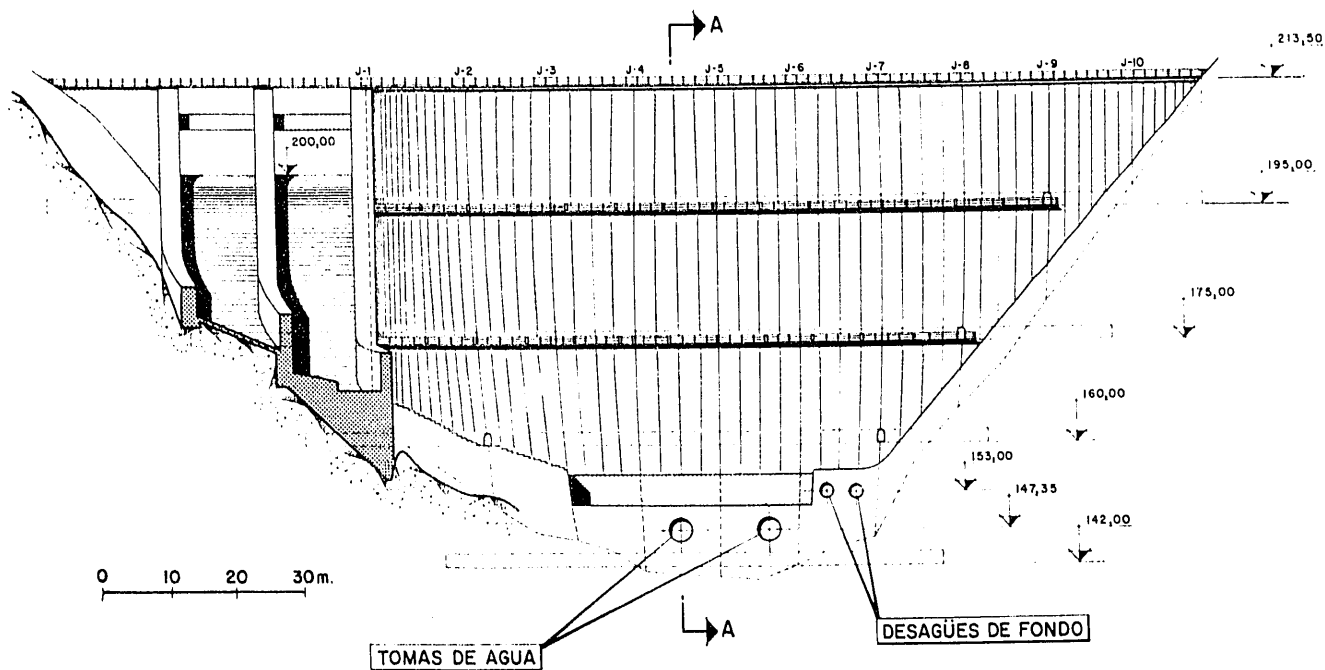


Fig. 2.—Alzado aguas abajo,

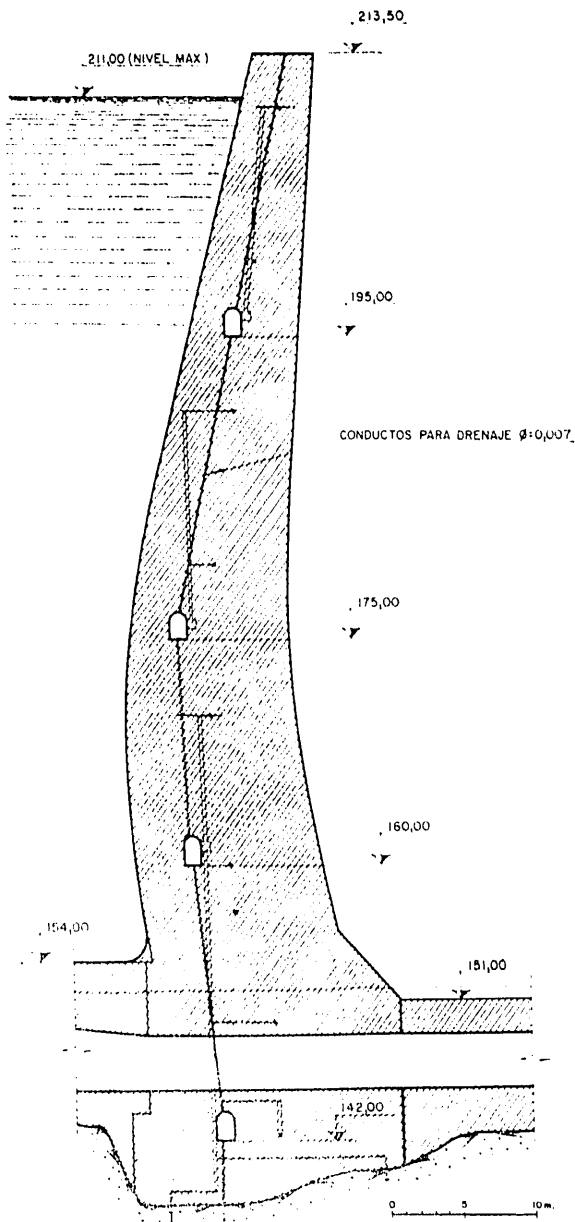


Fig. 3.—Sección transversal.

la cota 210,84, manteniéndose posteriormente alrededor de la 207.

Por supuesto, durante estos períodos se controló la presa, realizando frecuentes lecturas de los aparatos instalados. Para dejar constancia del comportamiento de la misma se realizó un estudio que entre otros aspectos comparaba los desplazamientos medidos por medio de péndulos, con los previstos en el cálculo y cuyos resultados aparecen en las figuras 4 y 5. En ellos puede apreciarse que las flechas reales son muy semejantes a las previstas y en particular que la ménsula correspondiente a la junta V se ha deformado algo menos de lo esperado y, por el contrario, la correspondiente a la junta III algo más, pero hay que tener en cuenta que esta ménsula

se encuentra en la zona de transición de la bóveda al aliviadero. Por otra parte, debe señalarse que los incrementos térmicos reales no coinciden con los previstos, aunque sean muy semejantes, y que el día 28 de febrero de 1968 (fecha en que se midieron los desplazamientos) el embalse estaba a la cota 207 y no a la máxima normal.

Igualmente se estimó el estado tensional de la presa, sin considerar el peso propio, para embalse vacío en verano y lleno en invierno, obteniéndose en el primer caso una tracción máxima de 2,6 Kg/cm² y una compresión de 7,7 Kg/cm² y en el segundo una tracción de 4 Kg/cm² y una compresión de 19,5 Kg/cm². En ninguno de los dos casos aparecieron tracciones horizontales y las máximas compresiones se produjeron en dicha dirección.

3. AUSCULTACION HIDRAULICA

Las filtraciones de las juntas y de los drenes de la presa y de la cimentación se aforan semanalmente, variando en función de la temperatura y de la cota del embalse. Como ésta varía muy poco, se puede concretar que en épocas frías las filtraciones totales son del orden de 55 a 60 l./min., y a finales de verano de unos 45 l./min.

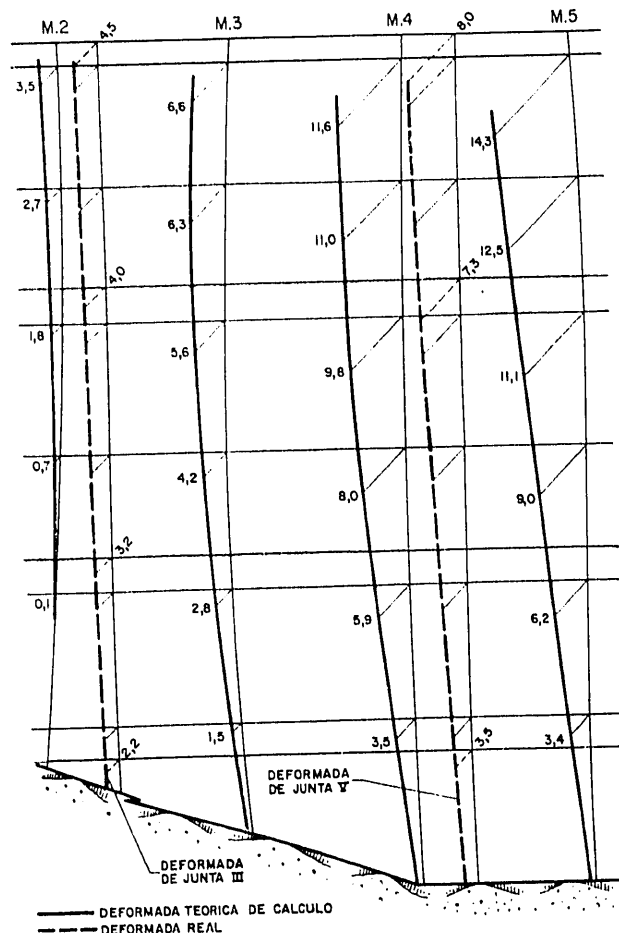


Fig. 4.—Corrimientos en milímetros. Embalse vacío en invierno. Parámetro de aguas abajo.

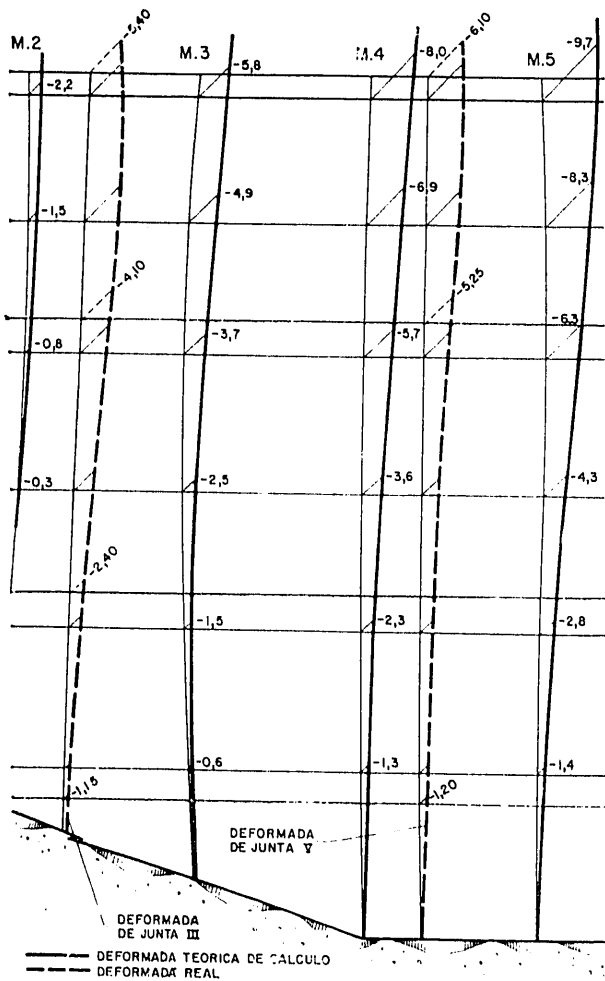


Fig. 5.—Corrimientos en milímetros. Embalse vacío en verano. Paramento de aguas abajo.

4. MEDICION DE DEFORMACIONES

En las figuras 6 y 7 aparecen los desplazamientos radiales y tangenciales, medidos a través de péndulos en las juntas III y V. En ellos puede apreciarse que las curvas de desplazamientos y de temperaturas son prácticamente paralelas, acusando los correspondientes a las cotas superiores (coronación y galería 195 en especial) las variaciones térmicas diarias.

Por otra parte, puede señalarse que los valores máximos y mínimos se repiten anualmente, aunque en conjunto se aprecia, como es natural, un pequeño desplazamiento irreversible hacia aguas abajo.

En el cuadro aparecen los valores indicativos, en milímetros, de los desplazamientos radiales producidos entre verano e invierno.

Péndulo	COTA DE LECTURA				
	Coronación	195	175	160	142
Junta III	7	5	3	1,8	0,2
Junta V	11	8	—	2,5	0,2

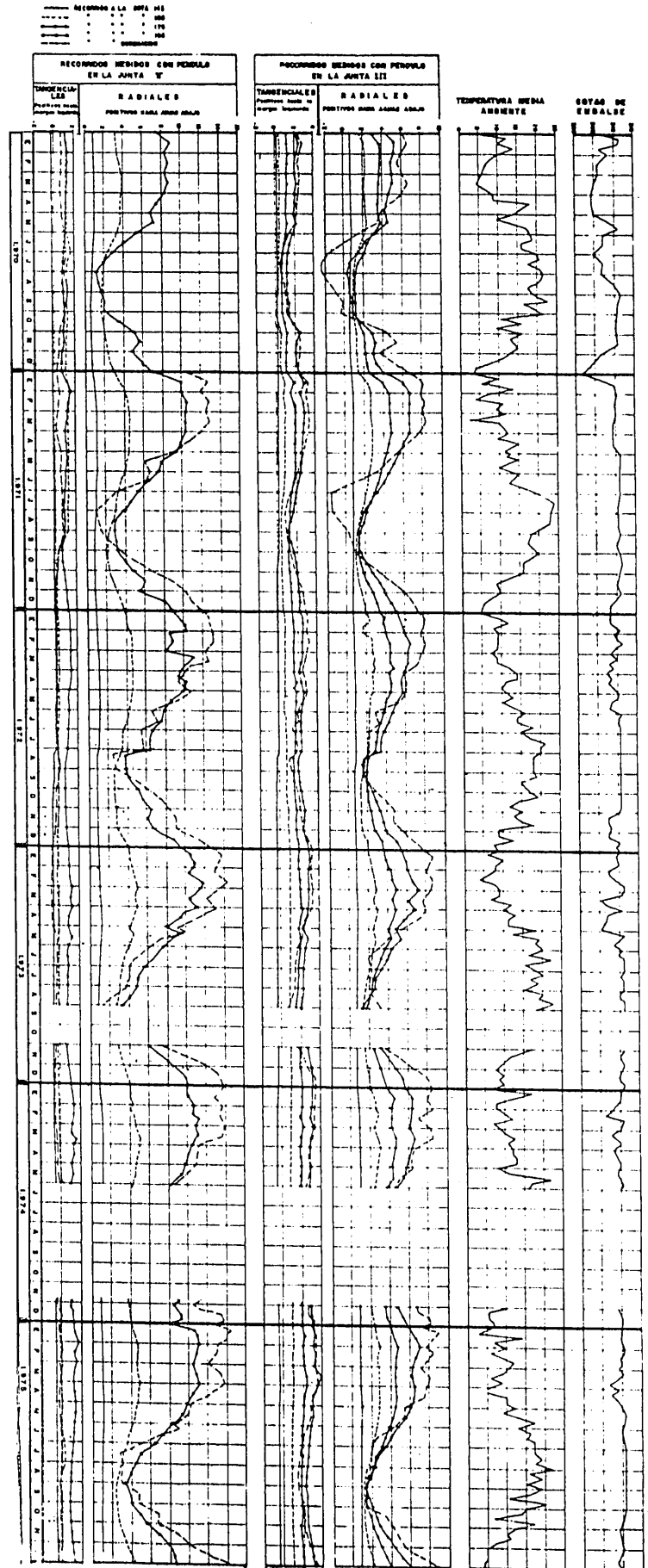


Figura 6.

Figura 7.

Los desplazamientos tangenciales, como era de esperar, son muy pequeños y no merecen comentario especial.

Para el control de los desplazamientos relativos entre bloques, se dispone en las galerías de un gran número de medidores de juntas, cuyos datos nos demuestran la inexistencia de deslizamientos relativos y la pequeña magnitud de las aperturas y cierres estacionales.

5. ESTIMACION DE TENSIONES

Considerando que las variaciones de embalse tienen poca importancia se han tratado de calcular las tensiones debidas al efecto térmico. Para ello se ha tomado como origen septiembre de 1971 y se han realizado los cálculos necesarios para estimar el estado tensional en marzo de 1972, 1973, 1974 y 1975.

Puede señalarse que los resultados obtenidos en los cuatro años son perfectamente concordantes, pues las pequeñas variaciones que aparecen se explican perfectamente por los diferentes incrementos térmicos. En concreto, se estima que en la ménsula central y para una disminución de temperatura de 10º C existen en el paramento de aguas abajo, unas tensiones de unos 12 Kg/cm² a la cota 190 y 8 Kg/cm² a la cota 172 en cualquier dirección. En el bloque 4, para la misma variación térmica y también a la cota 190 en el paramento de aguas abajo, la tensión principal máxima vale alrededor de los 8 Kg/cm² y forma un ángulo de unos 30º con la horizontal; siendo prácticamente nula la mínima. En el bloque 8 las direcciones de las tensiones principales son muy parecidas a las obtenidas en el caso anterior, pero con valores de unos 13 Kg/cm² para la máxima y de unos 4 Kg/cm² para la mínima.

6. CONCLUSIONES

Durante la primera puesta en carga el comportamiento de la presa se controló mediante la lectura frecuente de todos los aparatos instalados. En concreto, los desplazamientos radiales medidos con los péndulos fueron semejantes a los previstos, tanto a embalse vacío en verano como a embalse lleno en invierno. Igualmente se estimó el estado tensional en las mismas condiciones, obteniéndose unos resultados aceptables.

Las filtraciones máximas son del orden de los 55 a 60 l./min. y las mínimas de unos 45 l./min.

Los desplazamientos radiales producidos entre verano e invierno son muy parecidos para todos los años, obteniéndose como máximo 11 mm en la coronación de la junta V.

El sistema previsto para el control de juntas permite asegurar la inexistencia de deslizamientos entre bloques.

El enfriamiento estacional de la presa produce, en el paramento de aguas abajo y en la ménsula central un

estado tensional aproximadamente isotrópico, con valores de 12 Kg/cm² a la cota 190 y 8 Kg/cm² a la cota 172.

Desde la puesta en carga de la presa no se ha comprobado ninguna alteración importante de los materiales y el comportamiento del aliviadero y del desagüe de fondo ha sido correcto en todo momento.

PRESA DE PRADA

1. GENERALIDADES GEOMORFOLOGICAS

El salto de Prada aprovecha el desnivel del río Jares al atravesar el borde del macizo granítico del Bollo (Orense), en contacto con cuarcitas silurianas de la formación sierra del Eje-Mondón-Ponte Novo.

La forma de la cerrada, de granito duro y, en general, de buena calidad, revela dos ciclos erosivos diferentes, uno más antiguo y suave y otro posterior, encajado en el fondo y muy cerrado.

La calidad de la cimentación y la relación cuerda-altura, con un valor de 3,3, obligaron a considerar la solución de presa bóveda, obteniéndose, una vez estudiada, unos espesores que anulaban todas las ventajas de tipo económico, construyéndose en consecuencia una presa de contrafuertes, cuya separación entre ejes es de 12 metros.

El aliviadero, ubicado en la ladera izquierda, está formado por dos vanos de 15 m de luz, cerrados por sus correspondientes compuertas.

De acuerdo con lo previsto en los informes geológicos, apareció durante la construcción y en la zona más baja de la cerrada una falla de importancia. Se limpió y hormigonó sin conseguir llegar al fondo de la misma y por ello se optó por construir un arco sobre los labios de la misma que sirviera de apoyo al contrafuerte central, lavándose e inyectándose posteriormente.

Las principales características son:

Cuenca:

Superficie (Km²)	256
Precipitación media (Hm³)	368
Aportación media (Hm³)	222
Avenida máxima (m³/seg.)	800

Embalse:

Volumen (Hm³)	121
N.M.N.	845

Presa:

Tipo	F
Cota de coronación	847
Altura máxima (m)	85
Longitud de coronación (m)	280

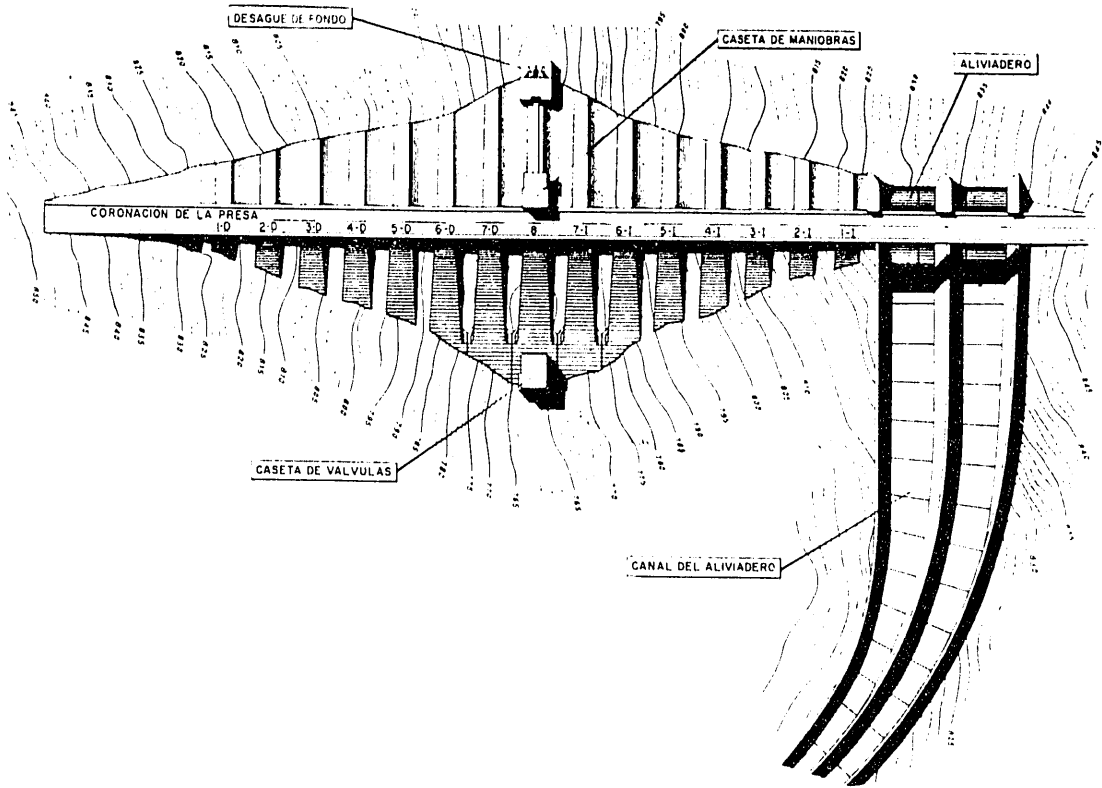


Fig. 1.—Planta de la presa y aliviadero.

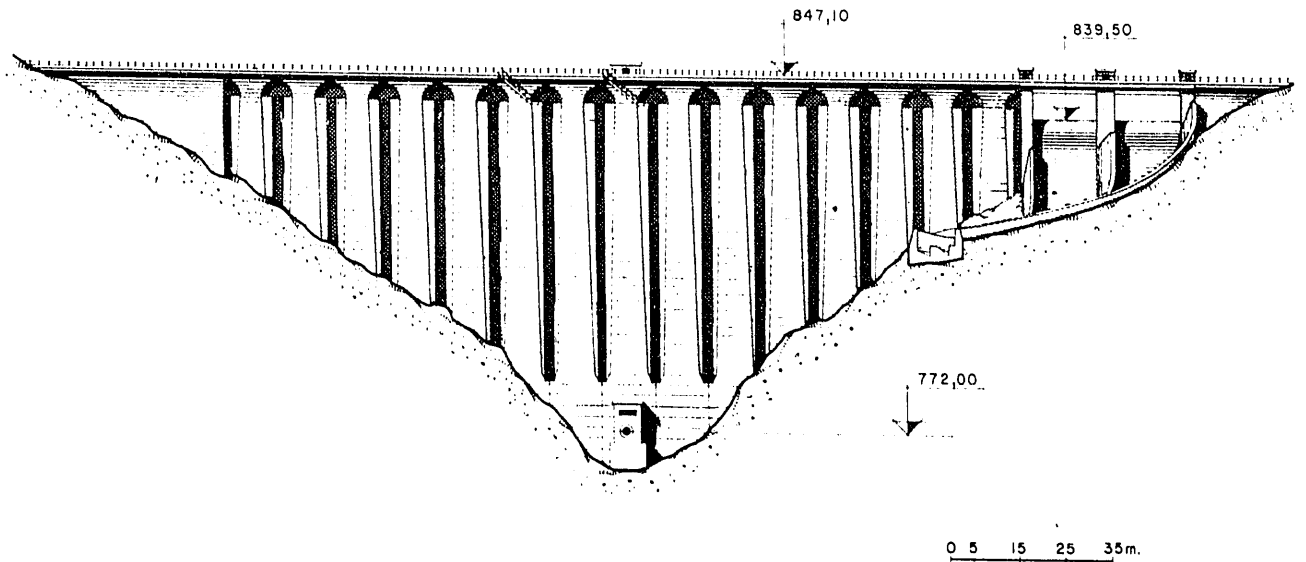


Fig. 2.—Alzado aguas abajo.

Alviadero y desagües:

Número de vanos	2
Capacidad (m ³ /seg)	800
Número de desagües de fondo	1
Caudal desagüe de fondo (m ³ /seg) ...	50

Aprovechamiento hidroeléctrico:

Salto bruto máximo (m)	320
Salto bruto mínimo (m)	263
Caudal máximo (m ³ /seg)	24
Potencia instalada (MW)	66,4
Producción media anual (GWh)	140

2. AUSCULTACION HIDRAULICA

En la figura 4 aparecen los gráficos de filtraciones, medidas en los taladros existentes entre contrafuertes, además de la temperatura media ambiente y de la cota del embalse. En el gráfico, señalado con el título "Taladro de seguridad y pozo", se han señalado las filtraciones que controlan la falla existente en la cimentación del bloque central.

Puede apreciarse en las mismas que los valores máximos se presentan en los meses de marzo a mayo, coincidiendo con la época de lluvias, con el máximo enfriamiento de la presa (también se contabilizan las filtraciones producidas a través de las juntas) y con cotas elevadas del embalse (sobre la 840). El mayor caudal obtenido ha sido de 215 l/min a principios de marzo de 1974. Como la influencia de la pluviometría es apreciable en las filtraciones medidas, presentamos el cuadro siguiente, donde se indica la cota del embalse y los caudales aforados a finales de septiembre, que es cuando el terreno se encuentra seco:

Año	Cota	Caudal (l/min)
1970	838,19	20,15
1971	836,84	13,47
1972	830,12	8,11
1973	827,19	7,46
1974	840,55	20,57
1975	829,37	10,02

Observando el mismo, no cabe duda de que los valores obtenidos confirman un buen comportamiento del conjunto presa-cimentación.

3. MEDICION DE DEFORMACIONES

Para el control de los desplazamientos, existen tres péndulos directos, situados entre los contrafuertes 6D-7D, 8-7I, 6I-5I. Estos péndulos están colgados de la coronación (cota 843) y la lectura se realiza en el terreno situado entre los correspondientes contrafuertes.

En cuanto a los desplazamientos transversales, puede apreciarse en la figura 5, que son muy pequeños, pues como máximo alcanzan valores de 2 mm entre verano e invierno. Por otra parte no puede apreciarse en los resultados obtenidos, la existencia de desplazamientos irreversibles.

Los máximos desplazamientos hacia aguas arriba, se producen generalmente en agosto y alcanzan magnitudes semejantes, pues la máxima diferencia entre ellos, de unos 4 mm, puede explicarse por la diferencia de cotas de embalse y de temperaturas. Este mismo fenómeno puede observarse con los desplazamientos hacia aguas abajo, pues el valor máximo aparece a finales de febrero de 1974, coincidiendo con unas temperaturas in-

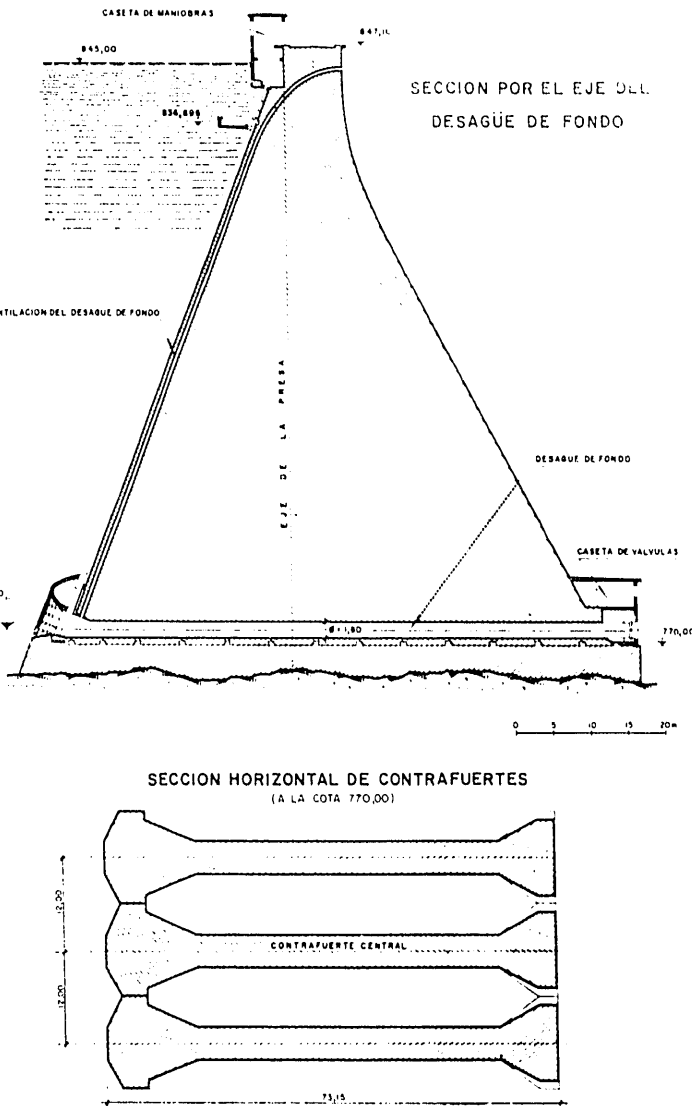


Figura 3.

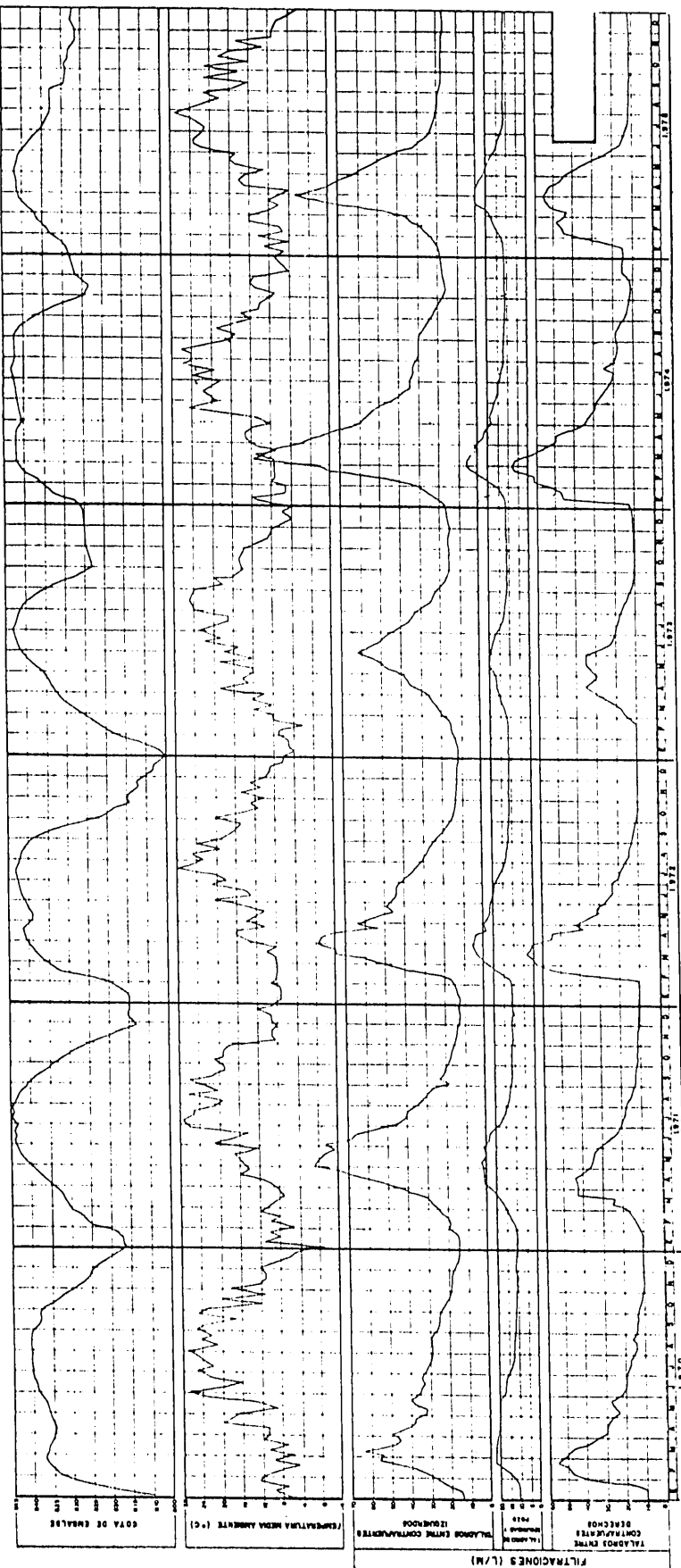


Figura 4.

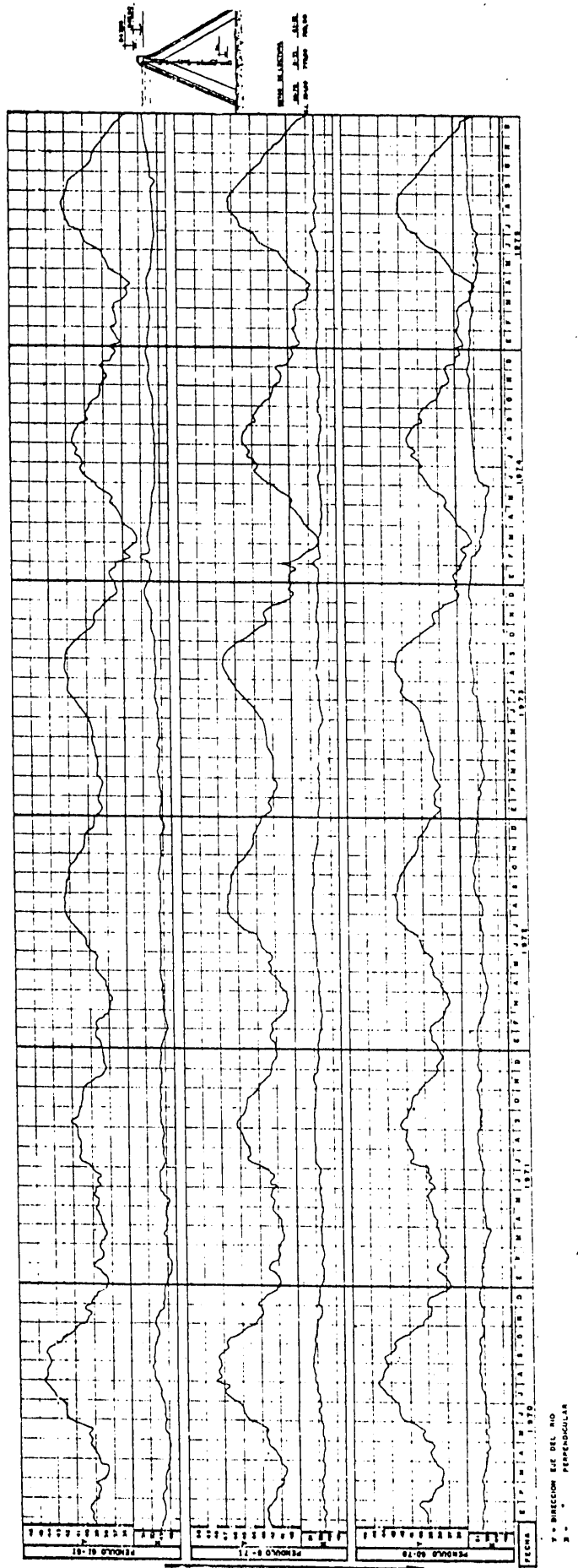


Figura 5.

feriores a las medias del referido mes de febrero y con el embalse aproximadamente a la cota 842, que nunca había sido alcanzada en esa época.

Como era lógico, es en el péndulo 8-71 donde se producen los máximos desplazamientos entre aguas arriba y aguas abajo, con un valor máximo de unos 10 mm. En los otros dos, estos desplazamientos valen aproximadamente 8 mm.

Una última observación que debe hacerse sobre estos gráficos, es que a veces aparecen variaciones muy bruscas, debidas indudablemente a incrementos térmicos del ambiente, ya que la zona de suspensión de los péndulos los acusa con extrema rapidez.

El control de desplazamientos relativos entre bloques se efectúa mediante medidores de juntas, situados en la coronación de la presa y en la base de los contrafuertes. Las lecturas existentes son prácticamente idénticas para las mismas épocas, alcanzando las aperturas máximas valores de un milímetro en la coronación, y de 0,5 mm en la base de los contrafuertes.

4. CONCLUSIONES

La auscultación de la presa de Prada se efectúa principalmente por medio del aforo de filtraciones, de la medición de desplazamientos relativos con tres péndulos directos y del control de juntas.

Como se ha indicado en el capítulo 2, los caudales de filtraciones, aunque influenciados por la pluviometría, indican un buen comportamiento del conjunto presa-ci-

mentación. Los valores máximos se obtienen coincidiendo con la época de lluvias, con el máximo enfriamiento de la presa y con cotas elevadas del embalse. Por otra parte en épocas semejantes de lluvias y temperaturas las filtraciones siguen las variaciones de embalse.

Igualmente, los datos suministrados por los péndulos no permiten sospechar ninguna anomalía, produciéndose los máximos desplazamientos, hacia aguas arriba en el mes de agosto, que es cuando se alcanza la máxima temperatura en la coronación de la presa, y hacia aguas abajo, en febrero-marzo. La variación máxima entre estas dos épocas alcanza los 10 mm en el péndulo 8-71 y 8 mm en los otros dos.

Por último, las mediciones realizadas en las juntas confirman los juicios anteriores, pues los únicos movimientos que se aprecian son los de apertura y cierre de las mismas, con valores del orden del milímetro en la coronación.

Desde la puesta en carga de la presa no se ha comprobado ninguna alteración importante de los materiales y el comportamiento del aliviadero y del desagüe de fondo ha sido correcto en todo momento.

PRESA DE SAN SEBASTIAN

1. GENERALIDADES GEOMORFOLOGICAS

De los tres embalses existentes en la cabecera del río Bibey (hasta la cota 653) el encargado de propor-

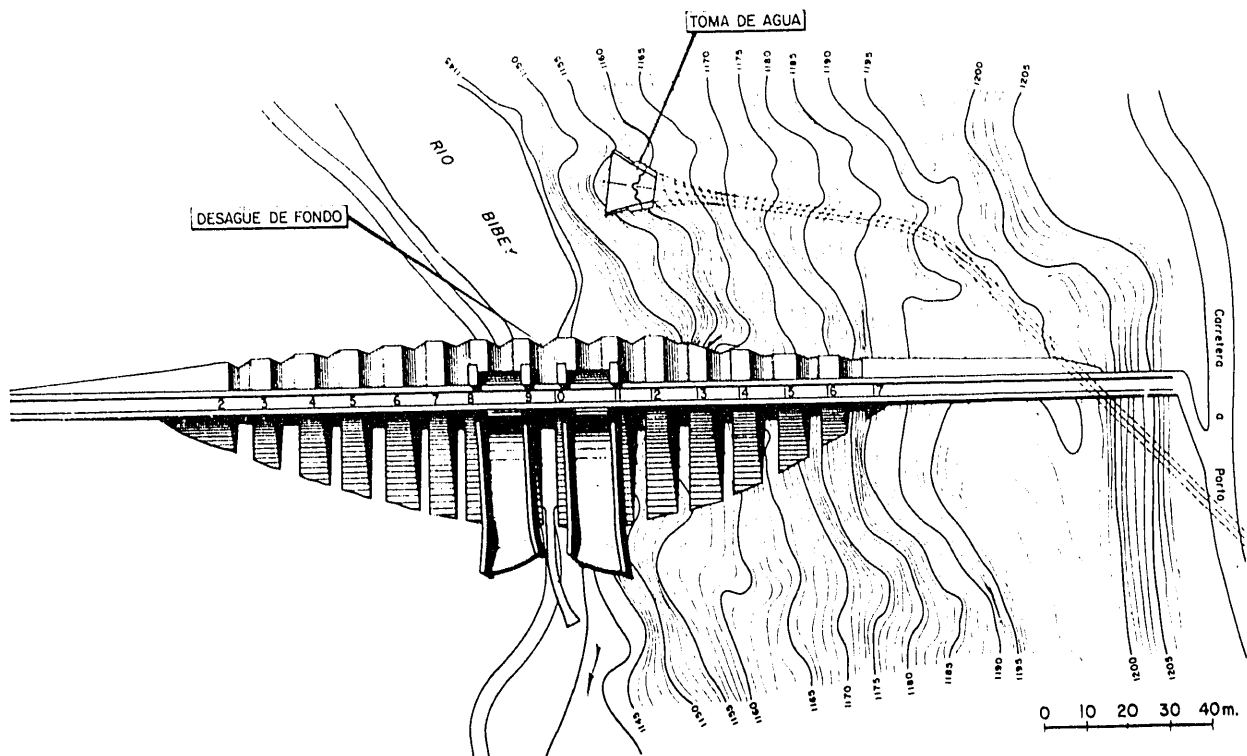


Fig. 1.—Planta.

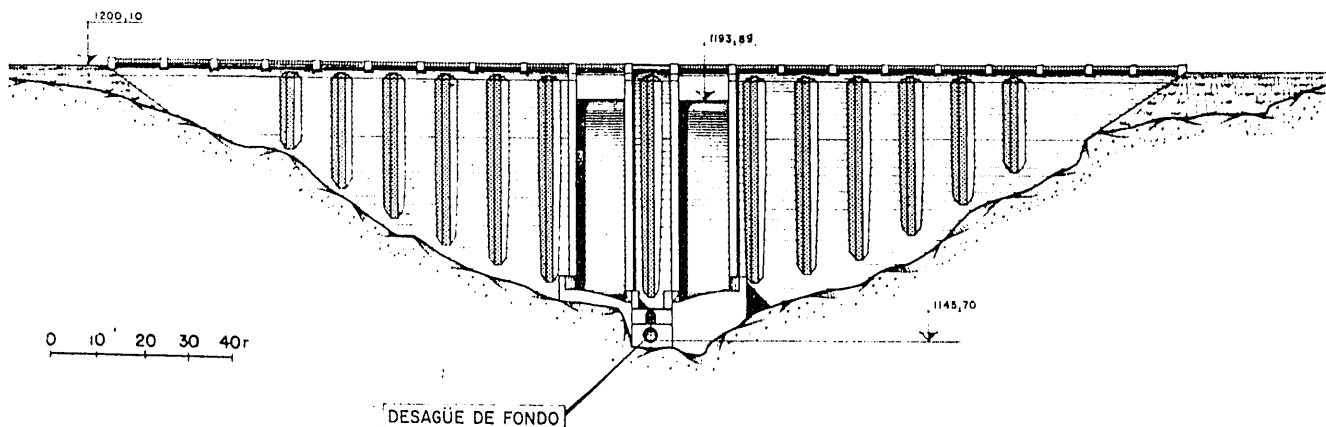


Fig. 2.—Alzado aguas abajo.

cionar la regulación necesaria al sistema es el de San Sebastián, pues sus 45 Hm³ equivalen al 35 por 100 de la aportación anual y permiten garantizar 15 m³/seg, caudal máximo admisible para la central, durante 2.400 horas anuales.

La naturaleza del terreno es granítica con algunas

intrusiones de gneis y por tanto perfectamente capaz para poder cimentar sobre ella cualquier tipo de presa. La morfología de la cerrada, sin embargo, descartaba las soluciones en bóveda, ya que la relación cuerda-altura es demasiado elevada. En el análisis económico de alternativas se compararon soluciones de gravedad y de contrafuertes, resultando más conveniente la última. Se construyó, en consecuencia, una presa de contrafuertes con cabeza en forma de diamante y con 11 m de separación entre ejes.

El aliviadero, formado por dos vanos con sus correspondientes compuertas, está situado en el centro de la presa, vertiendo por sendas placas de hormigón armado, apoyadas en los contrafuertes.

Las principales características son:

Cuenca:

Superficie (Km ²)	111
Precipitación media (Hm ³)	159
Aportación media anual (Hm ³)	127
Avenida máxima (m ³ /seg)	360

Embalse:

Volumen total (Hm ³)	45,4
Volumen útil (Hm ³)	45
N. M. N.	1.198

Presa:

Tipo	F
Cota de coronación	1.200,10
Altura máxima (m)	61,25
Longitud de coronación (m)	292

Aliviadero y desagües:

Número de vanos	2
Capacidad (m ³ /seg)	360
Caudal desagüe de fondo (m ³ /seg)....	28

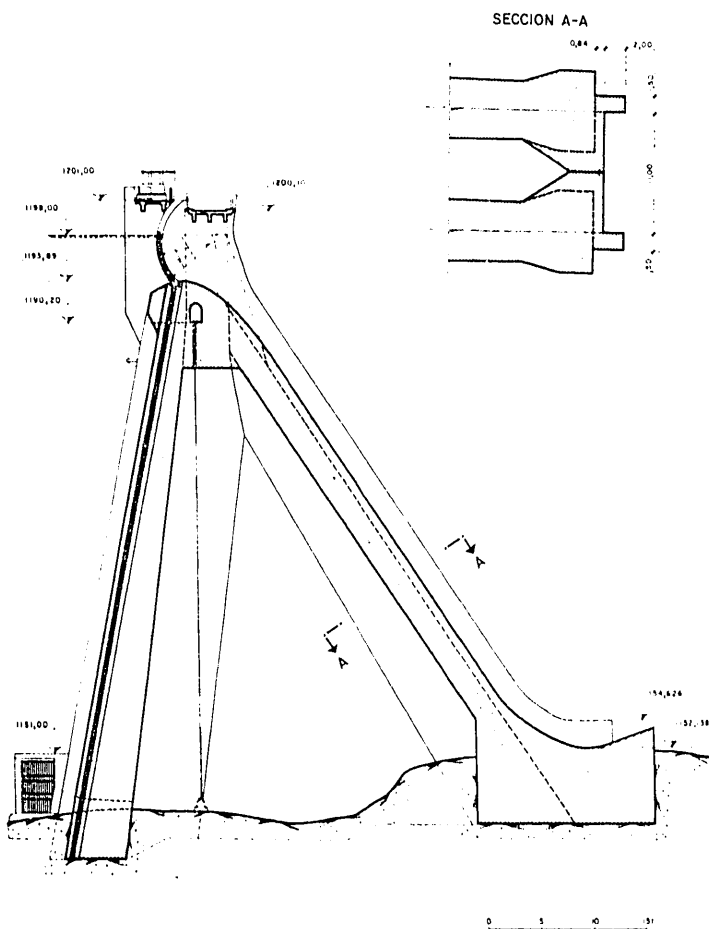


Fig. 3.—Sección transversal por el aliviadero.

Aprovechamiento hidroeléctrico:

Salto bruto máximo (m)	158
Salto bruto mínimo (m)	112
Caudal máximo (m ³ /seg)	15,4
Potencia instalada (MW)	17,6
Producción media anual (GWh)	38

2. AUSCULTACION HIDRAULICA

En la figura 4 se ha dibujado la evolución de las filtraciones. En ella puede apreciarse por una parte que el máximo valor obtenido es muy pequeño, pues no alcanza los 12 l./min., y por otra la influencia en las mismas de la cota del embalse y del estado térmico de la presa. En efecto, vemos que para febrero de 1970, con el embalse a la cota 1.196, el caudal aforado es de unos 11,5 l./min., mientras que para junio de 1971, con la misma cota de embalse las filtraciones se reducen a 6,5 l./min.; igualmente se obtuvo un mayor caudal para agosto de 1974 que para el mismo mes de 1975, pues en éste el embalse estaba unos 22 metros más bajo que aquél.

Finalmente puede indicarse que para las mismas condiciones de temperatura y de nivel de embalse, se obtienen valores semejantes de filtraciones.

3. MEDICION DE DEFORMACIONES

Para el control de las deformaciones se instalaron dos péndulos directos, situados debajo del aliviadero. En la referida figura 4 se presenta el gráfico de lecturas del péndulo derecho, donde puede observarse la inexistencia de desplazamientos transversales. Asimismo, vemos que el máximo desplazamiento estacional es de unos 5 mm y que las variaciones de posición medidas en épocas diferentes se explican aceptablemente por las distintas condiciones térmicas y de carga hidrostática.

4. CONCLUSIONES

La presa de San Sebastián nunca ha presentado ningún problema desde la primera puesta en carga y, como puede observarse en los gráficos presentados, las mediciones realizadas, tanto de filtraciones como de deformaciones, se corresponden en todo momento con las cotas de embalse y con el estado térmico de la presa.

Finalmente puede señalarse que no se ha observado ninguna alteración importante de materiales y que el aliviadero y el desagüe de fondo se han comportado correctamente en todo momento.

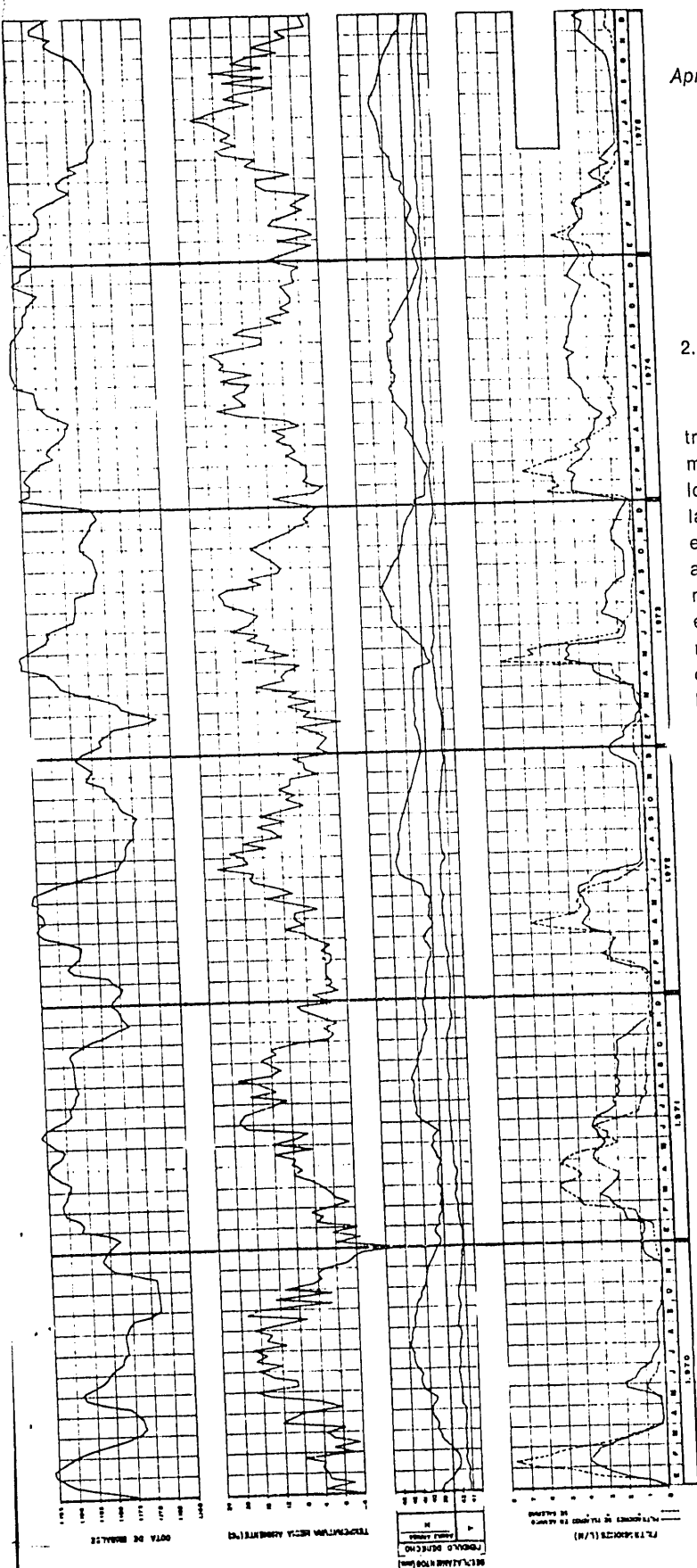


Figura 4.

PRESA DE PIAS

1. GENERALIDADES GEOMORFOLOGICAS

El salto de San Agustín utiliza el tramo del río Bibey, afluente del Sil, entre las cotas 1.040 y 653. El embalse

de dicho salto, de pequeña capacidad, por realizarse la regulación con el de San Sebastián, está creado por la presa de Pias, que es de tierra y escollera con una pantalla de hormigón armado, situada en el paramento de aguas arriba.

La sección tipo, que representa un compromiso con

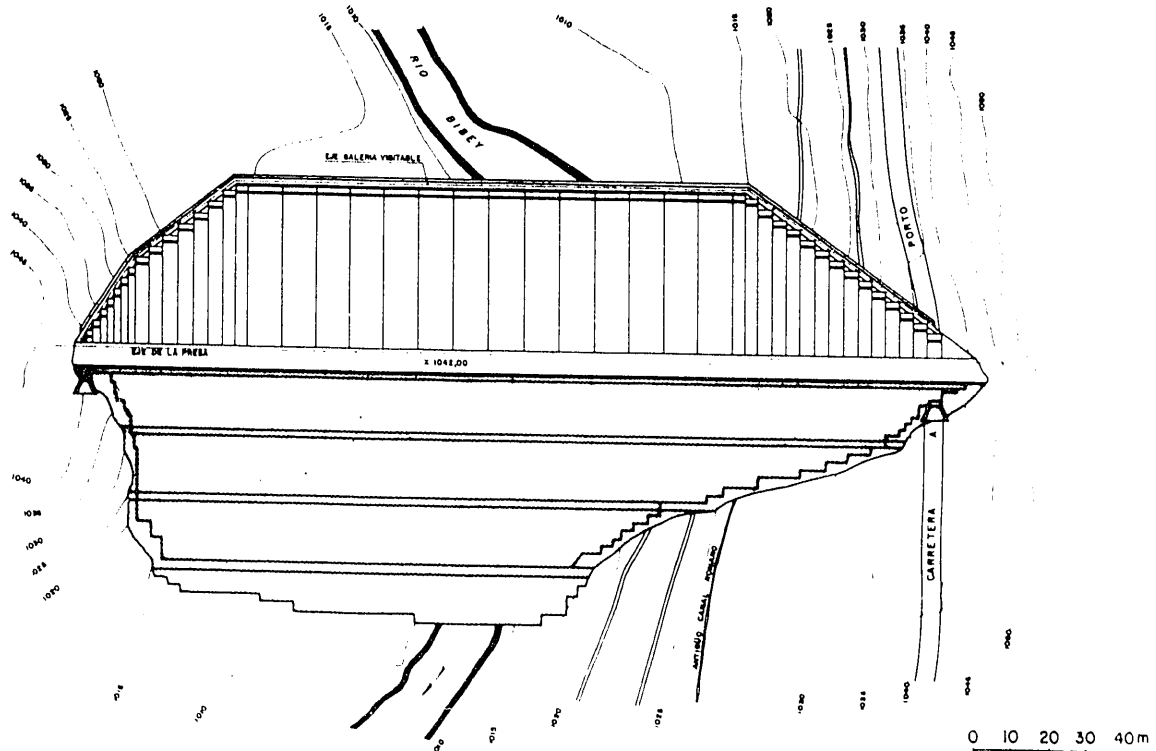


Fig. 1.—Planta.

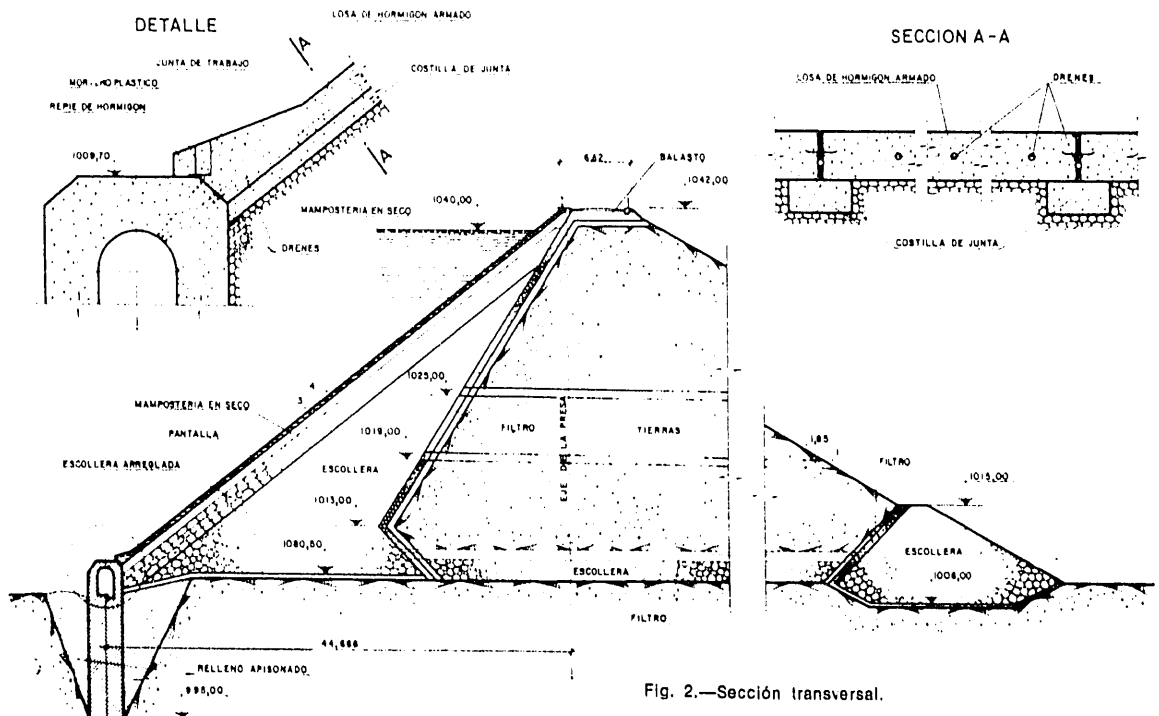


Fig. 2.—Sección transversal.

los materiales disponibles, está formada por la pantalla de hormigón, la zona de escollera y, finalmente, tierra compactada.

La referida pantalla se prolonga en el terreno de acarreo por medio de un rastrillo de hormigón en masa, que llega hasta el gneis subyacente. En dicho rastrillo existe una galería de visita y drenaje.

De la zona de escollera parte a nivel del terreno un dren principal, formado por una tubería de 1,20 m de diámetro, con juntas abiertas y cubierto por una capa de filtro. Existen además numerosos drenes secundarios, constituidos por zanjas rellenas de grava.

En el pie de aguas abajo se ha dispuesto un zócalo de escollera separado de la zona de tierra por medio del correspondiente filtro.

El aliviadero, relativamente alejado de la presa, está formado por dos vanos, provisto de sus correspondientes compuertas Taintor de $7,25 \times 6,40 \text{ m}^2$.

Las principales características son:

Embalse:

Volumen total (Hm ³)	9,8
Volumen útil (Hm ³)	8,3
N.M.N.	1.040

Presa:

Tipo	E-T
Cota de coronación	1.042
Altura (m)	34
Longitud de coronación (m)	260

Aliviaderos y desagües:

Número de vanos	2
Capacidad (m ³ /seg)	488
Caudal desagüe de fondo (m ³ /seg)	61

Aprovechamiento hidroeléctrico:

Salto bruto máximo (m)	337
Salto bruto mínimo (m)	362
Caudal máximo (m ³ /seg)	21
Potencia instalada (MW)	65,3
Producción media anual (GWh) ...	152

2. AUSCULTACION HIDRAULICA

El control de la presa de Pías se realiza únicamente por medio del aforo de las filtraciones que atraviesan la pantalla y de la medición de la capa freática en la zona de tierras.

En la figura 3 se ha representado la evolución de estas filtraciones, agrupadas en "filtraciones captadas por los drenes de las juntas" y "filtraciones captadas por los drenes de la escollera". Como puede observarse éstas son muy superiores a aquéllas, principalmente porque los drenes de las juntas no acaban de funcionar bien y el agua

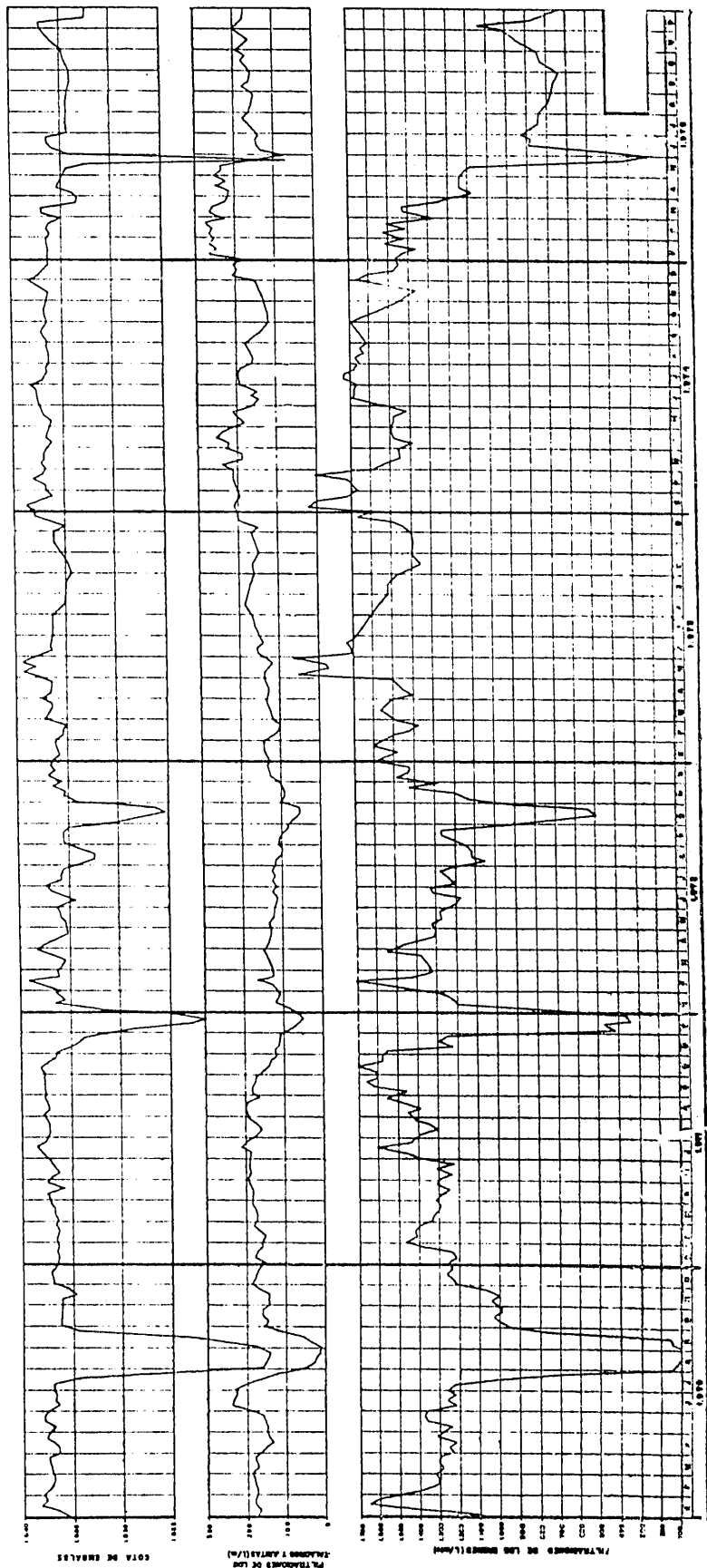


Figura 3.

que se filtra a través de ellos acaba en la zona de escollera. De acuerdo con lo previsto el valor de estas filtraciones varía claramente en función de la cota de embalse, aunque, por supuesto, también la temperatura tiene su influencia, habiéndose obtenido el máximo en mayo de 1973, con unos 2.200 litros por minuto, con el embalse próximo a la cota máxima.

Para el control del nivel de la capa freática en la zona de tierra existen nueve piezómetros, que prácticamente suministran siempre el mismo valor, ya que todas las filtraciones se recogen en la zona de escollera.

3. CORRECCIONES

Al construirse la obra en una época en la que no se disponía de los eficaces medios de compactación actuales, se recurrió a la construcción de dos pantallas, una provisional, que permitió la puesta en carga y la producción del grueso de los asientos, y, posteriormente, otra definitiva, que presentó algunas averías en los pri-

meros llenados, así como la galería que se agrietó; pero ninguna de ambas incidencias revistió gravedad y ambas se subsanaron.

El problema que presentó la pantalla fue la aparición de grietas en la unión con el rastrillo, lo cual se solucionó principalmente con la construcción de una junta perimetral a lo largo de esta unión. En cuanto a la galería, fue precisa la construcción de unos contrafuertes armados en el interior de la misma.

4. CONCLUSIONES

Una vez ejecutadas las obras de corrección que se han indicado en el capítulo anterior, el comportamiento de la presa no ha presentado problemas importantes.

Las filtraciones varían principalmente en función de la cota del embalse, siendo del orden de los 30 litros por segundo para las cotas normales de explotación.

Por otra parte, tanto el aliviadero como el desagüe de fondo se han comportado correctamente en todo momento.