

# Presas de Alange

Por JOSE BARRAU, MANUEL GONZALEZ, CANDIDO GONZALEZ  
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

## 0. INTRODUCCION

En un trabajo recientemente publicado(\*) se han expuesto ya los aspectos de esta presa relativos a la subcuenca que regula, dentro de la cuenca del río Guadiana, y los de su planificación, proyecto y solución elegida entre las distintas alternativas consideradas.

Por otra parte, sus características más importantes se recogen en la ficha técnica adjunta.

## 1. CARACTERISTICAS DE LA OBRA

Admitida la idoneidad de la solución de presa de gravedad en hormigón, como premisa básica, puede afirmarse que, tanto por lo que respecta al cimiento como a la obra en sí, la presa de Alange constituye un ejemplo claro de macroestructura sencilla y eficaz.

### 1.1. La situación, el soporte y su tratamiento

Sobre el río Matachel, afluente del Guadiana, con una superficie aportadora de unos 2.500 Km<sup>2</sup>., y unos 8 Km., aguas arriba de su desembocadura, se asienta la presa que, por otra parte, resulta fácilmente accesible al encontrarse a 2 km., escasos del núcleo que le da nombre y a unos 18 km., de la capital autonómica extremeña: Mérida.

El sustrato rocoso sobre el que se asienta la estructura está constituido, básicamente, por alternancias de areniscas, cuarcitas y pizarras (correspondientes al Paleozoico inferior y medio, con fuerte componente, en este último, del Ordovícico). En la margen derecha de la cerrada, afloran crestos de cuarcitas armoricanas, que proporcionan un adecuado asiento para la presa.

La actividad hidrotermal existente en la zona, manifestada y aprovechada desde antiguo

en los baños romanos de Alange que siguen en explotación actualmente, no afecta al cimiento de la presa, tal como han mostrado las largas y profundas series de sondeos llevados a cabo tanto durante la fase de estudio, como durante la ejecución de la obra.

La margen izquierda del asiento de la presa se encuentra geológicamente arrasada, por lo que resulta menester un gran desarrollo de ésta para encontrar la cerrada, lo que justifica la planta curva adoptada.

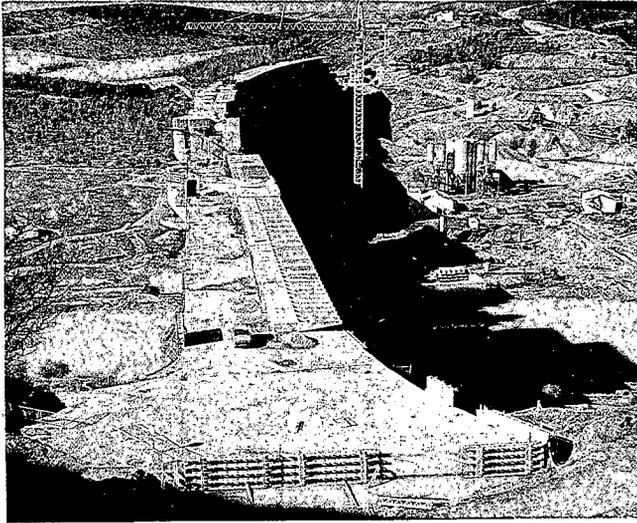
Como accidentes locales pueden citarse tres fracturas primordiales, de sentido aproximado N-S, con buzamientos que oscilan desde el Este, en la margen derecha, al Oeste, en la margen izquierda. Exceptuando la situada en el cuenco de presa, que soportará la mayor carga de agua (unos 65 m. en M.N.N.), las demás, localizadas una en cada margen, carecen de relevancia, al encontrarse sus afloramientos a cotas elevadas.

La falla del cuenco fue objeto de especial atención:

Con un buzamiento aproximado de 60° W y una anchura media en superficie de contacto hormigón-roca de 2,00 m., reveló un relleno de arcilla margosa, blanco-amarillenta, el cual, sometido a los pertinentes ensayos de dispersibilidad por tubificación, ofreció un magnífico comportamiento. Posteriores sondeos de reconocimiento desvelaron una marcada tendencia al acuífero de la falla en función de la profundidad, lo que sugirió el tratamiento a seguir: Se eliminó el material de relleno en unos 2 m. de profundidad, rellenando inmediatamente el hueco con hormigón de presa, y se llevó a cabo, una vez hormigonado el cauce, una campaña de inyecciones de impermeabilización, que eliminan el peligro de subpresiones transmitidas a través de los contactos del material de relleno de la falla con los bordes rocosos de la misma.

Tratamiento análogo, a pesar del menor com-

(\*) Revista CAUCE 2000.



Panorámica de la presa desde el estribo derecho. Al fondo, a la derecha, conjunto de instalaciones de clasificación de áridos y elaboración de hormigón.

promiso para la estabilidad de la presa, se ha llevado a cabo en las fallas de las laderas.

Por lo demás, las buenas condiciones del macizo rocoso hacen que la necesidad de pantalla de impermeabilización se limite al cauce, quedando reducido el tratamiento de la cimentación a la pertinente campaña de consolidación, para mejorar el módulo dinámico de la roca, y garantizar, dentro de lo posible, el contacto hormigón-cimiento.

### 1.2. La estructura

La presa, que determina un embalse de 850 Hm<sup>3</sup> de capacidad, cúbica unos 620.000 m<sup>3</sup> de hormigón en masa, según un típico perfil triangular con taludes de 0,05 (agua arriba) y 0,75 (aguas abajo). La estructura se compone de 50 bloques, de unos 15 m. de longitud, delimitados por las juntas transversales correspondientes. Además, se dispone una junta longitudinal que reduce, para la construcción, la dimensión transversal de los mismos y que, posteriormente, es inyectada para conseguir el monolitismo necesario.

En la presa se han definido tres niveles de galerías longitudinales (la inferior como perimetral), que posibilitan la inspección detallada de todas y cada una de las juntas transversales, así como la accesibilidad a las proximidades del cimiento, y la captación, evaluación y eliminación

del agua de filtración que pueda existir a causa de la permeabilidad del macizo rocoso y de la presa.

Además de este plano de inspección (situado a escasos metros del paramento de aguas arriba de la presa), en un nivel intermedio y siguiendo la junta longitudinal, discurre otra galería interconectada con las anteriores, que ha sido diseñada al objeto de facilitar su inyección con el fin antes citado.

La estructura se complementa con los órganos de desagües siguientes: aliviadero de superficie, regulado por compuertas de sector, capaz para desaguar unos 1.200 m<sup>3</sup>/s. de caudal; y desagües de fondo, capaces de eliminar aproximadamente 250 m<sup>3</sup>/s. a carga máxima, controlados por compuertas tipo vagón. La disipación de energía se logra mediante cuenco amortiguador, dotado de dientes curvos y convergentes con el fin de fijar el resalto y contribuir a la tranquilidad del flujo.

### 1.3. El conglomerante

La necesidad de rebajar, en lo posible, la energía liberada por el fraguado del hormigón en forma de calor (habida cuenta de las elevadas temperaturas estivales que caracterizan la zona), ha conducido al empleo (con la consiguiente economía y luego de las imprescindibles pruebas preliminares), como conglomerante hidráulico, de una mezcla de cemento P-450-ARI y cenizas volantes.

La proporción elegida, 70 por 100 - 30 por 100 (cemento, ceniza), ha sido suficiente para el fin perseguido. En efecto, el calor de hidratación se redujo en unas 20 cal/grs., lo que representa un 25 por 100 con respecto a sólo cemento, y las resistencias han oscilado entre el 75 por 100 y el 80 por 100 de las correspondientes a idéntica circunstancia. No obstante, al ser 150 Kp/cm<sup>2</sup> la exigencia de resistencia característica, a edad de 28 días, según el pliego de prescripciones técnicas particulares, y a edad de 90 días, según la vigente Instrucción de Grandes Presas, no ha existido dificultad alguna en cumplirla. En la confección del hormigón masivo se han empleado áridos rodados, procedentes de las riberas del río Guadiana, próximas a las obras, que han cubierto desahogadamente las necesidades de la obra.

#### 1.4. Los medios para su construcción

Colocar el volumen de hormigón de presa al principio apuntado, en un reducido plazo de tiempo, (que en la práctica se ha concentrado en unos 35 meses), comporta una estructura organizativa seria, en cuanto a medios se refiere.

La solución adoptada por el Constructor ha dado un excelente resultado a lo largo de unos tres (3) años de funcionamiento, y se concreta, de forma esquemática y reducida, en los extremos siguientes:

##### 1.4.1. Instalación de clasificación mecánica

A fin de conseguir la máxima compacidad del hormigón, se ensayaron fórmulas de trabajo, que contemplaran seis (6) tamaños de áridos: cuatro (4) de gravas y dos (2) de arenas. El tamaño máximo quedó fijado en 120 mm., siendo los límites granulométricos.

- arena fina ..... 1,25 (mm)
- arena gruesa ..... 1,25-5,00 (mm)
- gravilla ..... 5,00-20,00 (mm)
- grava ..... 20,00-40,00 (mm)
- grava gruesa ..... 40,00-80,00 (mm)
- grava muy gruesa . 80,00-120,00 (mm)

Conseguidos con una instalación convencional para las gravas y con una de ciclonado, por vía húmeda para las arenas (almacenándose las más finas en silos metálicos).

##### 1.4.2. Instalación de hormigonado

Prevista para una producción nominal de 170 m<sup>3</sup>/h, la instalación de hormigonado fue planteada mediante dos líneas iguales de producción dispuestas en paralelo.



Detalle del cimientto de la presa. Alternancias de arenisca, cuarcita y pizarra.

Los elementos constitutivos, por planta, fueron los siguientes:

*Unidad de almacenado y dosificación de áridos:*

Seis (6) tolvas, de 20 m<sup>3</sup> de capacidad, dotadas de medidores de humedad y balanzas para dosificación, automática/manual, gravimétrica.

- Dos (2) cintas transportadoras (una colectora y otra elevadora de áridos).

*Unidad de almacenado y dosificación de conglomerante:*

- Dos silos, de 80 T de almacenamiento, uno para cemento y otro para ceniza (dotados de sinfines y tolva de pesado con capacidad para dosificación de amasadas de 4 m<sup>3</sup>), alimentados desde una batería de tres silos (2 para cemento y 1 para cenizas), de 800 T., comunes para las dos plantas.

- Hormigonera basculante, de 4 m<sup>3</sup>. de capacidad. Todo ello controlado desde cabina.

##### 1.4.3. Transporte y puesta en obra

Resuelto con silobuses, dimensionados con amplitud para no constituir caminos críticos en la producción, el transporte ha sido una de las unidades de mejor funcionamiento a lo largo de la obra. Su capacidad de 4,85 m<sup>3</sup>, fue suficiente para transportar, cómodamente y con rapidez, los 3,75 m<sup>3</sup>. de amasada efectiva.

La colocación del hormigón quedó resuelta con dos gruas torre, de 52 m. de pluma y hasta 73 m., de altura, con capacidad máxima de 18 T., y carga en punta de 12 T. La extensión y vibrado del hormigón, dentro de cada bloque, corrió a cargo de tractores de orugas de 42 CV. de potencia, provistos de cuchilla de empuje y bastidor de accionamiento hidráulico, donde se colocó una batería de tres (3) vibradores, de 60 cms. de longitud de agujas y 15 cms. de diámetro, para atender el vibrado de la masa extendida de hormigón fresco.

El curado del producto colocado se realizó con distribuidores de lluvia artificial, sin que, prácticamente, se hayan detectado fisuras de retracción.



Ejemplo de limpieza de la cimentación.

### 1.5. Los rendimientos obtenidos

Con los elementos descritos y el equipo humano preciso, se han conseguido los rendimientos siguientes de puesta en obra de hormigón:

— Rendimiento medio diario .....	900 m <sup>3</sup>
— Punta máxima alcanzada .....	1.900 m <sup>3</sup> /día
— Rendimiento medio horario de la punta máxima .....	100 m <sup>3</sup> /hora
— Rendimiento medio mensual .....	16.700 m <sup>3</sup>
— Punta máxima alcanzada .....	26.500 m <sup>3</sup> /mes
— Rendimiento medio diario de la punta máxima .....	1.150 m <sup>3</sup> /día
— Rendimiento medio anual .....	200.000 m <sup>3</sup>
— Punta máxima alcanzada .....	242.000 m <sup>3</sup> /año
— Rendimiento medio mensual de la punta máxima .....	20.200 m <sup>3</sup> /mes

Estos rendimientos han sido conseguidos teniendo en cuenta que, durante los meses de Marzo a Octubre, se hormigonó en dos turnos (con comienzo a la caída de la tarde y finalización en la mañana siguiente), para evitar los perniciosos efectos de las elevadas temperaturas estivales y, durante los meses de noviembre a febrero, se hornigonó en un solo turno (diurno).

## 2. CONTROL DE CALIDAD

Aunque una obra hidráulica como la presente comprende un sinnúmero de actividades importantísimas para su control, por elementales necesidades de espacio, sólo se hará aquí una referencia al realizado sobre el hormigón.

Se ha considerado oportuno ejercer un control estadístico de las resistencias del material producido en la planta de hormigonado, habida cuenta de la calidad de los medios mecánicos y de la homogeneidad de los elementos constitutivos del hormigón, que, al disponer en obra de un laboratorio bien dotado de medios y equipo humano, ha permitido efectuar un seguimiento casi exhaustivo de la calidad del producto fabricado.

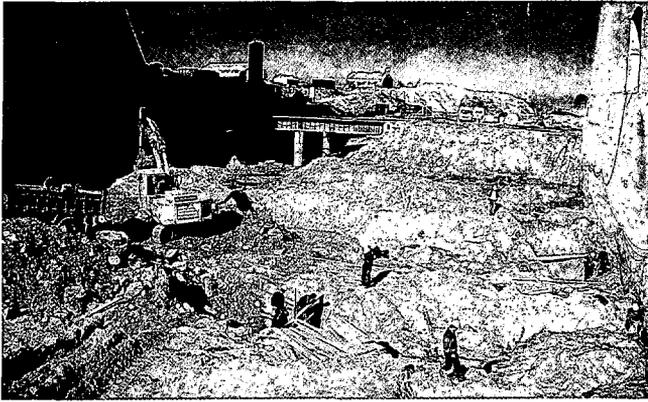
El control sistemático se ha extendido a los distintos componentes del hormigón (conglomerante, agua y áridos), que se han analizado bajo los aspectos usuales semanalmente, con intensidad más acusada cuando se han detectado anomalías o desviaciones excesivas de los distintos parámetros determinantes de los mismos.

La resistencia a compresión del hormigón de presa se ha evaluado teniendo en cuenta los resultados de rotura a compresión realizados sobre probetas cilíndricas normalizadas de 30 cms. de altura y 15 cms., de diámetro, curadas en cámara húmeda bajo las especificaciones de las normas vigentes.

La producción diaria, dividida en tongadas a su colocación en obra, se ha controlado efectuando aleatoriamente, sobre silobús, tomas de muestras de ocho (8) probetas cada una, de tal suerte que la frecuencia ha sido de una muestra cada 200 m<sup>3</sup>, de producto, como mínimo, y sin que ninguna tongada, por mínima que fuera, quedara sin, al menos, una muestra representativa.

De las ocho (8) probetas constitutivas de cada muestra, se reservaron dos (2) probetas para romper a cada una de las edades siguientes: 3, 7, 28 y 90 días.

Con las 2 n probetas (siendo n el número de nuestras diarias) de cada jornada de hormigonado, se obtienen los siguientes parámetros: media, desviación típica, coeficiente de varia-



Aspecto del sustrato rocoso antes de las operaciones de saneo y limpieza.

ción y resistencia característica, que sirven para tener información de la característica controlada: la resistencia a compresión a distintas edades y la evolución probable, en el tiempo, de la misma.

Este tipo de control, siguiendo las recomendaciones contenidas en la nota ACI 214-77, ha suministrado criterios muy precisos para la aceptación o rechazo del hormigón elaborado, cuya descripción completa se sale del ámbito del presente escrito.

Los ensayos anteriores se han completado con resultados de roturas a compresión, a edades de 180 y 360 días, para conocer la evolución de resistencias a lo largo de períodos más dilatados de tiempo, así como con ensayos de rotura a temprana edad (entre 24 y 72 horas), en el período de marzo a octubre de cada año con objeto de modificar, coyunturalmente, los tiempos mínimos de desencofrado indicados, de forma genérica, en las especificaciones del proyecto.

Para obtener una visión general, pero lo más documentada posible, de los procesos de fraguado y endurecimiento del hormigón y de sus implicaciones en la evolución de resistencias a compresión, se han llevado, en paralelo, las mediciones de temperaturas, tanto ambiental, como de los componentes en la planta y del hormigón fresco, completadas con datos del desarrollo de las mismas en el hormigón de presa durante el endurecimiento del mismo.

Estas últimas ha sido posible conseguirlas mediante la colocación en zonas seleccionadas

de la presa, de sondas termométricas de resistencia, que seguirán suministrando datos en el futuro, durante la explotación de las mismas.

## 2.1. Algunos resultados obtenidos

Teniendo en cuenta que, para la determinación de la resistencia a compresión del hormigón, se han elaborado algo más de 24.000 probetas, resulta fácil imaginar que puedan extraerse conclusiones muy fiables del comportamiento de este material, de las que, a modo de adelanto de publicaciones más extensas y específicas, se enuncian las siguientes:

### 2.1.1. De las resistencias del hormigón

Con la nutrida densidad de datos que existen, relativos a cada fórmula de trabajo, se ha constatado que:

- Los coeficientes de correlación entre las resistencias medias a distintas edades, han oscilado entre los extremos siguientes:

$$0,52 \leq R_{3/R_{28}} \leq 0,64$$

$$0,67 \leq R_{7/R_{28}} \leq 0,78$$

$$0,72 \leq R_{28/R_{90}} \leq 0,84$$

en donde  $R_3$ ,  $R_7$ ,  $R_{28}$  y  $R_{90}$  representan las resistencias medias a compresión del hormigón a las edades, en días, expresadas por cada subíndice.

- Los valores medios de tales correlaciones son:

$$\frac{R_3}{R_{28}} = 0,60; \quad \frac{R_7}{R_{28}} = 0,75; \quad \frac{R_{28}}{R_{90}} = 0,79$$

- Las resistencias a compresión, a edades tempranas, entre 24 y 72 h. se han manifestado muy influenciadas por la temperatura ambiental, y naturalmente por la del hormigón fresco, descendiendo mucho la resistencia para temperaturas ambientales próximas a  $+1^\circ \text{C}$ , aún cuando posteriormente hayan recuperado, al menos en parte, el retraso en adquirir las resistencias normales.
- Las resistencias a tracción, obtenidas mediante el ensayo brasileño, han arrojado cifras ya conocidas, comprendidas entre

el 9 por 100 y el 12 por 100 de las correspondientes a compresión.

2.1.2 De las temperaturas del hormigón

Este parámetro, determinante del comportamiento reológico del hormigón durante los procesos de fraguado y endurecimiento del mismo, ha suministrado los resultados que a continuación se expresan:

- Se ha constatado una buena correlación entre temperatura ambiental y temperatura del hormigón fresco, elaborado con áridos y agua sin especiales medidas de protección, que proporciona temperaturas del hormigón superiores a las del ambiente, para valores de éste inferiores a 25° C y a la inversa para valores de la temperatura ambiente superiores a ese extremo.
- Existe también, una excelente correlación entre temperatura del hormigón fresco, y la temperatura previsible de la mezcla, deducida de las temperaturas de los diversos componentes del hormigón, antes de la elaboración de aquélla. Ello resulta de gran eficacia cuando se han de tomar decisiones en obra respecto al arranque o interrupción del hormigonado bajo condiciones límites.
- Se ha constatado que durante las primeras 72 h., siguientes a la colocación del hormigón en obra, tiene lugar una evolución de la temperatura de la masa no inferior al 95 por 100 de la temperatura máxima alcanzada por el hormigón.
- El incremento térmico experimentado por el hormigón durante su fraguado y primeros tiempos del endurecimiento aumenta con la temperatura ambiente. Se han detectado elevaciones de 11° C, para temperaturas medias ambientales de 23° C, y elevaciones de 15° C, para ambiente con temperaturas medios del orden de 28° C.
- Se ha podido comprobar, en la zona, un desfase entre temperaturas de hormigón, (con edades próximas al año) y del ambiente, de unos 2,5 meses, circunstancia que debe ser tenida en cuenta a la hora

de determinar la época ideal para inyectar juntas.

3. EPILOGO

Las citadas limitaciones de espacio obligan a reducir la información disponible a una mera exposición de hechos constatados. Queda, pues, el compromiso de desarrollar en el futuro, con mayor enjundia y profundidad, estos y otros temas, que demuestran la versatilidad de una obra, que, por otra parte, puede considerarse como «clásica» en su concepción y ejecución.

FICHA TECNICA

1. EMBALSE

Rio .....	Matachel.
Cuenca de aportación .....	2.545 km <sup>2</sup> .
Volumen en M.N.N. ....	825 Hm <sup>3</sup> .
Superficie de embalse en M.N.N. ..	50 km <sup>2</sup> .

2. PRESA

Volumen de hormigón .....	620.000	m <sup>3</sup> .
Longitud de coronación .....	720	m
Altura sobre cimientos .....	67,35	m
Cota de coronación .....	278,85	m
Cota de cimentación (mínima) ..	211,50	m

Talud

Aguas arriba .....	0,05
Aguas abajo .....	0,75

Aliviadero

Clase .....	Superficie.
Longitud libre .....	48 m
Cota del labio .....	270,50 m
Espesor de lámina .....	5,06 m
Número de vanos .....	4 m
Dimensión compuertas .....	12,00 × 6,25 m

Desagües de fondo

Cota del eje .....	235,00 m
Capacidad .....	275 m <sup>3</sup> /s.
Dimensión compuertas .....	1,50 × 2,00 m

Cuenca amortiguador

Cota de la solera .....	218,10 m
Longitud .....	40,50 m
Anchura .....	60,00 m
Profundidad .....	9,00 m