

# La presa de La Serena

Por FRANCISCO JOSE GUIADO MUÑOZ

Doctor Ingeniero de Caminos

MANUEL BARRAGAN SEBASTIAN

Doctor Ingeniero de Caminos

BALTASAR GASPAR TABERNERO

Doctor Ingeniero de Minas

RAFAEL CASTILLO DIAZ

Ingeniero de Caminos.

## 1. DATOS PREVIOS: ALGUNAS SINGULARIDADES

El proyecto de La Serena se destaca porque su capacidad de embalse, con 3.219 Hm<sup>3</sup>, es la mayor de todos los embalses de la Península Ibérica y la segunda en Europa.

No es la única de sus características singulares. Además reúne las siguientes:

1.º La presa se construye dentro de un embalse activo que sirve a una zona de riego que es el embalse del Zújar (Foto 1).

2.º La cuenca de aportación, con una extensión de 7.300 km<sup>2</sup>, es totalmente paleozoica.

3.º Con una superficie máxima de embalse de 13.949 Ha., no inunda ninguna población.

4.º En explotación normal, la presa estará

inundada aguas abajo con un calado de 35 metros.

5.º La estructura de la presa no estará provista de juntas longitudinales.

6.º Las galerías de inspección y acceso a las cámaras de maniobras de los desagües son practicables en automóvil.

7.º Los áridos gruesos han sido enfriados secuencialmente sobre cinta de transporte en su ruta hacia los silos de planta de amasado.

8.º Se han mezclado mecánicamente el cemento y las cenizas para componer el aglomerante.

9.º Se han utilizado dos blondines de doble cable carril, con separadores sin impacto y amarres móviles sobre pista inclinada según el perfil de la ladera.

10.º No se han empleado explosivos en la excavación para la cimentación de la presa.

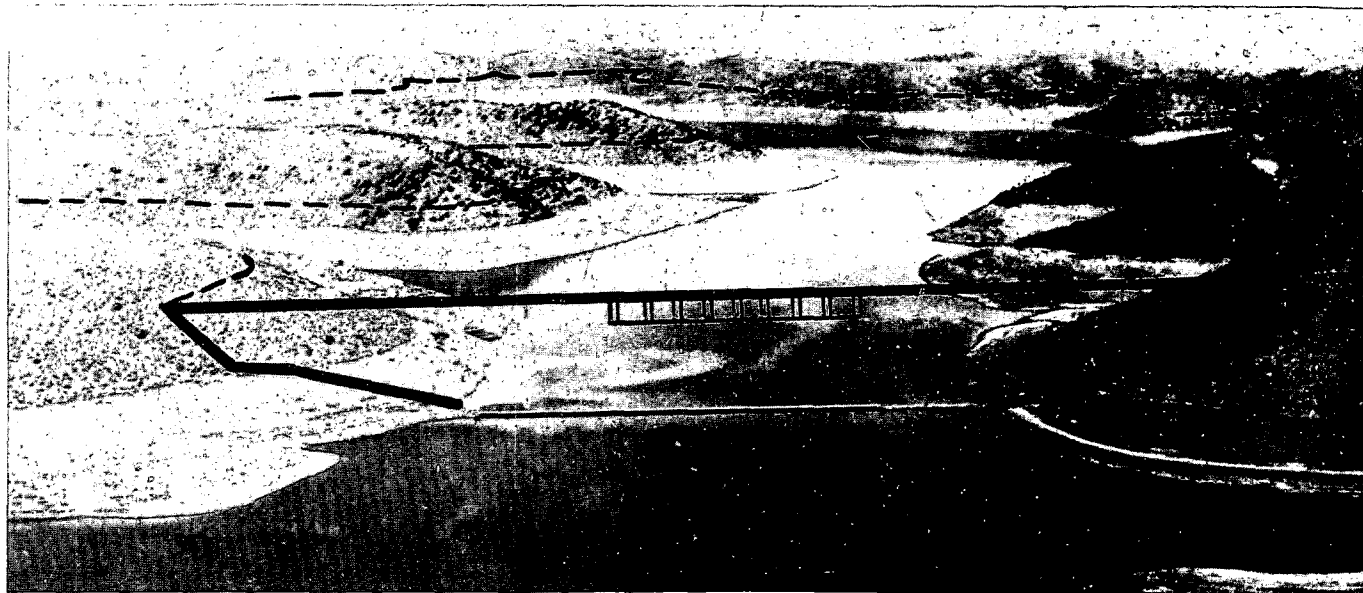


Foto 1.—Superposición del embalse de La Serena sobre el embalse del Zújar.

11.º En el Proyecto se han incluido todas las obras de restitución de las comunicaciones compuestas por más de 80 km., de nuevas carreteras y siete grandes viaductos con pilas que llegan a los 60 m. de altura y totalizan 3.300 ml. Esta parte del Proyecto se lleva un 35 por 100 del total del presupuesto.

## 2. GEOMORFOLOGIA DE LA CUENCA

En líneas generales, la estructura geológica de la cuenca del Zújar es sencilla, puede representarse esquemáticamente como lo hace la figura 1, y se descompone, con alguna aproximación, en las siguientes partes:

### 2.1. Precámbrico

Un 25 por 100. Está constituido por pizarras y grauwackas del Alcudiense, azoicas, con estratificación frecuente 30º NE, muy diaclasadas y meteorizadas superficialmente. También es frecuente la pizarrosidad paralela a la dirección de los plegamientos hercinianos. Morfológicamente, tanto en la Serena como en la Siberia, como en el Valle de Alcadia, presenta una penillanura de arrasamiento en cadajada entre las cotas 400-450, limitada por los pies de monte residuales. Probablemente desde el Plioceno, en el que se produjo un descenso del nivel de base, la red hidrográfica ha sido tallada por la erosión hasta una profundidad que en el emplazamiento de la presa alcanza los 200 metros. En superficies de nivel inferior al de penillanura, ladera, cuevas y rellanos asoman los picos de pizarra que en la región se llaman «dientes de perro». Es un campo inhóspito donde no es posible sentarse en una piedra a descansar. La deforestación de la Mesta fue hecha a conciencia; hay perspectivas profundísimas donde no se ve un solo árbol; a veces uno, solitario, un eucaliptus que flanquea el caserío aplastado de un cortijo con sus establos. Numerosos rebaños de ovejas pueden verse, a veces desde muy lejos, en campo tan despejado. Frecuentemente triscan junto a la carretera porque el pastor prefiere la fugaz compañía de los automóviles que pasan, a la total soledad. La tierra de labor, secano, se limita a las planas de penillanura y cría cereales malos con su magro

espesor de suelo arable. La oveja es así, el único aprovechamiento de importancia, aunque a razón de una oveja por Hectárea. En los otoños húmedos, el cincuenta por ciento, la Serena se tiñe de hermosos colores verdes; en el otro cincuenta por ciento que son los otoños secos, la hierba seca, que durante el final de la primavera y el principio del verano toma un color de amarillo a gris y a la que el calor y la sequedad convierten en yesca, se vuelve casi negra. Inútilmente, si no es en umbrías, se buscan lo que solo son raquícos brotes: el ganado tiene que caminar mucho para mal comer.

### 2.2. Ordovícico y Silúrico

Coronadas por los cantiles de cuarcita armoricana ordoviciense, las sierras, con alturas de 700 a 800 m., cruzan o festonean la cuenca con sus alineaciones hercinianas. Ambas laderas cubiertas de derrubios arcillosos son cantos, suelen constituir las mejores tierras de cultivo y así se las ve, con frecuencia, sirviendo de soporte a los olivares. Si los derrubios de una ladera cubren las pizarras Alcudienses los de la otra tapan las pizarras fosilíferas del llendeiro. El buzamiento de los sistemas ordovícico y silúrico es casi vertical en los afloramientos. A veces, dos sierras casi paralelas son los flancos de un sinclinal como los de Valmayor y Garbayuela, Chillón y Almadén, Guadálmez. En el centro se presenta el Devónico y en el último el Viscense carbonífero. Estos sistemas cubren el 20 por 100 de la cuenca.

### 2.3. Devónico

Asociado a las alineaciones de cuarcita armoricana aparecen las areniscas de colores oscuros rojizas, violáceas y verduzcas, a veces fosilíferas formando un relieve menos pronunciado, más suave. Alguna veta caliza coralífera las acompaña en ciertos parajes. Su relativa blandura y el débil espesor de sus estratos no les han permitido mantener las alturas de la armoricana. Su extensión en varias manchas alcanzará el 10 por 100.

### 2.4. Carbonífero

Salvo la manchita de flisch con alguna veta caliza del Viscense de Guadálmez, este siste-

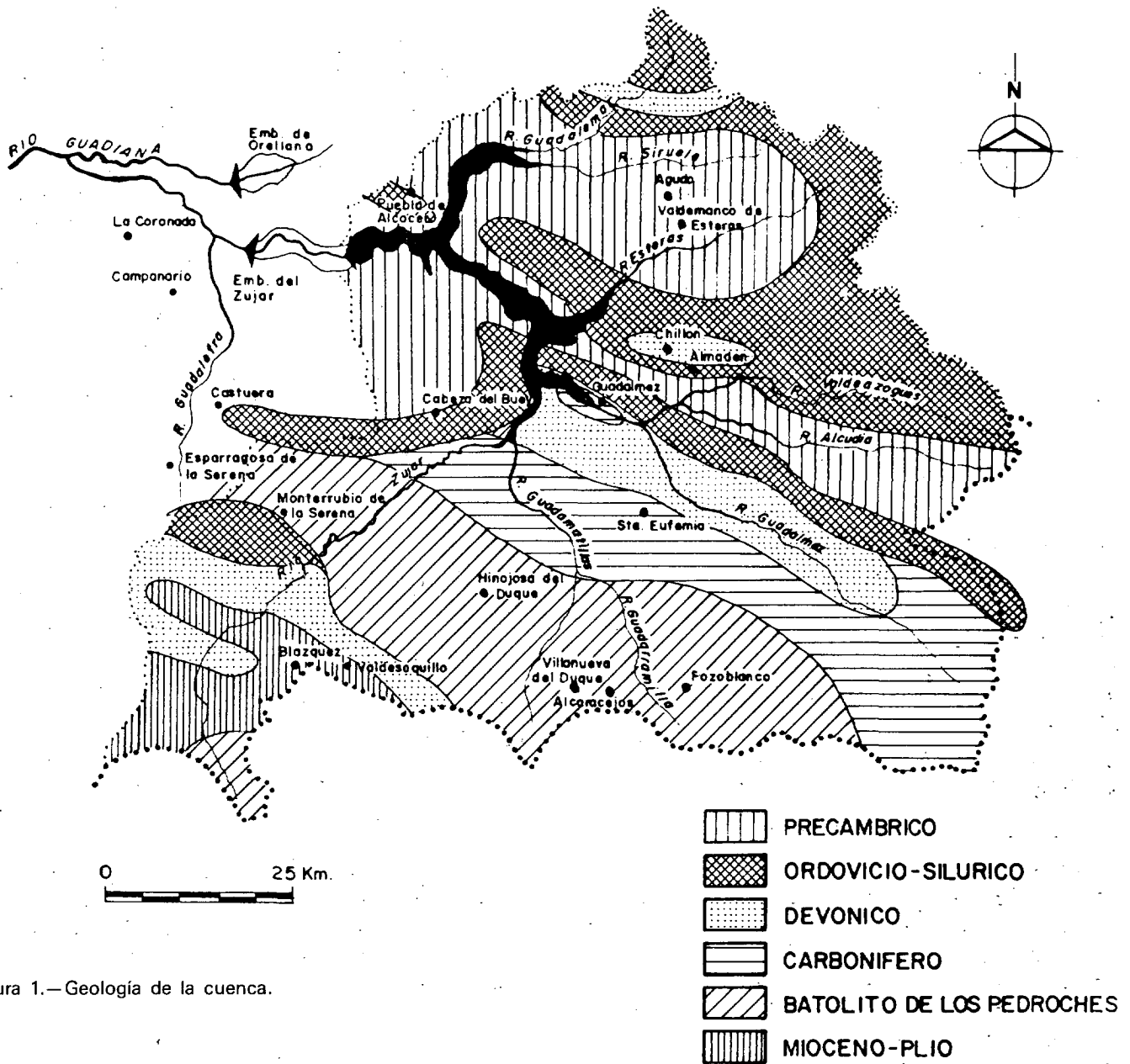


Figura 1.—Geología de la cuenca.

ma se presenta en un gran pizarral de características morfológicas mucho más suaves que el de las pizarras de la Serena. Se han encontrado algunos restos de plantas. En algunos sitios, Santa Eufemia, Belalcázar y El Viso está cubierto por una capa apreciable de tierra de labor; en otros, la erosión no lo ha permitido. Aflora en una 15 por 100.

### 2.5. Rocas intrusivas

El gran batolito de los Pedroches cubre un área del 20 por 100 de la cuenca de la Serena,

en algunos casos bajo buenas tierras de labor como en Hinojosa, Belalcázar y El Viso. Su demolición ha proporcionado buenas arenas a los depósitos aluviales de los cauces del Guadalquivir y el Zújar. Corneanas muy duras aparecen en las aureolas metamórficas como en el emplazamiento de la presa de La Colada en el río Guadamatillas.

### 2.6. Plioceno y Mioceno

Aparecen desde los 450 metros hasta los 650, desde los pies de monte de las sierras ordovi-

cienses hasta la divisoria con el Guadalquivir en la zona de La Granja de Torrehermosa. Curiosamente, la zona de nivel 450-500 recoge la casi totalidad de las poblaciones de la zona que, salvo Guadálmez han huido de los cauces poco seguros, sin riberas fértiles y con avenidas destructoras. No totalizaron más de 10 por 100 de la cuenca. Se incluyen algunos restos testigos de las rañas de los niveles 600-640, fenómeno curioso y enigmático que se presenta con tanta extensión al norte de Cijara.

Una cuenca que presenta esta constitución tiene un funcionamiento hidrológico peculiar. La escorrentía depende más de la secuencia que de la altura integrada de las precipitaciones. Mientras las lluvias no saturan el terreno los cauces permanecen inertes. Cuando la saturación se produce cualquier gota llega al océano.

La figura 2 ofrece un esquema general de la cuenca en la que se expresa la altimetría.

La distribución se observa en el cuadro siguiente:

Altimetría de la cuenca

Altura	Porcent.	Km <sup>2</sup>
300- 400 m. ....	12 %	876
400- 500 m. ....	40 %	2.920
500- 600 m. ....	30 %	2.190
600- 700 m. ....	13 %	949
700-1.200 m. ....	5 %	365
TOTAL .....	100 %	7.300

El vértice de mayor altura es el pico de Peñarodrigo de 1.266 m. No hay nieves.

### 3. GEOMORFOLOGIA DEL VASO

En sus primeros 40 Km de cauce desde la presa hacia aguas arribas y en más de 85 por 100 de la superficie del vaso, su soporte son las pizarras y grauwackas del Alcudiense. Después cruza la gran falla de Peñalobar, entra en el sinclinal de Guadálmez y el vaso está contenido por el silúrico superior y el devónico tocando ligeramente el carbonífero. Es totalmente impermeable y estable: no se ha observado ningún punto con peligro de deslizamiento o corrimiento.

El lecho del río Zújar tienen, generalmente, anchuras superiores a los 300 m., y está cubier-

to en su casi totalidad por depósitos aluviales que son zavorras de calidad, cuya potencia no suele superar los 12 m.

El Servicio Geológico exploró mediante sondeos con extracción de testigos el emplazamiento de los viaductos cuyos cimientos se han hecho por zapatas directas cuando el espesor de depósitos era inferior a 8 m., y con pilotes de 1,20 m. de diámetro en los otros casos. Solamente uno de los catorce apoyos sobre pilotes tuvo que ser reforzado ya que lo cruzaba una falla.

El siguiente cuadro establece una cierta calificación geométrica de los vasos de 24 de los mayores embalses españoles. La primera columna, cociente de dividir el volumen por la superficie daría la profundidad media (PM). La segunda columna es un índice que resulta de dividir la primera por la altura de la presa, resulta algo así como el aprovechamiento de cada metro de esa altura (Pm/h). Se ve que La Serena ocupa el lugar número trece, tanto en una como en otra columna. Su índice es superior a los de Alcántara y Almendra.

EMBALSE	Pm	Pm/h
1. — Iznajar	39,2	0,327
2. — Sta. Teresa	19,2	0,326
3. — Yesa	24,8	0,321
4. — Tranco de Beas	27,8	0,309
5. — Entrepeñas	25,7	0,302
6. — Cijara	23,8	0,296
7. — Cenajo	28,0	0,294
8. — Canelles	43,2	0,288
9. — Zujar	16,8	0,278
10. — Atazar	39,0	0,276
11. — Belesar	35,0	0,271
12. — Gabriel y Galán	19,7	0,270
13. — La Serena	23,1	0,255
14. — El Ebro	8,6	0,253
15. — Grado I	31,4	0,242
16. — Buendía	19,0	0,240
17. — García Sola	15,6	0,240
18. — Orellana	14,8	0,233
19. — Alarcón	16,3	0,229
20. — Alcántara II	30,2	0,224
21. — Valdecañas	19,8	0,202
22. — Ricobayo	19,4	0,196
23. — Mequinenza	14,3	0,177
24. — Almendra	30,6	0,151



#### 4. GEOMORFOLOGIA DE LA CERRADA

Las pizarras del Alcudiense tiene en la cerrada estratificación prácticamente vertical y paralela al eje de la presa. Un dique de diabasas de unos cuatro metros de anchura cruza el estribo derecho. Restos de otro desgarrado por fallas cruza el izquierdo. En este estribo ha aparecido un punzamiento acuñado entre fallas con la pizarra triturada que se ha procurado sanear y será inyectado en su momento.

Como se dijo, la excavación se ha practicado ripando y arrancando el material sin uso de explosivos; de esta manera el reconocimiento sísmico hecho por el Servicio Geológico en la zona de la cimentación del cauce que no se había realizado en la época de redacción del proyecto por estar inundado por las aguas del Zújar, proporciona velocidades superiores a 4.800 m/seg. y módulos de elasticidad del orden de 300.000 kg/cm<sup>2</sup>.

En la actualidad la roca está cubierta en un 90 por 100 y ha sido cuidadosamente limpiada de detritus de excavación, partes blandas y arcillas de relleno de diaclasas. Los picos salientes han sido suavizados.

La superficie de cimentación ha sido fotografiada en su totalidad con detalle y tomada en videocinta.

#### 5. HIDROLOGIA

El rasgo más destacado de la hidrología de la cuenca de la Serena es la irregularidad de las aportaciones. El cuadro adjunto es la serie histórica de las aportaciones del río en la presa del Zújar durante 29 años. Esa serie da un mínimo de 48 Hm<sup>3</sup> el año 75-76 y un máximo de 2.978 Hm<sup>3</sup> el año 65-66.

La serie considera como años hidrológicos septiembre a septiembre en lugar de octubre a octubre como es usual. La razón que nos ha movido al cambio es consecuencia de nuestras observaciones de la climatología regional.

El mes de septiembre no tiene ninguna influencia en el año hidrológico si es seco, pero sí la tiene si es húmedo y, naturalmente, no influye sobre el año anterior ya pasado, sino sobre el siguiente. Este mes por sí mismo no suele

AÑO	TOTAL VOLUMEN (HM <sup>3</sup> )	AÑO	TOTAL VOLUMEN (HM <sup>3</sup> )
1.958-59	961,1	73-74	143,9
59-60	1.207,1	74-75	307,6
60-61	1.277,9	75-76	47,8
61-62	1.560,6	76-77	2.021,7
62-63	1.740,7	77-78	1.267,8
63-64	2.224,3	78-79	2.069,1
64-65	566,1	79-80	247,1
65-66	2.977,8	80-81	344,2
66-67	548,5	81-82	288,1
67-68	422,8	82-83	74,4
68-69	1.766,5	83-84	491,4
69-70	1.730,1	84-85	618,5
70-71	360,6	85-86	616,9
71-72	409,4	86-87	294,6
72-73	443,2	87-88	925,6 *

\* (Hasta Feb. 88)

Aportación media = 932,06 HM<sup>3</sup>

Desviación típica = 82,05 %

generar aportaciones pero su humedad prepara la saturación de la cuenca que, como antes dijimos, marca el principio de las escorrentías.

Si tomamos como fuente el Plan Hidrológico en preparación, en el cuadro C,43 que proporciona las precipitaciones medias sobre la cuenca vertiente al río Zújar podemos anotar las siguientes observaciones.

La precipitación media anual del período 46-47 a 79-80 es de 567,61 l/m<sup>2</sup>, tomando los años de octubre a octubre, y de 562,59 l/m<sup>2</sup> tomándolos septiembre a septiembre; prácticamente no varia. La media del mes de septiembre es de 28.09 l/m<sup>2</sup>.

Curiosamente la máxima precipitación registrada en el mes de septiembre, de 102,22 l/m<sup>2</sup> corresponde al año 75-76, precisamente el de menor aportación. Pero si forma parte del 76-77 por tomarse de septiembre a septiembre ha formado parte de un año abundante que dió 2.021,7 Hm<sup>3</sup> a pesar de que su primavera, no llovió a partir de primeros de marzo, ha sido una de las más secas. Solamente dió el 35 por 100 de la precipitación media de toda la primavera.

Otro caso análogo presentan los años 64-65

y 65-66, aquel fué un año de baja aportación, éste el que dió la máxima. En septiembre la precipitación fue de 82,0 l/m<sup>2</sup> seguido de octubre con 119,18 l/m<sup>2</sup>. Si septiembre lo incorporamos al año 64-65 desordenamos el funcionamiento hidrológico.

Agosto, con una precipitación media de 7,09 l/m<sup>2</sup> debe terminar al año hidrológico; si en él se produce una tormenta no influye en la aportación.

La serie de precipitaciones octubre-octubre tiene un máximo de 836,30 l/m<sup>2</sup>, correspondiente al año 62-63 y un mínimo de 288,57 l/m<sup>2</sup> en el 53-54. La serie septiembre-septiembre tiene un máximo de 814,60 y el mínimo es de 307,36 l/m<sup>2</sup> en los mismos años. El intervalo entre máximo y mínimo se reduce en 40 l/m<sup>2</sup>, un 8 por 100 del valor medio.

Si descontamos el año 58-59, anómalo entre los anómalos, en el que se produce la máxima precipitación mensual registrada en todo el período que alcanzó 257,09 l/m<sup>2</sup> en el mes de diciembre, el 45 % de la precipitación anual, la serie octubre-octubre presenta un intervalo de 87 l/m<sup>2</sup> entre los años de aportaciones bajas y los abundantes, que comprende la precipitación media; por encima de 610,62 l/m<sup>2</sup> y por debajo de 523,34 l/m<sup>2</sup>.

En las mismas condiciones de la serie septiembre-septiembre, el intervalo se reduce a 44 l/m<sup>2</sup>, entre 603,19 l/m<sup>2</sup> y 559,04 l/m<sup>2</sup>.

En ambas series, los años con precipitaciones próximas a la media, entre 500-600 l/m<sup>2</sup> son muy escasos.

Nos hemos referido al pasar a «años abundantes y años secos». Esta caracterización es en la cuenca del río Zújar clarísima. En la serie histórica presentada puede verse que 12 años de los 30 completos, es decir el 38,7 %, superan a la media. Su media parcial es de 1.310,1 Hm<sup>3</sup>. Los otros 18 tienen una media de 345,8 Hm<sup>3</sup>.

Los años 80 representan la serie parcial más larga de años secos seguidos. Tenemos la esperanza de que el presente año 88 la rompa. Ya lo ha hecho en el río Zújar, aunque no ha sido así todavía en el Guadiana y en otras cuencas. Las aportaciones abundantes han bajado

salvo en el año 65-66 muy concentradas en el tiempo.

En el período 63-64 a 87-88, de 26 años en 29 meses, se ha superado la aportación de 200 Hm<sup>3</sup> en el mes. La suma de las aportaciones en todos estos meses alcanza 14.042,4 Hm<sup>3</sup> es decir una media de 485,9 Hm<sup>3</sup>/mes. En ellos se ha producido el 63 por 100 de la aportación total del período. Compárese con la capacidad del embalse del Zújar, 760 Hm<sup>3</sup>.

De estos 29 meses en 10 se ha superado la media. En estos 10 meses bajaron 8.130,8 Hm<sup>3</sup> a una media de 813 Hm<sup>3</sup>/mes, superior a la capacidad del Zújar.

Si tomamos como posibles 6 meses al año, de noviembre a abril como capaces de proporcionar una aportación superior a 200 Hm<sup>3</sup>, la probabilidad sería de 29/156 = 18,6 %. La probabilidad de superar los 485,8 Hm<sup>3</sup> en un mes es de 6,4 %.

Los cinco mayores valores mensuales registrados son:

Enero 1970 .....	1.258,2 Hm <sup>3</sup>
Diciembre 1963 .....	935,3 Hm <sup>3</sup>
Marzo 1969 .....	921,5 Hm <sup>3</sup>
Febrero 1979 .....	843,9 Hm <sup>3</sup>
Enero 1979 .....	744,6 Hm <sup>3</sup>

Otros datos curiosos:

En cuatro ocasiones se ha superado la aportación de 400 Hm<sup>3</sup> en una semana. La semana 13-19 de marzo de 1969 llegaron a Zújar 603,7 Hm<sup>3</sup>; la de 7-13 de enero de 1970 lo hicieron 580,7 Hm<sup>3</sup>.

En diez ocasiones se ha registrado un ingreso superior a 90 Hm<sup>3</sup> en veinticuatro horas. Los máximos han sido:

221,3 Hm<sup>3</sup> el día 13 de marzo de 1969.  
152,8 Hm<sup>3</sup> el día 27 de enero de 1979.

El 13 de marzo proporcionó un caudal medio de 2.330 m<sup>3</sup>/seg. durante las 24 horas, con una punta instantánea del orden de 5.000 m<sup>3</sup>/s. que quedó, laminada por el embalse en 3.300 m<sup>3</sup>/seg.

Estos argumentos y las características del vaso, tanto geométricas como agrícolas y sociales nos decidieron a aprovecharlo al máximo.

Nuestro límite claro lo definía la población de

Guadálmez y la línea del ferrocarril Madrid-Badajoz: la cota 352.

La capacidad total del vaso resulta ser de 3.219.180.000 m<sup>3</sup> dejando la del embalse del Zújar reducida a 391.110.000. Esto hace una capacidad total de 3.610,3 Hm<sup>3</sup>.

El estudio definitivo del Canal de los Barros, principal aprovechamiento del sistema, ha fijado en la 316 la cota de lámina de derivación, lo que ha reducido las capacidades de regulación a 2.828,07 Hm<sup>3</sup> para La Serena y a 29,31 Hm<sup>3</sup> para el Zújar, en cuya presa del Collado ha de situarse la toma.

Resulta entonces que la capacidad de regulación total es de 2.857,38 Hm<sup>3</sup> y el embalse muerto de 670,8 Hm<sup>3</sup>, también total, entre los dos embalses. Este embalse muerto representa el 18,2 por 100 de la capacidad total.

La nueva disposición ha permitido la instalación de una central hidroeléctrica, que podrá funcionar para proporcionar energía punta, ya que dispone de contraembalse.

Considerando una demanda constituida en su mayor parte por los riesgos, distribuida por lo tanto a lo largo del año como corresponde, y tomando como fallo el no alcanzar un mes el 80 por 100 de la demanda el sistema Zújar — La Serena regula anualmente 658 Hm<sup>3</sup> con una garantía del 95 por 100. Esta definición del fallo pertenece a la metodología usual aunque por lo poco representativa que es de lo que realmente sucede los años escasos está siendo muy discutida. Particularmente en esta región, donde la aportación acaba prácticamente en abril, es decir, su final coincide con el principio de los riesgos, y por lo tanto puede establecerse una estrategia al principio de la campaña con el conocimiento exacto de las disponibilidades que procuraría distribuir el defecto del agua de manera que el perjuicio fuera mínimo.

El incremento de regulación imputable a La Serena es de 350 Hm<sup>3</sup>/año, resultando una inversión del orden de 40 ptas./m<sup>3</sup> de agua. Dado que el valor medio de la producción bruta de la zona a precios percibidos por el agricultor se estima en 50 ptas./m<sup>3</sup> de agua, el incremento de producción puede valorarse en 17.500 millones de pesetas anuales. A esto ten-

driamos que añadir los beneficios proporcionados por la ampliación de zona dominada por la altura de derivación actual que permite utilizar los 150 Hm<sup>3</sup> anuales de excedente que tenía el Embalse del Zújar respecto a su zona propia sin elevación.

## 6. EL PROYECTO

### 6.1. Tipología de la presa

6.1.1. El emplazamiento de la presa y las características generales del vaso fueron determinadas en un estudio previo en el que se analizaron y compararon diversas soluciones alternativas y que fue sometido a información pública, ya que las poblaciones próximas a la cola del embalse preferían otras disposiciones.

6.1.2. El tipo de estructura para la presa también fue analizado y discutido en el proyecto, resultando escogido el de gravedad recta frente a gravedad curva porque la anchura de la cerrada no era favorable para obtener economías en el volumen ni en los encofrados y frente a la solución alternativa más tentadora que era la de escollera por la gran facilidad para obtener los materiales necesarios porque la protección contra las avenidas previsibles hubiera sido más costosa que la propia estructura.

La calidad del cemento y la gran cantidad de áridos naturales proporcionada por el cauce invitaban a adoptar la solución proyectada.

6.1.3. En el cálculo de estabilidad se tomaron en consideración los niveles de aguas abajo retenidos por la presa del Zújar y se adoptaron los taludes 0.05 y 0.8 en los paramentos asuso y ayuso respectivamente (Fig. 3).

6.1.4. Las condiciones de la roca del cimentado se conocieron tras la campaña de sondeos realizada por el Servicio Geológico, gran parte de ella desde balsa flotante. Se realizaron sondeos en seis perfiles que comprendían un emplazamiento alternativo situado 900 m. aguas arriba. El porcentaje de recuperación de testigos en la roca fue elevado, del 90 al 100 por 100. También se realizaron en la parte accesible tres perfiles de sísmica, cuyos resultados fueron:

2-3 m .: Capa superficial 450-600 m/seg.



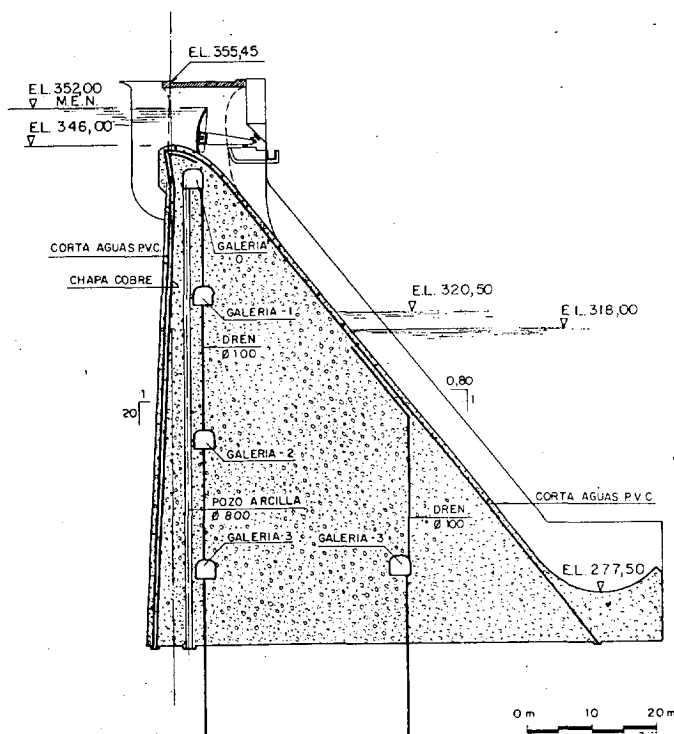


Figura 3.—Sección tipo de al presa.

3-6 m.: Roca alterada y decomprimida  
1.000-1.500 m/seg.

≥ 6 m.: Roca sana, pizarras y grauwackas  
3.000-4.000 m/seg.

6.1.5. La presa está situada en el límite de la zona sísmica de grado medio que incluye Badajoz y la zona de baja sismicidad. En el cálculo se ha adoptado un efecto sísmico de 0.05 g. en sentido horizontal y la mitad en vertical de acuerdo con la instrucción.

6.1.6. Se calcularon las condiciones de estabilidad con el embalse del Zújar a las cotas 280 y 300, así como en el conjunto de hipótesis reglamantario.

La peor situación corresponde a la hipótesis B-21 embalse lleno sin funcionamiento de los drenes que da un coeficiente de seguridad al vuelco de 1.35 en el estribo y de 1.42 en el vertedero.

La máxima compresión de 238 Tm/m<sup>2</sup> corresponde al estribo en la hipótesis B-221 embalse lleno terremoto izquierdo. La máxima tracción de -33.2 Tm/m<sup>2</sup> corresponde al vertedero de la hipótesis B-12 embalse vacío terremoto derecho.

## 6.2. Organos de desagüe

Considerando que en la explotación normal el nivel agua abajo oscilará entre las cotas 316 y 318 se han previsto los dispositivos siguientes de abajo arriba:

6.2.1. *Desagües de emergencia:* En previsión de un desembalse total en La Serena, se han colocado dos tubos de 0.50 m. de diámetro a la cota 288 en el bloque 17 cerrados en sus dos extremos por bridas ciegas pero comunicados con la cámara de desagües de fondo para poder introducir una presión suplementaria que ayude al desagüe de las bridas en caso de maniobra.

6.2.2. *Desagües de fondo:* Se han instalado dos juegos de tres compuertas tipo BUREAU a la cota 297.34 con una capacidad total de  $2 \times 17$  m<sup>3</sup>/seg. para poder vaciar el embalse cuando el de Zújar esté vacío. (Fig. 4). Estas compuertas se colocan exentas con objeto de un mejor acceso para la vigilancia, conservación y eventual reparación.

El accionamiento de las compuertas se realiza mediante husillo roscado. Cuando la cámara está inundada, los mecanismos de accionamiento están desmontados y los husillos protegidos por caperuzas rellenas de grasa. La apertura de los mismos se realiza por medio de actuadores portátiles acoplados a un vehículo industrial de tipo medio que mediante un motor hidráulico actúa sobre el husillo.

La cámara puede ser inundable por las aguas del embalse del Zújar, aunque la galería de inspección y maniobra de 3 x 3 m. de sección llevará sus compuertas de cierre y se han impermeabilizado las juntas de aguas abajo para poder mantener el interior de la presa achicado si se quiere.

De las tres compuertas en serie que lleva cada conducto una estará cerrada y las otras dos abiertas. Se ha instalado una más como seguridad para la maniobra después de una inundación prolongada.

6.2.3. *Desagües de medio fondo:* A nivel superior máximo del embalse del Zújar se están instalando en los bloques 11-13 y 15 seis juegos de compuertas BUREAU para una capacidad total de desagüe de  $6 \times 60$  m<sup>3</sup>/seg. que

# LA PRESA DE LA SERENA

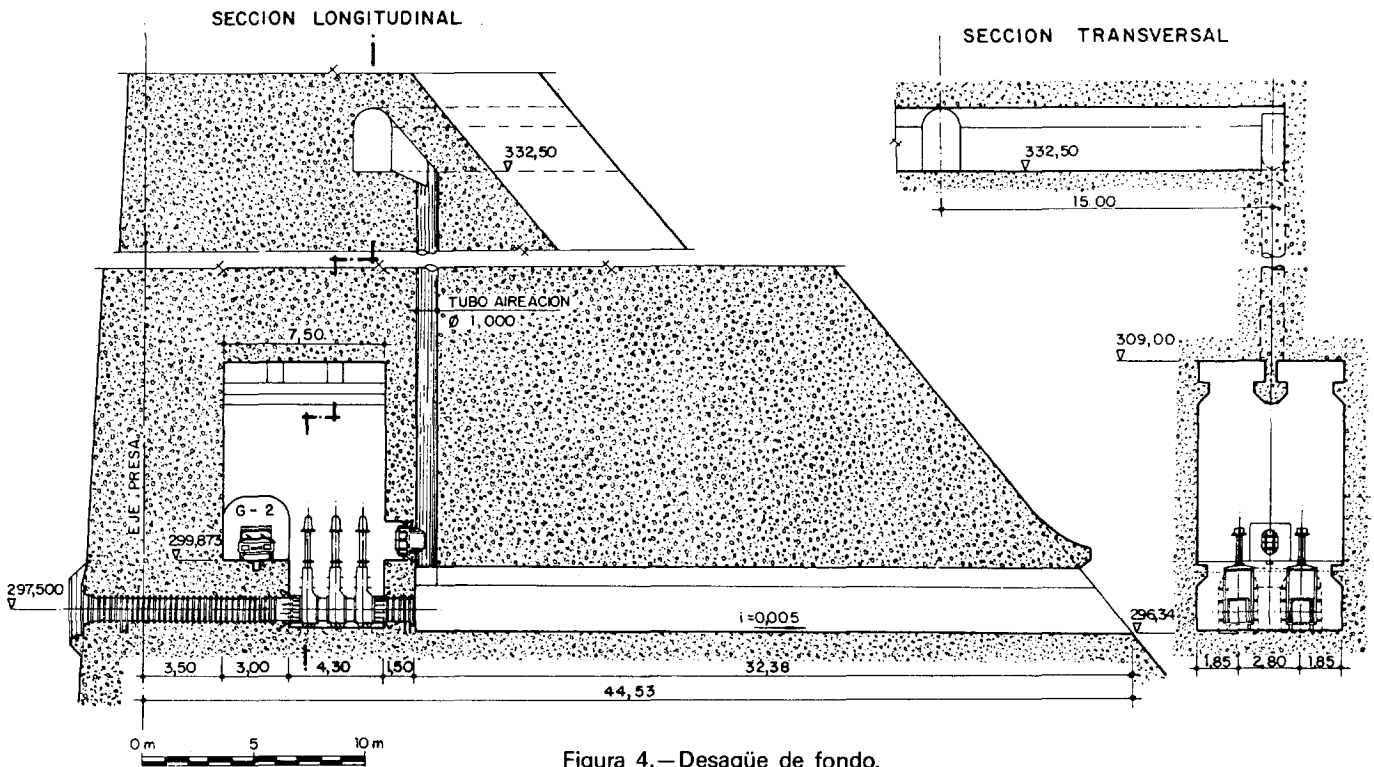


Figura 4.—Desagüe de fondo.

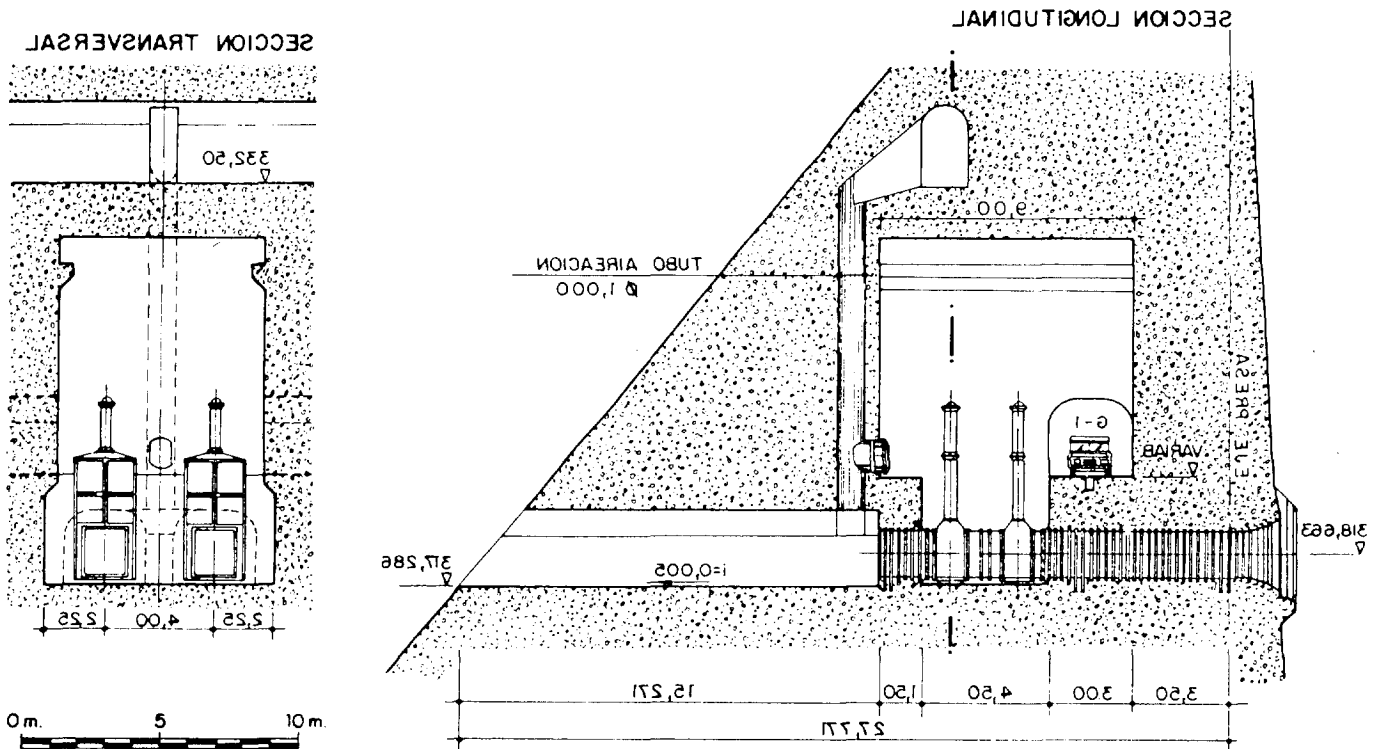


Figura 5.—Desagües de medio fondo.

actuarán en realidad como desagües de fondo en las condiciones normales de funcionamiento del sistema. (Fig. 5). De igual manera que los desagües de fondo las válvulas se colocaron exentas.

6.2.4. *Central Hidroeléctrica:* En el bloque 31 se instalará la central hidroeléctrica con una toma única, tubería de carga de 5 m. de diámetro, turbina única tipo KAPLAN para 80 m<sup>3</sup>/seg.

6.2.5. *Vertedero:* En coronación se ha previsto un vertedero de superficie controlado por ocho compuertas TAINTOR de 11 x 6 m. accionadas oleohidráulicamente capaz de evacuar un caudal de 2.800 m<sup>3</sup>/seg. al máximo nivel normal.

6.2.6. *Juntas:* El cuerpo de presa se ha dividido en bloques de 15 m. de anchura a construir en su totalidad sin juntas longitudinales.

La impermeabilización aguas arriba se confía a un sistema compuesto por una banda cortagua de P.V.C. de 400 mm. seguida de una pleтина de 1,5 mm. de cobre de 100 x 100 x 2.3 y de un pozo de arcilla de 0.80 m. de diámetro que termina en la galería superior y podrá ser regenerado desde ella.

Aguas abajo la impermeabilización consiste solamente en la banda de P.V.C. de 400 mm.

6.2.7. *Drenes:* Dos drenes de 150 mm. de diámetro por bloque más los de junta, tanto aguas arriba como aguas abajo, de acuerdo con las recomendaciones del Servicio de Vigilancia de Presas.

6.2.8 *Galerías de inspección y maniobra:* Se han previsto cuatro niveles de galerías como se ve en la sección tipo, más las perimetrales. Las primeras son de 3 x 3 m. de sección para permitir, salvo en el nivel inferior, el acceso a los vehículos automóviles con el equipo necesario de cualquier emergencia: grupos generadores, perforadoras, aparatos de inyección, etc.

Las perimetrales tienen 2.80 x 1.50 m. de sección con escalera y rampa.

6.2.9. *Coronación:* La coronación se dispone con una calzada de 10 m. de anchura y dos aceras de 1.50 m.

Sobre los bordillos se apoyarán los carriles de circulación de puente grúa para la conservación

de las compuertas TAINTOR del vertedero, ataguías y compuertas de central y ataguías de desagües internos.

6.2.10. *Aireación:* Se ha presetado especial atención a los dispositivos de aireación de las válvulas BUREAU y las salidas de los desagües. Cada pareja de juegos de válvulas está aireada por un pozo de un metro de diámetro desde una galería auxiliar de 2.80 x 1.50 que sale al cajero derecho del vertedero.

La salida de los desagües de fondo son galerías sin revestir de 2.80 x 1.50 m. La de los desagües de medio fondo son galerías sin revestir de 3 x 3 m.

## 7. DESVIO DEL RIO

### 7.1. Formación del recinto impermeable

Las servidumbres impuestas por la explotación del pantano del Zújar aconsejaron la realización de un recinto impermeable de gran amplitud limitado por la ataguía, la contrataguía y los muros de los canales de desvío que garantizaran la continuidad del embalse del Zújar. El esquema de dicho desvío puede observarse en las Figuras 6 y 7, así como la obra ya terminada en la Foto 2.

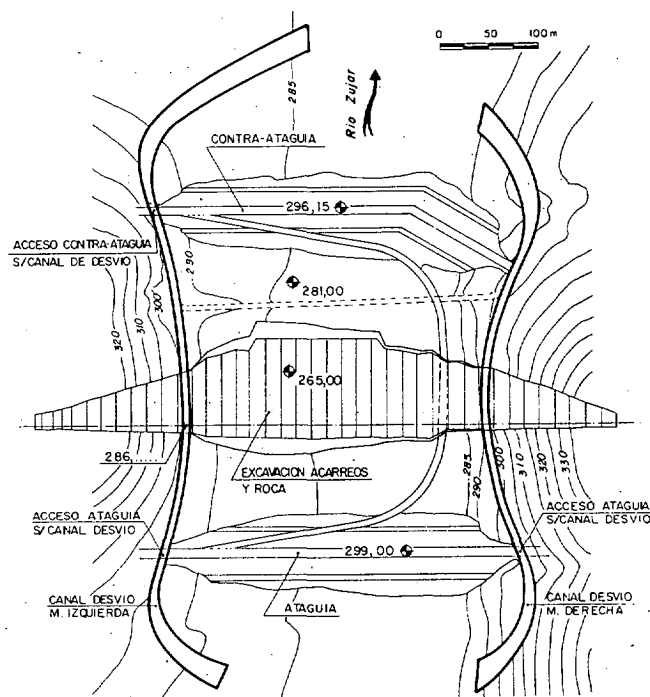


Figura 6.—Planta del desvío del río.

# LA PRESA DE LA SERENA

Figura 7.— Sección longitudinal del desvío del río.

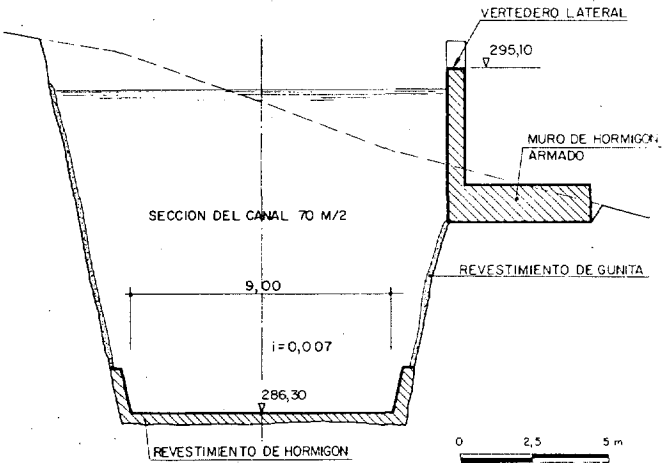
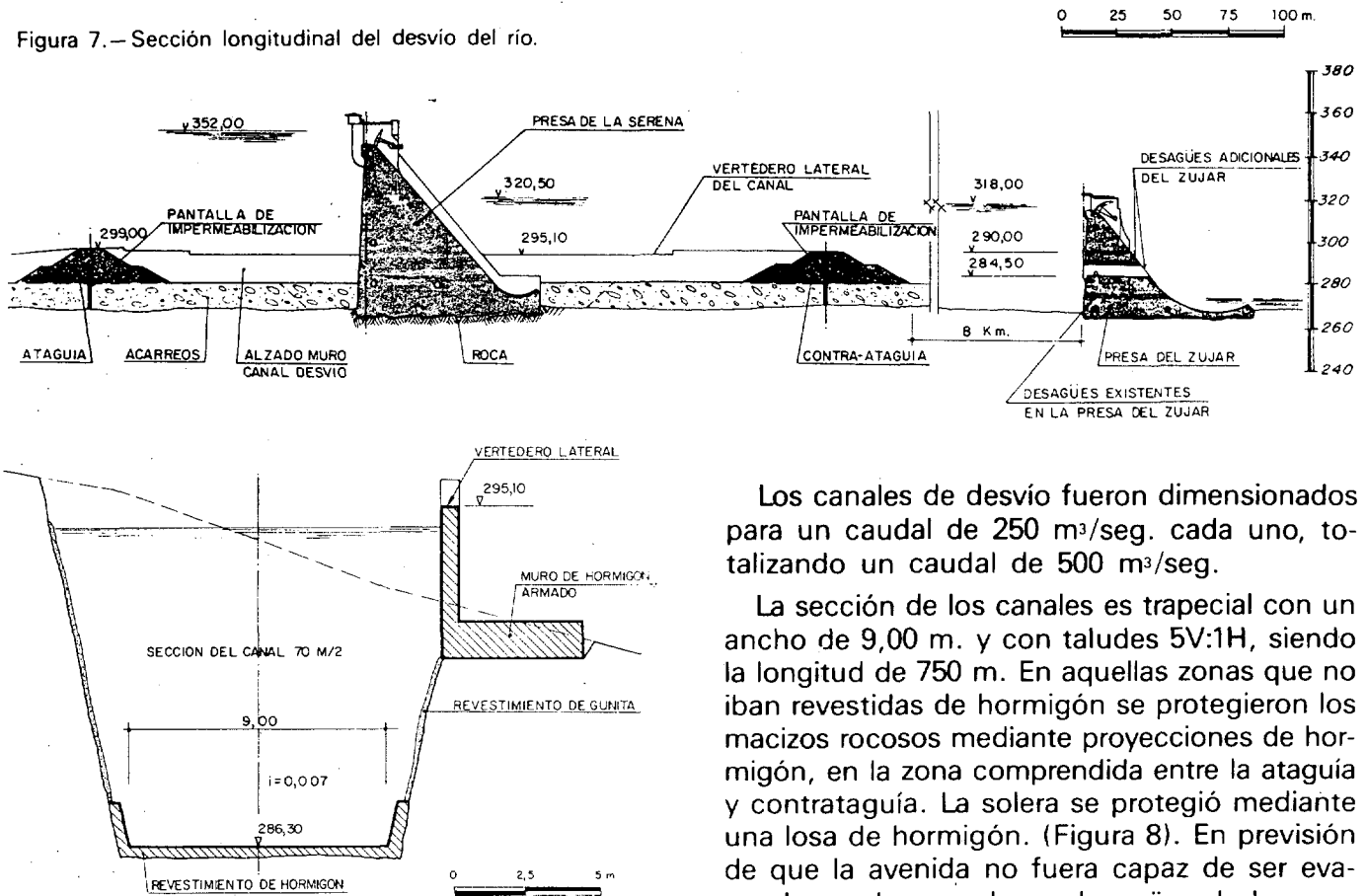


Figura 8.— Sección tipo del canal de desvío.

Los canales de desvío fueron dimensionados para un caudal de 250 m<sup>3</sup>/seg. cada uno, totalizando un caudal de 500 m<sup>3</sup>/seg.

La sección de los canales es trapecial con un ancho de 9,00 m. y con taludes 5V:1H, siendo la longitud de 750 m. En aquellas zonas que no iban revestidas de hormigón se protegieron los macizos rocosos mediante proyecciones de hormigón, en la zona comprendida entre la atagüa y contratagüa. La solera se protegió mediante una losa de hormigón. (Figura 8). En previsión de que la avenida no fuera capaz de ser evacuada por los canales o desagües de la presa del Zújar, se limitó en una gran longitud del ca-

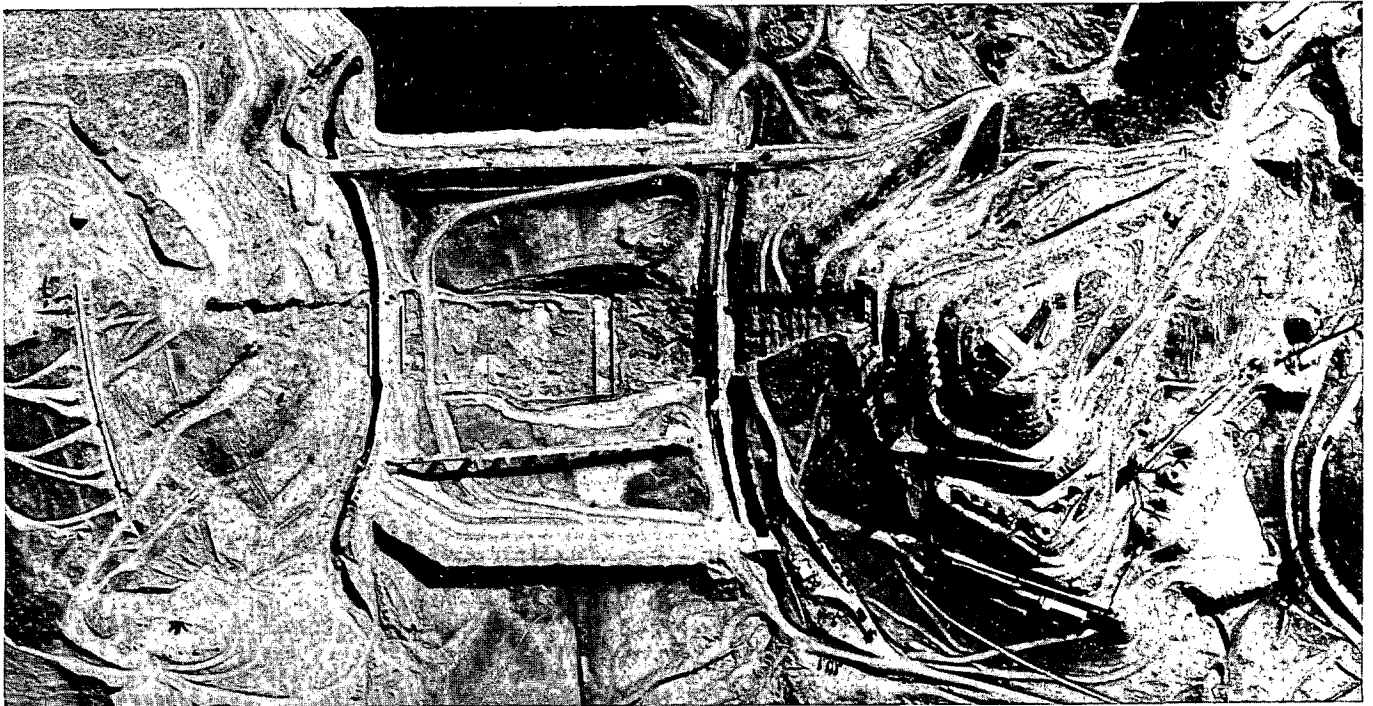
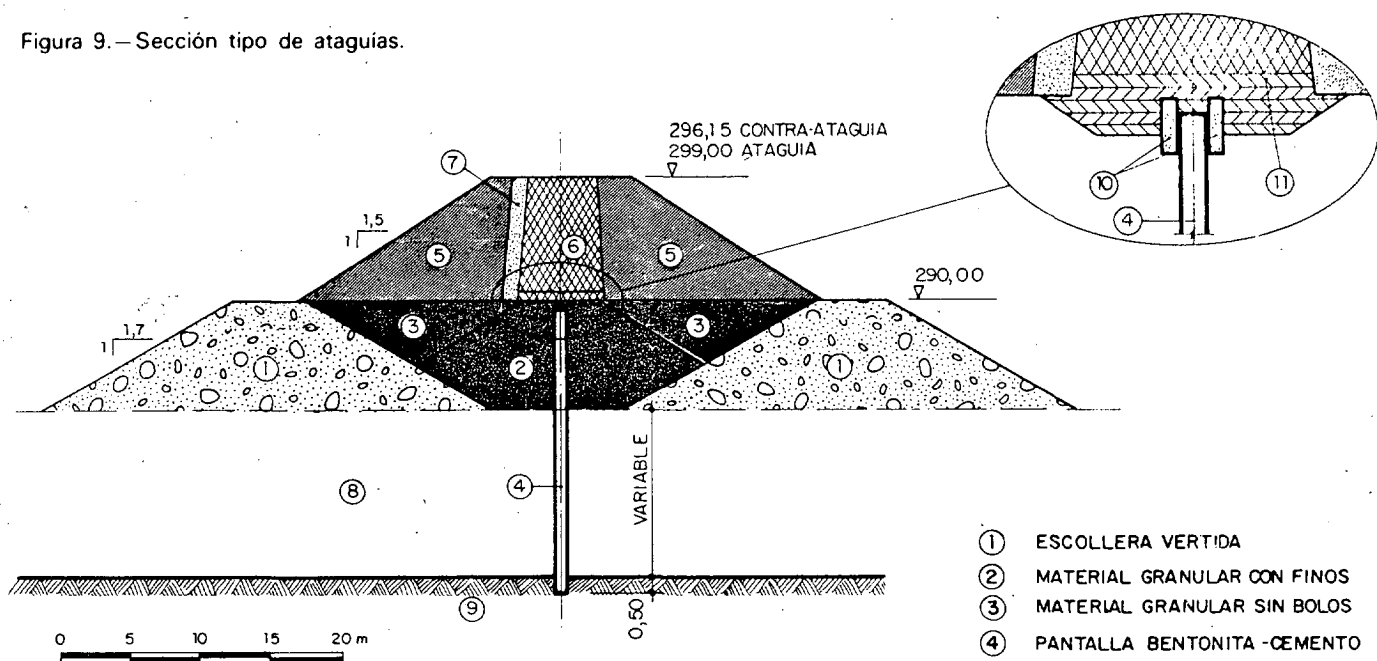


Foto 2.— Planta general de desvío del río y excavación del cuenco en diciembre 1986.

## LA PRESA DE LA SERENA

Figura 9.—Sección tipo de ataguías.



- ① ESCOLLERA VERTIDA
- ② MATERIAL GRANULAR CON FINOS
- ③ MATERIAL GRANULAR SIN BOLOS
- ④ PANTALLA BENTONITA -CEMENTO
- ⑤ ESCOLLERA COMPACTADA
- ⑥ ARCILLA
- ⑦ FILTRO GRANULAR
- ⑧ ACARREOS
- ⑨ ROCA
- ⑩ MUROS GUIA DE LA PANTALLA
- ⑪ TONGADA DE ARCILLA BENTONITA EN ESPORES DE 0,30 m.

nal la cota de los cajeros para que funcionara a modo de fusible y la hipotética inundación del cuenco se realizara por los canales de manera que el agua pasara sobre las ataguías con gradiente nulo minimizando los daños sobre las mismas.

Las ataguías son unas presas de materiales sueltos con sección mixta (Figura 9), realizadas en dos fases.

La primera fase se realiza mediante vertido desde la cota 290,0 sobre el embalse del Zújar del material procedente de la excavación de los canales debidamente seleccionado; posteriormente se impermeabiliza este material a la vez que los acarreos permeables del fondo del embalse, hasta llegar al substrato impermeable.

La segunda fase, realizada ya en seco, está formada por una sección tipo convencional de escollera compactada con núcleo impermeable de arcilla procedente de la descomposición de las pizarras.

Entre la ejecución de estas fases las avenidas inundaron las ataguías paralizando la construcción de la misma desde el mes de diciembre de 1986 al mes de octubre de 1987 en el que se pudieron reanudar los trabajos, cuando las necesidades de los riesgos permitieron bajar la cota del embalse.

La impermeabilización de la primera fase de la

ataguía y los substratos permeables se ha realizado mediante pantalla plástica de 0,80 m. de espesor.

Tras la excavación de la zanja se procede a su relleno con una mezcla autoendurecible (tixotrópica) que sirve como lodo estabilizador de las paredes de la misma.

La profundidad del material vertido en la formación de las ataguías era variable en la zona de la pantalla, pudiendo estimarse entre 4,00 y 10,00 m. A continuación aparecen las gravas con cantidades importantes de arcillas o de arenas con espesores variables entre 2,00 y 15,00 m. que dan paso al substrato rocoso. La profundidad máxima de la roca desde la plataforma de trabajo alcanzó un valor de 22,00 m. El empotramiento de la roca fue de 0,50 m. como media, ya que la fisuración de la roca lo permitía en esta cantidad, siendo imposible alcanzar una mayor profundidad sin utilizar trépano debido a la competencia de la roca.

La excavación se realizó con bataches de 2,50 m. de longitud, separados entre sí 1,50 m. con lo que la terminación de la pantalla se reexcavaba 0,50 m. en ambos extremos de los ya realizados.

La dosificación empleada en la mezcla de la pantalla fue motivo de diversos ensayos habiéndose llegado a la definición de una mezcla ternaria de cemento, bentonita y cenizas que garantizara la resistencia a compresión en probeta de 1-2 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 90 días. Dicha composición era la siguiente:

225 Kg. de cemento tipo PA-350 de Valde-  
ribas (Madrid).

100 Kg. de ceniza de Puente Nuevo (Córdoba).

45 Kg. de bentonita de Gador (Alicante).

La sobreexcavación de la pantalla conjuntamente con los desprendimientos de las paredes de los mismos elevaron hasta un 80 por 100 el sobreconsumo de materiales respecto al teórico sobre plano.

El empotramiento de la pantalla con el terre-

no no fue objeto de ningún tratamiento; esta decisión fue tomada tras la realización de una serie de ensayos en los que se constató la baja permeabilidad del contacto. Con la subida del embalse se observaron filtraciones cercanas a 100 l/seg. que en ambas pantallas era equivalente a un caudal de 0,3 l/seg. × ml., que se puede considerar como baja, y que ha sido fácilmente dominable con agotamiento mediante bombas durante la ejecución de la presa.

### 7.2. Desagües adicionales en la presa del Zújar

Los órganos de desagüe de la presa del Zújar, a la cota de la ataguías eran insuficientes para evacuar los caudales previstos en el diseño de los canales de desvío. Por ello fue necesario ejecutar dos desagües adicionales con sección cuadrada de 5,00 × 5,00 m. obturados mediante compuertas, (Figura 10), las cuales conjuntamente con los desagües propios de la presa del Zújar eran capaces de aliviar caudales superiores a 500 m<sup>3</sup>/seg. sin inundar el re-

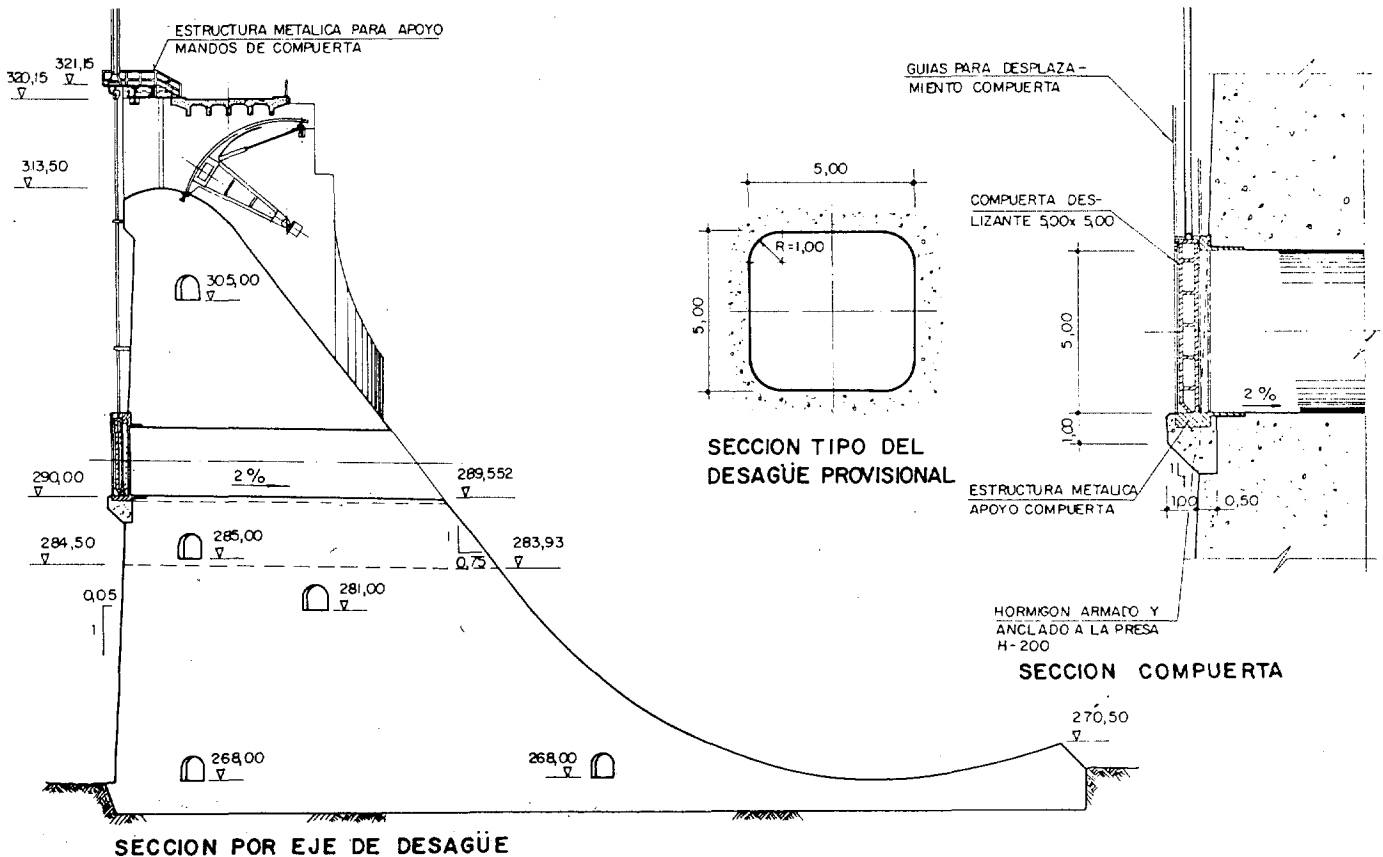


Figura 10.—Desagües adicionales en la presa del Zújar.

cinto impermeable. En su ejecución se utilizaron voladuras controladas limitando la cantidad de explosivo empleado de tal manera que los límites de velocidades de partículas impuestos a los distintos elementos de la presa en funcionamiento no fueron rebasados. Los límites impuestos fueron los siguientes:

Hormigón en contacto con voladuras .....	130 mm/seg.
Pie de pilares de aliviadero . . . . .	50 mm/seg.
Ejes de las compuertas . . . . .	20 mm/seg.
Central hidroeléctrica . . . . .	15 mm/seg.

Estos valores no se sobrepasaron, probando al finalizar las voladuras los elementos de la presa del Zújar sin que en ellos se observara ninguna anomalía. No se revistieron los agujeros habiendo pasado el agua con una velocidad de 8 m/seg. sin que hayan sufrido ningún defecto en el mismo.

La necesidad de vaciar el embalse del Zújar en estos dos años aconsejó realizar una campaña de eliminación de los peces existentes en el embalse, ya que una mortandad de los mis-

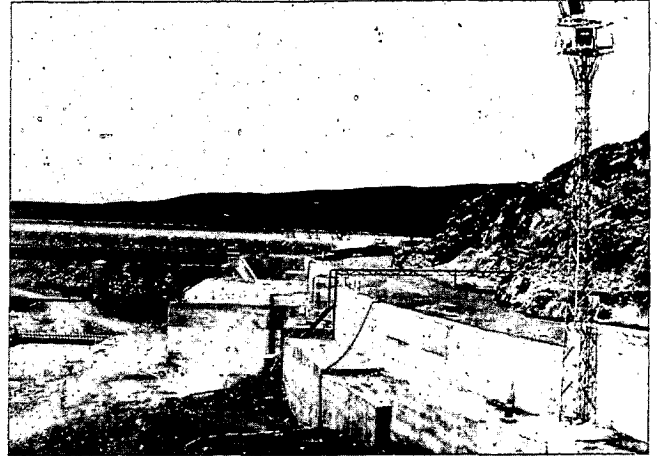


Foto 3.— Paso de la avenida de abril de 1987 por el canal de desvío de la margen derecha.

mos podría provocar una contaminación de las aguas del embalse que abastecían de agua potable a importantes núcleos de población. Se realizó la misma durante los meses de octubre a diciembre de los años 1985 y 1986, siendo capturados 300 Tm. y 200 Tm. respectivamente. Las especies que resistieron el traslado fue-

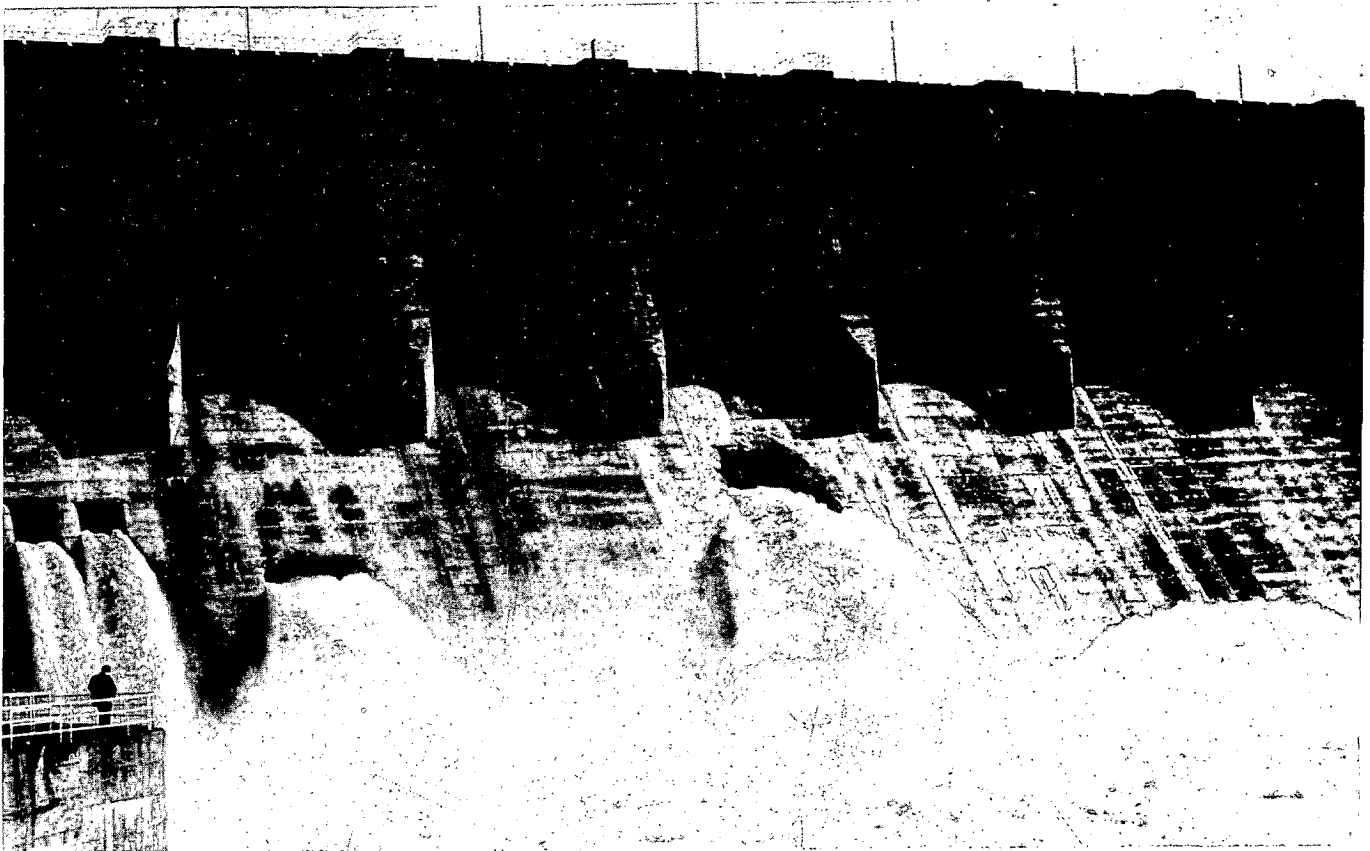


Foto 4.— Evacuación de la avenida por la presa del Zújar.

ron conducidos a embalses cercanos, o al río Zújar, aguas abajo, en tanto que el resto se dedicó al consumo humano de las poblaciones cercanas. Las especies capturadas fueron barbos, carpas, bogas y black-bass.

Con periodicidad semanal se controlaron los parámetros del agua del embalse, permaneciendo en todo momento dentro de límites aceptables por el posterior tratamiento de la potabilidad de las mismas para el consumo humano. Asimismo no se presentó en ningún momento mortandad en la fauna piscícola.

Todas las labores de desvío del río se realizaron en los meses de septiembre a diciembre de los años 1985 y 1986, siendo esta última fecha la que determinó el comienzo del hormigonado de acuerdo con el plan previsto.

### 7.3. Evacuación de avenidas

En el mes de abril de 1987 se produjo una avenida de 500 m<sup>3</sup>/seg. que fue evacuada por los canales de desvío y por los desagües adicionales de la presa del Zújar, no habiéndose observado deterioros ni en el revestimiento de los canales ni en el hormigón de los desagües adicionales. (Fotos 3 y 4).

### 7.4. Cierre de canales de desvío

A finales del otoño de 1987 se procedió al cierre de los canales de desvío mediante su hormigonado, quedando ambos incorporados a la presa como un bloque normal. Asimismo, se han colocado los desagües de fondo en su bloque correspondiente. (Fotos 5 y 6).

Con este esquema y para pequeños caudales, estos se alivian por medio de los desagües de fondo. Para los caudales más importantes se opta por su paso a través de los bloques ya hormigonados, procurando llevar un plan de trabajo que permita el paso por gran número de ellos.

De esta manera se ha podido evacuar la avenida de 1.300 m<sup>3</sup>/seg. que sobrevino el día 13 de diciembre de 1987, habiendo pasado el agua a través de 10 bloques de la presa. (Fotos 7 y 8). El efecto laminador del embalse de La Serena se hizo patente, ya que el máximo caudal transmitido al Zújar fue de 950 m<sup>3</sup>/seg. Este

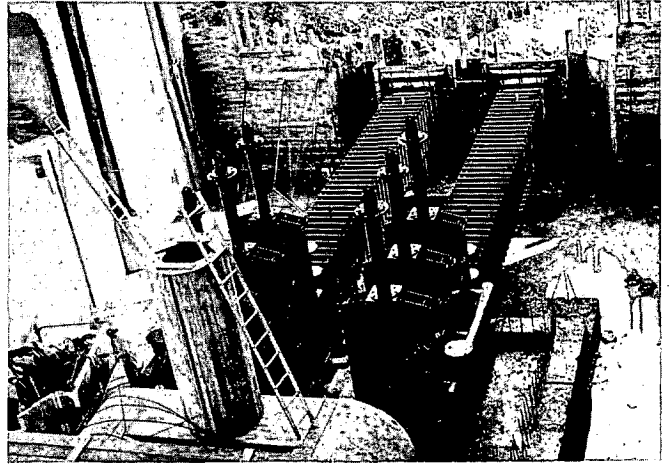


Foto 5.—Vista de los desagües de fondo.

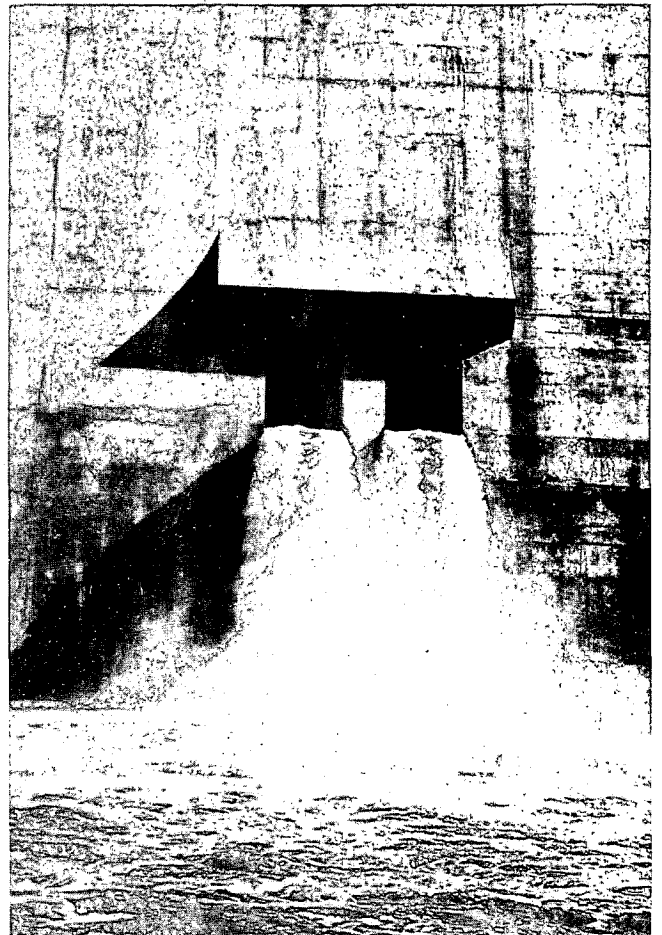


Foto 6.—Salida del caudal evacuado por los desagües de fondo.



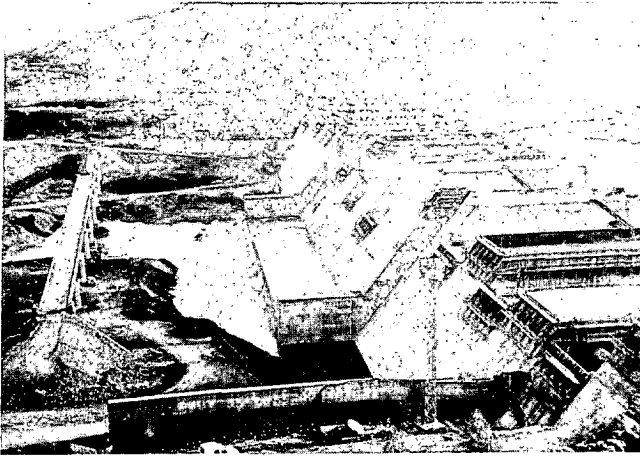


Foto 7.—Estado de las obras antes de la avenida de diciembre de 1987.

caudal fue evacuado por los desagües propios y por los adicionales de la presa del Zújar, habiéndose sufrido una nueva laminación, ya que se estima en  $650 \text{ m}^3/\text{seg.}$  el caudal máximo vertido sobre el río Zújar.

En febrero de 1988 la situación de las obras permite embalsar más de  $200 \text{ Hm}^3$  en el conjunto de La Serena y Zújar.

## 8. CONSTRUCCION DE LA PRESA

### 8.1. Excavación

Para la realización de la obra ha sido necesario excavar un volumen aproximado de  $600.000 \text{ m}^3$  entre los acarrees del cuenco y las pizarras y cuarcitas del precámbrico en el fondo del cuenco y en los estribos.

La excavación de los acarrees del cuenco se ha realizado con palas retroexcavadoras y camiones articulados, realizándose el total de la excavación ( $\approx 400.000 \text{ m}^3$ ) en el período comprendido entre septiembre y noviembre de 1986.

Se utilizó voladura en la excavación de los estribos, pero dado que el buzamiento de los estratos era subvertical con rumbo paralelo al eje de la presa se fragmentaba por las diaclasas obligando a una penosa labor de saneo de las mismas. En el cuenco se prescindió de las voladuras, ejecutando la excavación con ripper de tractor de  $620 \text{ CV.}$  mediante el criterio de deschar y retirar toda la roca arrancada por la

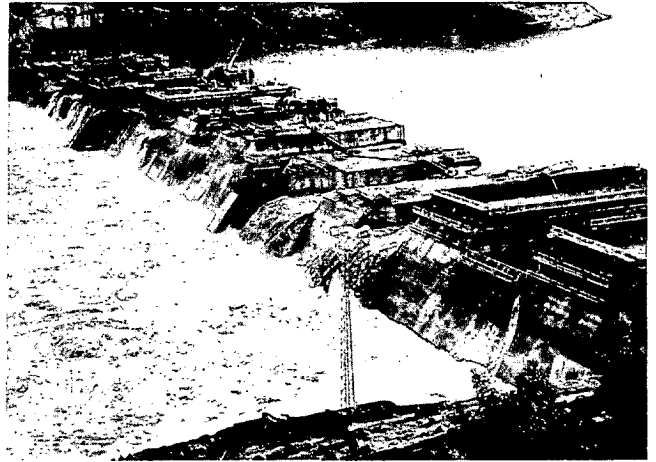


Foto 8.—Paso de la avenida sobre los bloques de la presa.

máquina, conservando el resto, salvo bloques apoyados en diaclasas rellenas de arcilla o detalles deforma como picos o cuñas. De esta manera la roca de cimentación aparecía sin quebrantar y sin fisuras (Foto 9).

Se midieron mediante métodos sísmicos velocidades en la roca superiores a  $4.800 \text{ m/seg.}$  y módulos de elasticidad mediante geófonos triaxiales de  $361.000 \text{ Kg/cm}^2$ .

Toda esta excavación del cuenco se realizó en un plazo de 3 meses, con lo que no se han producido demoras en el comienzo del hormigonado.

### 8.2. Hormigones

A continuación se describen las características de los componentes de los hormigones,



Foto 9.—Aspecto de la excavación del cuenco de la presa.



Foto 10.—Instalaciones para el hormigonado de la presa.

agua, áridos y conglomerante, así como la descripción de los procesos llevados a cabo para su fabricación. (Foto 10).

8.2.1. *Agua:* Se ha utilizado agua del río Zújar sin ningún problema. La captación se realiza aguas arriba de la ataguía, desde donde se bombea 1.100 m<sup>3</sup>/h. con 4 bombas sumergibles hasta un depósito intermedio. Desde este depósito, mediante 3 bombas centrífugas de cámara partida, se impulsa el agua hasta dos recintos cilíndricos de 700 m<sup>3</sup> de capacidad, situados sobre el cerro de la margen izquierda, desde donde se distribuye el agua por gravedad a todos los tajos de la obra.

8.2.2. *Aridos:* Se han obtenido de graveras naturales del río Zújar, situadas aguas abajo de la presa de la Serena, cuya naturaleza es fundamentalmente silicea. A causa de las ser-

vidumbres del embalse se ha realizado la explotación durante los meses de octubre a diciembre, intervalo comprendido entre el final de la campaña de riego y comienzo de la época de avenidas. La extracción se realizó con retroexcavadoras y palas cargadoras, efectuándose el traslado hasta una vaguada cercana mediante dumpers de 35 y 50 Tm. en donde se realizó un gran acopio.

Asimismo se utilizó parte de la excavación de los acarreo como árido aceptable para hormigones; la aparición de cantidades de arcilla entre los acarreo hizo que este volumen no fuera elevado.

El ritmo de extracción de los materiales, dado el poco tiempo disponible, tuvo que ser de gran rendimiento. Durante el año 1985 se consiguieron 200.000 m<sup>3</sup>, entre los meses de no-

viembre y diciembre; ya durante el año 1986, con el conocimiento obtenido de la gravera durante el desembalse del año anterior, se planificaron los trabajos para una secuencia de trabajo continuo de tal manera que se obtuvieron entre los áridos procedentes de la excavación del cuenco y de la gravera un volumen de 700.000 m<sup>3</sup> en el período de tres meses con puntas diarias de 18.000 m<sup>3</sup>, de árido transportado al acopio. Los áridos restantes se obtendrán de las graveras situadas aguas abajo de la presa de La Serena.

A requerimiento de las necesidades del hormigonado se conduce el material desde el acopio a la estación de clasificación.

Los tamaños elegidos han sido los siguientes:

- Arido n.º 1: de 0,07 a 1,20 mm.
- Arido n.º 2: de 1,20 a 5,00 mm.
- Arido n.º 3: de 5,00 a 15,00 mm.
- Arido n.º 4: de 15,00 a 35,00 mm.
- Arido n.º 5: de 35,00 a 70,00 mm.
- Arido n.º 6: de 70,00 a 150,00 mm.

**8.2.2.1 Planta de Clasificación:** Los áridos procedentes del acopio se vierten a una tolva metálica de 75 m<sup>3</sup> de capacidad, desde la cual caen a una cinta de 800 mm., mediante un alimentador vibrante Gryzzy que limita el paso de áridos de tamaño superior a 150 mm. El rechazo es enviado a una trituradora de mandíbulas de doble efecto adosadas al alimentador, reincorporándose los áridos machacados al flujo procedente del alimentador. Con este dispositivo se puede obtener una producción máxima de 700 Tm/h., para unas necesidades estimadas de 500 Tm./h.

La cinta descarga sobre un acopio de todo-uno en el cual los tamaños de áridos son inferiores a 150 mm.

Por la zona inferior de este acopio existen tres alimentadores vibrantes que abastecen una cinta de 800 mm. de anchura ubicado en una galería de hormigón y que conduce el árido hasta la zona superior de la estación de clasificación.

En esta torre, toda ella de estructura metálica, van alojadas dos líneas paralelas de tratamiento de áridos, formada cada una de ellas por dos cribas vibrantes con dos paños de ma-

lla y rampas de riego. En estas cribas se selecciona y lava el material, el cual va directamente a los silos mediante cintas de 650 mm. de anchura o se remachaca en los dos trituradores giratorios, uno de cámara extragruesa y otro de cámara fina, con sistema Hidroset de regulación hidráulica.

El agua procedente del lavado de los áridos conjuntamente con los tamaños inferiores a 5 mm. se recogen en una cuba metálica situada en la zona inferior de la torre de clasificación desde donde son enviados mediante una bomba centrífuga especial agua-arena hasta la instalación de clasificación y lavado de las arenas.

En esta estación, alojada en estructura metálica se ubican los tres hidrociclones modelo SF-65, que separan las arenas húmedas de los tamaños inferiores a 0,07 mm., que junto con el agua que los acompaña se envían al sistema de decantación.

Las arenas húmedas, a las que se añade agua limpia, se envían a tres hidroclasificadores que separan por un lado la arena de 1,2 a 5,00 mm., mojada y por otra parte la arena de 0,07 a 1,2 mm. con agua.

La arena gruesa (1,2 a 5,00 mm.) pasa a un escurridor, desde donde se envía mediante cintas transportadoras hasta los acopios situados al aire libre, o bien existe la posibilidad de remachaqueo, mediante dos molinos de barras, tras lo que se puede reenviar hasta el inicio del proceso de clasificación de arenas.

La arena fina (0,07 a 12 mm.) conjuntamente con el agua, es bombeada hacia otro hidrociclón modelo SF-65 que separa nuevamente los tamaños inferiores a 0,07 con el agua y que son enviados a decantación, de las arenas mojadas que tras el paso por el escurridor son conducidas a los acopios situados al aire libre mediante cintas transportadoras de 500 mm. de anchura.

La capacidad de clasificación de arenas de esta planta puede llegar a 180 Tm/h.

La pérdida de humedad de las arenas se ha resuelto mediante la ubicación de tres zonas diferenciadas en los silos abiertos para cada tipo de arena (cargando, reposo con drenaje y vaciando).

En el proyecto de la instalación de tratamien-

## LA PRESA DE LA SERENA

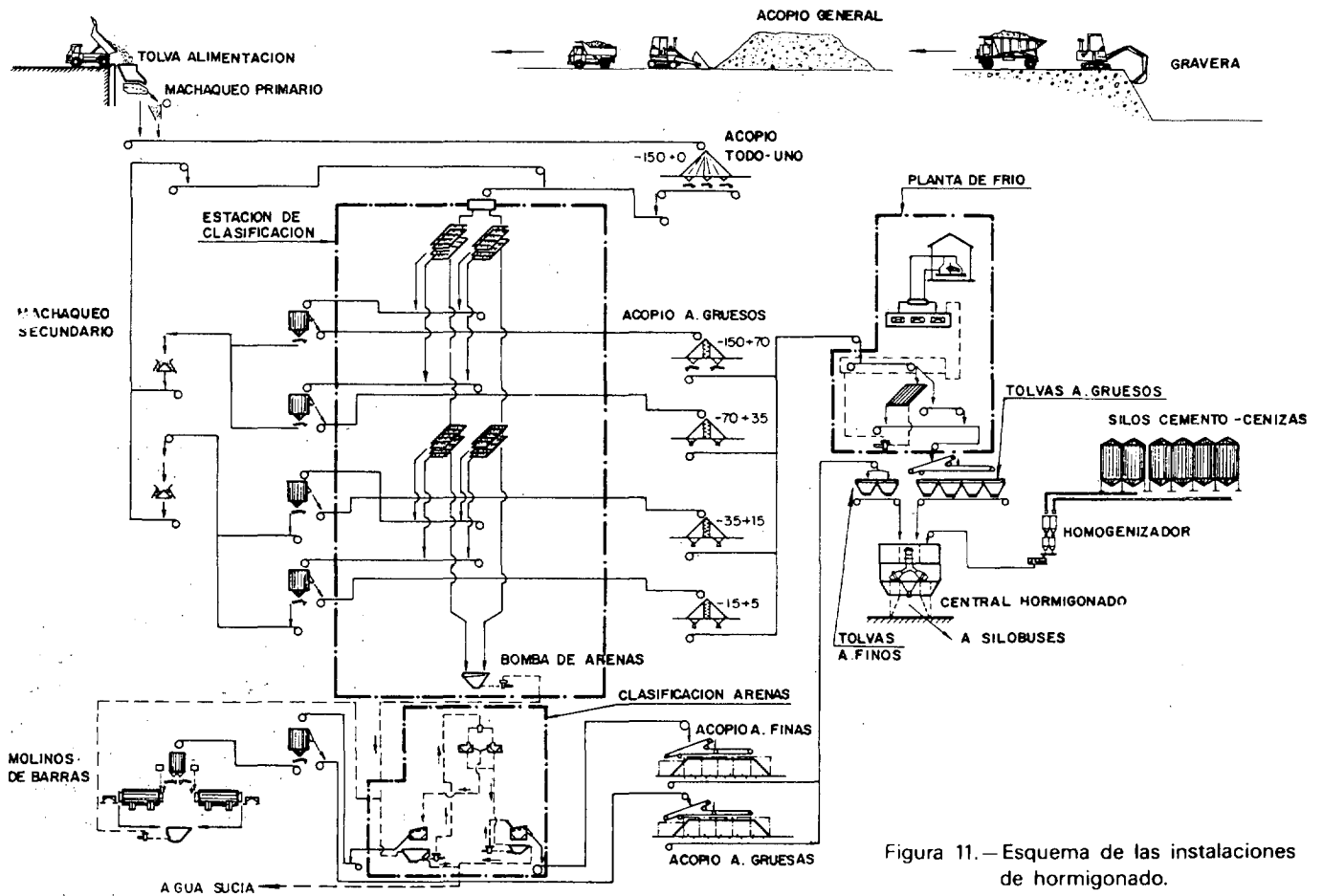


Figura 11.—Esquema de las instalaciones de hormigonado.

to de áridos se ha tenido en cuenta la posible heterogeneidad de los áridos procedentes de las graveras naturales habiéndose dispuesto de los necesarios retornos para tener asegurada la alimentación correcta a la torre de hormigón, sin peligro de descompensación de algún tamaño.

La alimentación desde los acopios a la planta de hormigón se realiza por medio de cintas transportadoras diferentes para áridos gruesos y para arenas, transportándose el árido de forma secuencial.

La longitud total de la cinta supera la cantidad de 1.500 m. El esquema global de la instalación puede verse en la figura 11.

8.2.2.2. Sistema de refrigeración de áridos: La necesidad de rebajar la temperatura de colocación del hormigón hizo necesaria la instalación de un sistema de refrigeración de áridos gruesos, ya que éste es el componente de mayor inercia térmica de la mezcla. Para ello se

pone en contacto los áridos con agua a baja temperatura de tal manera que se produzca una disminución de temperatura de los áridos.

Este intercambio de calorías se consigue mediante ducha e inmersión del árido en agua fría a lo largo de su paso por una cinta de 150 m. de longitud, con una velocidad reducida de 0,30 m/seg. y de anchura de banda de 1.600 mm. con lo que se logra no interrumpir el flujo de transporte de los áridos a la planta. La inyección de agua fría se realiza a través de difusores distribuidos a lo largo de la cinta y procedente de una tubería situada paralelamente al eje longitudinal de la misma.

El agua que los difusores lanzan sobre los áridos se calienta al contacto con ellos por lo que hay que evacuarla y sustituirla por nueva agua fría. Para ello la cinta lleva en la mitad de su longitud un «tripper» fijo cuya misión es voltear los áridos para conseguir un mejor inter-

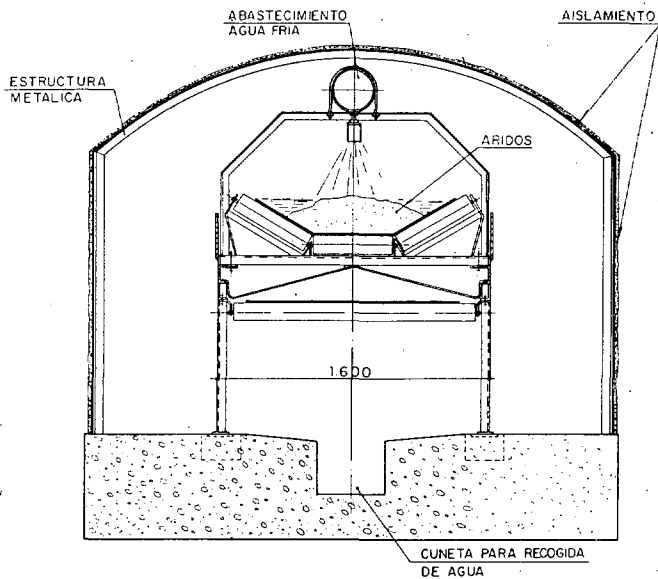


Figura 12.— Sección túnel del frío.

cambio de calor y crear zonas de aplanamiento en la cinta que junto a las producidas en los extremos de la misma permiten desalojar lateralmente el agua caliente. Este agua se recupera y se envía a los tanques de enfriamiento en donde mediante una instalación de refrigeración de 1.450.000 Frg/h. se rebaja nuevamente su temperatura hasta 2 ó 3°, tras lo que se bombea por tuberías cubiertas de aislante hacia el túnel de enfriamiento, comenzando nuevamente el proceso.

Toda la cinta va alojada en un túnel artificial recubierto por material aislante formado de espuma rígida de poliisocianurato de 5 cm. de espesor y terminación con recubrimiento acrílico, con objeto de evitar las fugas de frigorías al exterior.

Al final de la cinta está situado un escurridor vibrante que recibe el árido enfriado y mojado; tras su paso por el mismo se vierte a una cinta protegida de los rayos del sol que lo conduce a la planta de hormigón.

Con este dispositivo se han realizado diversas mediciones de temperaturas antes y después de su recorrido por la cinta de enfriamiento, pudiéndose estimar que con una temperatura de entrada de 21° C se produce una disminución de temperatura en el conjunto de los áridos gruesos de 12° C, en circunstancias ambientales en que la temperatura máxima exterior alcanza valores superiores a los 40° C.

Asimismo, se riegan continuamente los acopios de áridos gruesos con objeto de no aumentar excesivamente su temperatura por la acción de los rayos del sol.

En la época invernal, se elimina dicha refrigeración, quedando su función reducida a transportar el árido desde los acopios a la planta.

### 8.3. Aglomerante

Se ha utilizado en la confección del hormigón una mezcla de cemento sin adiciones con cenizas volantes con objeto de conseguir un aglomerante de bajo calor de hidratación.

8.3.1. *Cemento:* El cemento utilizado procede de la fábrica de Alcalá de Guadaíra, en el que la composición básica de sus materias primas posibilitan un contenido en aluminato tricálcico AC3 inferior al 15 por 100 y de aluminato tetracálcico C4AF inferior al 13 por 100.

Las características medias de los suministros del cemento según ensayos realizados en los laboratorios de obra de la Confederación Hidrográfica del Guadiana han sido los siguientes:

#### Químicas

Porcentaje de SiO <sub>2</sub> .....	20,35 %
Porcentaje de SO <sub>3</sub> .....	2,74 %
Porcentaje de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	4,30 %
Porcentaje de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3,10 %
Porcentaje de CaO libre .....	1,39 %
Porcentaje de CaO total .....	65,10 %
Porcentaje de MgO .....	1,24 %
Perdida al fuego .....	2,33 %
Residuo insoluble .....	0,79 %

#### Físicas

Densidad .....	3,16 gr/cm <sup>3</sup> .
Superficie específica Blaine .	3.529

#### Físico-Químicas

Expansión en autoclave ....	0,00 %
Agua Le Chatelier .....	1,64 mm.

*Resistencia media en Kg/cm<sup>2</sup> de probetas de mortero normalizados de 4 × 4 × 16 cm.*

Edad en días ..	3	7	28	90
Resistencia flexo-tracción .....	62,1	77,3	91,6	100,0
Resistencia compresión .....	347,4	445,8	544,8	620,9

8.3.2. *Cenizas volantes*: Las cenizas utilizadas en aglomerantes han sido suministradas desde la central térmica de Puente Nuevo (Córdoba), procedentes de la combustión de la hulla de la cuenca carbonífera de la zona.

Los ensayos realizados sobre este material en el laboratorio de obra han dado los siguientes resultados:

**Físicas**

Densidad real .....	2,20 a 2,29	tm/m <sup>3</sup>
Superficie específica		
BLAINE .....	3.356 a 4.591	tm/m <sup>3</sup>

**Químicas**

Porcentaje de SiO <sub>2</sub> .....	56,64	%
Porcentaje de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	30,78	%
Porcentaje de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6,50	%
Porcentaje de SO <sub>3</sub> .....	0,28	%
Porcentaje de CaO total ...	2,01	%
Porcentaje de MgO .....	1,60	%
Pérdida al fuego .....	2,22	%

**Físico-Químicas**

Agujas Le Chatelier .....	1,29	mm.
---------------------------	------	-----

8.3.3. *Homogenización de la mezcla cemento-cenizas*: Con los materiales procedentes de la fábrica de cemento y de las cenizas de la Central Térmica se ha realizado la mezcla en las instalaciones de la obra hasta obtener la proporción deseada y que ha varido desde 70 por 100 de cemento y 30 por 100 de cenizas, con los que se inició el hormigonado de la presa, hasta el 60 por 100 y 40 por 100 realizado en la actualidad.

El cemento procedente de la fábrica, se almacena en 4 silos metálicos con una capacidad de almacenaje de 3.000 Tm., en tanto que la ceniza se acopia en 2 silos con una capacidad de 1.400 Tm.

El cemento y la ceniza se dosifican en peso en tolvas metálicas separadas desde las que se transportan a un recipiente común mediante unos tornillos alveolares de velocidad variable que regulan de esta manera la proporción de mezcla deseada, de tal manera que el comienzo y el final del paso de material por los tornillos se realiza simultáneamente. Tras el paso por estos tornillos se introduce el material en un recipiente longitudinal donde la acción de paletas giratorias prosiguen la homogenización de

la mezcla cemento-ceniza. El material homogenizado es transportado a los silos de la planta de hormigón mediante aerodeslizador horizontal y elevador de cangilones. Con este esquema se consiguen rendimientos de 85 Tm./h de fabricación de aglomerante. (Figura 13).

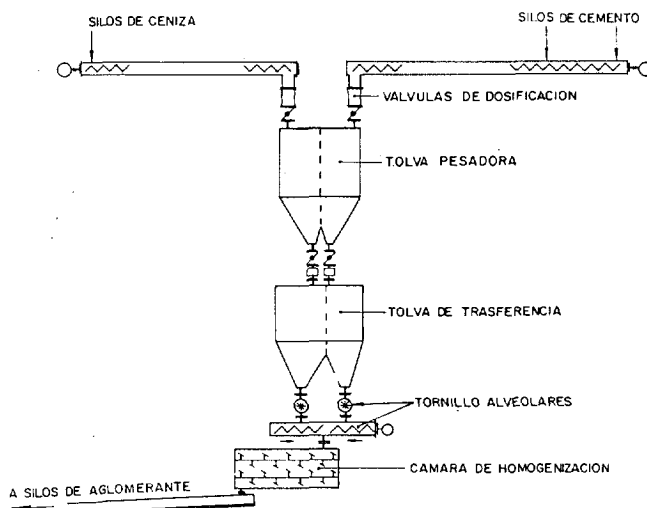


Figura 13.—Esquema de homogenización cemento-cenizas.

Periódicamente se ha analizado la composición de la mezcla cemento-ceniza, verificándose su correcto funcionamiento. En la actualidad se está utilizando la proporción de 60 por 100 de cemento y 40 por 100 de cenizas; con esta mezcla se realizan en el laboratorio de obra los ensayos de resistencia en probetas de mortero normalizado de 4 x 4 x 16 cms., habiéndose obtenido los siguientes resultados medios:

Edad en días ...	3	7	28	90
Resistencia flexotracción				
kg/cm <sup>2</sup> .....	35,5	48,7	75,2	104,8
Resistencia compresión				
kg/cm <sup>2</sup> .	176,6	238,8	340,2	460,3

Se han realizado ensayos sobre la mezcla para determinar el calor de hidratación según el método del calorímetro de Langavant, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

Edad en días ...	0,5	1	3	5
Calorías/gramo .	22,5	37,3	45,5	47,4

8.3.4. *Dosificación del hormigón*: La resistencia exigida para el hormigón de la presa en

el proyecto es de 150 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 90 días.

Para conseguir esta resistencia se ha usado en la gran parte del cuerpo de la presa la siguiente fórmula:

Aglomerante:	160 kg/m <sup>3</sup> , 60 % cemento.
Agua:	90 l/m <sup>3</sup> , 40 % de cenizas.
Consistencia:	0-1 mm. de asiento.
Relación agua/aglomerante:	0,61
Arido 1(0,07 a 1,2 mm.) ...	442 Kg/m <sup>3</sup> .
Arido 2(1,2 a 5,0 mm.) ...	180 Kg/m <sup>3</sup> .
Arido 3(5,0 a 15,0 mm.) ...	281 Kg/m <sup>3</sup> .
Arido 4(15,0 a 35,0 mm.) ..	350 Kg/m <sup>3</sup> .
Arido 5(35,0 a 70,0 mm.) ..	505 Kg/m <sup>3</sup> .
Arido 6(70,0 a 150,0 mm.) ..	526 Kg/m <sup>3</sup> .
Aglomerante .....	160 Kg/m <sup>3</sup> .
Agua .....	98 l/m <sup>3</sup> .
TOTAL .....	2.542 Kg/m <sup>3</sup> .

No se ha utilizado ningún tipo de aditivo en el hormigón.

Las resistencias medias obtenidas para el hormigón de presa han sido las siguientes:

Edad en días ..	3	7	28	90
Resistencia				
(kg/cm <sup>2</sup> ) .....	61	91	140	188

#### 8.4. Fabricación de hormigón

El hormigón se ha confeccionado en una central de hormigonado de capacidad normal de 240 m<sup>3</sup>/h, compuesta por dosificadoras horizontales con básculas independientes para cada árido, para agua, aditivos, aglomerante y cuatro hormigoneras de tipo bicónico con una capacidad de 3,25 m<sup>3</sup> de hormigón compactado cada una. La planta funciona de forma automática ordenada mediante microprocesador; todas las variables de las amasadas quedan registradas y archivadas con un ordenador personal adosado al microprocesador.

Las cuatro hormigoneras descagan sobre una tolva metálica receptora de hormigón de 9 m<sup>3</sup> de capacidad, desde donde se distribuye a los silobuses.

#### 8.5. Transporte del hormigón

El hormigón se transporta desde la central de hormigonado al muelle de cazos mediante dos

silobuses, cada uno de ellos con dos tolvas de 6,50 m<sup>3</sup> de hormigón compactado, con rodadura sobre railes y que vierten directamente a un cazo metálico de análoga capacidad. (Foto 11). El accionamiento de sus mecanismos de traslación y descarga es diesel e hidráulico.

La colocación sobre los bloques del hormigón se realiza mediante los cazos metálicos de 6,5 m<sup>3</sup> de capacidad de hormigón y que se transportan por medio de dos blondines de 20 Tn. de capacidad en gancho.

Los blondines son de tipo radial, compuesto por punto fijo y camino de rodadura terrestre. El punto fijo del blondín consta de una estructura metálica de 60,00 m., de altura sobre el terreno natural para cada uno de ellos; la parte inferior descansa sobre una rótula de manera independiente para cada uno en tanto que están unidos ambos en la parte superior, de tal

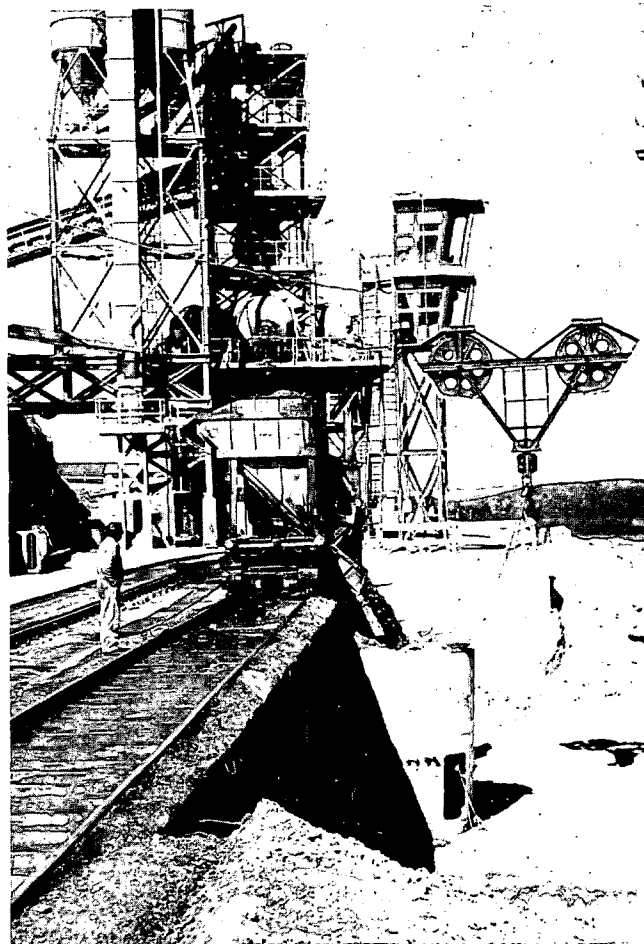


Foto 11.—Vertido del hormigón desde el silobús al cazo del blondín.

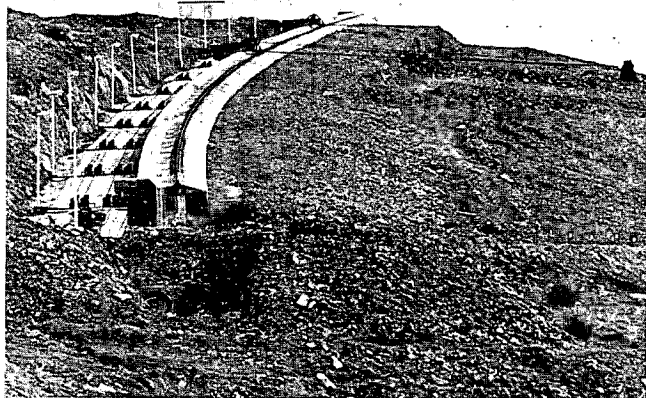


Foto 12.—Vista del camino de rodadura inclinado del minicarro.

manera que los cables de anclaje en el terreno de ambos blondines son comunes.

El componente móvil del blondín es el minicarro, tipo especial de carro móvil de reducidas dimensiones y que se desplaza con la ayuda de cabrestantes. De esta manera el desplazamiento puede realizarse sobre superficies inclinadas con lo que se ha podido realizar economías considerables en la obra civil con respecto al carro móvil sobre plataforma horizontal que tradicionalmente se había empleado en este tipo de obras. Los minicarros se desplazan a una velocidad de 2,25 m/min.

El cable carril es doble y anclado en ambos extremos. Los esfuerzos transmitidos al punto fijo se contrarrestan mediante cables de gran longitud anclados al terreno, los correspondientes a la zona móvil se transmiten a la viga de rodadura de hormigón que se ha anclado al terreno mediante anclajes de 30 m. de longitud, con capacidad de 50 Tn. y espaciados 3,00 m. a lo largo de los 150,00 m. del camino de rodadura. La pendiente del camino de rodadura ha sido el 28 por 100 (Foto 12).

Innovación técnica que merece destacar en esta disposición son los distanciadores fijos suspendidos de los cables carriles mediante abrazaderas especiales en las que la bicicleta enhebra suavemente en su recorrido al conjunto de distanciadores de tal manera que se evitan roces e impactos. Con esta rodadura se pueden alcanzar velocidades cercanas a 6,00 m/seg.

Las características técnicas de los blondines

se resumen a continuación:

Luz entre punto fijo y camino de rodadura .....	875,0 m.
Altura de punto fijo .....	60,0 m.
Desarrollo del camino de rodadura radial .....	180,0 m.
Pendiente del camino de rodadura .....	28 %
Velocidad de traslación .....	6,00 m/seg.
Velocidad de elevación .....	2,50 m/seg.
Capacidad de carga del gancho .....	20 Tn.
Potencia de los motores de traslación .....	550 CV.
Accidentes del mecanismo de traslación y elevación .....	Sistema WARD LEONARD.
Potencia del motor principal del grupo .....	1.000 CV.

### 8.6. Colocación del hormigón

En la compactación del hormigón se ha optado por el procedimiento clásico mediante vibración.

Tras la descarga del hormigón transportado en cazo de 6,5 m<sup>3</sup> se ha procedido a su extendido mediante tractor sobre orugas de 66 CV, a continuación se vibra mediante equipos de 6 vibradores oleo-hidráulicos interiores de 150 mm. de diámetro de aguja y de 7.500 r.p.m. montados en retroexcavadoras sobre orugas de 90 CV que ha proporcionado energía elevada de compactación y gran agilidad en las maniobras. (Foto 13).

Las alturas de tongada han sido de 2,50 m., dimensionando el encofrado metálico específicamente para esta obra, siendo capaz de resistir los empujes del hormigón fresco con una velocidad de ascensión de hormigonado de 0,5 m/h. El hormigón se ha colocado en subtongadas de 0,65 m. de espesor.

Al comienzo del fraguado se procede a limpiar con energía la cara superior de la tongada con objeto de verificar un contacto monolítico entre las tongadas superpuestas.

Durante todo el proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón se han dispuesto as-



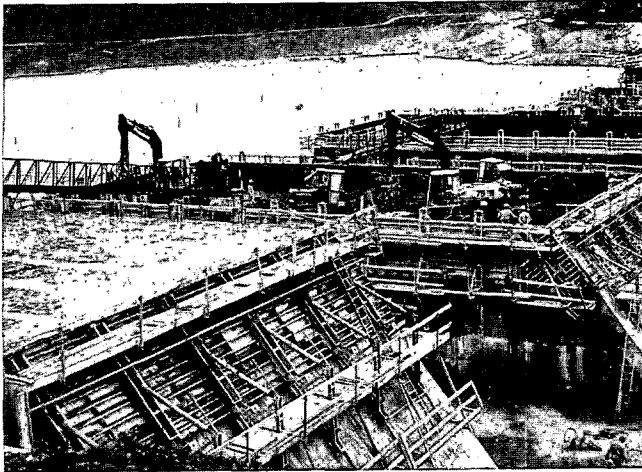


Foto 13.—Equipo de colocación de hormigón.

persores que producen un regado continuo del hormigón.

Con este equipo se ha conseguido un buen ritmo de hormigonado habiéndose alcanzado durante le mes de julio de 1987 un volumen colocado de 64.320 m<sup>3</sup>, obteniéndose una punta diaria de 3.550 m<sup>3</sup> el día 21 de mayo de 1987. La cantidad total hormigonada hasta la fecha

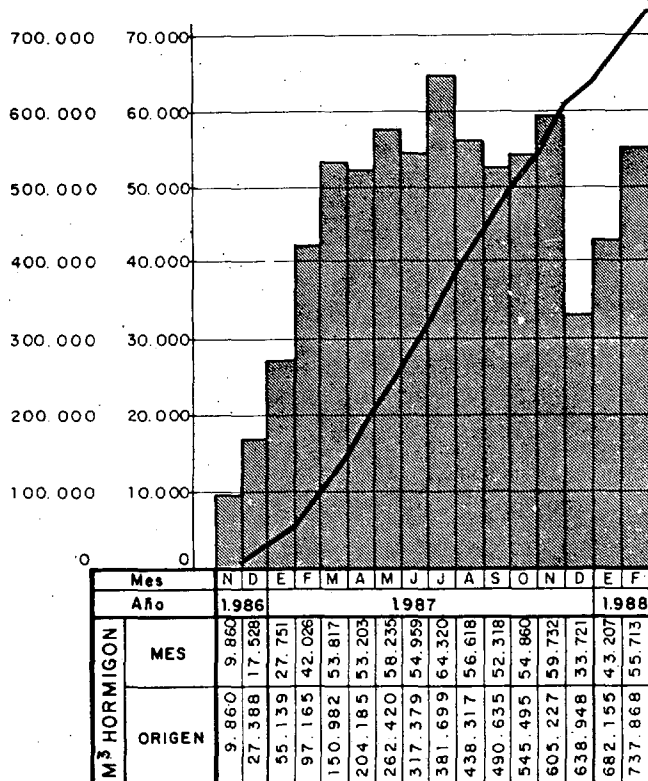


Fig. 14.—Colocación del hormigón. Distribución mensual y acumulada.

(finales de febrero de 1988) supera el 60 por 100 del total de la obra, habiéndose obtenido una media de hormigonado superior a los 50.000 m<sup>3</sup>/mensuales. En la figura 14 adjunta puede observarse la distribución mensual y acumulada de los volúmenes de hormigón colocado. En las fotos 14 a 17 se puede observar el aspecto de las obras a finales de febrero de 1988.

De manera periódica se realizan tomas de muestras en el hormigón compactado y endurecido mediante probetas de gran tamaño (cilíndricas de 250 mm. de diámetro). De la resistencia obtenida con la rotura de estas probetas se obtiene una buena correlación con la obtenida mediante la rotura de probetas normalizadas de 150 mm. de diámetro.

La densidad del hormigón obtenida en los

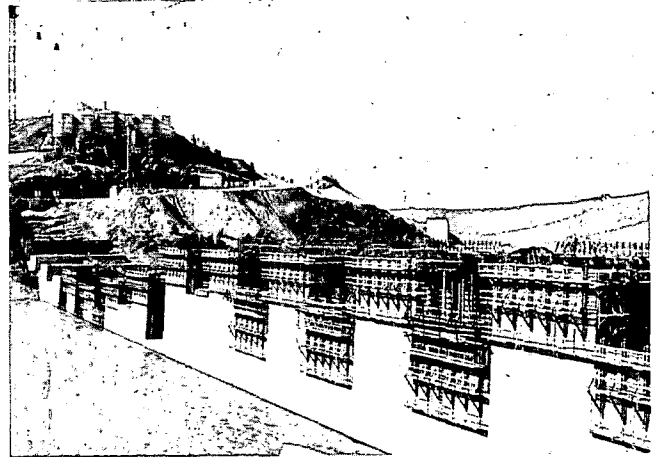


Foto 14.—Vista desde aguas arriba del estado actual de la obra.

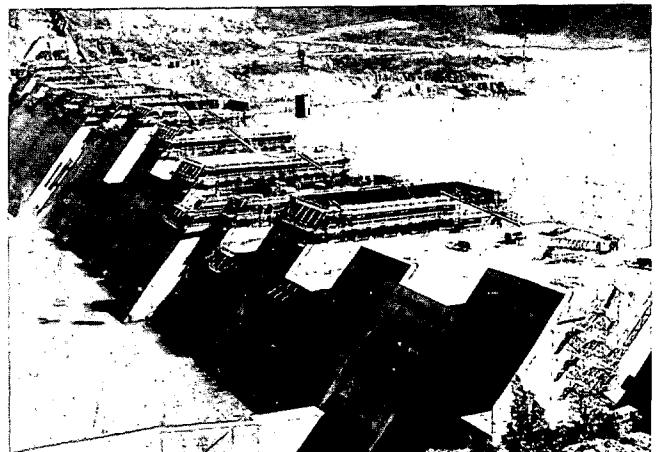


Foto 15.—Vista desde aguas abajo del estado actual de la obra.

## LA PRESA DE LA SERENA

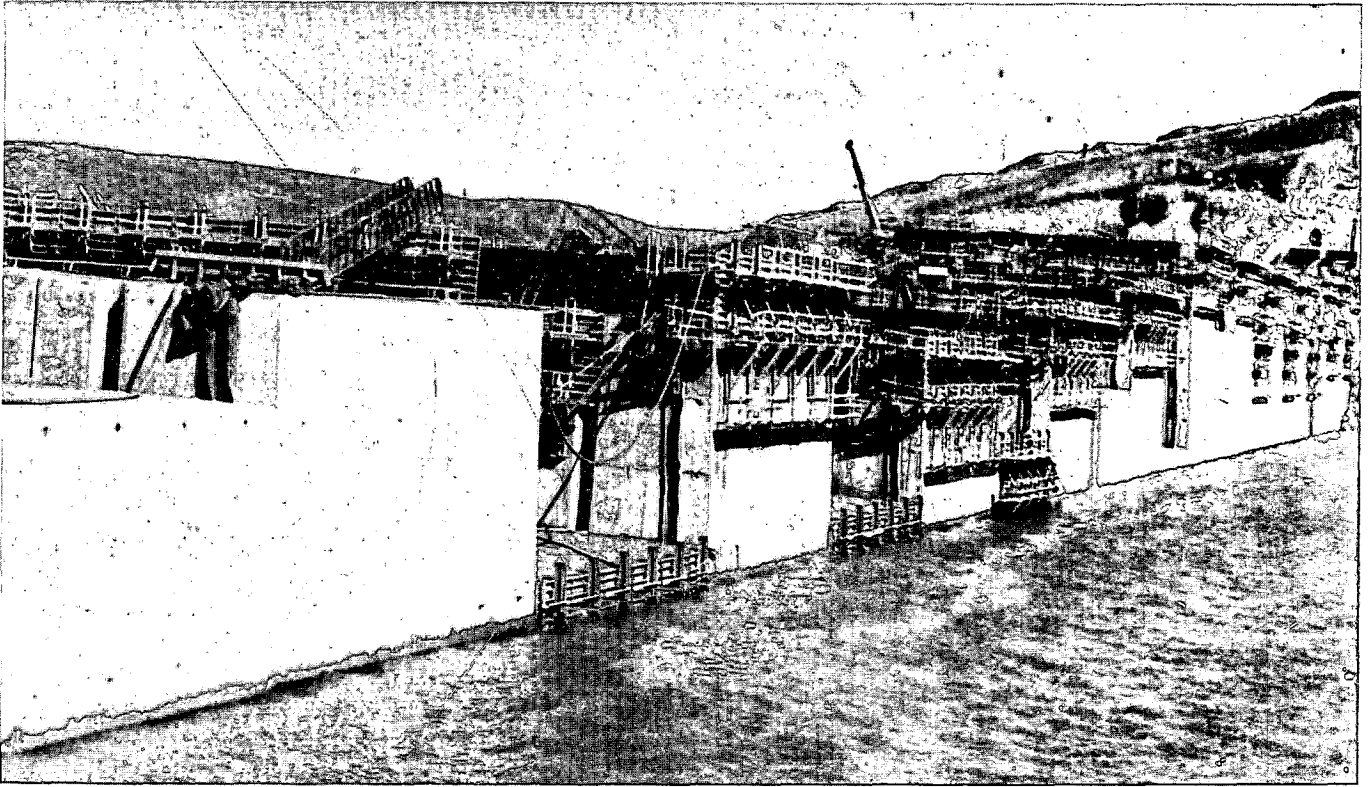


Foto 16.—Vista desde aguas arriba del estado actual de la obra.

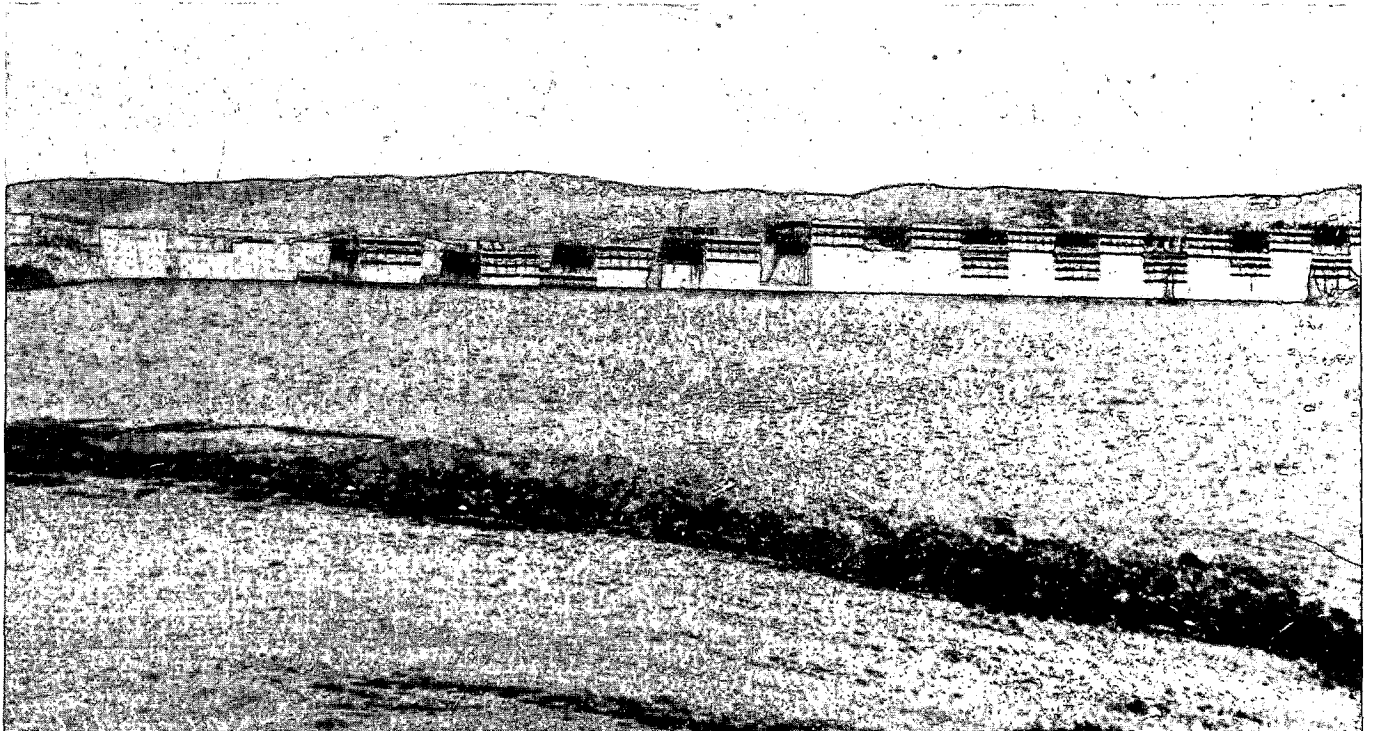


Foto 17.—Embalse de la Serena con la presa en construcción.

### 9. CONTROL DE TEMPERATURAS

Las elevadas temperaturas existentes durante el verano en la zona de la presa hicieron tomar una serie de precauciones sobre el control de las temperaturas con objeto de evitar que un hipotético incremento de las mismas pudieran dar lugar a tensiones de origen térmico que provocaran fisuras en el hormigón, sobremanera, a edades tempranas.

Como ya se ha comentado en apartados anteriores se ha actuado sobre la masa de los áridos gruesos produciendo un enfriamiento de los mismos tras su paso por el tunel de refrigeración y del regado previo en los acopios.

Asimismo, se ha optado por una elevada capacidad de almacenamiento del cemento en la presa, de tal manera que la temperatura del aglomerante antes de su entrada en la planta de hormigón no exceda de 40°.

Con estas precauciones las mediciones efectuadas de temperatura en el hormigón indican que en los meses de máximas temperaturas ambientales se ha colocado por debajo de los 21° C.

Para vigilar su evolución se ha procedido a una campaña intensa de colocación de sondas

de temperatura tipo PT-100 dentro de los bloques de hormigón y vigilar su evolución.

Con las lecturas de los resultados se ha determinado la curva de incremento de temperatura del hormigón (Fig. 15) en la que se observa que sin ningún tipo de refrigeración tras la puesta en obra del hormigón salvo el regado de las superficies expuestas a la intemperie el incremento de temperatura esta cercano a los 12,3° produciéndose aproximadamente a las 60 h. de su colocación. Los máximos incrementos de temperatura se producen en las 12 primeras horas de colocación del hormigón en que se puede estimar un incremento de temperatura relativamente uniforme de 0,6° hora.

Asimismo, se han seguido colocando sondas de temperatura dentro del hormigón llevándose un seguimiento constante de estos parámetros.

### 10. TRATAMIENTO DEL TERRENO

Está prevista la realización del tratamiento de consolidación del terreno en toda la superficie de cimentación haciendo una labor más enérgica en aquellos lugares donde los estudios

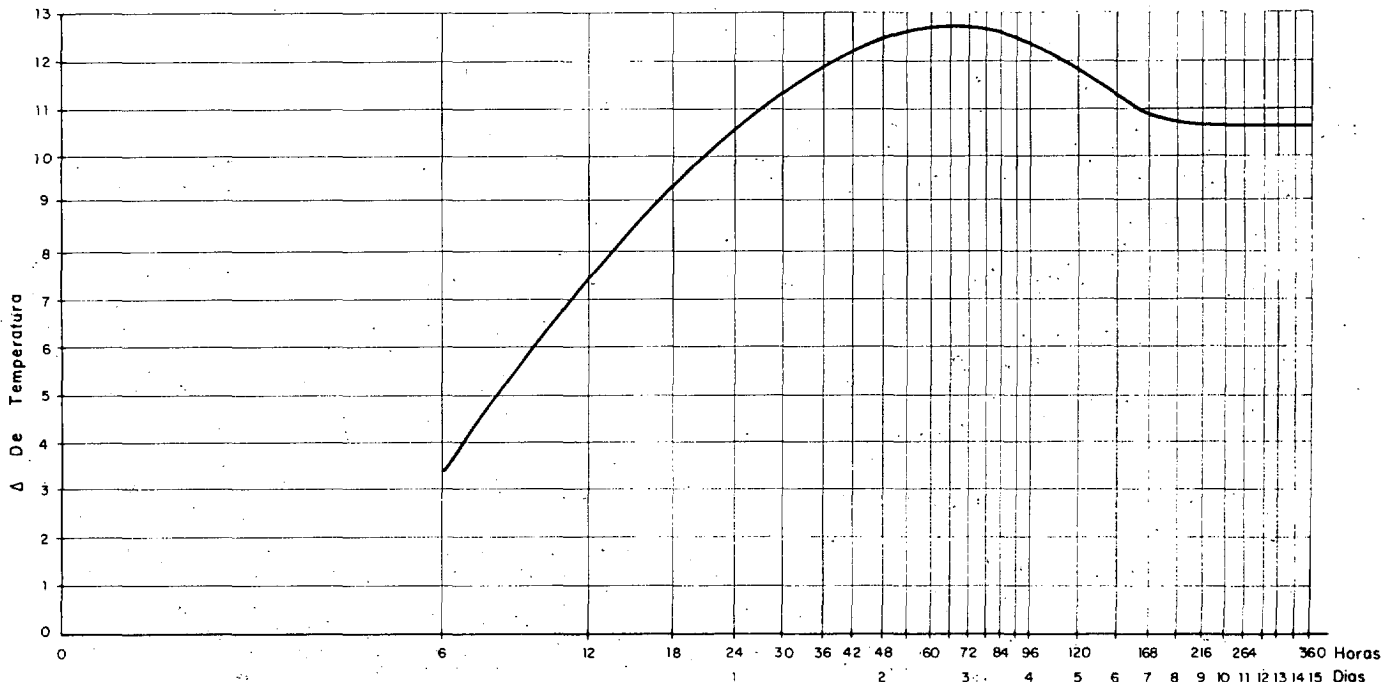


Figura 15.—Incremento de temperatura del hormigón tras su colocación.

geológicos realizados durante la excavación de la presa así lo demandan, como es el caso de las fugas afectadas por los fallos a los que se ha hecho mención anteriormente.

Asimismo, está previsto la realización de inyecciones de impermeabilización aguas arriba de la presa con sus correspondientes taladros de drenaje para controlar la aparición de subpresiones.

## 11. RESTITUCION DE SERVICIOS AFECTADOS

Coetáneamente con la construcción de la presa se lleva a cabo la labor de restituir los servicios que serán afectados por el llenado del embalse. Las variantes de los caminos exigen la construcción de 7 grandes viaductos de diversas longitudes y alturas de pilas que llegan a los 60 m.

### 11.1 Viaductos

La relación de los viaductos necesarios es la siguiente (Figura 16).

Viaducto de Sancti Spiritus con longitud de 619 m.

Viaducto de Masatrigo con longitud de 673 m.

Viaducto de Talarrubias-Siruella con longitud de 422 m.

Viaducto de Almorchón con longitud de 331 m.

Viaducto de Capilla-Garlitos con longitud de 653 m.

Viaducto de Belalcazar con longitud de 205 m.

Viaducto de Pañalobar con longitud de 353 m.

En el primer año se ha realizado el viaducto de Almorchón, que aparte de restituir la comunicación entre Puebla de Alcocer y Castuera era el acceso idóneo para la entrada de la maquinaria de las instalaciones previas al hormigonado de la presa. Las servidumbres del embalse citadas anteriormente, no permitían el inicio de las cimentaciones hasta el otoño del año 1985. Dada la poca potencia de acarreo en este arroyo las zapatas directamente apoyadas sobre la roca, se realizaron en el plazo de mes y medio.

Las pilas y vigas se diseñaron para una ejecución prefabricada en factoría; con dimensiones máximas inferiores a 40,00 m. Los fustes

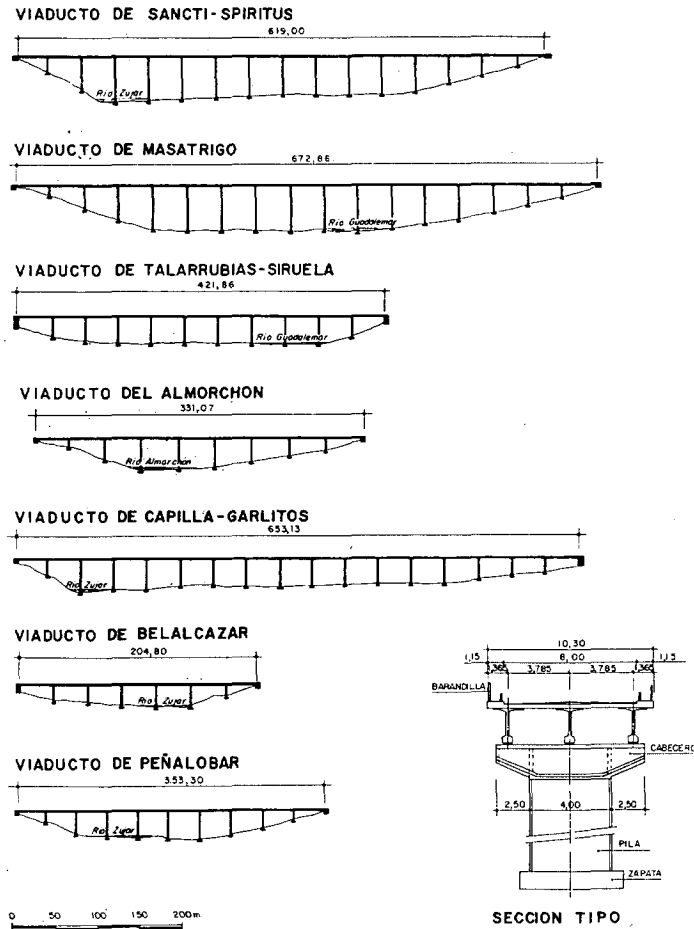


Figura 16.—Viaductos.

constaban de 3 pilas cilíndricas de 1,37 m. de diámetro exterior, unidos en su parte superior por dinteles, asimismo prefabricados. Sobre ellos se colocaban 4 vigas por vano con una longitud de 36,77 m. cada uno de ellos.

La maniobra de colocación de los prefabricados se realizó en el plazo de siete semanas mediante la utilización de una grúa de gran potencia. El hormigonado posterior del tablero permitió el uso del puente a mediados de enero del año 1986 pudiéndose embalsar de esta manera la cantidad de agua necesaria para los riegos del Zújar sin que se vieran afectados los accesos a la obra (Foto 18).

La tipología de los restantes viaductos ha venido determinada por la altura de los fustes, de tal manera que en los superiores a 40,00 m. se eligió la solución de hormigón deslizado. Esta solución se adoptó para los viaductos de Sancti Spiritus, Masatrigo, Talarrubias y Garlitos, to-

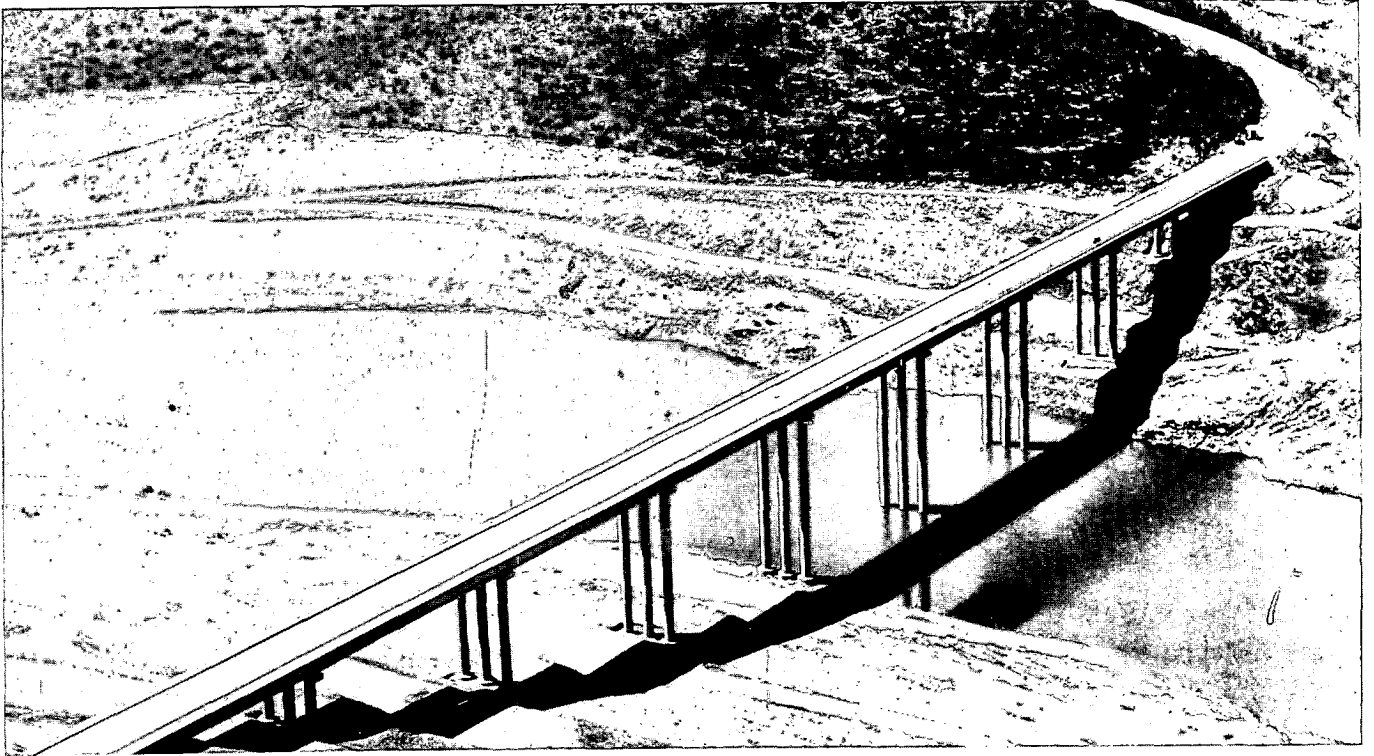


Foto 18.—Viaducto del Almorchón.

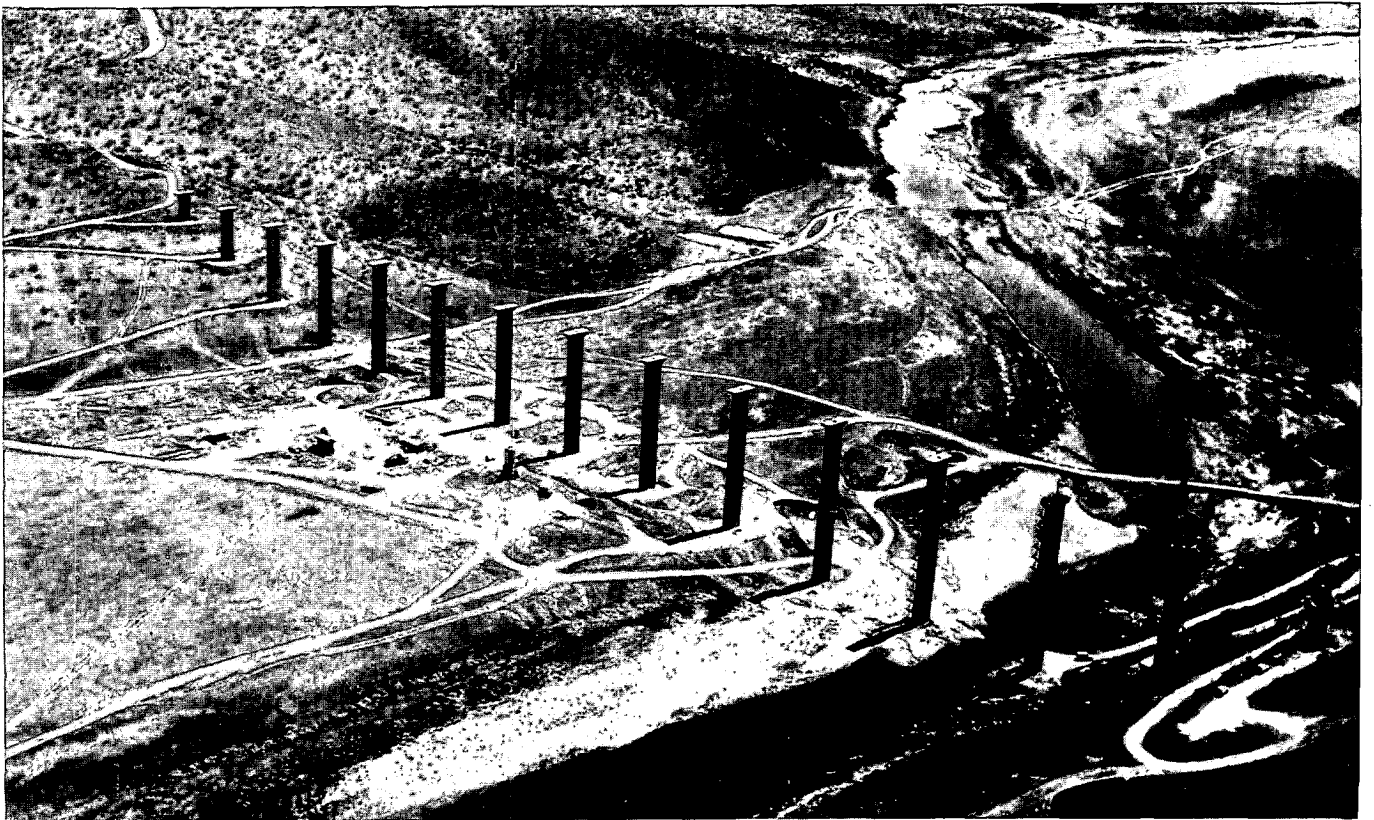


Foto 19.—Pilas deslizadas del viaducto de Sancti-Spiritus.

talizando entre todos una longitud de 2.057 ml. de pila deslizada, sección en forma de cajón y dimensiones variables en función de la altura de las pilas. La solución adoptada para los viaductos de Belalcázar y Peñalobar fue análoga a la del Almorchón, es decir, los fustes se realizaron con pilas prefabricadas.

La cimentación ha sido directa sobre el sustrato rocoso en gran parte de las mismas salvo en aquellos lugares en que la potencia de acarreo superaba los 8,00 m. en los que se emplearon pilotes de 1,20 m. de diámetro con revestimiento metálico hincado mediante vibración y posteriormente recuperado tras su excavación y hormigonado.

El tablero se forma mediante la colocación de 3 vigas prefabricadas en factoria con longitudes máximas de 39,00 m. sobre la que se colocaría la losa de compresión y acabados del mismo.

Habiéndose acabado el viaducto del Almorchón a comienzos del año 1986, a finales de agosto del mismo año se inició la construcción de los restantes habiéndose realizado hasta la fecha (febrero de 1988) las siguientes labores:

a) Cimentación: Se han terminado los trabajos de la misma en todos los viaductos, salvo en el de Peñalobar en el cual faltan únicamente las 3 zapatas en el cauce del río y el de Belalcázar en el que no se han iniciado las labores.

b) Fustes: Se ha finalizado el deslizamiento en todos los viaductos en que se había de-

cidido esta solución. Las labores se iniciaron en el mes de diciembre de 1986 habiéndose terminado en enero de 1988 por un total de 2.057 ml. con puntas diarias a 12 ml. deslizados. Aún no se ha comenzado la colocación de los fustes prefabricados en los dos viaductos restantes. (Foto 19).

c) Vigas: Se han colocado 183 unidades de vigas correspondientes a los viaductos de Sancti Spiritus, Masatrigo y Siruela-Talarrubias. La operación de izado, aproximación y colocación de cada viga se ha realizado con el trabajo conjunto de 2 gruas sobre orugas funcionando sincronizadamente. Todas estas unidades se han colocado en los meses comprendidos entre agosto y noviembre aprovechando el final de la estación seca y antes de que llegaran las avenidas del río Zújar.

### 11.2. Variantes de caminos

Se ha realizado hasta el momento la explotación de los caminos siguientes:

a) Accesos a la presa con un total de 16 Km. de longitud.

b) Variante de carretera de Cabeza del Buey a Puebla de Alcocer con un total de 23 km., de longitud.

c) Variante de carretera de Capilla a Garlitos con un total de 13 km. de longitud.

Todo ello supone un porcentaje del 58 por 100 sobre el total de las longitudes de carreteras previstas.