

## 2. La construcción de la presa arco-gravedad de Caldas de Reis

Francisco Alonso Fernández,

Ingeniero de Caminos,

Director de Obra de Augas de Galicia

Felipe Mendaña Saavedra

Dr. Ingeniero de Caminos,

Vocal del Comité Nacional de Grandes Presas. Asesor de la Xunta de Galicia

Carlos Oteo Mazo

Dr. Ingeniero de Caminos,

Profesor de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Madrid. Asesor de la Xunta de Galicia

### RESUMEN

Se describen los trabajos de desvío del río y de excavación de la cerrada, detallando los estudios realizados para la caracterización geotécnica de la roca y los criterios adoptados para el tratamiento de la misma con inyecciones. Seguidamente se refieren los autores a los trabajos de hormigonado, señalando diversos detalles constructivos de interés. Finalmente, se resume lo relativo a los siguientes temas: Dispositivos de Auscultación y Vigilancia con que se dotó la obra; Planes de Aseguramiento de la Calidad y de Prevención de riesgos, adoptados en la construcción y Ensayos en modelo para el estudio del vertido y de la erosión en cauce y laderas.

### ABSTRACT

The article describes the work involved in the diversion of the river and the excavation of the enclosure, and indicates the studies carried out to establish the geotechnical nature of the rock and the decisions taken with regards to the injection treatment of the same. Reference is made to the concrete work and several interesting construction details are indicated. The article concludes with a summary of the following subjects: Sounding and Monitoring Equipment employed; Quality Assurance and Risk Prevention Plans adopted in the construction and the Model Tests employed to study the spill and the erosion of the channel and slopes.

La construcción de la Presa de Caldas de Reis, situada a la cota 126,5 m.s.n.m., en el tramo medio del río Umia (provincia de Pontevedra), se llevó a cabo en 24 meses (desde marzo de 1998 a febrero de 2000).

Es una presa arco-gravedad de 35,6 m de altura sobre cimientos, con un volumen de hormigón de 45.000 m<sup>3</sup>. A efectos de su construcción, la presa se dividió en 14 bloques independientes, de una anchura media entre juntas de 15 m (ver Figura 1). El aliviadero de superficie, que ocupa los 4 bloques centrales, consta de 4 vanos, de los cuales los dos centrales (bloques B.1 y B.2) llevan compuertas para la regulación del vertido, mientras que los dos laterales (bloques B.3 y B.4) son de labio fijo. A su vez, el bloque B.3 aloja una minicentral de pie

de presa y el B.1 la cámara de válvulas de los desagües de fondo.

### 1. DESVÍO DEL RÍO

La obra de desvío del río se situó en la margen izquierda, con un dispositivo de ataguía y contrataguía enlazadas por un canal alojado en el bloque B.5 de la presa (ver Figura 2). Tanto la ataguía como la contrataguía fueron pequeñas estructuras de materiales sueltos con núcleo impermeable de material arcilloso.

El caudal máximo de cálculo del canal fue el correspondiente a un período de retorno de diez años. Admitiendo un ré-

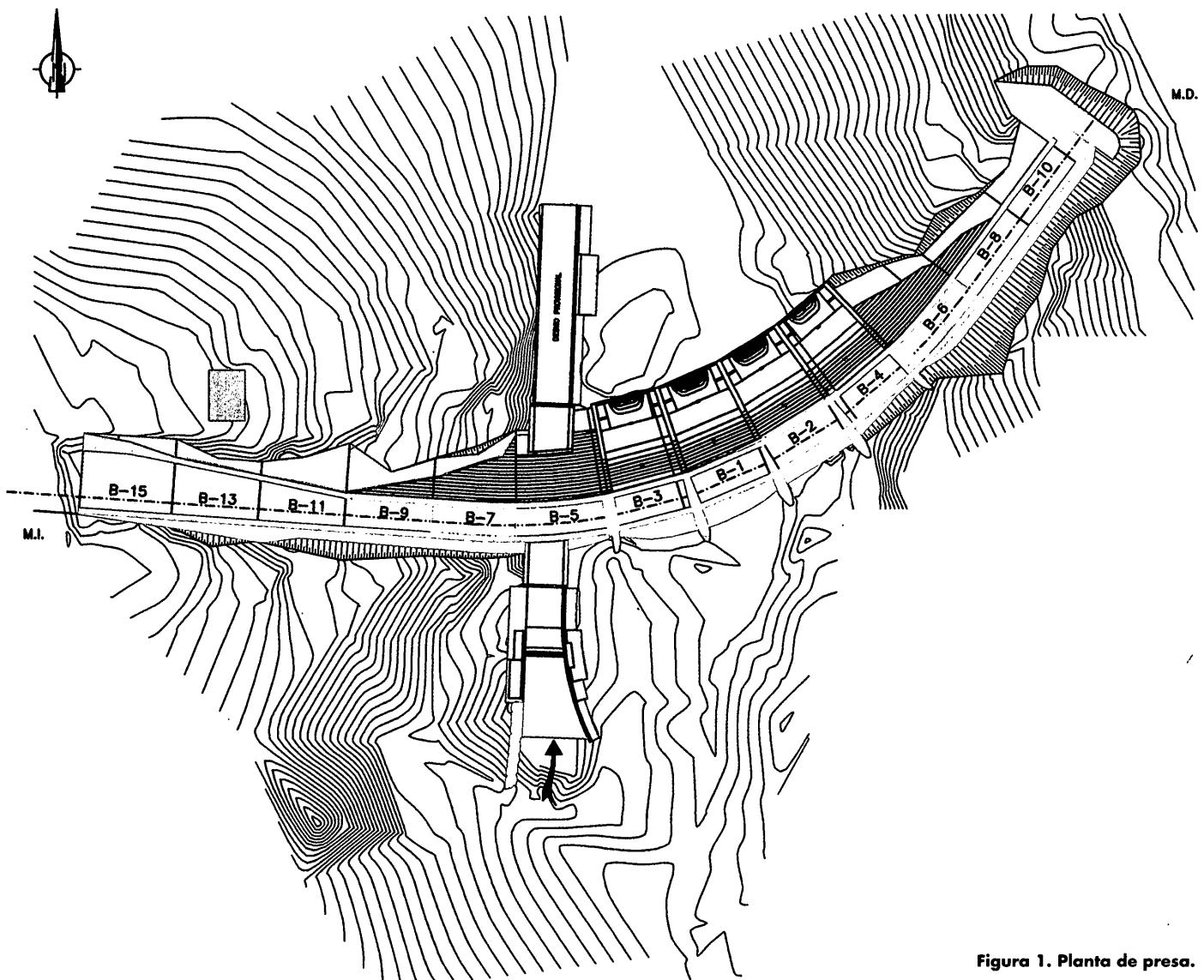


Figura 1. Planta de presa.

gimen rápido, con velocidad del agua de 8 m<sup>3</sup>/seg, resultó un caudal máximo de desvío de 208 m<sup>3</sup>/seg.

Los cajeros interiores del canal se encofraron con formas en denteado, para favorecer la futura unión de los hormigones del bloque y de su relleno final para el cierre de la obra de desvío, una vez terminada la presa. El citado denteado se recubrió con una capa de mortero para evitar perturbaciones en el régimen de funcionamiento del canal, ya que en obras similares se han verificado disminuciones de la capacidad del caudal de diseño de hasta un 30%, debido a las ondas reflejadas que tales denteados puede provocar, al alterar el régimen de funcionamiento del canal.

Tanto a la entrada como a la salida se protegieron los taludes laterales de la ladera con hormigón para evitar erosiones. Además, a la vista de la fracturación de la roca en la zona del

cajero izquierdo, se hizo un relleno de hormigón entre el de dicho cajero y la superficie de excavación en todo el canal, aguas abajo del bloque del desvío, lo que demostró su efectividad en la crecida de noviembre de 1999.

## 2. EJECUCIÓN DE LAS EXCAVACIONES

### **2.a.- Descripción de los trabajos**

Las excavaciones para la cimentación de la presa se iniciaron en mayo de 1998 y el grueso de las mismas se completó a finales de octubre de 1998. En el Programa de la obra, se fijó la construcción de la obra de desvío en la época de estiaje, para evitar la temporada de otoño/invierno, de fuertes lluvias



Figura 2. Obra de desvío del río.  
Abajo, figura 3. Roca de cimentación en la ladera derecha.

en la zona. Una vez terminados los trabajos del desvío, continuaron las excavaciones de las laderas, primero en la margen izquierda y, luego en la derecha (ver Figuras 3 y 4).

El Programa de las excavaciones se inició con la preparación de pistas de acceso a distintas cotas, seguida del desbroce y limpieza de toda la traza de implantación de la presa. Hecha esta labor, comenzaron las excavaciones de la roca de cimentación con sistema mixto (martillo pesado y explosivos), extremando las precauciones para que las voladuras dañaran lo menos po-

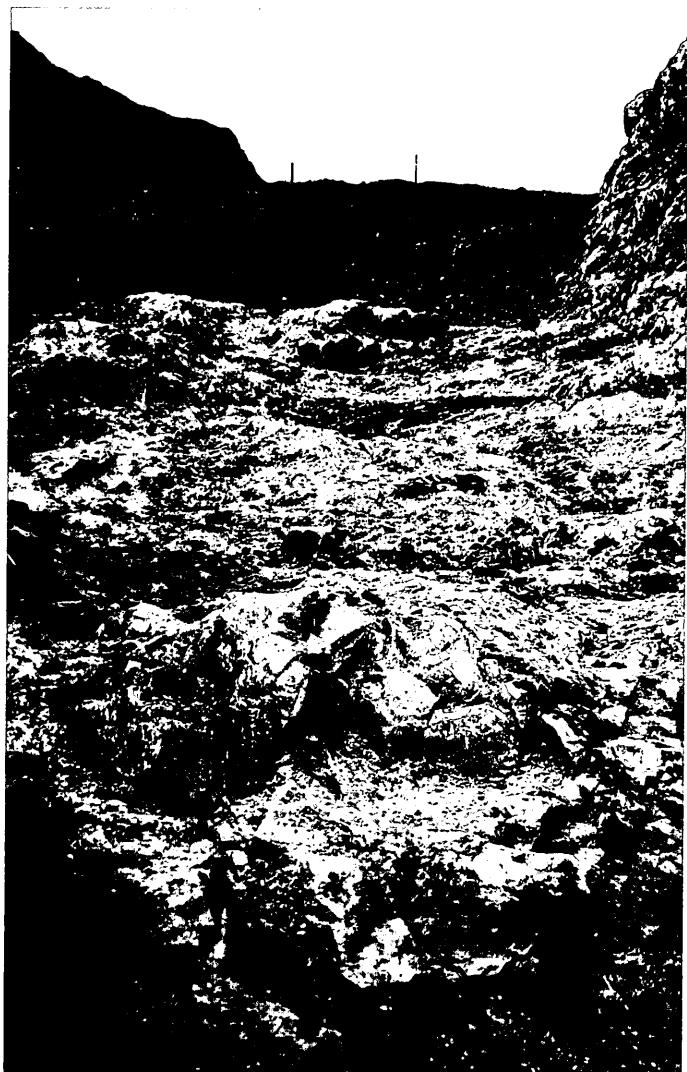


Figura 4. Roca de cimentación en la ladera izquierda.

sible dicho cimiento, por lo que se utilizaron siempre voladuras de muy baja carga específica de explosivos ( $q < 0,65$  kg de G-2 por  $m^3$ ). La última fase de la excavación, el refino de la superficie de implantación, se hizo exclusivamente con martillo neumático pesado y herramientas manuales.

Todos los procesos de excavación fueron supervisados por geólogos del equipo de proyecto de AUGAS DE GALICIA y de INTECSA, que cuidaron tanto la vigilancia de las labores de refino, como la limpieza cuidadosa de la superficie de implantación del hormigón. Esta limpieza se hizo con herramientas manuales y ayuda de agua a presión, para retirar los materiales sueltos que hubieran podido quedar en la superficie. Cuando se advertía la presencia de rellenos arcillosos en las diaclasas, el proceso a seguir, dirigido por un geólogo, consistía en la retirada de dicho material de relleno y la limpieza de los bordes resultantes hasta una profundidad mínima de vez y media la anchura de la discontinuidad.

En cualquier caso, antes de comenzar el hormigonado se hizo la toma de datos para la clasificación geomecánica de la roca del cimiento, con especial cuidado en la localización de diaclasas, dimensiones de las juntas, índices de fracturación (RQD), etc, para la evaluación final del RMR (Bieniawski), a fin de tenerlo en cuenta en la ejecución futura de las inyecciones de consolidación de la roca de cimiento.

En resumen, las excavaciones progresaron hasta alcanzar una calidad de la roca que quedó calificada globalmente de medio-alta. La formación presentaba con cierta frecuencia zonas de granito inalterado de tono gris azulado, siendo el resto un granito más meteorizado de tonos pardos y ocres, pero de calidad siempre aceptable. El buzamiento de la formación hacia aguas arriba fue favorable a la implantación de los bloques, y, en conjunto, la calidad de cimentación puede decirse que es igual o superior a la de las formaciones graníticas de las grandes presas gallegas del bajo Miño (Velle, Castrelo y Freira) y similar a las de las Presas de Bao o Albarellos.

#### 2.b.- Caracterización geotécnica de la roca de la cerrada

A parte de las observaciones "de visu" (con estaciones geomecánicas de detalle), al realizar las excavaciones para cimentar la presa se disponía de diferente información geológica y geotécnica a través de los informes y estudios realizados desde 1983, que se han mencionado en el artículo relativo al proyecto.

A la hora de la ejecución se han distinguido las siguientes capas o niveles de diferente competencia geotécnica, cuyas separaciones no eran propiamente contactos, sino simple mejora de la calidad de la roca:

- ▼ Nivel 1, o de recubrimiento superficial, formado por suelos y granitos muy meteorizados (jabres), fácilmente ripables y con velocidades sísmicas de entre 350 y 400 m/seg. Los espesores mayores correspondieron a ambos estribos oscilando entre 2 y 3 m (grado de meteorización IV-V).
- ▼ Nivel 2, o de roca meteorizada y/o fracturada (grado de meteorización III a IV). Las velocidades sísmicas resultaron de 1.000 y 1.700 m/seg, con espesor nulo en el cauce, y llegando a 13 m en el estribo derecho y a 8-10 m en el izquierdo. En este Nivel 2 se han presentado los granitos con intercalaciones de esquistos micáceos.
- ▼ Nivel 3, o sustrato rocoso sano, fundamentalmente granítico, con velocidades siempre superiores a 1.700 m/seg y entre 3.000 y 4.000 m/seg a partir de pocos metros bajo el comienzo de este nivel estratigráfico-geotécnico.

La cimentación de todos los bloques de la presa se ha realizado sobre materiales del Nivel 3, aunque siempre en zonas con velocidad superior a 2.200 m/seg. Salvo en algunos bloques (B-5, B-8, B-10 y B-11), la velocidad en la zona de apoyo

Cuadro n° 1

## RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN (HASTA EL 16/07/99)

BLOQUE	Taladros Ejecutados	Perforación en hormigón	Longitud de cada perforación en terreno (m)	Perforación total (m)	Admisión (kg/ml)	Admisión media (kg/ml)
B-1	32	2,50 – 6,0	6,02 – 7,22	368,30	4,57 – 485,00	78,66
B-2	13	6,1 – 10,10	5,20 – 13,26	214,13	3,92 – 369,49	58,67
B-3	7	2,1 – 3,60	1,00 – 9,52	57,90	4,58 – 380,95	107,87
B-4	34	2,90 – 8,90	1,77 – 8,56	372,30	4,08 – 220,26	29,70
B-5	23	1,10 – 13,20	6,34 – 12,88	322,81	6,11 – 147,68	37,17
B-6	23	1,80 – 6,80	3,48 – 8,61	232,12	2,57 – 201,79	54,79
B-7	17	1,10 – 6,10	7,42 – 15,95	228,75	4,18 – 196,08	52,43
B-8	32	1,80 – 4,80	5,79 – 10,96	345,63	9,36 – 285,38	133,71
B-10	30	0,70 – 5,60	7,05 – 14,95	375,65	5,83 – 154,98	48,90
B-11	24	1,00 – 4,40	4,74 – 8,78	215,15	2,05 – 658,51	50,35
B-13	4	1,20 – 2,10	6,0	30	7,87 – 134,23	47,17
B-15	4	1,30 – 6,30	6,0	38	13,42 – 8,83	49,05

VALOR MEDIO TOTAL: 49,42 kg/ml

fue superior a 2.500 m/seg. Por eso, en los bloques mencionados se diseñó un tratamiento especial de las inyecciones de consolidación, para aumentar la calidad geotécnica de los materiales rocosos en sus primeros 5-6 m, a fin de asegurar una velocidad de ondas sísmicas superior a los 2.500 m/seg y un índice de clasificación de Bieniawski (RMR) superior a 45. Con ello se logró el objetivo de asegurar que el módulo de deformación del macizo rocoso superara los 50.000 kp/cm<sup>2</sup>, valor supuesto para el proyecto.

Además de lo anterior, se construyó una pantalla de impermeabilización de la cerrada realizada desde la galería de la presa (zona del paramento de aguas arriba) a fin de evitar filtraciones y disminuir posibles subpresiones. Estas inyecciones fueron más profundas en las zonas de estribos que en el centro del cauce, dadas las calidades de la roca detectadas.

En cuanto a la zona de un collado en la parte alta de la margen izquierda del embalse y a unos 70 cm de la presa, se han distinguido dos zonas geotécnicas: un nivel superior de jaibre, roca "in situ" alterada o meteorizada, con bloques decimétricos (grado de meteorización III a V) que se puede excavar con facilidad, y un nivel inferior B de roca sana, que constituye el sustrato rocoso.

En el primer nivel, a su vez, apareció una zona superficial (3 m de espesor máximo), donde la velocidad de onda varió entre los 350-500 m/seg, a partir de la cual aparece ya la formación de roca meteorizada y fracturada (Grados III-IV) con velocida-

des crecientes de 1.500 a 1.700 m/seg, es decir, todo ello similar a los niveles 1 y 2 del cimiento de la presa.

Se considera que en este collado no habrá problemas de filtración ni de estabilidad de laderas, dado que el espesor de roca alterada no supera los 15-20 m (y esto sólo en uno de los sondeos) y que los gradientes de filtración son muy bajos. En cualquier caso, no tiene sentido iniciar los trabajos de tratamiento que sean necesarios para corregir una eventual mejora de la impermeabilidad de la zona hasta que no se llene el embalse.

## 2.c.- Trabajos de tratamiento del terreno

## Inyecciones de consolidación

Las inyecciones de cada bloque se definieron con numeración de los taladros a realizar, indicando la profundidad e inclinación de los mismos.

El dispositivo general consistió en una ordenación según los vértices de mallas de 6 x 6 m<sup>2</sup> que se perforaron e inyectaron en una primera fase. Terminada ésta, en el centro de cada malla (siempre que dicho punto correspondiese a la superficie de cimiento del bloque) se perforó un taladro que se inyectó con dosificación inicial A/C (1/1) hasta llegar a admisiones máximas de 100 kg/ml, cambiando luego a una A/C (1/2) hasta

terminar. Si en algún caso la admisión media superase los 100 kg/ml se preveía repetir 2 perforaciones más dentro de cada malla, procediendo en la misma forma antes descrita.

La presión de inyección no fue inferior en ningún caso a la columna de agua correspondiente más 2,5 metros (avenida extrema) y, como media, se trabajó siempre con una  $p > 4,25$  Bar.

El orden del tratamiento fue el siguiente: Bloque 11; Bloques 1 y 2; Bloques 10, 8 y 6; Bloque 4; Bloque 7 y Bloques 5 y 3. Los resultados se resumen en el Cuadro nº 1 anterior.

#### Pantalla de impermeabilización

Su profundidad media fue de unos 36 m en los estribos y 10 m en el cuenco, con separación de taladros de 5 m en los estribos y de 2,5 m en el cuenco. Su orientación correspondió a un buzamiento de unos 10º hacia aguas arriba.

Se efectuaron perforaciones alternativas, es decir, se dejó en una primera fase, entre cada dos taladros, uno sin hacer. Una vez perforados hasta las profundidades que les correspondían y finalizados todos los taladros integrantes de la pantalla, en esta primera fase se realizó la inyección de cada uno de ellos. A continuación se perforaron los taladros intermedios y se inyectaron.

El orden de inyección fue ascendente, es decir, desde el cuenco de la presa hasta los estribos. Además, para verificar las permeabilidades del macizo y definir, así mismo, las presiones de inyección, se realizaron ensayos LUGEON, uno en cada bloque, en escalones de 5 m de profundidad a lo largo de toda la perforación. Se eligió el taladro más próximo al centro del bloque como representativo para efectuar las correspondientes pruebas LUGEON.

#### Pantalla de drenaje

El hormigón de los bloques tiene una red de conductos de drenaje desde la clave de la galería perimetral hasta la coronación, que se ejecutaron por moldeo al hormigonar dichos bloques. Esta red de drenaje se prolongó a la roca de cimentación con una pantalla perforada desde el fondo de la galería, retranquedada unos 2 a 3 m hacia aguas abajo, respecto de la pantalla de impermeabilización y realizada después de terminar ésta.

### 3. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN

Dado el tipo de presa, la fabricación y la puesta en obra se estudió con la máxima atención y cuidado para el logro de la calidad adecuada. Para la definición de la dosificación óptima del hormigón se ensayaron áridos provenientes de cinco canteras diferentes, haciendo pruebas con seis dosificaciones

Cuadro nº 2

#### CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE HORMIGÓN

Tipo de amasadora	SUMECAR PRH-3000, de eje vertical
Capacidad por amasada	3 m³
Número de tamaño de árido	4 tamaños (1 tolva por tamaño)
Silos de cemento	2 ud x 50 t/ud

posibles. Siendo fundamental la elección del cemento, para evitar los problemas de retracción, se eligió un cemento puzolámico CEMIV/B32.5, suministrado por la fábrica COSMOS de Toral de los Vados (León).

#### 3.1.- Fabricación del hormigón

La fabricación del hormigón se realizó en una planta móvil instalada en la obra, con una capacidad de producción de 70 m³/hora y cuyas características fundamentales se recogen en el Cuadro 2.

#### 3.2.- Transporte del hormigón al tajo

Se hizo en dos fases: transporte en camiones hormigonera desde la planta hasta la proximidad de la presa y elevación hasta la puesta en obra con grúas torre. Los camiones hormigonera alimentaban una tolva reguladora, próxima a las dos grúas con las que se hormigonaron los bloques. Las características se recogen en el Cuadro 3.

El proceso de hormigonado se realizó en general con baldes de 4 m³ de capacidad, excepto en aquellos puntos en que había que trabajar con la carga en punta de la grúa, en los que se usaron cubos de 2 m³.

Cuadro nº 3

#### CARACTERÍSTICAS DE LAS GRÚAS

Modelo	IMENASA H-200HC
Reenvío	Simple
Altura bajo el gancho	A): 27,7 m // B): 36,1 m
Alcance	A): 40,0 m // B): 45,0 m
Carga en punta	A): 6,2 t // B): 5,2 t
Carga máxima a 22 m	A): 12 t // B): 12 t

A): Grúa de margen izquierda

B): Grúa de margen derecha

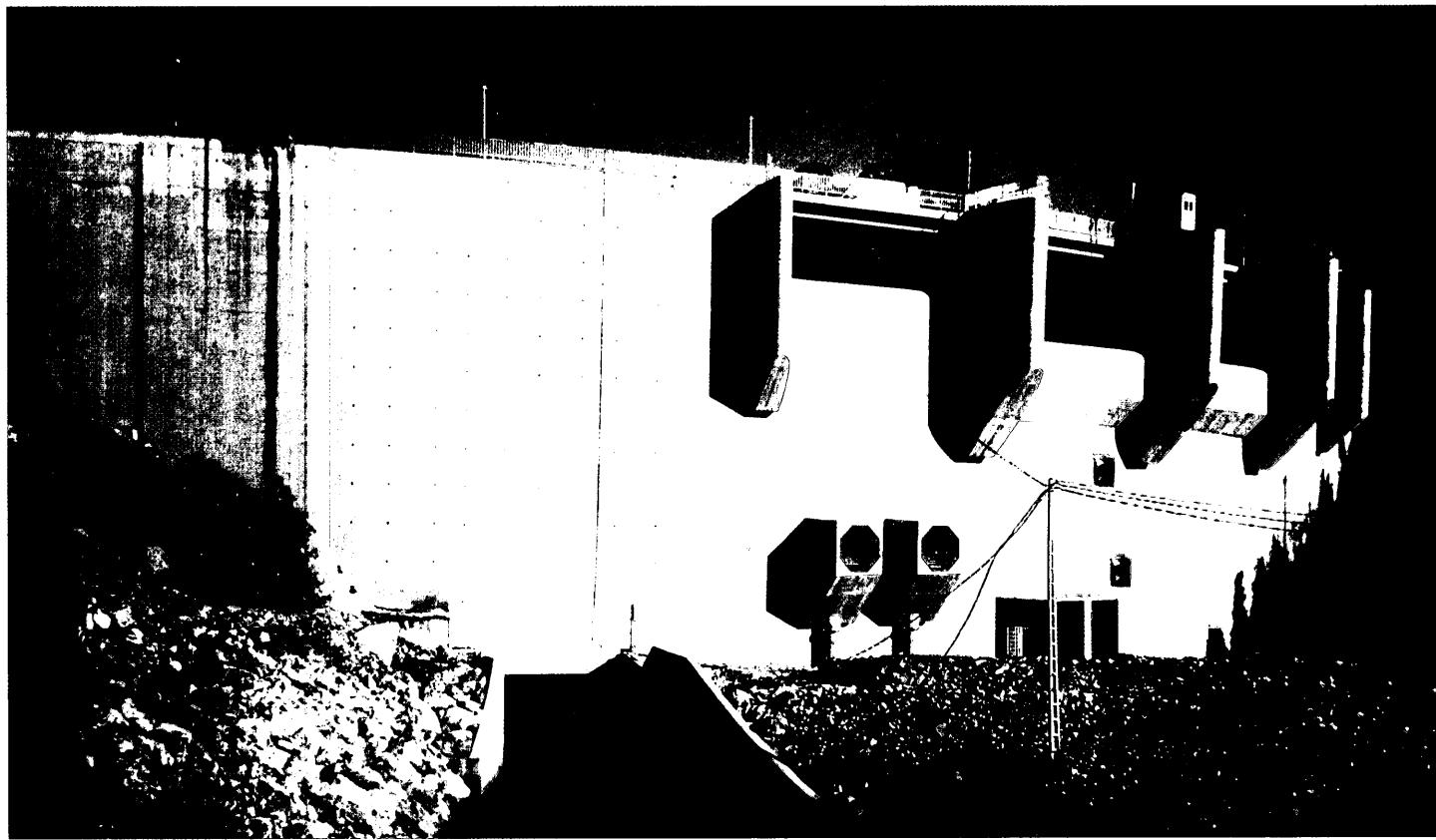


Figura 5. Vista de la estructura desde aguas arriba.

### 3.3.- Preparación de las tongadas de hormigón, replanteo y puesta en obra

Como se ha dicho, para la construcción de la presa se definieron 15 bloques, cada uno de los cuales se dividió verticalmente en tongadas de 2 m de altura cada una.

Para el proceso de hormigonado de una tongada se definieron tres etapas, consistiendo la primera en el tratamiento de la superficie de la tongada anterior con agua a presión para dejarla libre de restos de cemento o de mortero. Una vez hecha la preparación descrita, el equipo de topografía suministraba la información necesaria para la colocación de los encofrados de la tongada a hormigonar. Realizada la colocación de éstos, se hacía siempre una comprobación topográfica, antes de proponer la autorización del hormigonado de la tongada por parte del responsable de topografía. Esta etapa del proceso se terminaba humedeciendo la superficie de la tongada anterior para reducir al mínimo la diferencia de temperatura entre el hormigón fresco y el ya fraguado, momentos antes del inicio de la puesta en obra.

En cualquier caso, para iniciar la etapa segunda (hormigonado de la tongada) se exigió siempre la autorización expresa del Director de Obra. En esta segunda etapa, y para conseguir una perfecta unión de la junta de construcción se comen-

zaba extendiendo una capa de mortero de 5 a 7 cm, tras la cual se colocaba el hormigón convencional en subcapas de 50 cm de espesor, aproximadamente. El hormigonado fue continuo, salvo interrupciones debidas a fuerzas de causa mayor, en cuyo caso el tratamiento de la junta se realizaba de la misma forma que si se tratara de una junta de construcción entre tongadas.

Como término medio, 4 horas después de terminado el hormigonado, se realizaba la tercera y última etapa de preparación de las tongadas, lavando la superficie del bloque con agua a presión para descubrir el árido grueso en un 30% - 50% de su tamaño, retirando la lechada superficial. De esta forma, en la primera etapa de la preparación de la tongada siguiente, se procedía, simplemente, a eliminar con agua a presión los residuos que pudieran haber quedado sueltos.

### 3.4.- Encofrados

Con el fin de evitar todo apuntalamiento externo, y como es usual en este tipo de obras, el encofrado de cada tongada se realizó utilizando un sistema de tipo trepante de la firma TMC. Por supuesto, el arranque de los bloques a partir de la cimentación se hizo con paneles tradicionales, como máximo para las dos primeras tongadas.

Se utilizó el procedimiento usual de los encofrados trepantes, dejando en la tongada que se hormigonaba los elementos de sujeción que permiten la fijación del encofrado de la siguiente tongada inmediatamente superior. Estos elementos tenían tres partes: el pie de anclaje, que queda metido en la masa del hormigón; una barra GEWI, que une el pie de anclaje con el cono de anclaje, elemento sobre el que se apoya físicamente el encofrado, y, finalmente, la estructura de soporte del encofrado, o consola de trepa, que mantiene la superficie en la posición deseada, transmitiendo los esfuerzos del peso del hormigón fresco a la masa del hormigón de la tongada inferior ya fraguada, a través del anclaje arriba descrito.

La superficie del encofrado se materializó mediante tableros fenólicos, cortados a medida para cada uno de los paneles. Cada panel se fijó a unas vigas en sentido longitudinal (vigas HM), arriostradas a otras verticales (en el idioma de obra denominadas "velas"), unidas en su parte superior a un torniquete, para regular la inclinación del tablero, y en la parte inferior a la consola de trepa. Cada panel se sostiene por medio de dos conos de trepa que encajan en las piezas que soportan el peso de la consola.

Las exigencias de acabado fueron muy rigurosas, para toda la obra en general (ver Figura 5) y, muy en particular, para los trampolines del aliviadero (Figuras 6 y 7)

## 4. DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LOS BLOQUES

### 4.1.- Juntas entre bloques

El esquema de la junta tipo entre bloques responde, aproximadamente, a lo representado en el esquema de la figura 8 siguiente.

El tapajuntas cierra perfectamente el recinto de "sellado" con inyecciones de la junta, salvo en la parte inferior, que quedaría protegida sólo por el trozo AB de tapajuntas, cuya colocación y contacto con la roca de cimiento son dudosos.

Por ello se decidió preparar las juntas para poder perforar desde la galería, en caso de fallo comprobado de dicho tramo del tapajuntas. A estos efectos, se dejó moldeado el taladro de ese eventual tratamiento, desde el nivel de solera de galería hasta el tapajuntas, para continuarlo con perforación (ab) si fuese preciso (atravesando, claro está, el tapajuntas), a fin de corregir con inyecciones las posibles filtraciones por debajo de la línea BD.

### 4.2.- Conductos de drenaje

Siguiendo las tantas veces reiteradas recomendaciones del Ingeniero J.L. Fernández Casado, fundador del Servicio de Vi-

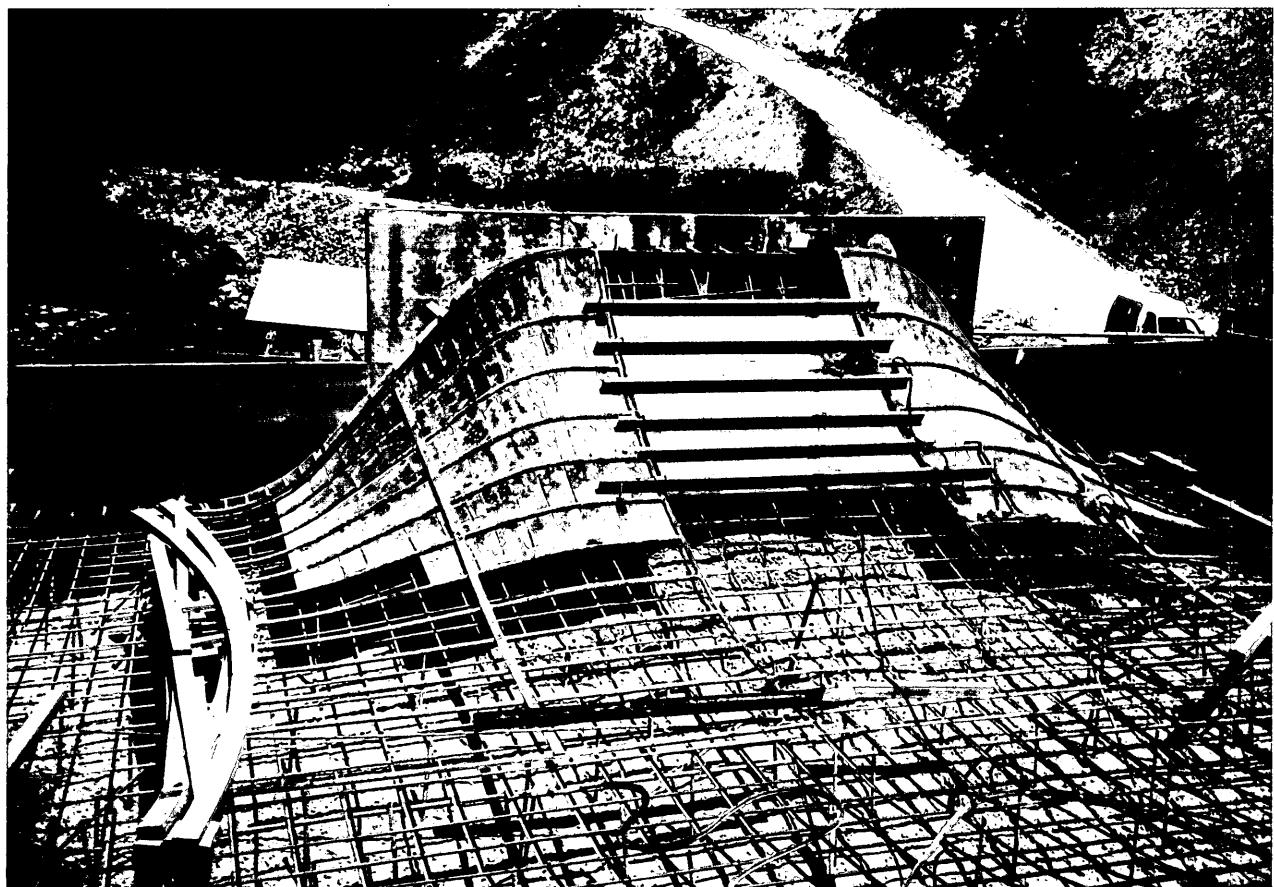


Figura 6.  
Encofrado  
de los  
trampolines  
de  
lanzamiento.



Figura 7. Acabado de los aliviaderos.

gilancia de Presas, se decidió "moldear" los conductos ("d") de la pantalla de drenaje al hormigonar las tongadas, en vez de perforarlos una vez concluido el hormigonado (ver Figura 9). Las razones a favor de esta solución pudieron verificarse perfectamente en esta obra:

- ▼ Una vez habituado el personal, el moldeo no reduce el rendimiento del hormigonado.
- ▼ La experiencia demuestra que la perforación tiene errores constantes (son frecuentes los taladros que "no encuentran la galería" ...) y, en todo caso, el ahorro compensa sobradamente el coste del material de moldeo y del eventual "entrenamiento" del personal.
- ▼ Los tubos, de un diámetro exterior igual al del dren, deben ser de acero de pared gruesa, para permitir darles una

ligera conicidad exterior, que, junto con la aplicación de un desencofrante favorezca el "desencofrado".

#### 4.3.- Inyecciones de juntas

Un esquema de moldeo de conductos en las juntas, de tipo análogo al de los conductos de drenaje, permitió efectuar sin problema alguno las inyecciones primarias.

Este esquema permite, además, ser reutilizado para efectuar, si fuera preciso, las inyecciones secundarias. No obstante haber respetado el dispositivo clásico de tuberías y manguitos previsto en el proyecto, la experiencia nos recomendó adoptar también el esquema que se acaba de describir porque, al hacer las inyecciones secundarias de juntas, es fre-

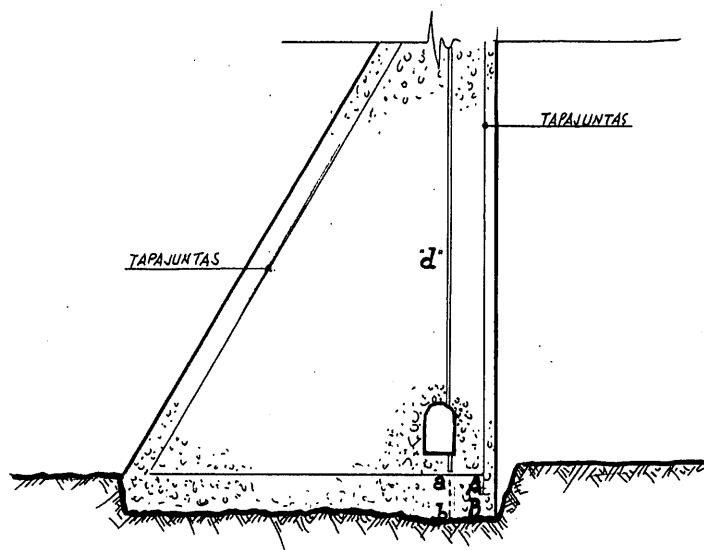


Figura 8. Detalle de junta entre bloques.

cuente que algunos elementos de tubo-manguito se obturen, en cuyo caso, estos conductos entre galerías permiten hacer la inyección secundaria de la junta.

Por último, en la galería de visita se dejaron dos ramales horizontales hasta la proximidad de la roca, para hacer abanicos de inyección de la roca de cimiento desde su frente final, si fuera preciso.

## 5. AUSCULTACIÓN Y VIGILANCIA DE LA PRESA

La auscultación adoptada permitirá conocer en cada momento el estado tensional de la estructura y los relativos a deformaciones, temperaturas de la fábrica y posibles filtraciones. El sistema de auscultación instalado en la Presa de Caldas de Reis se basa en el control de tres parámetros fundamentales:

▼ a) Temperatura del hormigón. Se colocaron termopares en cuatro bloques representativos y a diferentes alturas, para medirlos periódicamente, gracias a un terminal de lectura electrónico.

En la fase de construcción, se realizaron lecturas quincenales de los pares para conocer el patrón de disipación de energía del tipo de hormigón que se estaba colocando.

▼ b) Caudales de filtración. Se medirán mediante aforadores THOMSON, colocados en las cunetas laterales de recogida de la galería perimetral, en los que se medirán los caudales de filtración interceptado por la pantalla de drenaje.

▼ c) Control geométrico de la presa. Este control se hará a partir de cuatro sistemas diferentes:

- ▼ 1) Un péndulo directo y dos inversos
- ▼ 2) Extensómetros de varilla empotrados en la roca de cimentación
- ▼ 3) Medidores de deformación en las juntas
- ▼ 4) Red de observación con vértices geodésicos para controlar topográficamente el paramento de aguas abajo

## 6. PLAN DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

La Calidad fue una parte esencial del proceso de construcción de la Presa de Caldas de Reis, que se orientó al cumplimiento de los requisitos de la ISO-9000, de acuerdo con la idea de profesionalidad y experiencia de las empresas constructoras especialistas en grandes presas.

A tal fin, el constructor de la Presa elaboró un Plan de Aseguramiento de la Calidad (P.A.C.), según el modelo establecido en DRAGADOS.

De acuerdo con el principio básico de la gestión de la Calidad Total ("escribir lo que se va hacer; hacer lo que se ha escrito y, finalmente, registrar lo que se ha conseguido"). El P.A.C. de la Presa de Caldas relacionó aquellos elementos susceptibles de ser ensayados, así como el Plan de Ensayos correspondiente y los Planes de Puntos de Inspección.

El nivel de autocontrol fue muy intenso en lo que se refiere tanto a los replanteos, ya comentados en el punto 3, como a la calidad de la fábrica del hormigón.

Tanto el control de hormigón como el de otros elementos definidos en el P.A.C. susceptibles de ser inspeccionados, se realizó por dos laboratorios independientes: uno que informaba directamente a la Administración, EPTISA, y otro contratado por el Contratista, GALAICONTROL, S.L.

▼ Por último, para el control de las características del hormigón y de sus materiales constituyentes, se construyó un laboratorio a pie de obra dotado de cámara húmeda para la conservación de las probetas y de todos los elementos necesarios para su fabricación y rotura en las condiciones exigidas por la normativa vigente.

## 7. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES: PLAN DE SEGURIDAD

La seguridad en las obras de la Presa de Caldas de Reis fue un tema esencial para la Xunta de Galicia, llevado a cabo con un cuidado exquisito por parte del constructor. Éste presentó un Plan de Seguridad en el mes de abril de 1998, de acuerdo con lo que dispone la legislación vigente al abrir el centro de trabajo, Plan que fue aprobado por la Xunta y cuyas principales actuaciones fueron las seis siguientes: Plan de Seguridad; Reuniones mensuales de tajo; Atención médica; Protecciones colectivas y Control de la Maquinaria, ade-

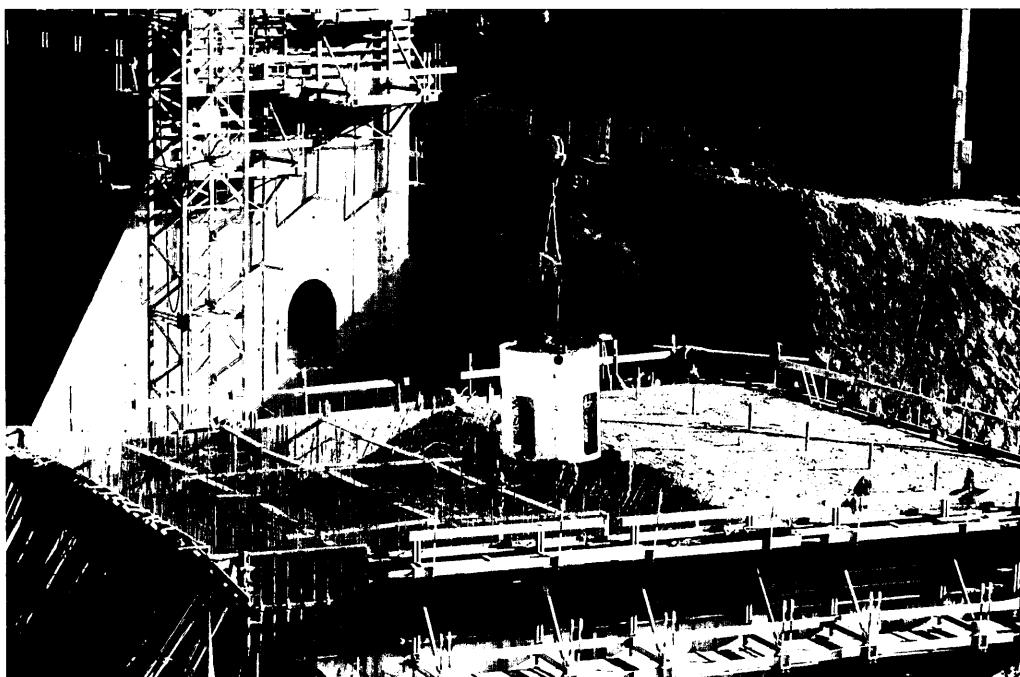


Figura 9. Conductos moldeados en un bloque.

más, por supuesto, de la dotación de equipos de Protección individual.

El PLAN DE SEGURIDAD, fue redactado por un Técnico de Seguridad y aprobado por el Coordinador de la obra. En dicho Plan se identificaron los riesgos, eliminando aquellos posibles y adoptando las medidas de prevención procedentes para los restantes, reduciendo las posibilidades de que pueda ocurrir un accidente. Todo ello se realizó, como es natural, a partir del estudio del método constructivo que se iba a utilizar en la Presa de Caldas de Reis.

Fue muy importante también el éxito conseguido en las REUNIONES MENSUALES DE TATO en las que participaron los trabajadores de la obra, tanto del contratista general, como de los subcontratistas. Destacaron las reuniones convocadas siempre que se iba a iniciar un nuevo tajo para evaluar las operaciones especiales o las circunstancias peculiares del mismo.

En cuanto a la ATENCIÓN MÉDICA, aparte del examen médico inicial para afiliación a la plantilla de la obra, hubo un ATS disponible en todo momento, cuyo cometido básico fueron las visitas a la obra que incluían también tanto la supervisión de las instalaciones del personal, como del seguimiento, tratamiento y recuperación de los accidentados.

En este apartado pueden incluirse, así mismo, los cursos básicos de Seguridad, dados a todo el personal interviniente en la obra, que incluían unas nociones elementales sobre primeros auxilios para que la gente reaccionara positivamente ante cualquier incidencia o situación grave.

Como resultado de todas estas actuaciones, desde el comienzo de los trabajos hasta su final, alcanzando más de

100.000 horas de trabajo, no se ha registrado ningún accidente de importancia.

Las PROTECCIONES COLECTIVAS se basaron, principalmente, en la señalización perfecta de todos los accesos y zonas especiales del recinto de la obra, indicando, además, la obligatoriedad de los equipos de protección individual y la prohibición de entrada de personas ajenas a las actividades de construcción.

Por último, en cuanto a la MAQUINARIA, se consiguió que todas las unidades se encontrasen en perfecto estado, exigiendo el justificante de haber pasado las oportunas revisiones, como fue el caso de las dos grúas torre (revisadas por una EMICRE, en cumplimiento de la ITC-AM2) y el de los restantes equipos de maquinaria de movimiento de tierra, a todo lo cual se

añadió la exigencia de el correspondiente contrato de mantenimiento.

## 8. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN

En una Presa de esta tipología es fundamental comprobar por medio de los ensayos en modelo, tanto el diseño hidráulico de la obra del aliviadero, como los efectos de la erosión en el cauce de aguas bajo, siendo este sistema el único medio de corregir defectos de detalle que son imposibles e detectar en los modelos matemáticos de cálculo.

Para ello, en julio de 1998 se realizaron los estudios correspondientes en el Laboratorio de Ricobayo, propiedad de IBERDROLA. El modelo utilizado empleó las escalas siguientes: 1/25 para LONGITUDES // 1/165 para SUPERFICIES // 1/15.600 para VOLÚMENES, además de 1/5 para TIEMPOS y VELOCIDADES, resultando la de 1/3.000 para CAUDALES.

Los ensayos, a los que se ha referido en detalle el artículo correspondiente al Proyecto de la Presa, se orientaron a la solución de los principales temas siguientes:

- ▼ a) Geometrización del perfil de coronación y pilas del aliviadero
- ▼ b) Comprobación del funcionamiento hidráulico general del aliviadero y desague de fondo y de los trampolines de lanzamiento y, finalmente

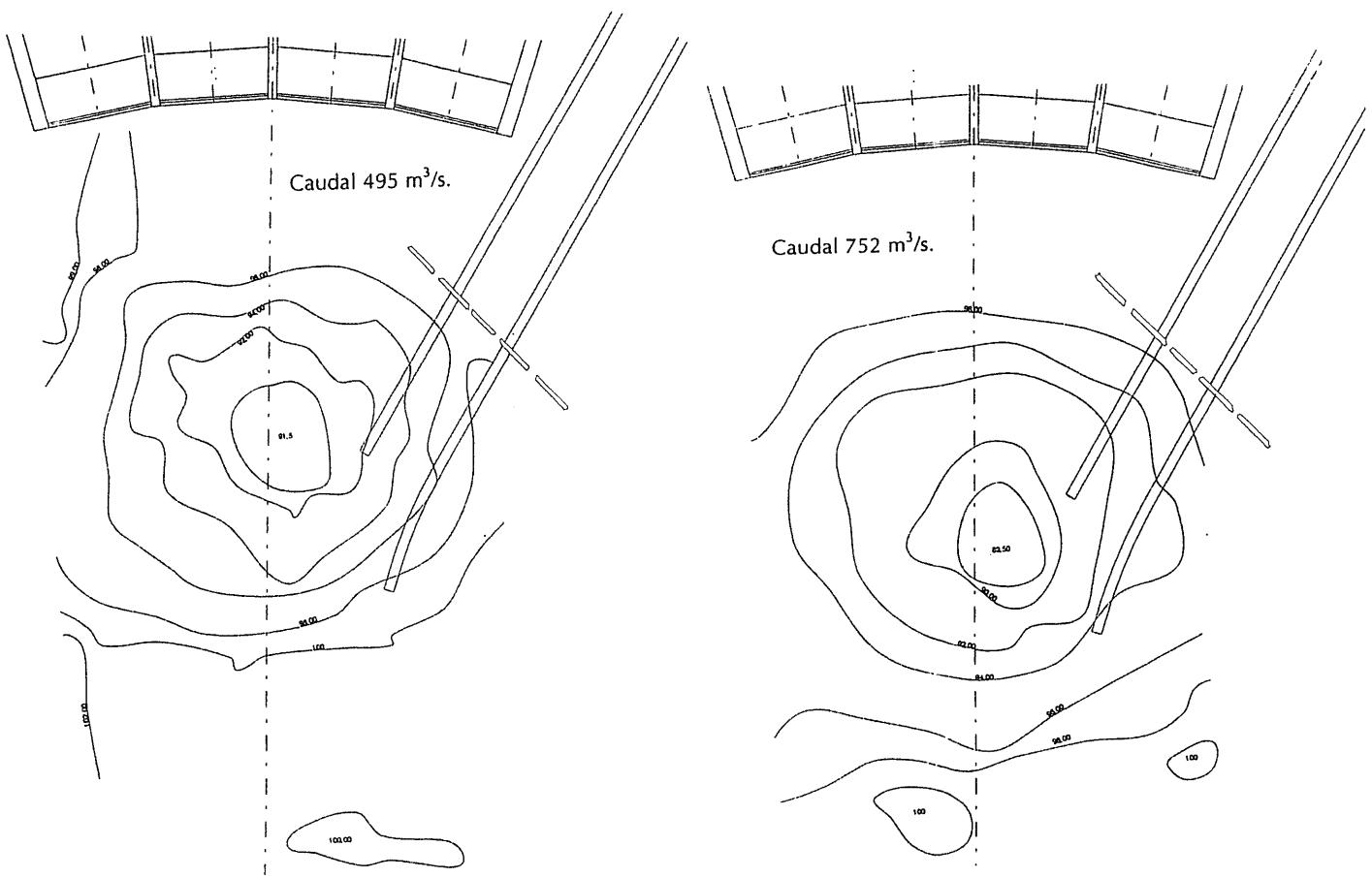


Figura 10. Efectos de erosión en el cauce y afección a la obra de desvío.

▽ c) Estudio de la erosión en el cauce (ver Figura 10).

Los resultados fueron excelentes, logrando un lanzamiento perfecto en los trampolines y un ajuste óptimo final de la orientación general e la implantación de la obra, comprobando que el efecto de la erosión ha quedado totalmente dominado, sin riesgo de progresión hacia la presa.

## 9. CONCLUSIONES

La presa de CALDAS DE REIS es una realización mas de la larga tradición de mas de 50 años en el ámbito de las grandes obras hidráulicas, que ha llevado a la Ingeniería civil española a un puesto preeminent en el ámbito internacional, de lo que podemos sentirnos justificadamente orgullosos.

Por motivos con frecuencia poco claros, en los últimos años se viene sufriendo un nuestro país una campaña sistemática en contra de los grandes embalses. Unas veces no se duda en emplear las tácticas mas inconfesables, creando injustificada alarma acerca de la seguridad de la obra, sea por falta de calidad de su diseño o de su ejecución. Otras, se recurre a calificaciones exa-

geradas del impacto ambiental creado por la obra, influyendo en la opinión pública con dictámenes de supuestos expertos con pretendida autoridad para sentar doctrina sobre el tema, cuando la realidad es que apoyan servilmente los intereses de distintos grupos de presión.

La Presa de Caldas no podía ser una excepción, y por ello ha sido objeto de tales prácticas alarmistas, lamentablemente generalizadas en todo el país. Y ello, pese a ser un claro ejemplo de todo lo contrario, tanto por la calidad de la obra realizada, como por el balance positivo de su influencia en le medio afectado.

Los dos artículos relativos a esta obra, cuya publicación ofrece la Revista de Obras Públicas, dejan bien claro el nivel de calidad alcanzado tanto en el Proyecto, como en la Ejecución de la presa. Por otra parte, la presa de CALDAS DE REIS creará un embalse que, como cualquier otro, influye en el medio natural de su emplazamiento. Pero en esa influencia, el peso negativo de su impacto ambiental está compensado con creces por los factores beneficiosos, entre los que destaca la regulación del río que permitirá un control efectivo de las inundaciones, que han castigado tan duramente durante años las zonas de aguas abajo del hermoso tramo inferior del río Uma. ■